

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คุณลักษณะของการสูญเสียในการแพร่กระจายคลื่น RFID ที่ประกอบเข้าด้วยตัวบุคคล

Characterization of RFID Propagation Loss with Human Body



เลขที่.....
เลขทะเบียน.....
วันเดือนปี.....

83227

- 6 ส.ค. 2551

b...414.624.1.x
i.....

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characterization of RFID Propagation Loss with Human Body



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

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ คุณลักษณะของการสูญเสียในการแพร่กระจายคลื่น RFID ที่ประกอบเข้า
ด้วยตัวบุคคล

ชื่อนักศึกษา นายวีรเทพ ก้านแก้ว รหัสประจำตัว 48015593
นายเอกพงษ์ สนิทพจน์ รหัสประจำตัว 48015649

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์

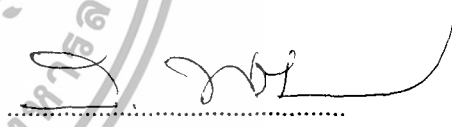
ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2550

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง




.....
(อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ คุณลักษณะของการสูญเสียในการแพร่กระจายคลื่น RFID ที่ประกอบเข้าด้วย
ตัวบุคคล

ชื่อนักศึกษา นายวีรเทพ ก้านแก้ว รหัสประจำตัว 48015593
 นายเอกพงษ์ สนิทพจน์ รหัสประจำตัว 48015649

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณการสูญเสียในการแพร่กระจายคลื่นแบบ ระบุ
ลักษณะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ที่ประกอบเข้าด้วยตัวบุคคล โดยใช้เครื่อง วิเคราะห์โครงข่ายเป็นเวกเตอร์
ทำการวัดในแถบความถี่ 2 GHz ถึง 3 GHz สายอากาศที่ใช้เป็นแบบปากแตร ในด้านส่ง และสายอากาศ
เส้นตัวนำกลาง ในด้านรับ โดยทำการวัดใน 2 แบบจำลอง คือ สายอากาศด้านรับไม่มีตัวบุคคลเข้ามา
เกี่ยวข้อง และสายอากาศด้านรับติดเข้ากับตัวบุคคล

ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะนำมาทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ และนำเสนอใน
รูปแบบของค่าแมกนิจูด เฟส ของฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่, ค่าการสูญเสียเชิงวิถี ภาพหน้าตัดข้างการ
ประวิงกำลังงาน ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของสัญญาณ และค่าการแผ่ประวิงของสัญญาณ

Thesis Title Characterization of RFID Propagation Loss with Human Body
Student Mr. Werathap Kankeaw 48015593
Mr. Ekapong Sanitpoj 48015649
Adviser Mr. Sathaporn Promwong
Graduate Level Bachelor Degree of Information Engineering
Department Information Engineering
Academic Year 2007

Abstract

This thesis researches about measurement and analysis of signal loss in RFID wave dispersion attached on human body. We use the Vector Network Analyzer (VNA) set frequency from 2 GHz to 3 GHz. The Horn antenna is used in transmitter side and the meander line antenna is used in receiver side. Two models are considered in measurement as following the receiver antenna without human body and receiver antenna with human body

Data coming from measurement is brought to analysis by using computer program and is present in term of magnitude and phase of frequency transfer function, path loss, Power delay Profile , Mean Excess Delay, and RMS Excess Delay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคณะบุคคลเหล่านี้อย่างยิ่ง ได้แก่ อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญ์ สุพรรณกุล ที่ได้มีส่วนร่วมในการช่วยให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์

อีกทั้งข้าพเจ้ากราบขอบพระคุณ บิดาและมารดา ที่คอยเป็นกำลังใจ เปิดโอกาสและสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะสมบูรณ์ขึ้นมาไม่ได้เลยหากขาดคณะบุคคลเหล่านี้ ขอคุณพระศรีรัตนตรัยช่วยให้คณะบุคคลเหล่านี้จึงมีแต่ความสุขความเจริญตลอดไป



วีรเทพ ก้านแก้ว
เอกพงษ์ สนิทพจน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษา	3
บทที่ 2 เทคโนโลยี RFID	
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 ความหมายของ RFID และประวัติความเป็นมา	5
2.2.1 วิวัฒนาการของอาร์เอฟไอดี	7
2.3 ส่วนประกอบของระบบอาร์เอฟไอดี	8
2.3.1 องค์ประกอบของแท็ก (Tag/Transponder)	9
2.3.1.1 แท็กชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag)	10
2.3.1.2 แท็กชนิดพาสซีฟ (Passive Tag)	10
2.3.2 องค์ประกอบของเครื่องอ่าน (Reader) และหน้าที่การทำงาน	11
2.4 คลื่นความถี่ใช้งานของอาร์เอฟไอดี	12
2.5 การทำงานอาร์เอฟไอดี	12
2.5.1 การทำงานของแท็กอาร์เอฟไอดีแบบพาสซีฟ	12
2.5.2 การทำงานของแท็กอาร์เอฟไอดีแบบแอ็กทีฟ	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.3 หลักการและเทคนิคเบื้องต้นในการรับและส่งข้อมูล ระหว่างแท็กและเครื่องอ่าน	14
2.6 มาตรฐานของระบบอาร์เอฟไอดี	16
2.6.1 ISO 11784	16
2.6.2 ISO 11785	17
2.6.3 ISO 14443A	17
2.6.4 ISO 14443B	18
2.6.5 ISO 15693	18
2.6.6 ISO 15693	18
2.7 การประยุกต์ใช้งานอาร์เอฟไอดี	18
2.8 สรุป	21
บทที่ 3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์	
3.1 กล่าวนำ	22
3.2 แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี	22
3.2.1 การสูญเสียในอากาศว่าง	23
3.2.2 การสะท้อนและการหักเหของคลื่น	25
3.2.3 การเลี้ยวเบน	25
3.2.4 การดูดกลืน	26
3.3 ลักษณะพื้นฐานของการบดบัง	26
3.4 ระบบการวัดช่องสัญญาณ	27
3.4.1 การวัดช่องสัญญาณในโดเมนความถี่	27
3.4.2 การวัดสัญญาณในโดเมนเวลา	29
3.4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์	29
3.4.3.1 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านช่องสัญญาณ	29
3.4.3.2 ผลตอบสนองความถี่ช่องสัญญาณ	32
3.4.3.3 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.3.4 ค่าการกระจายทางเวลา	33
3.5 สายอากาศปากแตร (Horn Antenna)	34
3.6 สรุป	38
บทที่ 4 ขั้นตอนการทดลองและวิเคราะห์ผล	
4.1 กล่าวนำ	40
4.2 อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัด	41
4.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์	41
4.2.2 ชนิดของสายอากาศที่ใช้ในการทดลอง	42
4.2.2.1 สายอากาศปากแตร (Horn Antenna)	42
4.2.2.2 สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง	43
4.3 การทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 1	44
4.3.1 ขั้นตอนการทดลอง	44
4.3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	46
4.4 การทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 2	46
4.4.1 ขั้นตอนการวัดในลักษณะแบบที่ 2	46
4.4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	46
4.5 สรุป	48
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	
5.1 กล่าวนำ	49
5.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวัด	49
5.2.1 ฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศ (Magnitude)	49
5.2.2 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ (Phase)	51
5.2.3 สัญญาณทางด้านรับ (Received Signal)	52
5.2.4 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีและอัตราขยายเชิงวิถี (Path Loss and Path Gain)	53
5.2.5 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.6 ลักษณะการกระจายทางเวลาของสัญญาณ	56
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
6.1 กล่าวนำ	58
6.2 สรุปผลการวิเคราะห์ของสัญญาณกรณีไม่มีผลจากร่างกายของมนุษย์	58
6.3 สรุปผลการวิเคราะห์ของสัญญาณกรณีไม่มีผลจากร่างกายของมนุษย์	59
6.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา	59
บรรณานุกรม	60
ภาคผนวก ก	62
ภาคผนวก ข	65



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบ Auto-ID ในปัจจุบัน	5
2.2 เซอร์โรเบิร์ต อเล็กซานเดอร์ วัตสัน-วัตต์ กับเครื่องเรดาร์ในยุคแรก	6
2.3 ระบบอาร์เอฟไอดี	9
2.4 โครงสร้างภายในเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี	11
2.5 แสดงความถี่ย่านที่ระบบอาร์เอฟไอดีถูกใช้งาน	12
2.6 สนามแม่เหล็กจากกระบวนการคู่ควบแบบเหนี่ยวนำ	13
2.7 ตัวอย่างการเข้ารหัสแบบต่าง ๆ	14
2.8 ตัวอย่างการทำ ASK	15
2.9 เครื่องอ่านทำงานร่วมกับแท็กหลาย ๆ อันพร้อม ๆ กัน	15
2.10 ตัวอย่างของอัลกอริทึมในการป้องกันการชนกันของข้อมูล (Anti-Collision) ในแท็ก	16
2.11 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานในคลังสินค้า	19
2.12 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานในซูเปอร์มาร์เก็ต	20
2.13 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานระบบรักษาความปลอดภัยในการเข้า-ออกอาคาร	20
3.1 แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบทุกทิศทาง (Isotropic radiator)	24
3.2 ลักษณะการเลี้ยวเบนของคลื่น	26
3.3 การดูคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพลังงาน	26
3.4 เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ (VNA)	27
3.5 ไดอะแกรมโครงข่ายแบบ 2 พอร์ต	30
3.6 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน	33
3.7 แสดงรูปสายอากาศแบบปากแตร (Horn antenna)	35
3.8 แสดงรูปสายอากาศปากแตรรูปทรงพีระมิด	36
3.9 ค่าผิดพลาดเชิงเฟส (Phase Errors: \square)	37
3.10 ค่าส่วนประกอบการสูญเสีย (Loss Factor) ที่เกิดขึ้นในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1	บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการทดลอง	41
4.2	เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์	42
4.3	แสดงรูปสายอากาศแบบปากแตร (Horn antenna)	43
4.4	สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง	44
4.5	แบบจำลองลักษณะห้องและอุปกรณ์ที่ใช้	45
4.6	แบบจำลองของการทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณภายในห้องแบบที่ 1	45
4.7	แบบจำลองของการทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณภายในห้องแบบที่ 2	47
5.1	การส่งผ่านของสายอากาศกรณีที่ไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์	50
5.2	การส่งผ่านของสายอากาศกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์	50
5.3	เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่กรณีที่ไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์	51
5.4	เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่กรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์	51
5.5	สัญญาณทางด้วนรับ (Received Signal) กรณีที่ไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์	52
5.6	สัญญาณทางด้วนรับ (Received Signal) กรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์	52
5.7	การสูญเสียเชิงวิถี	53
5.8	อัตราการขยายเชิงวิถี	54
5.9	ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานในแต่ละมุม กรณีที่ไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์	55
5.10	ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานในแต่ละมุม กรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์	55
5.11	ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของสัญญาณ ในกรณีที่มีและไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์	56
5.12	ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของสัญญาณ ในกรณีที่มีและไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์	56
5.13	ค่าการแผ่ประวิงของสัญญาณ ในกรณีที่ไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์	57
5.14	ค่าการแผ่ประวิงของสัญญาณ ในกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	43
4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการนำ RFID (Radio Frequency Identification) มาใช้งานกันในงานหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นในบัตรชนิดต่าง ๆ เช่น บัตรประจำตัวประชาชน บัตรเอทีเอ็ม บัตรสำหรับผ่านเข้าออกห้องพัก บัตรโดยสารของสายการบิน บัตรจอดรถ ในฉลากของสินค้าหรือแม้แต่ใช้ฝังลงในตัวสัตว์เพื่อบันทึกประวัติ เป็นต้น การนำ RFID มาใช้งานก็เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบการผ่านเข้าออกบริเวณใดบริเวณหนึ่ง หรือเพื่ออ่านหรือเก็บข้อมูลบางอย่างเอาไว้ ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่เป็นฉลากสินค้า RFID ก็จะถูกนำมาใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า เพื่อให้สามารถทราบถึงที่มาที่ไปของสินค้าชิ้นนั้น ๆ ได้ เป็นต้น สำหรับรูปแบบของเทคโนโลยี RFID ที่ใช้ในการดังกล่าวก็มีทั้งแบบสมาร์ทการ์ดที่สามารถถูกเขียนหรืออ่านข้อมูลออกมาได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับเครื่องอ่านบัตรหรือคอนแทคเลสสมาร์ทการ์ด (Contact less Smart card), เหรียญ, ป้ายชื่อหรือฉลากซึ่งมีขนาดเล็กมากจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษหรือฝังเอาไว้ในตัวสัตว์ได้เลยทีเดียว

ในการนำระบบนี้ไปใช้งานจริงนั้น ประสิทธิภาพของระบบอาจลดลงได้เนื่องจากปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณในการสื่อสาร เช่น อุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ผนัง หน้าต่าง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีอีกปัจจัยหนึ่งที่สามารถส่งผลกระทบต่อเทคโนโลยี RFID ได้เช่นกัน นั่นก็คือ ร่างกายมนุษย์นั่นเอง เพราะมีความเป็นไปได้ที่ร่างกายมนุษย์จะไปรบกวนหรือบดบังเส้นทางการเดินทางของคลื่น ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจสอบว่าร่างกายมนุษย์นั้นส่งผลอย่างไรต่อช่องสัญญาณในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

เนื่องด้วยเทคโนโลยี RFID นี้ถูกนำมาใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่อยู่ภายในอาคารซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากสายอากาศนั้นอาจจะถูกลดทอนกำลังงาน (power attenuation) โดยปัจจัยต่าง ๆ อาทิเช่น ถูกลดทอนโดยผนังหรือกำแพงของอาคาร จากวัสดุอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงหรือแม้กระทั่งเกิดลักษณะของการจางหายแบบหลายวิถี (multipath fading หรือ small-scale fading) อันเนื่องมาจากการที่สิ่งกีดขวางต่าง ๆ รอบข้างส่งผลให้เกิดการสะท้อนและการหักเหของสัญญาณในหลายทิศทาง เป็นต้น ทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณที่ได้รับได้ แต่ยังมีปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น นั่นก็คือ ผลจากร่างกายมนุษย์ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลถึงคุณภาพของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องสัญญาณด้วยเช่นกัน ดังนั้นในปริภูมิตฤษฎีนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงผลจากร่างกายมนุษย์ที่มีต่อช่องสัญญาณเทคโนโลยี RFID ในประเด็นของการถูกบดบังโดยร่างกายมนุษย์ (human body shadowing) และการเกิดปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างร่างกายมนุษย์กับตัวสายอากาศที่มีมุมที่ต่าง ๆ กัน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ต้องการที่จะศึกษาถึงผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีต่อช่องสัญญาณ RFID ซึ่งพิจารณาอยู่บนพื้นฐานของการวัดในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร (indoor) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer: VNA) เป็นอุปกรณ์หลักในการวัดร่วมกับสายอากาศจำนวนสององค์ประกอบ จากนั้นผลการวัดที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่แสดงให้เห็นถึงผลการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากร่างกายมนุษย์ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีผลจากร่างกายและไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อการแพร่กระจายคลื่นได้ชัดเจนมากขึ้น

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในหัวข้อปริภูมิตฤษฎีนี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีต่อคุณลักษณะของช่องสัญญาณคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งพิจารณาบนพื้นฐานของการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ โดยใช้สายอากาศที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบกำหนดทิศทางแน่นอน โดยทำการวัดตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 2 GHz – 3 GHz ในขั้นตอนของการวัดนั้นได้ทำการทดลองอยู่ 2 ส่วนด้วยกันคือ กรณีที่มีร่างกายมนุษย์และกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์เพื่อเปรียบเทียบถึงผลที่เกิดขึ้นต่อช่องสัญญาณ โดยลักษณะวิธีการวัดที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้กำหนดขึ้นเพื่อเป็นการทดสอบผลกระทบที่สามารถเกิดขึ้นในกรณีที่น่าไปใช้งานจริง หลังจากทำการวัดผลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ในช่วงต้นเพื่อหาผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น อีกทั้งยังได้ทำการเปรียบเทียบผลระหว่างกรณีการวัดที่มีผลจากร่างกายมนุษย์และไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์ ซึ่งจะทำให้สามารถสังเกตเห็นผลกระทบที่เกิดขึ้นจากร่างกายมนุษย์ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่เกิดการบดบังของร่างกายอย่างสมบูรณ์นั้นจะเกิดการเปลี่ยนของพารามิเตอร์ต่าง ๆ มากกว่ากรณีอื่นๆ ซึ่งจะแสดงให้เห็นในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ปริญญาโทฉบับนี้จะทำการศึกษาถึงผลกระทบของร่างกายมนุษย์ที่มีต่อช่องสัญญาณเทคโนโลยี RFID โดยวิเคราะห์จากผลการวัดภายในอาคาร ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ดังกล่าวจะแสดงในรูปแบบของพารามิเตอร์ต่าง ๆ อันประกอบไปด้วยค่าการสูญเสียเชิงวิถี ค่าความผิดเพี้ยน โดยจะทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีผลและไม่มีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

จากแนวคิดและหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น สามารถสรุปเป็นขั้นตอนการศึกษาสำหรับปริญญาโทฉบับนี้ เริ่มจากศึกษาถึงขั้นตอนในการวัดเก็บค่าช่องสัญญาณ อุปกรณ์ที่จะนำมาใช้และรูปแบบวิธีการวัด โดยยึดหลักตามลักษณะการนำไปใช้งานจริง จากนั้นจึงทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องที่จะสามารถแสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณ อันประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ที่แสดงให้เห็นถึงกระจายทางเวลาของสัญญาณ ค่าความเพี้ยนของสัญญาณและค่าการลดทอนของกำลังงานของสัญญาณที่ได้รับได้ ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้ถือเป็นปัจจัยหลักในการวิเคราะห์ช่องสัญญาณ

บทที่ 2

เทคโนโลยี RFID

2.1 กล่าวนำ

แม้ว่าในช่วงนี้จะเป็นเศรษฐกิจถดถอยและอาจทำให้การซื้อหาอะไรจะต้องคิดหน้าคิดหลังอยู่บ้าง แต่เชื่อแน่ว่าทุกคนคงเคยได้เข้าไปเดินจับจ่ายซื้อของตามห้างสรรพสินค้าต่าง ๆ ในขณะที่นำสินค้าไปยังเคาน์เตอร์เพื่อชำระเงิน ก็จะคุ้นเคยกับภาพของพนักงานที่ใช้อุปกรณ์บางอย่างตรวจสอบแถบรหัสหรือที่เรียกกันว่า แถบบาร์โค้ด บนตัวสินค้าเพื่ออ่านข้อมูลบางอย่างออกมา ชื่อแม้ว่าฉลากแบบบาร์โค้ดจะเป็นที่นิยมและใช้กันมากในบ้านเรา แต่ทว่าวิธีการเก็บข้อมูลแบบดังกล่าวก็ยังคงมีจุดด้อยที่ควรได้รับการแก้ไขอยู่หลาย ๆ จุด ปัญหาที่เห็นได้ชัดข้อหนึ่งก็คือ ปัญหาในการอ่านค่าข้อมูลจากแถบดังกล่าวที่ต้องลำแสงตรวจจับยิงลงไปยังฉลากเพื่ออ่านค่ากลับหรือใช้กล้องซีดีขนาดเล็กจับภาพฉลากขึ้นมาเพื่ออ่านภาพก็ตาม ซึ่งถ้าหากว่าแถบข้อมูลดังกล่าวมีรอยเปื้อนหรือไม่ชัดเจน การอ่านค่ากลับมาก็มีความผิดพลาด นอกจากนั้นวิธีการอ่านค่าที่จำเป็นต้องนำเครื่องอ่านมาวางอยู่เหนือฉลากที่ต้องการอ่านค่าก็ไม่ใช่วิธีทางที่สะดวกสำหรับงานบางประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีฉลากต้องตรวจสอบเป็นจำนวนมาก ๆ นี้ก็ก็เป็นหนึ่งในหลาย ๆ เหตุผลที่ทำให้เกิดการพัฒนาระบบฉลากแบบใหม่ซึ่งมีชื่อเรียกว่า “RFID”

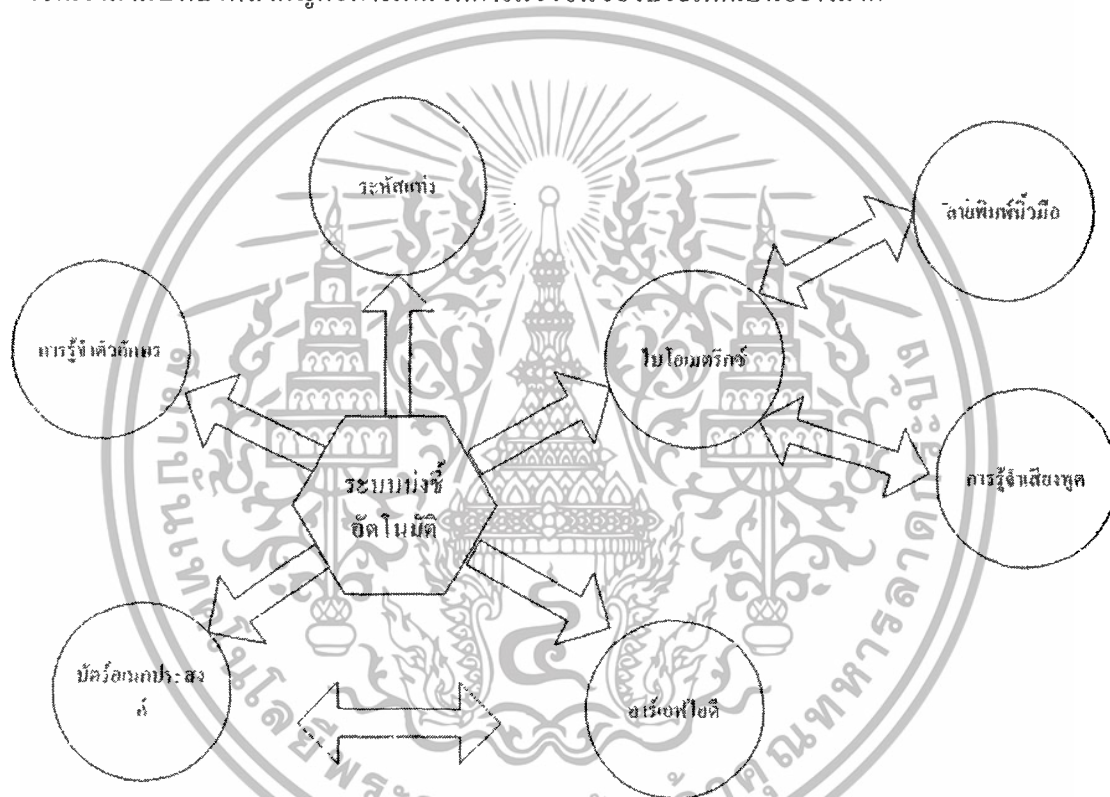
ระบบ RFID ไม่ใช่สิ่งที่ไกลตัวเรา หลายท่านอาจเคยใช้งานระบบ RFID ในชีวิตประจำวัน โดยไม่รู้ตัวก็ได้ เรามาลองทำความรู้จักกับระบบ RFID กันให้มากขึ้นอีกนิด

ในอนาคตอันใกล้การจับจ่ายซื้อสินค้าในห้างสรรพสินค้าอาจมีลักษณะดังนี้

- 1) เลือกสินค้าที่ต้องการใส่รถเข็น
- 2) เข็นรถเข้ามาที่บริเวณชั้มประตูทางออก
- 3) รายการสินค้าทั้งหมดที่อยู่ในรถเข็น จะแสดงราคาขึ้นที่หน้าจอตรงบริเวณชั้มประตูทางออกโดยอัตโนมัติ
- 4) จ่ายเงินให้กับพนักงานเก็บเงิน และ
- 5) ที่กั้นประตูเปิดเพื่อให้ผ่านออก

ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมาจะเป็นไปได้ก็ด้วยเทคโนโลยีของระบบ RFID

เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification) หรือการระบุด้วยคลื่นวิทยุ เป็นเทคโนโลยีที่เข้ามามีบทบาทต่อการบริหารจัดการธุรกิจรูปแบบใหม่และอำนวยความสะดวกต่อการดำเนินชีวิตอย่างมาก ซึ่งจะมีส่วนในการเปลี่ยนโฉมของสังคมเข้าสู่สังคมสารสนเทศของประเทศไทย เริ่มมีการใช้งานจริงหรือการทดสอบการใช้งานบ้างแล้ว ได้แก่ บัตรโดยสารรถไฟฟ้าใต้ดิน การทดสอบอาร์เอฟไอดี เพื่อการตรวจสอบย้อนกลับในอุตสาหกรรมอาหาร (food traceability) การใช้อาร์เอฟไอดีในการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง และการกระจายสินค้า จะเห็นได้ว่า อาร์เอฟไอดีเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มขีดการแข่งขันของประเทศเป็นอย่างมาก



รูปที่ 2.1 ระบบ Auto-ID ในปัจจุบัน

2.2 ความหมายของ RFID และประวัติความเป็นมา

RFID ย่อมาจาก Radio Frequency Identification เป็นเทคโนโลยีการระบุข้อมูลที่แสดงเอกลักษณ์ของวัตถุหรือบุคคลด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่ได้ถูกพัฒนามาในยุคคริสตทศวรรษ 1970 เพื่อวัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้ในการบ่งชี้วัตถุในระยะไกลได้ โดยมีจุดเด่นคือสามารถอ่านข้อมูลจากแท็ก (Tag) ได้หลาย ๆ แท็ก แบบไร้สัมผัส และสามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อความเป็ยกขึ้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก และสามารถจะอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง โดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในไมโครชิปที่อยู่ในแท็ก ในปัจจุบันได้มีการนำเอาอาร์เอฟไอดีไปประยุกต์ใช้งานในด้านอื่น ๆ นอกเหนือจากนำมาใช้ทดแทนระบบรหัสแท่งแบบเดิม ได้แก่ การใช้งานในบัตรชนิดต่าง ๆ เช่น บัตรประจำตัวพนักงาน บัตรโดยสาร บัตรสำหรับเปิดประตูห้องพักในโรงแรม บัตรที่จอดรถตามศูนย์การค้าต่าง ๆ แท็กสำหรับติดกระเป๋าเดินทาง แท็กสำหรับติดสินค้า หนังสือหรือฉลากยา บางครั้งเราอาจพบเห็นอยู่ในรูปของแท็กสินค้าซึ่งมีขนาดเล็กจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษได้ หรือเป็นแค่ปลูขขนาดเล็กฝังเอาไว้ในตัวสัตว์เพื่อบันทึกประวัติต่าง ๆ เป็นต้น

ประวัติการเริ่มต้นของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีนั้น ย้อนกลับไปถึงสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งประเทศในกลุ่มพันธมิตร และกลุ่มอักษะ ได้มีการใช้เรดาร์ ซึ่งถูกค้นพบโดย เซอร์โรเบิร์ต อเล็กซานเดอร์ วัตสัน-วัตต์ ในปี ค.ศ. 1935 ใช้ในการตรวจจับและเตือนเครื่องบินที่กำลังเข้ามา แต่ปัญหาการใช้เรดาร์ในยุคนั้นคือไม่สามารถแยกแยะเครื่องบินรบว่าเป็นของฝ่ายไหน ทางฝั่งเยอรมันได้ค้นพบว่าเมื่อนักบินบินหมุนตัวแล้ว จะทำให้มีการสะท้อนของสัญญาณเรดาร์ที่เปลี่ยนไป ทำให้ทราบว่าเครื่องบินที่บินเข้ามาเป็นของฝ่ายเยอรมัน ซึ่งเป็นจุดกำเนิดของอาร์เอฟไอดีแบบที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการสะท้อนคลื่นวิทยุ โดยไม่ต้องมีเครื่องส่งวิทยุ (passive) ก็ทำได้



รูปที่ 2.2 เซอร์โรเบิร์ต อเล็กซานเดอร์ วัตสัน-วัตต์ กับเครื่องเรดาร์ในยุคแรก

เมื่อเทคโนโลยีเรดาร์มีการพัฒนาขึ้น นักบินสามารถจะสื่อสารกับเครื่องบินหรือสถานีภาคพื้นดินหรือระหว่างนักบินด้วยกันเป็นระบบแยกแยะระหว่างมิตรกับศัตรูหรือ IFF (aircraft เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Identification Friend or Foe systems) โดยที่เมื่อเครื่องบินได้รับสัญญาณเรดาร์จากภาคพื้นดินหรือระหว่างเครื่องบิน ตัวเครื่องบินจะส่งสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ตอบกลับไป ทำให้ทราบว่าเป็นเครื่องบินของฝ่ายไหน ซึ่งถือว่าเป็นการสื่อสารอาร์เอฟไอดีแบบที่วัตถุส่งคลื่นจากตัวเองไปยังผู้ถาม (active)

ยุคเริ่มแรกของการใช้อาร์เอฟไอดี ในเชิงพาณิชย์ได้แก่ระบบกันขโมย (EAS: Electric Article Surveillance) ในห้างสรรพสินค้า ซึ่งตัวสินค้าจะมีการติดอาร์เอฟไอดีแบบ 1 บิตซึ่งจะมีค่าเป็น “0” หรือ “1” เมื่อสินค้ามีการชำระเงินตัวบิตจะถูกตั้งค่าเป็น “0” สามารถนำออกจากร้านได้ ในกรณีที่ไม่มีชำระสินค้า เมื่อนำสินค้าผ่านประตูเครื่องตรวจแท็กกันขโมย เมื่ออ่านค่าจากวัตถุในถุงของลูกค้าเป็น “1” ก็จะมีสัญญาณเตือนขึ้นมา

2.2.1 วิวัฒนาการของอาร์เอฟไอดี

อย่างที่ได้อธิบายข้างต้น จุดเริ่มต้นของอาร์เอฟไอดี มีมาตั้งแต่ยุคสงครามโลกครั้งที่ 2 ทางด้านการพัฒนา ได้มีการให้สิทธิบัตรของอเมริกาเกี่ยวกับอาร์เอฟไอดีอันแรกให้กับ Mario W. Cardullo เป็นสิทธิบัตรเกี่ยวกับแท็กแบบอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อวันที่ 23 มกราคม ค.ศ. 1973 และในปีเดียวกันได้มีการมอบสิทธิบัตรแบบพาสทีฟแก่ Charles Walton โดยประยุกต์ใช้งานกับการเปิดล็อกประตู และ Charles Walton ได้อนุญาตสิทธิให้บริษัท Schlage เป็นผู้ผลิต

ในช่วงปี ค.ศ. 1970 รัฐบาลสหรัฐอเมริกา ได้มีการพัฒนาเกี่ยวกับอาร์เอฟไอดีเหมือนกันที่ศูนย์วิจัยแห่งชาติ ลอส อลามอส (Los Alamos National Laboratory) มลรัฐนิวเม็กซิโกใช้สำหรับติดตามวัตถุนิวเคลียร์ให้กับกระทรวงพลังงาน โดยใช้อาร์เอฟไอดีติดกับรถบรรทุกและเครื่องอ่านที่ประตูเข้าออก และเมื่อทีมนักวิทยาศาสตร์ของศูนย์วิจัยแห่งนี้ได้ออกมาตั้งบริษัทและพัฒนาเป็นระบบเก็บค่าทางด่วนอัตโนมัติ

ในขณะเดียวกันกระทรวงเกษตรของสหรัฐมีความต้องการแท็กแบบพาสซีฟชนิดความถี่ 125 KHz สำหรับติดโคเลียง เพื่อใช้แกะแยะว่าโคตัวไหนฉีดวัคซีนแล้วหรือไม่ ทางศูนย์วิจัยแห่งชาติ ลอส อลามอส ได้พัฒนาอาร์เอฟไอดีความถี่ 125 KHz สำหรับฝังใต้ผิวหนังของโค และได้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ในหลายรูปแบบ และต่อมาได้มีการพัฒนาไปที่ความถี่ 13.56 MHz

ในช่วงต้นปี ค.ศ. 1990 บริษัท ไอบีเอ็ม ได้พัฒนาและจดสิทธิบัตร อาร์เอฟไอดี ในย่านความถี่สูงยิ่ง UHF แต่เมื่อ ไอบีเอ็ม มีปัญหาทางการเงิน ได้ขายสิทธิบัตรให้กับบริษัท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

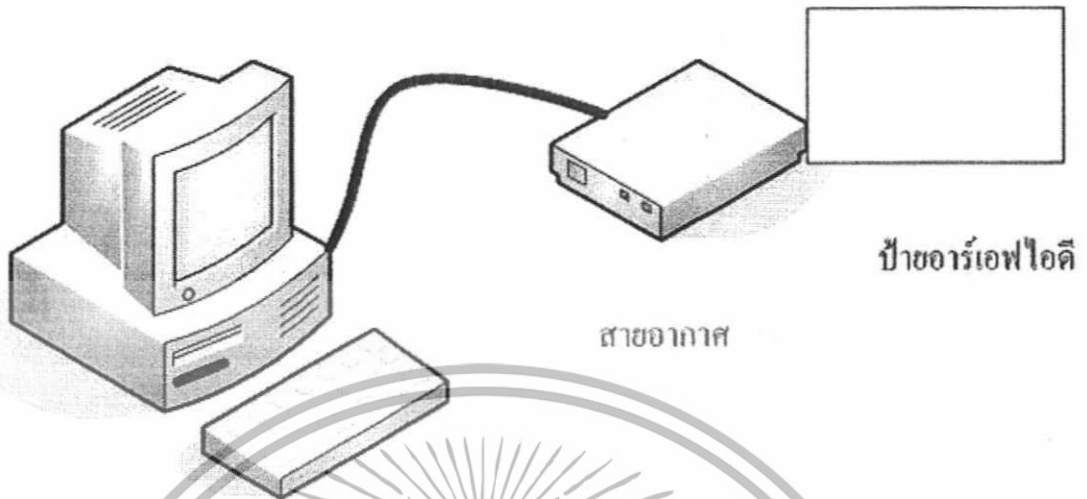
Intermec ในช่วงกลาง ค.ศ. 1990 ในช่วงนั้นการใช้งานยังไม่แพร่หลายนักเนื่องจากอุปกรณ์ยังมีราคาแพงมาก

อาร์เอฟไอดีในย่าน UHF กลับมาแจ้งเกิดอีกครั้งในปี ค.ศ. 1999 เมื่อหน่วยงาน UCC (Uniform Code Council) หน่วยงาน EAN International บริษัท Procter & Gamble และบริษัท Gillette ได้ร่วมกันก่อตั้งศูนย์ Auto-ID ขึ้นที่สถาบันเทคโนโลยีแมสซาชูเซตส์ (MIT) ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อพัฒนาแนวการใช้อาร์เอฟไอดีในห่วงโซ่อุปทาน (supply chain) ในช่วงปี ค.ศ. 1999 – 2003 Auto-ID ได้รับการสนับสนุนจากบริษัทเอกชนจำนวนมาก และได้มีการขยายศูนย์ Auto-ID ไปยังประเทศออสเตรเลีย อังกฤษ สวิตเซอร์แลนด์ ญี่ปุ่น และจีน ได้มีการพัฒนามาตรฐานใหม่เรียกว่า รหัสสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ EPC ในเชิงพาณิชย์ ส่วนศูนย์ Auto-ID ได้ปิดตัวลงอย่างเป็นทางการ ยังคงเหลือแค่ส่วนปฏิบัติการวิจัยและพัฒนา ในเดือนธันวาคม ค.ศ. 2004 ทาง EPCglobal ได้รับรองมาตรฐาน EPCGen2

2.3 ส่วนประกอบของระบบอาร์เอฟไอดี

ในระบบอาร์เอฟไอดี มีองค์ประกอบหลัก ๆ อยู่ 3 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือ แท็ก หรือ ทรานสปอนเดอร์ (tag หรือ Transponder) ที่ใช้ติดกับวัตถุต่าง ๆ ที่เราต้องการ โดยแท็กนั้นจะประกอบด้วยสายอากาศและไมโครชิปที่มีการบันทึกหมายเลข (ID) หรือข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นๆ ส่วนที่สองคือ เครื่องสำหรับอ่านแท็ก (Interrogator/Reader) ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ถ้าเปรียบเทียบกับระบบรหัสแท่ง แท็กในระบบอาร์เอฟไอดี เปรียบได้กับตัวรหัสแท่งที่ติดกับฉลากของสินค้า และเครื่องอ่านในระบบอาร์เอฟไอดี คือเครื่องอ่านรหัสแท่ง (Scanner) โดยข้อแตกต่างของทั้งสองระบบคือ ระบบอาร์เอฟไอดี จะใช้คลื่นความถี่วิทยุในการอ่าน/เขียน ส่วนระบบรหัสแท่งจะใช้แสงเลเซอร์ในการอ่าน โดยข้อเสียของระบบรหัสแท่งคือ การอ่าน (สแกน) เป็นการใช้แสงในการอ่านรหัสแท่ง ซึ่งจะต้องไม่มีสิ่งกีดขวาง หรือต้องอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกับลำแสงที่ยิงจากเครื่องสแกน และสามารถอ่านได้ที่ละรหัสในระยะเวลาสั้น ๆ แต่ระบบอาร์เอฟไอดี มีความแตกต่างโดยสามารถอ่านรหัสจากแท็กได้โดยไม่ต้องเห็นแท็ก หรือแท็กนั้นซ่อนอยู่ภายในวัตถุและไม่จำเป็นต้องอยู่ในแนวเส้นตรงกับคลื่น เพียงอยู่ในบริเวณที่สามารถรับคลื่นวิทยุได้ก็สามารถอ่านข้อมูลได้ และการอ่านแท็กในระบบอาร์เอฟไอดี ยังสามารถอ่านได้ที่ละหลาย ๆ แท็กในเวลาเดียวกัน โดยระยะเวลาในการอ่านข้อมูลได้ไกลกว่าระบบรหัสแท่งอีกด้วย ส่วนที่สาม ได้แก่ ระบบประยุกต์ใช้งาน รวมถึงระบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ประยุกต์ใช้งาน หรือระบบฐานข้อมูล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระบบการใช้งานที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบข้อมูลสินค้า ระบบบริหารงานบุคคล ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เครื่องอ่าน
รูปที่ 2.3 ระบบอาร์เอฟไอดี

2.3.1 องค์ประกอบของแท็ก (Tag/Transponder)

โครงสร้างภายในของแท็กจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ส่วนของไมโครชิป (Microchip) ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุ เช่น รหัสสินค้า และขนาดขนาดเล็ก หรือแบบบาง ๆ ซึ่งทำหน้าที่เป็นเสาอากาศ (Antenna) สำหรับรับ-ส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุและสร้างพลังงานป้อนให้ส่วนของไมโครชิป

โดยทั่วไปตัวแท็กอาจอยู่ในรูปแบบที่เป็นกระดาษ แผ่นฟิล์ม พลาสติก มีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำเอาไปผลิต และยังมีหลายรูปแบบ เช่น บัตรเครดิต เหยียบยวบ กระดุม ฉลากสินค้า แคลปซูล หรือแท็ก เป็นต้น ทั้งนี้เราสามารถแบ่งแท็กที่มีใช้งานกันอยู่ได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ ได้แก่

- แท็กแบบพาสซีฟ
- แท็กแบบกึ่งพาสซีฟ
- แท็กแบบแอ็กทีฟ

โดยแต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันตามการใช้งาน ราคา โครงสร้างและหลักการทำงาน

นอกจากการแบ่งจากชนิดที่ว่ามีมาแล้ว เราสามารถที่จะแบ่งประเภทของแท็กจากรูปแบบการอ่านและหรือบันทึกข้อมูลได้เป็น 3 แบบคือ

- แท็กชนิดที่สามารถถูกอ่านและเขียนข้อมูลได้หลายครั้ง (Read-Write)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แท็กชนิดที่เขียนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นแต่อ่านได้อย่างหลายครั้ง (Write-Once Read-Many หรือ WORM)
- แท็กชนิดที่อ่านได้เพียงอย่างเดียว (Read-Only) หรือเรายังสามารถแบ่งชนิดของ แท็กตามความถี่ของการใช้งาน เช่น แท็กย่านความถี่ต่ำ (LF) 125-134 กิโลเฮิร์ตซ์ แท็กย่านความถี่สูง (HF) 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ แท็กย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF) 433 และ 900 เมกะเฮิร์ตซ์ และแท็กย่านไมโครเวฟ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์

2.3.1.1 แท็กชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag)

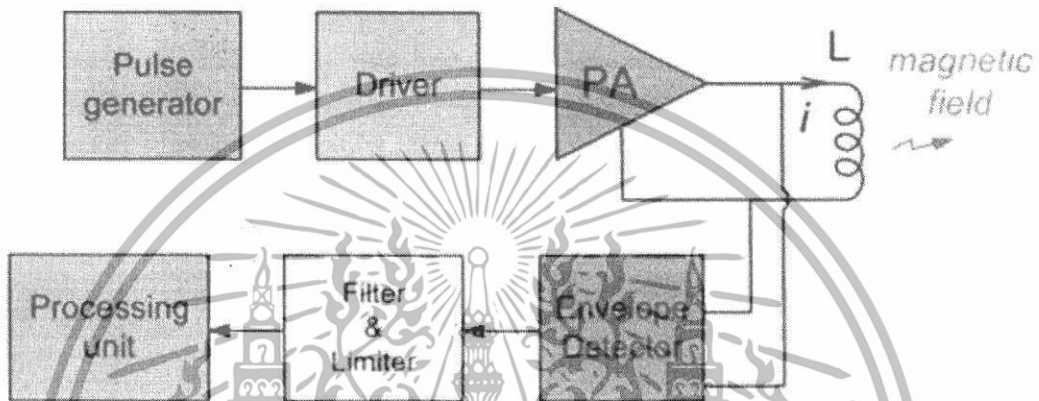
แท็กชนิดนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็ก เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แท็กทำงาน โดยปกติ โดยแท็กชนิดนี้มีฟังก์ชันการทำงานทั่วไปทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงในแท็กได้ และการที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้แท็กชนิดแอ็กทีฟมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำแท็กไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีการซีล (seal) ที่ตัวแท็กจึงไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าสามารถออกแบบวงจรของแท็กให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี แท็กชนิดแอ็กทีฟนี้จะมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ มีกำลังส่งสูงและระยะการรับส่งข้อมูลไกลสูงสุดถึง 6 เมตร ซึ่งไกลกว่า แท็กชนิดพาสซีฟ นอกจากนี้ยังทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี แม้แท็กชนิดนี้จะมีข้อดีอยู่หลายข้อแต่ก็มีข้อเสียอยู่ด้วยเหมือนกัน เช่น ราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด

2.3.1.2 แท็กชนิดพาสซีฟ (Passive Tag)

แท็กชนิดนี้จะไม่มียุแบตเตอรี่อยู่ภายในหรือไม่จำเป็นต้องรับแหล่งจ่ายไฟใด เพราะจะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล (มีวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัว) หรือที่เรียกว่าอุปกรณ์รับ-ส่ง จึงทำให้แท็กชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบาและเล็กกว่าแท็กชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสุดเพียง 1.5 เมตร ซึ่งเป็นระยะการอ่านที่สั้น มีหน่วยความจำขนาดเล็กซึ่งโดยทั่วๆ ไปประมาณ 32 ถึง 128 บิต และตัวเครื่องอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวและกำลังที่สูง นอกจากนี้แท็กชนิดพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่าแท็กชนิดแอ็กทีฟและอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าทำให้แท็กชนิดพาสซีฟนี้เป็นที่นิยมมากกว่าชนิดแอ็กทีฟ

2.3.2 องค์ประกอบของเครื่องอ่าน (Reader) และหน้าที่การทำงาน

โดยหน้าที่ของเครื่องอ่านก็คือ การเชื่อมต่อเพื่ออ่านหรือเขียนข้อมูลลงในแท็กด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ ภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วย เสาอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดง เพื่อใช้รับ-ส่งสัญญาณ ภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุ และวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูลซึ่งมักจะเป็นวงจรจำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.4 โครงสร้างภายในเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี

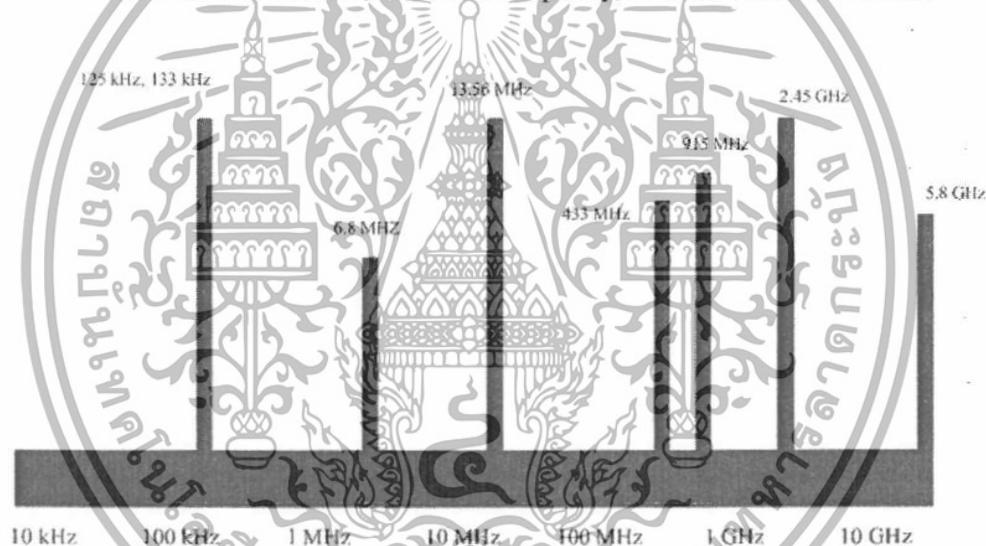
รูปที่ 2.4 โครงสร้างภายในเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี ของส่วนตัวอ่านในระบบ RFID ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเริ่มจากส่วนกำเนิดสัญญาณรูปเหลี่ยม (pulse generator) ความถี่พาห้เพื่อส่งสัญญาณไปยังภาคขับ (driver) เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการขับภาคขยายกำลัง (Power Amplifier, AF) ซึ่งทำหน้าที่ขับกระแสสัญญาณต่อไปยังขดลวดเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กเชื่อมโยไปยังส่วนแท็ก ขณะเดียวกัน ส่วนขดลวดดังกล่าวก็จะทำหน้าที่เสมือนเป็นสายอากาศ (Antenna) รับสัญญาณสนามแม่เหล็กความถี่คลื่นพาห้ที่ถูกมอดูเลตเชิงขนาดจากข้อมูลจำเพาะของส่วนแท็ก จากนั้นส่วนตรวจจับขอบ (envelope detector) ก็จะแยกข้อมูลออกจากสัญญาณคลื่นพาห้และขยายจนกระทั่งได้ระดับศักดิ์คาของข้อมูลตามมาตรฐานลอจิก เพื่อส่งต่อเข้าส่วนประมวลผลข้อมูล (processing unit) ต่อไป โดยทั่วไปหน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ภายในเครื่องอ่านมักใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ภายในโปรแกรม จะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล (decoding) ที่ได้รับ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยลักษณะ ขนาด และรูปร่างของเครื่องอ่านจะแตกต่างกันไปตามประเภทการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็ก หรือติดผนัง จนไปถึงขนาดใหญ่เท่าประตู (Gate size) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 คลื่นความถี่ใช้งานของอาร์เอฟไอดี

ในปัจจุบันคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบอาร์เอฟไอดีจะอยู่ในย่านความถี่พลเรือน ISM (Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดในการใช้งานในเชิงการแพทย์ วิทยาศาสตร์ และอุตสาหกรรม สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสาร โดยทั่วไป โดยมี 4 ย่านความถี่ใช้งาน คือ สำหรับคลื่นพาหะที่ใช้กันในระบบอาร์เอฟไอดี อาจแบ่งออกได้เป็น 4 ย่านใหญ่ ๆ ได้แก่

- ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency : LF) ต่ำกว่า 150 กิโลเฮิร์ตซ์ (kHz)
- ย่านความถี่สูง (High Frequency : HF) 13.56/27.125 เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz)
- ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency: UHF) 433/868/915 เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz)
- ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave frequency) 2.45/5.8 กิกะเฮิร์ตซ์ (GHz)



รูปที่ 2.5 แสดงความถี่ย่านที่ระบบอาร์เอฟไอดีถูกใช้งาน

2.5 การทำงานอาร์เอฟไอดี

2.5.1 การทำงานของแท็กอาร์เอฟไอดีแบบพาสซีฟ

แท็กชนิดนี้ทำงานได้ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอกใด ๆ โดยทั่วไปการทำงานของแท็กอาร์เอฟไอดีแบบพาสซีฟ ในย่านความถี่ต่ำและสูง (LF และ HF) จะใช้หลักการคู่ควบแบบเหนี่ยวนำ (Inductive coupling) ซึ่งเกิดจากการอยู่ใกล้กันของขดลวดจากเครื่องอ่านที่กำลังทำงาน และสายอากาศของแท็กทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานจากเครื่องอ่านไปยังไมโครชิปในแท็กผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เมื่อไมโครชิปได้รับพลังงานก็จะทำงานตามลักษณะเฉพาะของข้อมูล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัสประจำตัว ปฏิกริยาของไมโครชิปดังกล่าวเครื่องอ่านจะรับรู้ได้ผ่านสนามแม่เหล็กและจะทำการตีความเป็นข้อมูลดิจิทัลแสดงถึงรหัสประจำตัวที่ส่งมาจากแท็กได้ ลักษณะเงื่อนไขในการทำการเหนี่ยวนำแบบซึกพาทำให้การอ่านข้อมูลทำได้ไม่ไกลมากนัก โดยทั่วไประยะอ่านสูงสุดจะประมาณ 1 เมตรขึ้นอยู่กับกำลังงานของเครื่องส่งและคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ โดยปกติแท็กชนิดนี้มักมีหน่วยความจำขนาดเล็ก โดยทั่วไปประมาณ 16-1,024 ไบต์มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ราคาต่อหน่วยต่ำ ไมโครชิปหรือไอซีของแท็กชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แบบแท่ง หรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ไปจนถึงขนาดใหญ่สะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดการใช้งานที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.6 สนามแม่เหล็กจากกระบวนการคู่ความแบบเหนี่ยวนำ

ส่วนในระบบความถี่สูงยิ่ง (UHF) แทนที่จะใช้การส่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะใช้การคู่ควบบแบบแผ่กระจาย (Propagation coupling) โดยที่สายอากาศของเครื่องอ่านจะทำการส่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในรูป

2.5.2 การทำงานของแท็กอาร์เอฟไอดีแบบแอ็กทีฟ

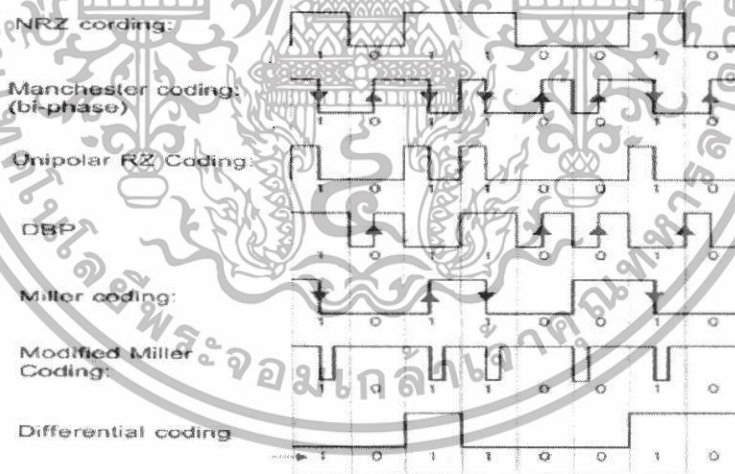
แท็กชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ภายนอก เพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรภายในทำงาน โดยหลักใหญ่อาจสามารถแบ่งตามหลักการทำงานได้เป็น ทรานสปอนเดอร์แบบแอ็กทีฟ ซึ่งจะทำการส่งข้อมูลออกก็ต่อเมื่อได้รับสัญญาณจากเครื่องอ่านและแบบเครื่องบอกตำแหน่งหรือเบคอน (beacon) ซึ่งสัญญาณจะถูกปล่อยออกมาเป็นระยะ ๆ ตลอดเวลาการใช้งานของแท็กหรือทรานสปอนเดอร์แบบแอ็กทีฟนั้น อาจพบได้ในระบบ เช่น ระบบจ่ายเงินในทางด่วน หรือด่าน

ตรวจ ขณะที่เบคอนอาจพบได้ในระบบที่ต้องการการบ่งชี้พิกัดแบบเวลาจริง (Real-time locating) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

system, RTLS) เช่น การจัดการการขนส่งสินค้า เป็นต้น โดยเท็กแบบนี้สามารถมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ และสามารถอ่านได้ในระยะไกลสูงสุดประมาณ 100 เมตร ข้อเสียของเท็กแบบนี้คือ มีราคาต่อหน่วยสูง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีอายุการใช้งานที่จำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ซึ่งจะมีอายุการใช้งานประมาณ 3-7 ปี

2.5.3 หลักการและเทคนิคเบื้องต้นในการรับและส่งข้อมูลระหว่างเท็กและเครื่องอ่าน

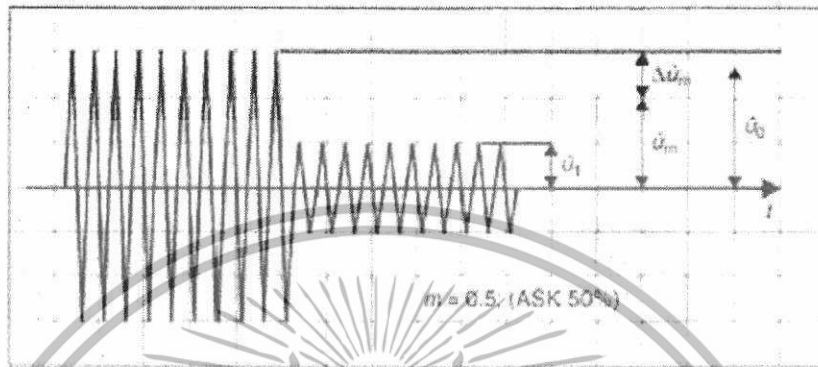
กระบวนการส่งสัญญาณระหว่างอาร์เอฟไอดีและเครื่องอ่านโดยทั่วไป เป็นไปตามกระบวนการทางด้านการสื่อสารระบบดิจิทัล นั่นคือ การเตรียมข้อมูลดิจิทัลที่จะส่งผ่านโดยการทำการเข้ารหัสให้อยู่ในเหมาะสมสำหรับการส่งผ่านช่องสัญญาณ (Channel) คำว่าเหมาะสม หมายถึงว่าสัญญาณมีโอกาสจะถูกส่งผ่านช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน (noise) โดยมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ซึ่งวิธีการเข้ารหัสนั้นมีได้หลายแบบโดยการเลือกใช้นั้นขึ้นอยู่กับช่องสัญญาณที่จะส่งผ่าน ตัวอย่างเทคนิคการเข้ารหัส เช่น การเข้ารหัสสัญญาณแบบ NRZ การเข้ารหัสแบบ Manchester การเข้ารหัสแบบ Miller การเข้ารหัสแบบ Differential เป็นต้น



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการเข้ารหัสแบบต่าง ๆ

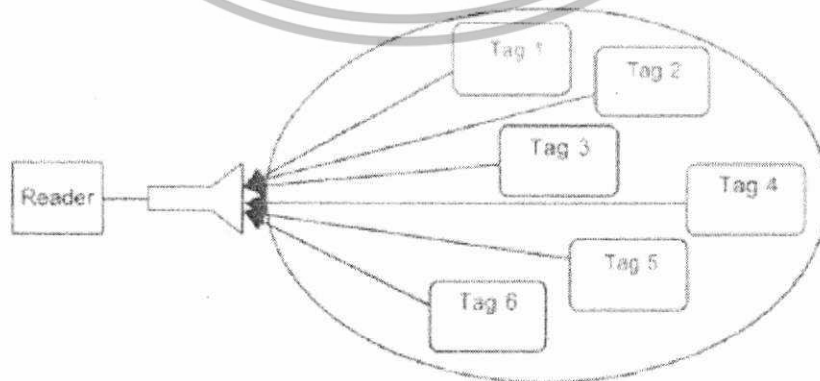
ซึ่งหลังจากการเข้ารหัสสัญญาณแล้ว สัญญาณจะถูกทำการกล้ำสัญญาณ (Modulation) กับคลื่นพาหะย่านที่สูงกว่าเพื่อทำการส่งรับข้อมูลในย่านนั้น ๆ การกล้ำสัญญาณ หมายถึงการปรับเปลี่ยนค่าต่าง ๆ ของคลื่นพาหะซึ่งเป็นคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น แอมพลิจูด เฟส หรือ ความถี่ ตามค่าของข้อมูลที่จะส่ง ตัวอย่างเช่น ในการกล้ำสัญญาณแบบ ASK (amplitude shift keying) เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

keying) ค่าแอมพลิจูดของคลื่นพาหะจะถูกเปลี่ยนอยู่ระหว่างค่าสองค่าขึ้นกับค่าไบนารีของสัญญาณที่ถูกเข้ารหัสดังเช่นในภาพที่ 2.8



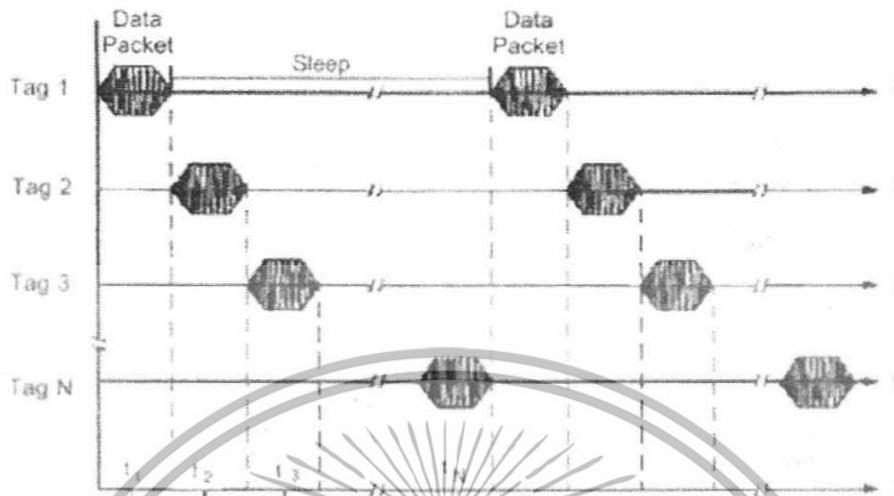
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการทำ ASK

นอกจากนี้ ข้อดีอีกส่วนหนึ่งของระบบอาร์เอฟไอดี ก็คือการอ่านข้อมูลจากแท็กได้หลาย ๆ แท็กในเวลาเดียวกัน โดยระบบป้องกันการชนกันของสัญญาณข้อมูล (Anti-collision) ซึ่งจะทำให้การอ่านข้อมูลของแท็กจำนวนมากทำได้อย่างรวดเร็วพร้อม ๆ กัน ตัวอย่างการป้องกันการชนกันเช่นการใช้เทคนิค TDMA (Time-Division Multiple Access) ซึ่งจะเป็นการจัดลำดับการอ่านค่าจากแท็กในเวลาต่าง ๆ กันไปทำให้สามารถอ่านได้ครบทุกแท็กเป็นต้น ยิ่งไปกว่านั้น อาร์เอฟไอดี ยังมีกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับ เช่น การทำผลรวมตรวจสอบ (Checksum)



รูปที่ 2.9 เครื่องอ่านทำงานร่วมกับแท็กหลาย ๆ อันพร้อม ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างของอัลกอริทึมในการป้องกันการชนกันของข้อมูล (Anti-Collision) ในแท็ก

2.6 มาตรฐานของระบบอาร์เอฟไอดี

โดยระบบมาตรฐานของการใช้งานระบบ RFID มี 2 หน่วยงานหลัก ได้แก่ International Organization of standard หรือ ISO (<http://www.ISO.org>) และ (<http://www.epcglobalinc.org>) โดยที่มาตรฐานของ RFID มีกำหนด 3 ด้านดังนี้

- มาตรฐานด้านเทคโนโลยี (Technology)
- มาตรฐานด้านรูปแบบข้อมูล (Data Format)
- มาตรฐานการทดสอบ (Conformance)

2.6.1 ISO 11784

เป็นมาตรฐานที่กำหนดเกี่ยวกับรายละเอียดของ ID ขนาด 64 บิต (8 ไบต์) Bit no :

Information Description

- 1 Animal (1)/non-animal (0) กำหนดความเป็นสัตว์หรือไม่ใช่สัตว์
- 2-15 Reserved สงวนไว้ในอนาคต
- 16 Data block (1) follow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- No data block (0)
 - 17-26 country code
 - (ISO 3166) THA = 764 กำหนดรหัสประเทศ ถ้าเป็น 999 เป็นการทดสอบตัวส่ง
 - 27-64 National identification Code รหัสของสัตว์ที่มีรหัสเดียวในประเทศเท่านั้น
- ขึ้นอยู่กับข้อตกลงในแต่ละประเทศซึ่งสามารถใช้โปรแกรมได้ 274,877,906,944 ตัว
- Country code 10 bit = 1,024 ประเทศ ซึ่งประเทศไทยมีรหัสเป็น 764 ตาม ISO 3166 ถ้าเป็นระบบ Manufacture code ซึ่งต้องผ่านการรับรองจาก ICAR (International Committee for Animal Recording) ในการทดสอบการทำงานและความเป็นมาตรฐานที่ ISO 11784-85 ระบุในมาตรฐานที่ ICAR ออกให้กับผู้ผลิตที่ผ่านการรับรองแล้วจะขึ้นต้นด้วย 9XX แทนการใช้ Country code ตาม ISO 3166

2.6.2 ISO 11785

เป็นมาตรฐานที่กำหนดรายละเอียดของมาตรฐานการส่งข้อมูลระหว่างชิพ กับตัวอ่าน และกำหนดความถี่ของคลื่นพาหะและกำหนดมาตรฐานของเครื่องอ่าน ความถี่คลื่นพาหะเครื่องอ่านที่ 134.2 KHz คาบเคลื่อนได้ 1.8 KHz ข้อมูลเข้ารหัสแบบ DBP (Differential Bi-phase code) โดยใช้ในการทำโพลมอดูเลชัน แบบไม่มีคลื่นพาหะย่อย (Sub carrier) ขนาดความเร็วของข้อมูลที่ส่งเท่ากับ 4194 bit/s (KHz หารด้วย 32)

2.6.3 ISO 14443A

มาตรฐาน ISO 14443A เป็นมาตรฐานที่ถูกพัฒนาโดย Phillip ซึ่งเป็นผู้พัฒนารายแรกของโลก สำหรับ Contactless Smart Card มีผู้ใช้งานบัตรสมาร์ทการ์ดมาตรฐานนี้มากที่สุดในโลกมีส่วนสำคัญของมาตรฐานดังนี้

- การรับส่งข้อมูลและพลังงานไฟฟ้าระหว่างเครื่องอ่านเครื่องเขียน กับบัตรสมาร์ทการ์ดถึง 10 เซนติเมตร (ขึ้นอยู่กับสายอากาศ)
- ระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องเขียน กับบัตรสมาร์ทการ์ดด้วยความเร็วสูงถึง 106 kbps
- ความถี่วิทยุ (Radio Frequency) 13.56 MHz
- ความถูกต้องของระบบรับส่งข้อมูลสูงด้วยเทคนิคการทำ 16 bit CRC, Parity ,Bit coding และ Bit Counting
- มีระบบป้องกันการ กอบปีข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาหรือข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เวลาในการอ่าน/เขียนข้อมูล กับบัตรสมาร์ทการ์ด น้อยกว่า 100 มิลลิวินาที

2.6.4 ISO 14443B

มาตรฐาน ISO 14443B เป็นมาตรฐานเปิดมีหลายบริษัทเป็นผู้ร่วมพัฒนา โดยมาตรฐานมีความใกล้เคียงกับ ISO 14443A ต่างกับเฉพาะที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพเพิ่มเติมจาก ISO 14443A เช่น ลักษณะการมอดูเลตสัญญาณซึ่งเป็นแบบ 10% ASK, BPSK (Bit Encoding) แต่ยังมีข้อด้อยในหลายๆ เรื่องเนื่องจากมาตรฐานในส่วนสำคัญๆ ถูก ISO 14443A บังคับอยู่ แต่ข้อดีคือเป็นมาตรฐานเปิดทำให้มีผู้ผลิตมากมาย มีการแข่งขันด้านราคาและคุณภาพมากขึ้น

2.6.5 ISO 15693

เป็นมาตรฐานที่ร่วมกันพัฒนาระหว่าง Phillips และ Texas Instrument สำหรับ ISO 15693 นั้นมีจุดประสงค์ในการใช้งานเพื่อเป็นแผ่นป้ายบอกข้อมูล RFID มากกว่าจะเป็นสมาร์ทการ์ดแบบใช้งานทั่วไป ซึ่งจะมีลักษณะรูปร่างเป็น Label สามารถนำไปแปะบนกล่องสินค้า หรือตัวสินค้าต่างๆ เพื่อใช้งานแทน บาร์โค้ด โดยสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ด้วยการโปรแกรมข้อมูลเข้าไปในตัวชิปใหม่ มีระยะการทำงานไกลถึง 1 เมตรจากเครื่องอ่าน(ขึ้นอยู่กับการออกแบบสายอากาศ) นอกจากนี้ตัวเครื่องอ่านยังสามารถอ่านข้อมูลจากชิปได้พร้อมๆ กันหลายชิปโดยใช้กรรมวิธีการแยกแยะชื่อจากชิปแต่ละตัวได้อย่างดี

2.6.6 ISO 15693

สามารถแบ่งเป็นมาตรฐานย่อยในการใช้งานได้อีกหลายรูปแบบ เช่นเมื่อนำไปใช้งานในขบวนการค้าคงคลัง หรือแถบบาร์โค้ด ก็จะมีหน่วยงานมาตรฐาน EPC (Electronic Product Code) เป็นผู้กำหนดรายละเอียดปลีกย่อยลงไป เพื่อให้สามารถใส่ระบบบาร์โค้ด ซึ่งถูกพัฒนาเป็นมาตรฐานมาก่อน โดยไม่มีปัญหาใดๆ สำหรับ ISO 15693 สามารถติดตามข้อมูลเพิ่มเติมได้ใน RFID Technology เพราะมีความเป็น RFID อยู่มากจึงไม่ขอกว่าในส่วนของสมาร์ทการ์ดทั่วไป

2.7 การประยุกต์ใช้งานอาร์เอฟไอดี

ในปัจจุบันการนำระบบอาร์เอฟไอดีมาประยุกต์ใช้งานหลากหลายด้าน เช่น ระบบคลังสินค้า ด้านระบบการขนส่ง ด้านการทหาร ด้านการแพทย์และสาธารณสุข ด้านการเกษตรกรรมและปศุสัตว์ ธุรกิจการบิน ธุรกิจการเงิน การศึกษา การท่องเที่ยว การผลิตอุตสาหกรรม ตัวอย่างการใช้งานได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

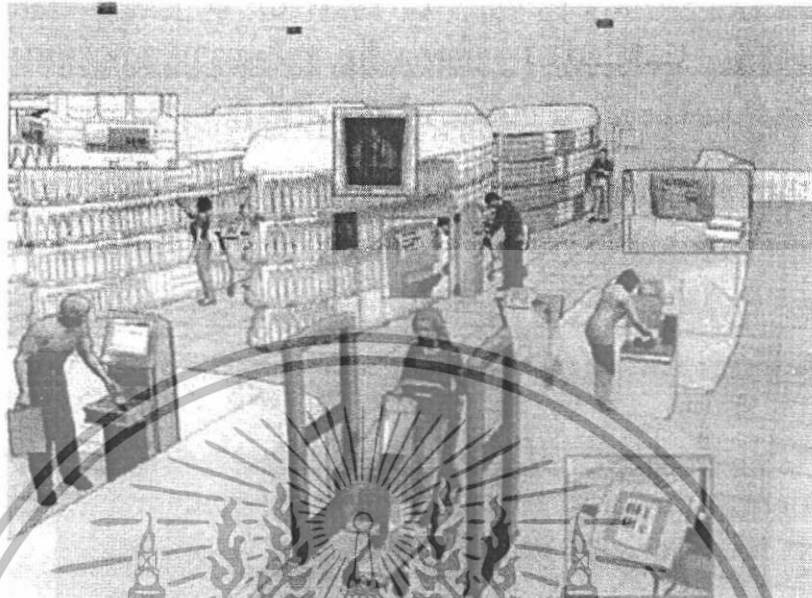
- ระบบห่วงโซ่อุปทาน การค้าปลีก การผลิต การกระจายสินค้า และลอจิสติกส์ ยกตัวอย่างการใช้งานในโรงงานโดยการติดแท็กไว้กับชิ้นงาน เมื่อชิ้นงานผ่านสายพานการผลิตในโรงงานแต่ละแผนกจะรู้ว่าต้องทำอะไร ประกอบชิ้นงานอะไรบ้าง และต้องส่งงานไปยังสถานีถัดไป

- การจัดการสินค้าในคลังสินค้า เช่นการรับส่งสินค้า การจัดเก็บ ยกตัวอย่างการซื้อขายสินค้าในซูเปอร์มาร์เก็ต เมื่อมีการคำนวณราคารวม เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีสามารถอ่านคำนวณราคารวมภายในครั้งเดียวได้ทันที โดยที่ไม่ต้องมีการสแกนรหัสแท่งที่ติดกับสินค้าที่ละชิ้นแบบเดิมๆ และอาจจะเตือนผู้ซื้อได้หากสินค้าที่ซื้อหมดอายุ นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้งานสำหรับการขนถ่ายสินค้าที่เรียกว่า การค้าแบบปลอดภัย (secure trade หรือ operation safe commerce) เพิ่มความปลอดภัยในการขนส่งสินค้า



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานในคลังสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานในซูเปอร์มาร์เก็ต

รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานระบบรักษาความปลอดภัยในการเข้า-ออกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบตั๋วอิเล็กทรอนิกส์ (e-ticket) เช่น บัตรทางด่วน บัตรรถไฟฟ้าใต้ดิน
- ระบบหนังสือเดินทางอิเล็กทรอนิกส์ (e-passport) เพื่อป้องกันผู้ก่อการร้ายหรือใช้งานสำหรับด้าน e-citizen ด้วย
- ระบบกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ (Immobilizer) ในรถยนต์ ป้องกันการใช้กุญแจผิดในการขโมยรถยนต์ (Smart Key entry) พวกไม่ใช้กุญแจ (Keyless) ในรถยนต์ราคาแพงบางรุ่นก็เริ่มนำมาใช้งานแล้ว

2.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน รวมถึงการกำหนดกฎเกณฑ์ในการใช้งาน ข้อบังคับต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งาน และการนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีไปประยุกต์ใช้กับระบบต่าง ๆ เช่น คลังสินค้า ซูเปอร์มาร์เก็ต งานระบบรักษาความปลอดภัยในการเข้า-ออกอาคาร บัตรทางด่วน บัตรรถไฟฟ้าใต้ดิน เป็นต้น ระบบอาร์เอฟไอดีไม่ใช่สิ่งไกลตัวเรา หลายท่านอาจเคยใช้งานระบบอาร์เอฟไอดีในชีวิตประจำวันโดยไม่รู้ตัวก็ได้

บทที่ 3

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.1 กล่าวนำ

สภาวะแวดล้อมในการแพร่กระจายคลื่นนั้นการส่งผ่านสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับจะเกี่ยวข้องไปถึงลักษณะของช่องสัญญาณ ได้มีทฤษฎีและเทคนิคในการวัดสำหรับการจำลองแบบการแพร่กระจายของสัญญาณไว้แล้ว โดยในการแพร่กระจายคลื่นทั้งสภาวะแวดล้อมภายในและภายนอกอาคารเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญด้วยผลกระทบที่เกี่ยวกับทิศทาง ขอบเขตของเส้นทางและปัจจัยอื่น ๆ ส่วนแล้วแต่เป็นการประเมินค่าความสำเร็จของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี ถ้าช่องสัญญาณมีคุณลักษณะที่ดีแล้วผลของการรบกวนและการแทรกสอดของแหล่งกำเนิดสัญญาณอื่นๆ จะสามารถที่จะทำให้ลดลงได้โดยการออกแบบเครื่องส่งและเครื่องรับที่เหมาะสม โดยลักษณะสำคัญอีกอย่างหนึ่งของการจำลองช่องสัญญาณวิทยุคือการตรวจสอบถึงฟังก์ชันการกระจายตัวของพารามิเตอร์ช่องสัญญาณ โดยทั่วไปการกระจายตัวเหล่านี้มักจะได้มาจากผลการวัดหรือผลการจำลองบนพื้นฐานของความถูกต้องหรือมีลักษณะตามสภาวะแวดล้อมที่ชัดเจน

3.2 แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี

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

$$PL = 10 \log \left[\frac{V_t(t)}{V_r(t)} \right]^2 \quad (3.1)$$

เมื่อ

PL คือ การสูญเสียเชิงวิถี

$v_t(t)$ คือ ค่าแรงดันทางด้านรับ

$v_r(t)$ คือ ค่าแรงดันทางด้านส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าการสูญเสียเชิงวิถีนั้นอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น

3.2.1 การสูญเสียในอวกาศว่าง

ในระบบสื่อสารไร้สาย สัญญาณที่กำเนิดขึ้นจากภาคส่งที่จะต้องนำไปป้อนเข้าสายอากาศ เพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic) สำหรับแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณซึ่งโดยทั่วไปก็คืออากาศ เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงภาครับก็จะมีสายอากาศรับสัญญาณซึ่งทำหน้าที่กลับกันจากภาคส่ง คือทำการแปลงสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกครั้ง ในการศึกษาเรื่องการแพร่กระจายสัญญาณจะเริ่มพิจารณาจากแหล่งแพร่สัญญาณแบบทุกทิศทาง (isotropic radiator) ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.1 โดยในการส่งคลื่นสัญญาณผ่านอวกาศว่างนั้น มักจะนิยามให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีในอวกาศว่าง (free space path loss) มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อกำลังงานของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 3.2 โดยสมการความสัมพันธ์ที่ได้จะเรียกกันทั่วไปว่าสมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis transmission equation)

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad (3.2)$$

โดยที่

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

ค่าการสูญเสียกำลังงานของสัญญาณในอวกาศว่างโดยทั่วไปแล้วจะคิดค่าเป็นหน่วยของเดซิเบล (dB) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 L_{dB} &= 10 \log(P_T) - 10 \log(P_R) \\
 &= 32.44 + 20 \log(f) + 20 \log(d) - 10 \log(G_T) - 10 \log(G_R)
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

โดยที่ d มีหน่วยเป็น km และ f มีหน่วยเป็น MHz จากสมการนี้จะเห็นได้ว่าค่าการสูญเสียของสัญญาณจะเพิ่มตามระยะทางและค่าความถี่ของคลื่นสัญญาณ ถ้า P_T จุดกำเนิดกำลังงาน (point source) แล้วความหนาแน่นกำลังงานของสัญญาณที่ ตำแหน่งห่างออกไป d จะมีค่าเท่ากับ

$$p(d) = \frac{P_T}{4\pi d^2} \quad \text{วัตต์/ตารางเมตร}
 \tag{3.4}$$

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



รูปที่ 3.1 แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบทุกทิศทาง (isotropic radiator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การสะท้อนและการหักเหของคลื่น

เมื่อพิจารณาการเดินทางของคลื่นผ่านตัวกลางใด ๆ จะพบว่าคลื่นมีความเร็วที่แตกต่างกันไป เนื่องจากค่าความต้านทานภายใน (Intrinsic impedance) ของตัวกลางนั้นแตกต่างกัน โดยจะนิยามว่าเป็นรากที่สองของอัตราส่วนระหว่างค่าความสามารถในการซาบซึมได้ของตัวกลาง (μ) และสภาพยอมของตัวกลาง (ϵ) ดังแสดงในสมการที่ 3.5 โดยในส่วนของสัมประสิทธิ์การหักเหหรือสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (T^b) และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของคลื่นในตัวกลางใด ๆ (Γ^b) จะนิยามให้เป็นไปตามสมการที่ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ

$$\eta_n = \sqrt{\frac{\mu_n}{\epsilon_n}} \quad (3.5)$$

ถ้าพิจารณาในอวกาศว่างนั้นค่า ϵ_r เท่ากับ 1 ส่วนค่า ϵ_0 เท่ากับ 8.854×10^{-12} หรือประมาณ $\frac{10^{-9}}{36\pi}$ หน่วยเป็น farads/meter และ μ_r เท่ากับ 1 ส่วนค่า μ_0 เท่ากับ $4\pi \times 10^{-7}$

$$\Gamma^b = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} \quad (3.6)$$

$$T^b = \frac{2\eta_2}{\eta_1 + \eta_2} = 1 + \Gamma^b \quad (3.7)$$

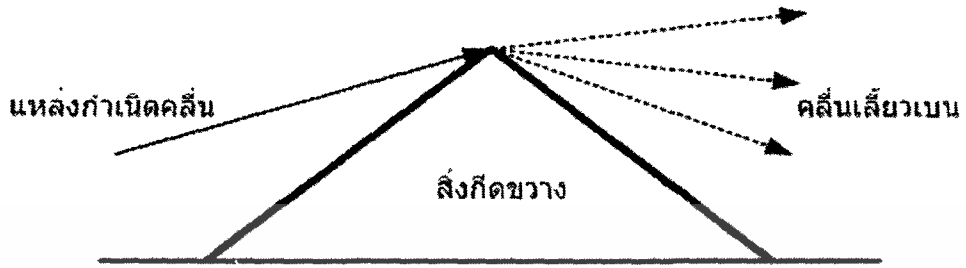
โดยที่

η_1 คือ ค่าความต้านทานภายในของตัวกลางที่หนึ่ง

η_2 คือ ค่าความต้านทานภายในของตัวกลางที่สอง

3.2.3 การเลี้ยวเบน

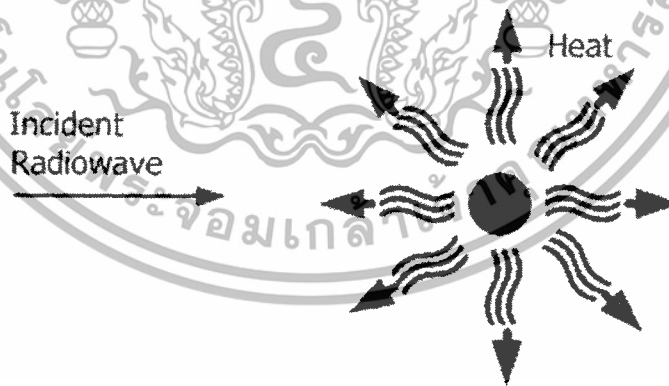
การเลี้ยวเบน (Diffraction) ของคลื่นเกิดขึ้นในกรณีที่มีวัตถุบางอย่างที่มีขอบกีดขวางอยู่ระหว่างภาครับและภาคส่งสัญญาณ ทำให้ไม่มีเส้นทางตรง (line of sight) ระหว่างจุดทั้งสองที่คลื่นสัญญาณสามารถส่งผ่านได้ โดยปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นคือ คลื่นจะเลี้ยวอ้อมวัตถุนั้น ๆ การเลี้ยวเบนของสัญญาณนี้เองที่ทำให้ยังสามารถรับสัญญาณได้บางส่วนและถูกลดทอนไปบางส่วนถึงแม้ว่าภาครับจะถูกบดบังด้วยสิ่งกีดขวาง รูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว



รูปที่ 3.2 ลักษณะการเลี้ยวเบนของคลื่น

3.2.4 การดูดกลืน

ในการส่งสัญญาณไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือสัญญาณเสียงนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ถูกส่งออกไปในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งเรียกว่า การดูดกลืน (Absorption) โดยการดูดกลืนนี้เป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณ อันเนื่องด้วยผลของเปลี่ยนแปลงจากพลังงานความถี่วิทยุ ไปเป็นพลังงานความร้อนที่ถูกลดทอนในระดับอนุภาคเล็ก อาทิเช่น หยกน้ำฝน เป็นต้น



รูปที่ 3.3 การดูดกลืนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพลังงาน

3.3 ลักษณะพื้นฐานของการบดบัง

การบดบัง (Shadowing) เกิดจากการที่สัญญาณบางส่วนถูกบดบังไปชั่วขณะจากสิ่งแวดล้อมรอบข้าง เช่น อาคาร เนิมเขา ฯลฯ โดยเมื่อเคลื่อนตำแหน่งของอุปกรณ์รับสัญญาณออกจากบริเวณนั้น

สัญญาณที่รับได้ก็จะมีระดับกำลังงานแรงดั่งเดิม ดังนั้นระดับของสัญญาณที่รับได้มักจะเอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงในช่วงระยะเท่า ๆ กับขนาดของสิ่งกีดขวางที่เข้ามาบดบังซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในลักษณะนี้พบว่าสามารถจำลองได้ด้วยการใช้ตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบ normal หรือ Gaussian โดยฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (probability density function) นิยามเป็นไปตามสมการ 3.8

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (3.8)$$

โดยที่

μ คือ ค่าเฉลี่ยของสัญญาณ (dBm)

x คือ ค่ากำลังงานของสัญญาณที่รับได้ (mW)

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) (dB)

3.4 ระบบการวัดช่องสัญญาณ

ในการวัดช่องสัญญาณวิทยุนี้มีเทคนิควิธีการวัดอยู่ 2 แบบด้วยกันคือ แบบแรกสามารถวัดช่องสัญญาณใน โดเมนความถี่ (frequency domain : FD) โดยใช้เทคนิคการกวาดความถี่ (frequency sweeping) ซึ่งวิธีการนี้ผลตอบสนองความถี่ของสัญญาณนั้นจะถูกบันทึกโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ช่วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ (VNA) โดยจะเหมือนกับกรวัดพารามิเตอร์ S_{21} หรือสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (transmission coefficient) ซึ่งสิ่งที่ต้องการทดสอบคือช่องสัญญาณวิทยุ และแบบที่สองนั้นช่องสัญญาณสามารถที่จะทำการวัดในโดเมนเวลา (time domain : TD) โดยใช้เครื่องวัดช่องสัญญาณซึ่งอยู่บนพื้นฐานการส่งผ่านสัญญาณแบบอิมพัลส์หรือสัญญาณแบบ DSSS (direct sequence spread spectrum) ด้วยวิธีการนี้พัลส์แคบจะถูกส่งออกไปยังช่องสัญญาณและผลตอบสนองอิมพัลส์ของสัญญาณจะถูกวัดโดยใช้เครื่อง DSO (digital sampling oscilloscope)

3.4.1 การวัดช่องสัญญาณในโดเมนความถี่

การวัดช่องสัญญาณในโดเมนความถี่นั้นสัญญาณวิทยุจะถูกสร้างขึ้นและรับโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ช่วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ที่ซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักที่จัดการเกี่ยวกับการวัดทั้งหมด โดยสัญญาณที่ใช้ตรวจสอบนั้นจะเป็นกลุ่มของสัญญาณแถบแคบรูปไซน์ (sinusoid) ซึ่งทำการกวาดตลอดแถบความถี่ที่ต้องการพิจารณาประกอบกับการใช้สายอากาศแถบกว้างซึ่ง

ในประเด็นนี้จะขอก้าวไปบทต่อไป โดยในการจำลองช่องสัญญาณนั้นสามารถที่จะทำได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการประมวลผลข้อมูลและเมื่อใช้วิธีการวัดสัญญาณในโดเมนความถี่ช่วงเวลาของช่องสัญญาณที่ทำการวัดต้องถูกกำหนดให้คงที่เพื่อรักษาเงื่อนไขของช่องสัญญาณในช่วงการกวาดความถี่โดยที่ค่าสูงสุดของเวลาการกวาดความถี่ถูกจำกัดโดยเวลาร่วมกัน (coherence time) ของช่องสัญญาณถ้าเวลาการกวาดความถี่มากกว่าเวลาร่วมกันของช่องสัญญาณแล้วช่องสัญญาณอาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาในการกวาดความถี่สำหรับการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจำเป็นต้องใช้เทคนิควิธีการอื่นเข้ามาทำการตรวจสอบแทน ซึ่งประสิทธิภาพของการวัดในโดเมนความถี่นั้นจะถูกกำหนดโดยค่าสูงสุดของเวลาประวิงของช่องสัญญาณ ซึ่งขอบเขตด้านบนของเวลาประวิงที่ตรวจพบ τ_{\max} สามารถกำหนดโดยจำนวนจุดของความถี่ที่ใช้ในการกวาดแต่ละครั้งและแบนด์วิดท์ B ซึ่งนิยามตามสมการที่ 3.9

$$\tau_{\max} = (N_{\text{smp}} - 1) / B$$

(3.9)

โดยที่ N_{smp} คือ จำนวนจุดความถี่



รูปที่ 3.4 เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ (VNA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การวัดช่องสัญญาณในโดเมนเวลา

การวัดช่องสัญญาณในโดเมนความถี่นั้นไม่สามารถที่จะทำการวัดช่องสัญญาณในลักษณะที่ไม่คงที่ได้ (Non-stationary) จึงมีอีกวิธีการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เรียกว่าการวัดในโดเมนเวลาซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงระบบการวัดในโดเมนเวลาที่สามารถใช้ประโยชน์ได้

3.4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการสื่อสารไร้สายนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณไม่ว่าจะเป็นระดับของกำลังงาน เวลาประวิงที่เกิดขึ้นหรือความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณที่รับได้เมื่อทำการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยังภาครับโดยผลที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะต้องทำการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยวิธีการวัดจากนั้นผลที่ได้จากการวัดหรือที่เรียกว่าข้อมูลดิบ (raw data) นั้นจำเป็นต้องนำมาวิเคราะห์ตามขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบหรือการเปลี่ยนแปลงดังที่ได้กล่าวไปแล้วโดยในขั้นตอนนี้มีความสำคัญพอ ๆ กับขั้นตอนการวัดซึ่งมีความจำเป็นต้องทำความเข้าใจในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและเชื่อถือได้โดยในหัวข้อนี้จะขอกกล่าวถึงเฉพาะพารามิเตอร์ที่สำคัญ ๆ ดังนี้

3.4.3.1 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านช่องสัญญาณ

ในขั้นตอนของการวัดนั้นจะเป็นลักษณะการหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสัญญาณ (Transmission coefficient: S_{21}) จากพอร์ตหนึ่งไปยังพอร์ตสองของเครื่อง VNA โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวนี้สามารถหาได้จากหลักการของ S-parameter หรือเรียกว่าพารามิเตอร์การกระจัดกระจาย (scattering parameter) ซึ่งมีนิยามตามเมตริกซ์การกระจัดกระจาย (scattering matrix) ของโครงข่ายแบบ 2 พอร์ตดังแสดงในรูปที่ 3.5 และมีสมการดังนี้

$$\bar{b} = \bar{S}a \quad (3.10)$$

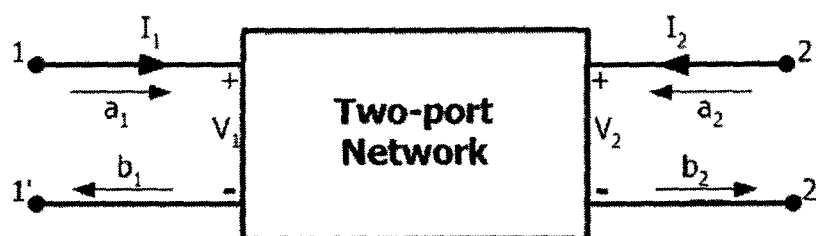
โดยที่

\bar{a} คือ เวกเตอร์การส่งผ่าน

\bar{b} คือ เวกเตอร์การสะท้อน

\bar{S} คือ เวกเตอร์การกระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ไดอะแกรมโครงข่ายแบบ 2 พอร์ต

ซึ่งสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\vec{a} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

$$\vec{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

โดยที่

a_1 คือ คลื่นที่ส่งผ่านเข้าไปยังพอร์ตหนึ่ง

b_1 คือ คลื่นที่สะท้อนกลับมายังพอร์ตหนึ่ง

a_2 คือ คลื่นที่ส่งผ่านเข้าไปยังพอร์ตสอง

b_2 คือ คลื่นที่สะท้อนกลับมายังพอร์ตสอง

ซึ่งสัมประสิทธิ์ดังกล่าวนี้สามารถหาได้จาก

$$a_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{\sqrt{Z_0}} + \sqrt{Z_0} I_1 \right) \quad (3.13a)$$

$$b_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{\sqrt{Z_0}} - \sqrt{Z_0} I_1 \right) \quad (3.13b)$$

$$a_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_2}{\sqrt{Z_0}} + \sqrt{Z_0} I_2 \right) \quad (3.13c)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$b_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_2}{\sqrt{Z_0}} - \sqrt{Z_0} I_2 \right) \quad (3.13d)$$

$$\bar{S} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

$$b_1 = a_1 S_{11} + a_2 S_{12} \quad (3.15)$$

$$b_2 = a_1 S_{21} + a_2 S_{22} \quad (3.16)$$

โดยที่

S_{11} คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พอร์ตหนึ่ง

S_{22} คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พอร์ตสอง

S_{21} คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Forward)

S_{12} คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านผกผัน (Reverse)

พารามิเตอร์ของการกระจายของโครงข่ายแบบสองพอร์ตนั้นยังสามารถที่จะกำหนดในเทอมของคลื่นส่งผ่านและคลื่นสะท้อน ได้ดังนี้

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (3.17a)$$

$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (3.17b)$$

$$S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad (3.17c)$$

$$S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad (3.17d)$$

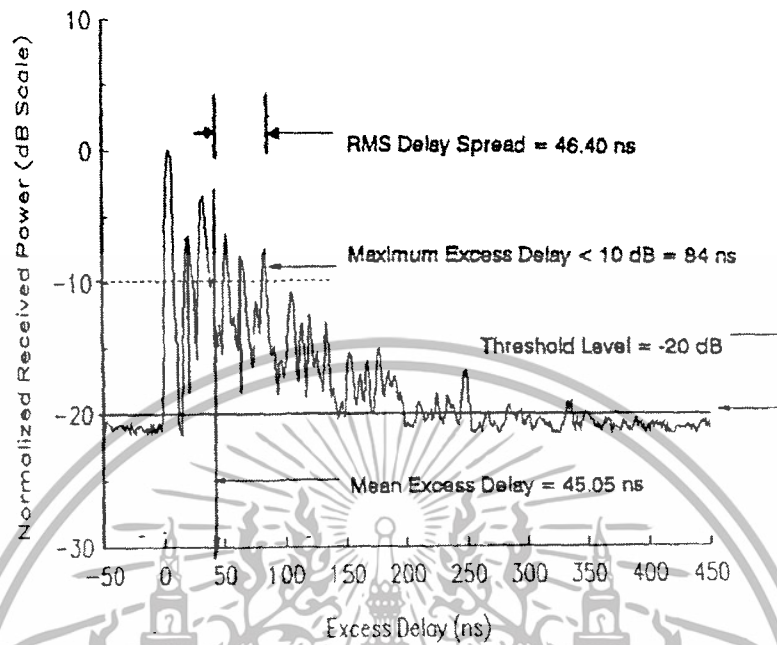
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.2 ผลตอบสนองความถี่ของสัญญาณ

เมื่อพิจารณาการวัดช่องสัญญาณโดยใช้เครื่อง VNA นั้นสิ่งที่จะต้องทำความเข้าใจเป็นอันดับแรกคือ ระบบและสัญญาณ โดยระบบคือกลุ่มของวัตถุที่รวมกันซึ่งสามารถทำงานร่วมกันเพื่อให้สำเร็จตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการและสัญญาณคือปริมาณทางกายภาพบางอย่างที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบเรียกว่า สัญญาณเข้าหรือสัญญาณอินพุต (input signal) ของระบบและจะมีปริมาณทางกายภาพบางอย่างออกมาจากระบบซึ่งเรียกว่า สัญญาณออกหรือสัญญาณเอาต์พุต (output signal) หรือผลตอบสนอง (response) ของระบบ โดยสามารถแสดงบนสโคปโคออร์ดิเนตของระบบ ที่ซึ่งผลตอบสนองดังกล่าวนั้นจะเป็นสิ่งที่ใช้แสดงถึงคุณสมบัติของระบบและจากการวัดผลที่ได้ก็คือค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสัญญาณซึ่งแปรผันตรงกับฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ของช่องสัญญาณ โดยฟังก์ชันถ่ายโอนดังกล่าว นั้นจะแสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณที่ทำการพิจารณาอยู่ซึ่งประกอบด้วยระดับสัญญาณที่ส่งผ่าน (magnitude) และผลตอบสนองทางเฟส (phase) ของสัญญาณ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสัญญาณกับฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณ

3.4.3.3 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่นิยมนำมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับที่เวลาต่าง ๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสัญญาณที่มีการสะท้อนในหลายทิศทางหรือที่เรียกว่าสัญญาณหลายวิถีโดยจะเรียกว่า ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power delay profile: PDP) ซึ่งตัวอย่างของ PDP ได้แสดงดังรูปที่ 3.6 โดยจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อเวลาที่เข้ามาถึงและนอกจากนั้นยังสามารถนำไปพิจารณาถึงผลการกระจายทางเวลา (time dispersion) อันประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ยของเวลาประวิง (mean excess delay) และ ค่าการแผ่ของเวลาประวิง (rms delay spread)



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน

3.4.3.4 ค่าการกระจายทางเวลา

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าเส้นทางการแพร่กระจายของสัญญาณระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับมิได้หลายทิศทาง และสัญญาณแต่ละส่วนมักจะส่งผ่านในเส้นทางที่มีระยะทางไม่เท่ากัน สัญญาณบางส่วนอาจจะเดินทางเป็นเส้นตรงระหว่างภาคส่งและภาครับ (line of sight : LOS) สัญญาณส่วนนี้มักจะเดินทางถึงภาครับได้เร็ว ในขณะที่สัญญาณส่วนอื่นที่มีการตกกระทบพื้นผิวของวัสดุและเกิดการสะท้อนหลายครั้งกว่าจะเดินทางถึงภาครับ สัญญาณมักจะใช้เวลาการแพร่กระจายที่ยาวนานกว่า ความล่าช้าในการเดินทางของสัญญาณแต่ละส่วนก่อให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า การแผ่ประวิง (delay spread) ขึ้น นั่นคือสัญญาณแต่ละส่วน ใช้เวลาเดินทางถึงจุดหมายไม่เท่ากัน ในหัวข้อนี้ได้พิจารณาถึงเวลาที่ถูกลื่อนออกไปของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับ ซึ่งในส่วนของ การกระจายทางเวลา (time dispersion) นั้นสามารถที่จะวิเคราะห์โดยใช้พารามิเตอร์ที่เรียกว่า ค่าเฉลี่ยของเวลาที่เลื่อนเกินออกไปจากค่าเวลาเดิมหรือค่าเฉลี่ยของเวลาประวิง (mean excess delay: $\bar{\tau}$) และค่าการแผ่ของเวลาประวิง (rms delay spread: σ_{τ}) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้ถูกนิยามไว้ดังสมการที่ 3.18 และ 3.19 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^2 \tau_i}{\sum_{i=1}^n a_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^n P(\tau_i) \tau_i}{\sum_{i=1}^n P(\tau_i)} \quad (3.18)$$

โดยที่

- a_i คือ ขนาดของสัญญาณเส้นทางที่ i
 τ_i คือ เวลาประวิงที่เกิดขึ้นของสัญญาณเส้นทางที่ i
 $P(\tau_i)$ คือ กำลังงานของสัญญาณเส้นทางที่ i

สำหรับค่าการแผ่ของเวลาประวิงนั้นจะมีนิยามคือ

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\tau^2 - (\bar{\tau})^2} \quad (3.19)$$

โดยที่

$$\tau^2 = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^2 \tau_i^2}{\sum_{i=1}^n a_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^n P(\tau_i) \tau_i^2}{\sum_{i=1}^n P(\tau_i)} \quad (3.20)$$

3.5 สายอากาศปากแตร (Horn Antenna)

สายอากาศปากแตรทรงพีระมิดมักจะถูกใช้เป็นสายอากาศอ้างอิงในการวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศ เนื่องจากค่าอัตราขยายของสายอากาศสามารถคำนวณได้อย่างแม่นยำจากขนาดทางกายภาพของตัวสายอากาศเอง สำหรับสายอากาศปากแตรแบบ เชกเตอร์ นั้น ส่วนของปากแตรจะกางออกไปในระนาบใดระนาบหนึ่งเท่านั้น ซึ่งจัดเป็น สายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิดกรณีพิเศษ ส่วนสายอากาศปากแตรชนิดอื่นที่ไม่ได้ แสดงในที่นี้ ได้แก่ สายอากาศปากแตรทรงกรวย ซึ่งจะใช้กับท่อนำคลื่นวงกลม

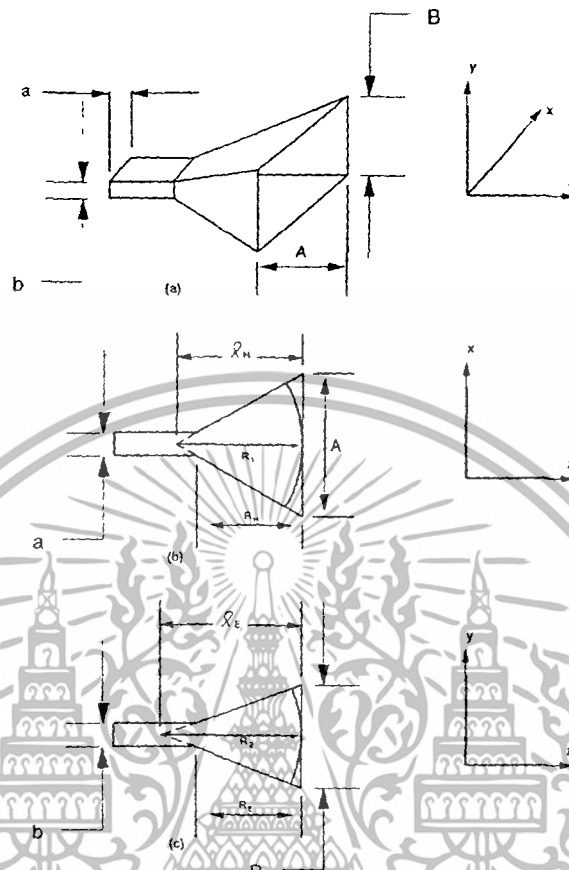
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงรูปสายอากาศแบบฮอร์น (Horn antenna)

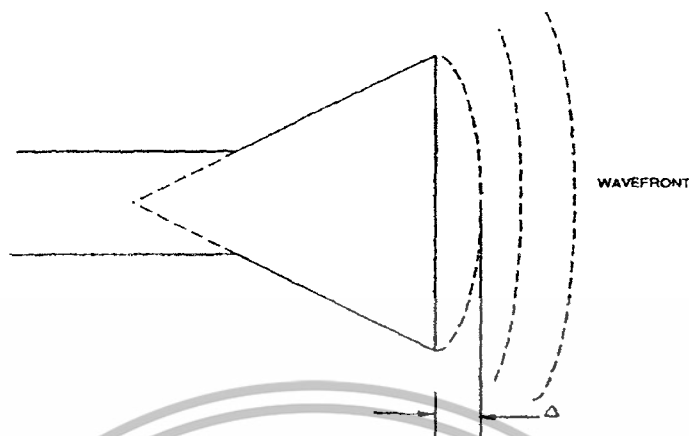
สายอากาศปากแตรทรงพีระมิดเป็นสายอากาศชนิดหนึ่งที่ใช้งานกันอย่างกว้างขวาง มีรูปทรงเรขาคณิต ดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงรูปสายอากาศปากแตรรูปทรงพีระมิด

ท่อนำคลื่นสามารถแผ่กระจายกำลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้หลายโหมด (Mode) โดยมีจำนวนของโหมดที่ไม่สิ้นสุด แต่ละโหมดจะมีองค์ประกอบของสนามแม่เหล็กและ สนามไฟฟ้าเป็นเอกลักษณ์ของตัวเอง ถ้ามุมเปิดของปากของสายอากาศปากแตรทรงพีระมิด มีขนาดเล็กเพียงพอ ก็จะมีเพียงโหมดการกระจายคลื่นเป็นใหญ่ที่เรียกว่า Dominant Mode เท่านั้น ที่สำคัญที่สุดเส้นสนามของโหมดเป็นใหญ่นี้ ในกรณีที่เป็นสายอากาศปากแตรแบบเซกเตอร์ จะถูกแผ่ขยายออกไปในลักษณะของรูปทรงกระบอก (Cylindrical Form) และในกรณีที่เป็นสายอากาศปากแตรทรงพีระมิดถูกแผ่ขยายออกไปในรูปของทรงกลม (Spherical Form) ดังแสดงในรูปที่ 3.9 อันเนื่องมาจากความโค้งของหน้าคลื่นในสายอากาศปากแตร



รูปที่ 3.9 ค่าผิดพลาดเชิงเฟส (Phase Errors: Δ)

ในรูปที่ 3.9 ลักษณะของหน้าคลื่น (Wave Front) จะมีความโค้งไม่แบบราบ จึงทำให้เกิดความผิดพลาดเชิงเฟส (Phase Errors) ซึ่งต้องนำมาคิดในการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศด้วย เราสามารถอธิบายค่าผิดพลาดเชิงเฟสนี้โดยใช้ค่าผิดพลาดของวิถี نورมัลไลซ์ (Normalized Path Errors) s และ t

$$s = \frac{\Delta_E}{\lambda} = \frac{B^2}{8\lambda \mathcal{L}_E} \quad (4.1)$$

$$t = \frac{\Delta_H}{\lambda} = \frac{A^2}{8\lambda \mathcal{L}_H} \quad (4.2)$$

เมื่อ s และ t คือ ค่าความผิดพลาดของวิถี نورมัลไลซ์

λ คือ ความยาวคลื่น

A , B , \mathcal{L}_E และ \mathcal{L}_H คือ ขนาดที่แสดงในรูป

ค่าอัตราขยายโดยประมาณของสายอากาศปากแตรทรงพีระมิด สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

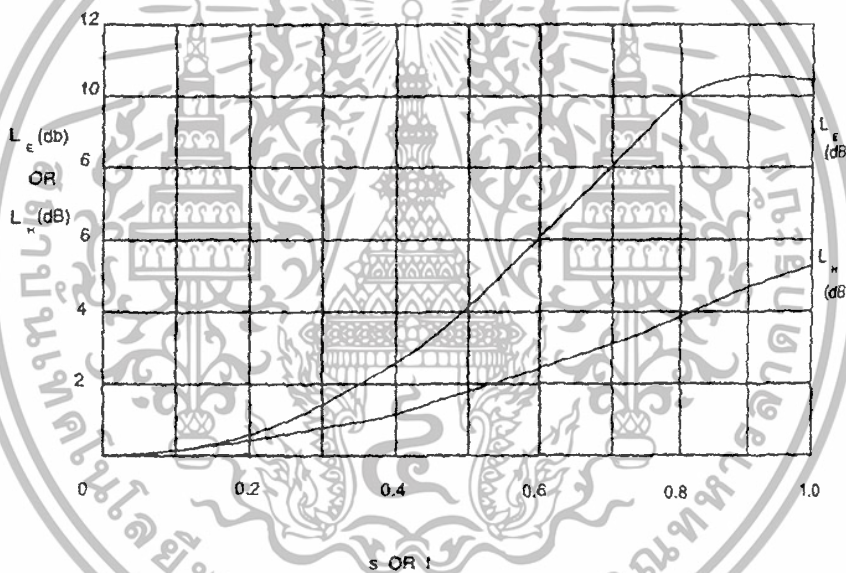
$$G = \frac{32}{\pi} \left(\frac{A}{\lambda} \right) \left(\frac{B}{\lambda} \right) \mathcal{L}_E \mathcal{L}_H \quad (4.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ L_E และ L_H แสดงค่าสูญเสียเนื่องจากค่าผิดพลาดเชิงเฟส ที่เกิดจากการกางออกของปากแตรซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการในหน่วย dB ได้คือ

$$G(\text{dB}) = 10.08 + 10 \log \left[\left(\frac{A}{\lambda} \right) \cdot \left(\frac{B}{\lambda} \right) \right] - L_E(\text{dB}) - L_H(\text{dB}) \quad (4.4)$$

ค่าของ L_E (dB) และ L_H (dB) สามารถหาได้ โดยคำนวณค่าของ s และ t โดยใช้สมการ (3.6) และ (3.7) ออกมาก่อน จากนั้นอ่านค่า L_E (dB) และ L_H (dB) จากกราฟในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ค่าส่วนประกอบการสูญเสีย (Loss Factor) ที่เกิดขึ้นในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็ก

3.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการที่เกี่ยวข้องกับช่องสัญญาณในการสื่อสารซึ่งเป็นส่วนสำคัญในปริณญาณินิพนธ์นี้อันประกอบด้วยรายละเอียดของคุณลักษณะของช่องสัญญาณ ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณลักษณะของช่องสัญญาณ ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบถึงผลการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวในบทต่อไป จากนั้นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับช่องสัญญาณจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ถึงผลที่เกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็น ผลการลดทอนของกำลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผิดเพี้ยนของรูปสัญลักษณ์ ผลการกระจายทางเวลา ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้จะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

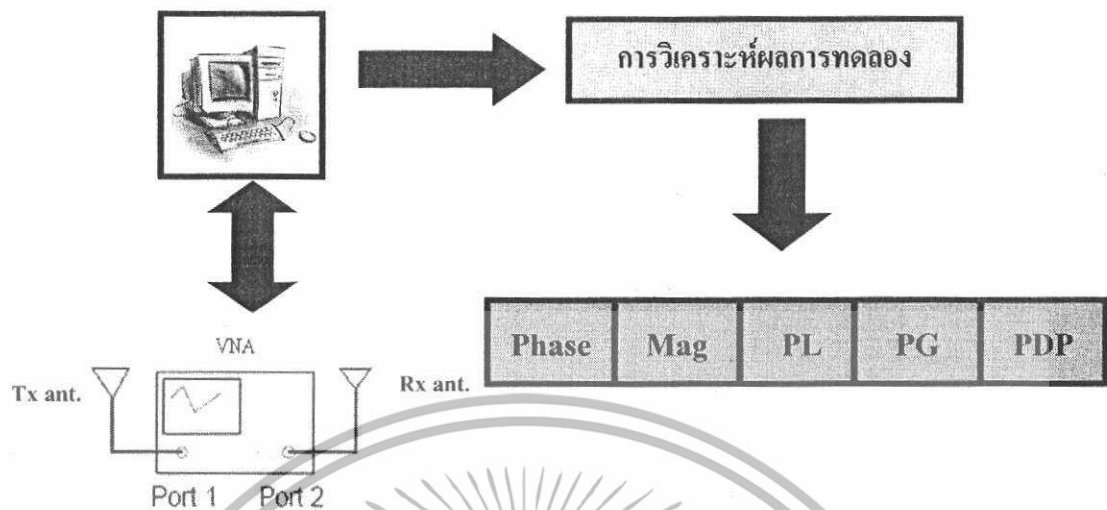
บทที่ 4

ขั้นตอนการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของขั้นตอนในการทดลองซึ่งเป็นการตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณ โดยทั่วไปจะมีการพิจารณาอยู่ 2 วิธีด้วยกันคือ ตรวจสอบจากการใช้แบบจำลองช่องสัญญาณ (channel model) บนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และตรวจสอบจากการวัด (measurement) โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรจ่าย ซึ่งเป็นการตรวจสอบบนโดเมนความถี่ โดยปริยายนิพจน์นี้จะทำการตรวจสอบบนพื้นฐานของการวัดเป็นหลักสำหรับขั้นตอนในการวัดนั้นจำเป็นต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไปและสิ่งที่สำคัญที่สุดอีกอย่างหนึ่งคือการกำหนดรูปแบบหรือลักษณะสภาพแวดล้อม (measurement model) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่ต้องการตรวจสอบ โดยในปริยายนิพจน์นี้จะทำการวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่ว่าด้วยการบดบัง (shadowing) จากร่างกายมนุษย์ที่ส่งผลกระทบต่อระดับของสัญญาณบนเทคโนโลยีในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร โดยกรณีการวัดภายในอาคารนั้นได้กำหนดลักษณะการวัดออกเป็น 2 แบบบนสถานะแวดล้อมที่ต่างกันดังที่จะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

หลังจากขั้นตอนการวัดเสร็จสิ้นลงข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อหาผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นซึ่งจะแสดงในรูปของทราจเมตริกซ์ต่างๆ อาทิเช่น ผลของระดับกำลังงานที่สูญเสีย ผลการกระจายทางเวลาอันประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงและค่าการแผ่ประวิง อีกทั้งผลที่แสดงให้เห็นถึงความเพี้ยนของสัญญาณ โดยทำการเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีที่มีผลและไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์ เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นดังกล่าว ดังรูปที่ 4.1



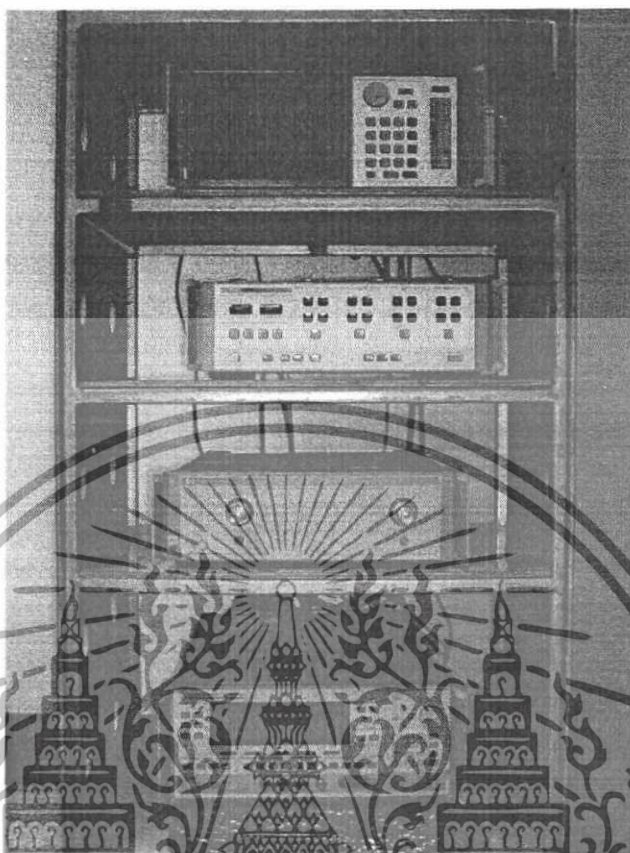
รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการทดลอง

4.2 อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัด

4.2.1 เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรขยายแบบเวกเตอร์

ในระบบการวัดของสัญญาณนั้นจะใช้เครื่องวัดเฉพาะทางอันประกอบไปด้วย เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรขยายแบบเวกเตอร์รุ่น HP-8510C ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย (S-parameter test set) รุ่น HP-8514B และตัวสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-83620A เป็นอุปกรณ์หลักในการทดลองดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.1 ซึ่งจะถูกควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ที่เชื่อมต่อผ่านช่องสื่อสารแบบ GPIB (General purpose interface bus) โดยอุปกรณ์ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถตรวจวัดสัญญาณในโครงข่ายหนึ่งพอร์ตและพอร์ตสอง ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการตรวจวัดแบบสองพอร์ตโดยพอร์ตที่หนึ่งคือพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ (Tx) ส่วนพอร์ตสองจะใช้ในการรับสัญญาณ (Rx) โดยที่ปลายของพอร์ตทั้งสองจะถูกต่อด้วยสายอากาศ และทำการวัดในโดเมนความถี่ก่อนที่จะถูกนำผลการวัดไปวิเคราะห์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบเวกเตอร์

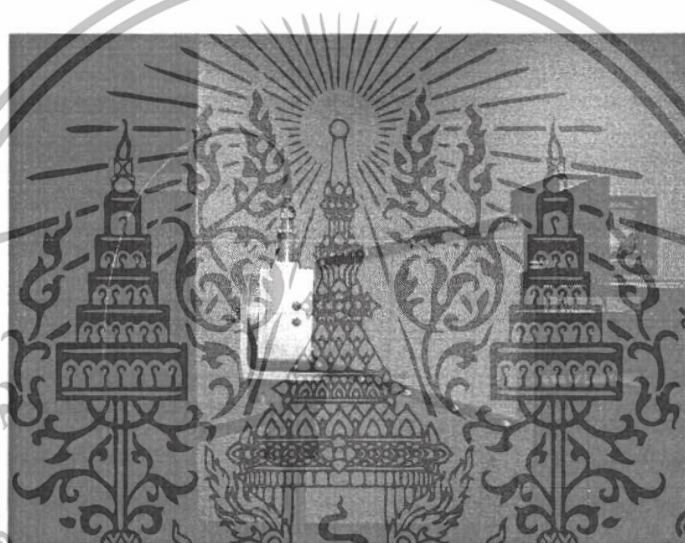
4.2.2 ชนิดของสายอากาศที่ใช้ในการทดลอง

ในการตรวจวัดของสัญญาณแบบไร้สายนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำคัญอีกอย่างหนึ่งซึ่งเรียกว่าสายอากาศ (antenna) ซึ่งช่วยในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องส่งให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายผ่านอากาศไปยังสายอากาศทางด้านรับแล้วเปลี่ยนกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิมโดยในการทดลองนี้ได้ใช้สายอากาศอยู่ 2 ชนิดแต่ละชนิดจะใช้สายอากาศอยู่สองชุดคือ สายอากาศทางด้านส่ง (Tx) และสายอากาศทางด้านรับ (Rx) ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (radiation pattern) แบบรอบตัว (omni-directional) และเป็นสายอากาศที่ตอบสนองความถี่ได้กว้าง (wideband) ซึ่งสามารถรองรับการใช้งานในความถี่ย่านตั้งแต่ 2 GHz ถึง 3 GHz โดยสายอากาศที่ถูกนำมาใช้ในการทดลองมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.1 สายอากาศปากแตร (Horn Antenna)

สายอากาศปากแตรทรงพีระมิดมักจะถูกใช้เป็นสายอากาศอ้างอิงในการวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศ เนื่องจากค่าอัตราขยายของสายอากาศสามารถคำนวณได้อย่างแม่นยำจากขนาดทางกายภาพของตัวสายอากาศเอง สำหรับสายอากาศปากแตรแบบเซกเตอร์นั้น ส่วนของปากแตรจะกางออกไปในระนาบใดระนาบหนึ่งเท่านั้น ซึ่งจัดเป็นสายอากาศแบบปากแตรทรงพีระมิดกรณีพิเศษ ส่วนสายอากาศปากแตรชนิดอื่นที่ไม่ได้แสดงในที่นี้ ได้แก่ สายอากาศปากแตรทรงกรวย ซึ่งจะใช้กับท่อนำคลื่นวงกลม

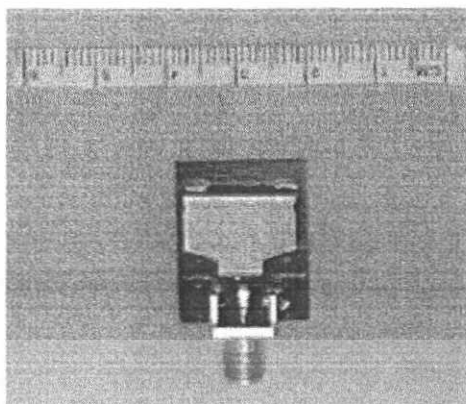


รูปที่ 4.3 แสดงรูปสายอากาศแบบปากแตร (Horn antenna)

4.2.2.2 สายอากาศแบบเส้นค้ำกลาง (Meander line antenna)

สายอากาศแบบเส้นค้ำกลาง (Meander line antenna; MLA) เป็นสายอากาศที่ออกแบบโดยบริษัทสกายครอส (Skycross company) ประเทศสหรัฐอเมริกา ด้วยคุณสมบัติของสายอากาศที่มีขนาดเล็กและเฟสมีความเป็นเชิงเส้นตลอดช่วงความถี่ และมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบตัวตามแนวตั้ง (vertical) ของสายอากาศโดยรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงลักษณะ โครงสร้างและรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



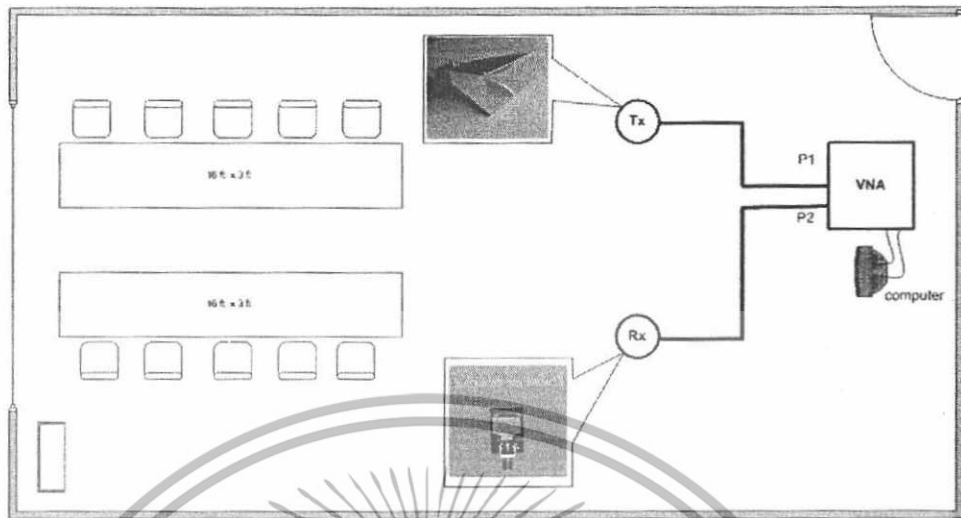
รูปที่ 4.4 สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง

4.3 การทดสอบคุณสมบัติของห้องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 1

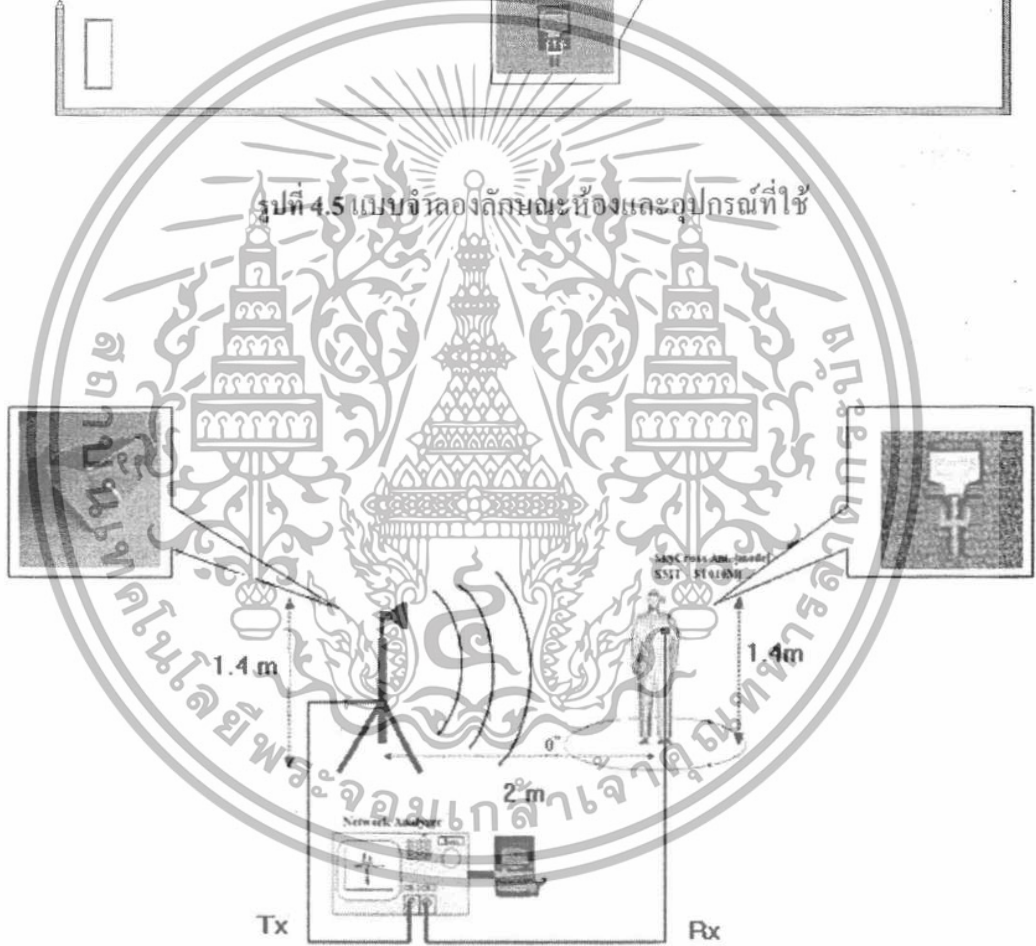
4.3.1 ขั้นตอนการทดลอง

วัดในลักษณะของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน S_{21} ใน โดเมนของความถี่โดยใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่าเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการวัดและบันทึกผลที่ได้ จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หัดต่อไป โดยสายอากาศที่ใช้มีอยู่ 2 แบบคือ สายอากาศแบบปากแตรและสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางรุ่น SMT-3T010M โดยแบบแรกนั้นจะใช้เป็นสายอากาศทางด้านภาคส่ง ส่วนแบบที่สองจะใช้ในทางภาครับซึ่งติดกับร่างกายมนุษย์ โดยสายอากาศทั้งคู่อยู่สูงจากพื้นดิน 1.40 เมตรและวางห่างกัน 2 เมตร ในส่วนของสายอากาศที่ติดอยู่กับร่างกายมนุษย์นั้นจะทำกรหมุนที่ละ 5 องศาต่อการวัด 1 ครั้ง โดยจะทำกรหมุนตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการทดลอง 2 แบบคือ ทำการวัด โดยมีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ และไม่มีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ ในรูปที่ 4.5 และ รูปที่ 4.6 แสดงภาพจำลองของห้องและอุปกรณ์ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แบบจำลองลักษณะห้องและอุปกรณ์ที่ใช้



รูปที่ 4.6 แบบจำลองของการทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณภายในห้องแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการทดลองได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.1

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	2.0 GHz ~ 3.0 GHz
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.40 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.40 เมตร
ระยะห่างระหว่างด้านส่งกับด้านรับ	2.0 เมตร
มุมที่ทำการวัด	0-360 องศา
การหมุน	5 องศา / ครั้ง

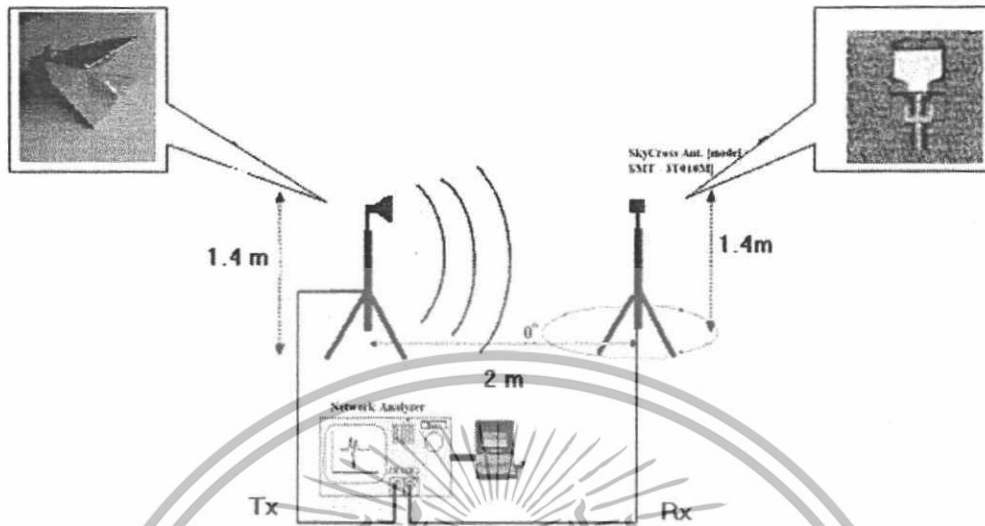
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

4.4 การทดสอบคุณสมบัติของห้องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 2

4.4.1 ขั้นตอนการวัดในลักษณะแบบที่ 2

ในการวัดคุณสมบัติของห้องสัญญาณแบบที่ 2 นี้ยังคงใช้เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการวัดและได้ทำการวัดในห้องปฏิบัติการซึ่งต่างจากการวัดในหัวข้อที่ผ่านมาโดยสายอากาศที่ใช้นั้นมีอยู่ 2 ชุดคือ สายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับ ซึ่งเป็นสายอากาศแบบเดียวกันในแบบทดลองที่ 1 สายอากาศทั้งคู่อยู่สูงจากพื้น 1.4 เมตรและวางห่างกัน 2 เมตร แต่ในส่วน of สายอากาศด้านรับจะไม่มีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้อง และสายอากาศด้านรับนั้นจะทำการหมุน 5 องศาต่อการวัด 1 ครั้ง โดยจะทำการหมุนตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา ในรูปที่ 4.7 แสดงภาพจำลองลักษณะห้องและอุปกรณ์ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แบบจำลองของการทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณภายในห้องแบบที่ 2

4.4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการทดลองได้แสดงในตารางที่ 4.2

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	2.0 GHz ~ 3.0 GHz
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
ความสูงของเสาอากาศด้านส่ง	1.40 เมตร
ความสูงของเสาอากาศด้านรับ	1.40 เมตร
ระยะห่างระหว่างด้านส่งกับด้านรับ	2.0 เมตร
มุมที่ทำกรวัด	0-360 องศา
การหมุน	5 องศา / ครั้ง

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการทดลองวัดช่องสัญญาณภายในห้อง โดยใช้สายอากาศที่ตอบสนองช่วงความถี่ได้กว้าง ประกอบกับการใช้เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัดบนโดเมนความถี่เพื่อตรวจสอบถึงผลกระทบต่างๆ ที่มีต่อช่องสัญญาณ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่เกิดการบดบังจากร่างกายมนุษย์ในระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและรับ ทั้งในกรณีที่สายอากาศด้านรับมีผลและ ไม่มีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์โดยข้อมูลการวัดที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์และแสดงผลในพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ ดังจะแสดงในบทต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

5.1 กล่าวนำ

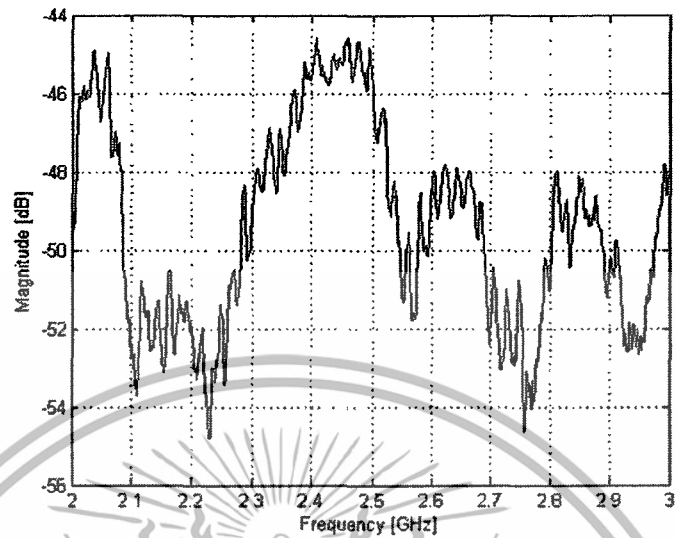
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ข้อมูลของช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดทั้ง 2 แบบ โดยแสดงในพารามิเตอร์หลักคือ ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ ลักษณะการกระจายทางเวลาของสัญญาณ ค่าการสูญเสียเชิงวิถี เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่และรูปสัญญาณทางด้านรับเมื่อผ่านสายอากาศ โดยแสดงอยู่ในลักษณะการเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีที่มีผลและไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์

5.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวัด

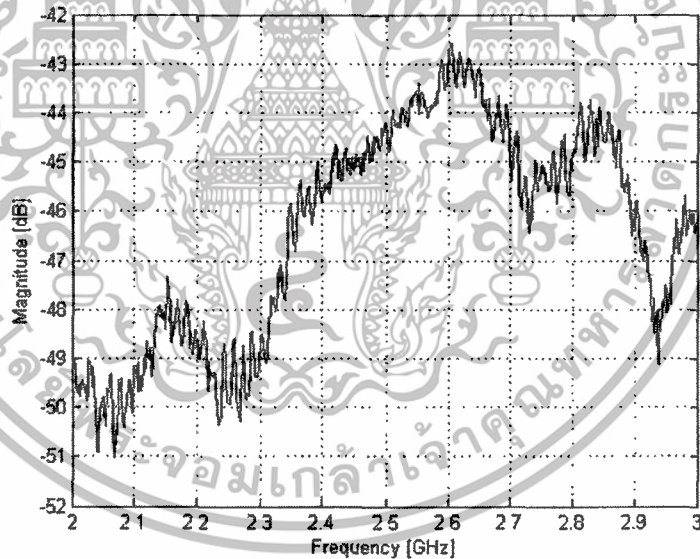
ลักษณะการวัดในแบบที่ 1 นี้ได้ทำภายในห้อง โดยกำหนดให้สายอากาศทางด้านรับเป็นแบบเส้นตัวนำกลางและสายอากาศทางด้านส่งเป็นแบบปากแตร ซึ่งมีลักษณะและขั้นตอนการวัดดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 โดยผลที่ได้จากการวัดจะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่มีผลและไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์ในมุมต่างๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา ซึ่งเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์บนโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะสามารถแสดงให้เห็นถึงผลที่เกิดขึ้นในลักษณะต่างๆ ดังนี้

5.2.1 ฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศ (Magnitude)

แสดงฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศ (Antenna transfer function) ทั้ง 2 กรณีคือ กรณีที่มีผลและไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์ในมุมต่างๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา จากรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 ตามลำดับ จากรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าค่าของ magnitude กรณีไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์จะมีค่าอยู่ในช่วง -44 dB ถึง -55 dB และในกรณีที่มีผลของร่างกายของมนุษย์ในรูปที่ 5.2 จะมีค่าในช่วง -43 dB ถึง -51 dB



รูปที่ 5.1 การส่งผ่านของสายอากาศกรณีที่ไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์

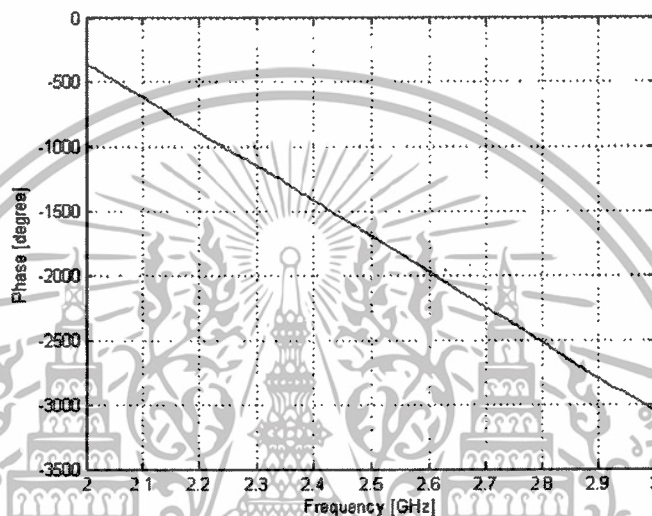


รูปที่ 5.2 การส่งผ่านของสายอากาศกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์

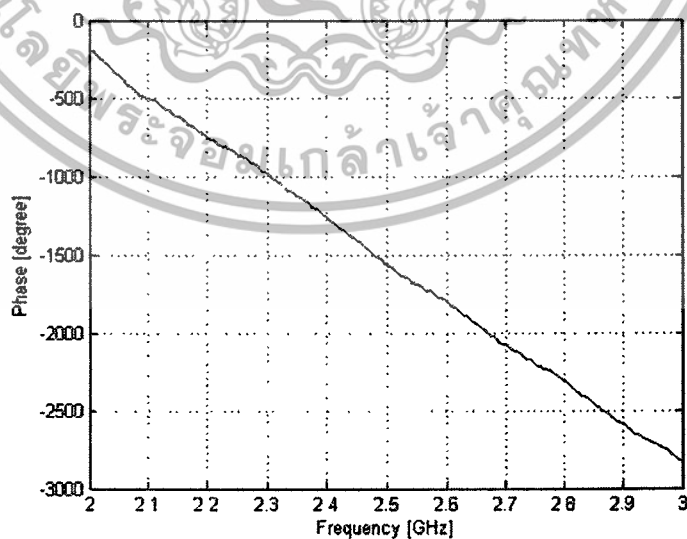
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ (Phase)

แสดงเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ ทั้ง 2 กรณีคือ กรณีที่มีผลและไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์ในมุมต่างๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา จากรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 ตามลำดับ จากรูปทั้ง 2 กรณีเฟสจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้นตลอดช่วงความถี่ที่ทดลอง



รูปที่ 5.3 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่กรณีที่ไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์

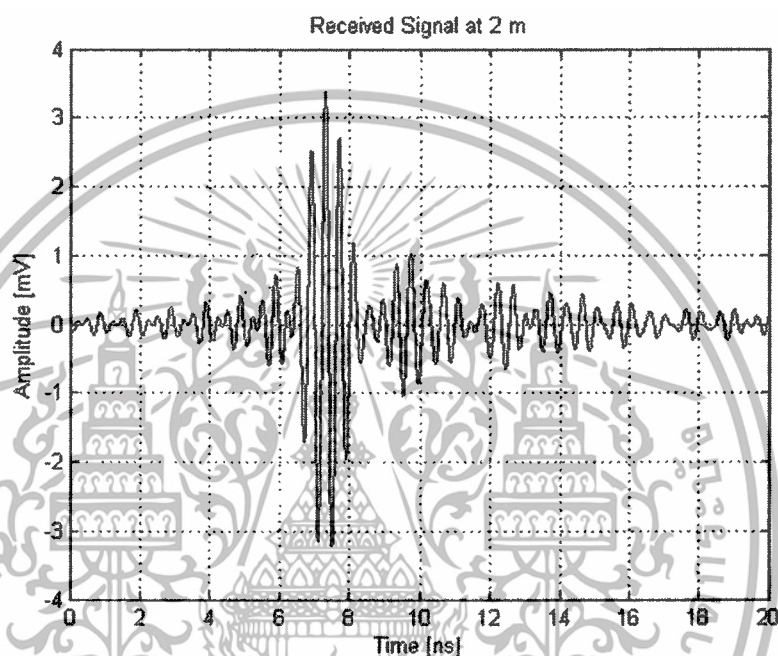


รูปที่ 5.4 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่กรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์

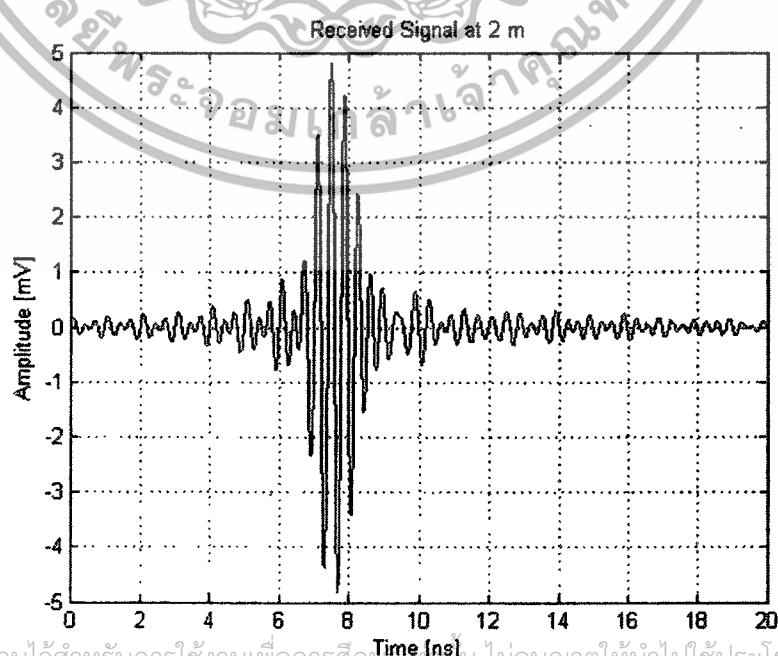
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 สัญญาณทางด้ำนรับ (Received Signal)

แสดงสัญญาณทางด้ำนรับ (Received Signal) ทั้ง 2 กรณีคือ กรณีที่มีผลและไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์ในมุมต่างๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศาจากรูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6 ตามลำดับ



รูปที่ 5.5 สัญญาณทางด้ำนรับ (Received Signal) กรณีที่ไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์

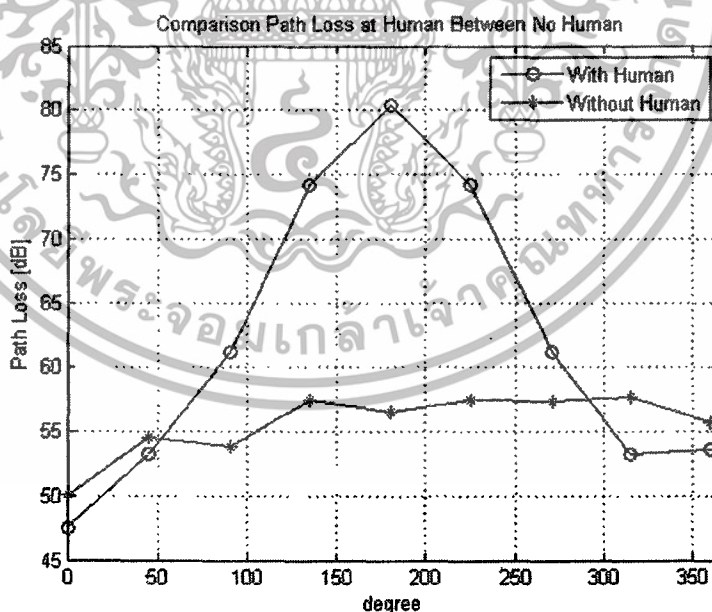


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.6 สัญญาณทางค้ำรับ (Received Signal) กรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์

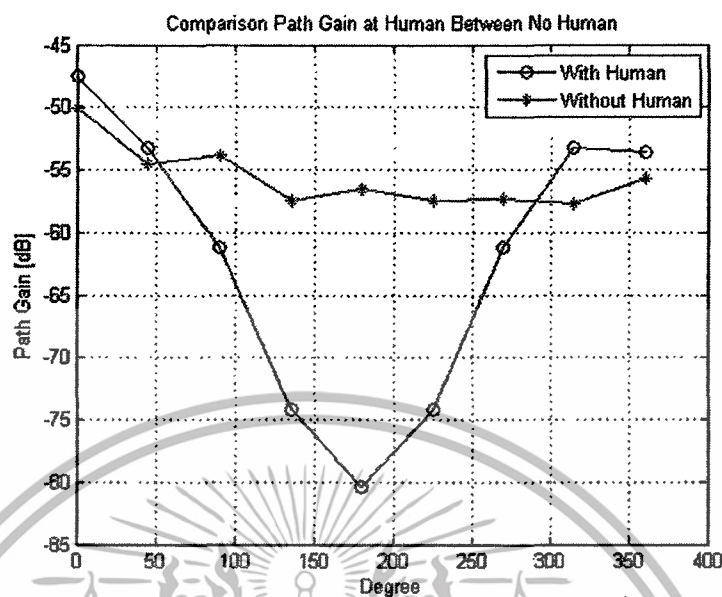
5.2.4 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีและอัตราการขยายเชิงวิถี (Path Loss and Path Gain)

แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) และอัตราการขยายเชิงวิถี (Path Gain) ทั้ง 2 กรณีคือ กรณีที่มีผลและไม่ผลจากร่างกายมนุษย์ในมุมต่างๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา จากรูปที่ 5.7 และรูปที่ 5.8 ตามลำดับ จากรูปที่ 5.7 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี เส้นสีน้ำเงินเป็นกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์จะเห็นได้ว่าจะเกิดค่าการสูญเสียที่สูงเนื่องจากการบดบังของตัวบุคคลที่มุมซึ่งจะสังเกตได้ชัดเจนตั้งแต่มุม 90 องศา จะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่าสูงสุดที่มุม 180 องศา มีค่าประมาณ 80 dB และเส้นสีแดงเป็นกรณีที่ไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์จะเห็นว่าค่าการสูญเสียจะต่ำ มีเพียงมุม 0, 45, 315 และ 360 องศา ค่าการสูญเสียเชิงวิถีจะมากกว่าแบบกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์ เพราะว่ามีมุม 0, 45, 315 และ 360 องศา ไม่มีตัวบุคคลสัญญาณที่ฝั่งส่งจะส่งไปในอากาศว่างทำให้การสูญเสียสูงกว่าแบบที่มีผลจากร่างกายมนุษย์ และกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์ที่มุม 0, 45, 315 และ 360 องศา เวลาสายอากาศฝั่งส่งสัญญาณ ไปยังฝั่งรับๆ แล้วมีตัวบุคคล และร่างกายของตัวบุคคลจะเป็นผลทำให้สัญญาณที่ส่งเกิดการสะท้อนไปยังสายอากาศตัวรับ ได้เร็วขึ้นทำให้ค่าการสูญเสียน้อยกว่า



รูปที่ 5.7 การสูญเสียเชิงวิถี

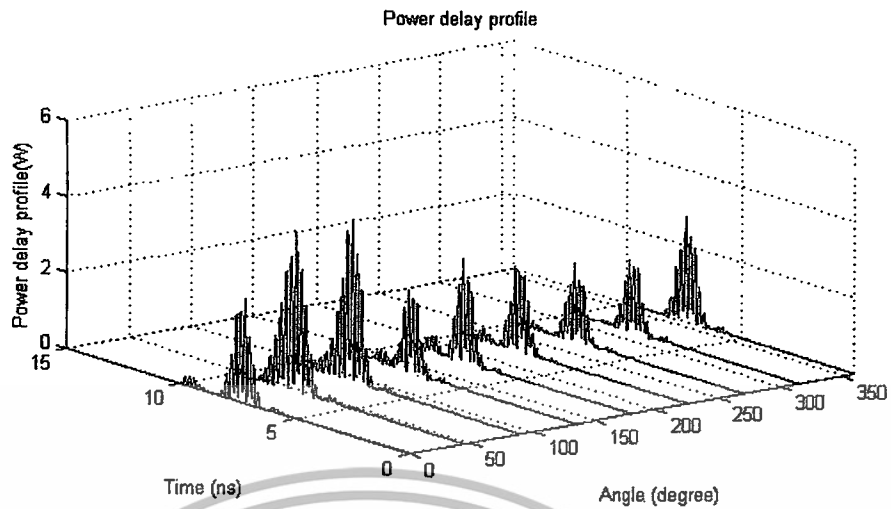
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



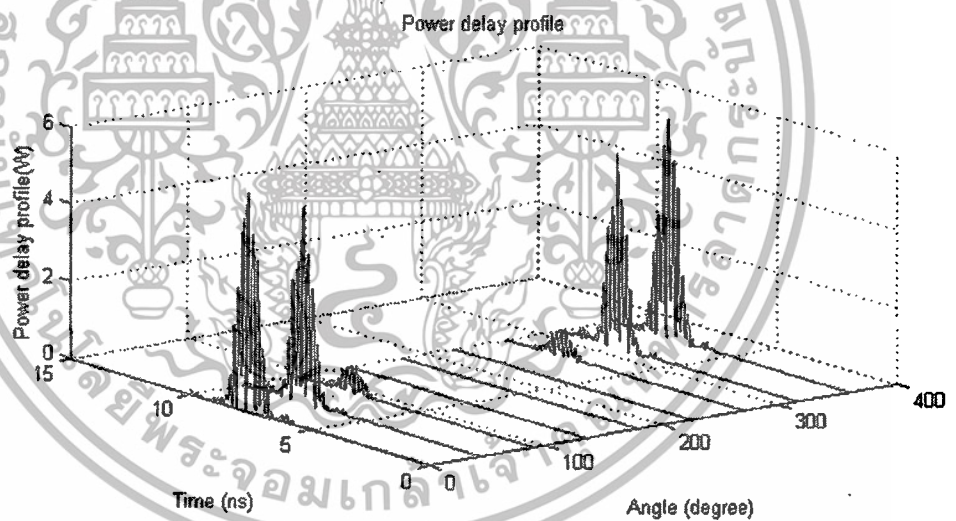
รูปที่ 5.8 อัตราการขยายเชิงวิถี

5.2.5 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ

ในการแสดงผลของภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณนั้นจะแสดงในรูปแบบของกราฟ 3 แกนคือ เวลาที่ใช้ในการเดินทาง ระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้และมุมที่ทำกรวัด โดยพิจารณาในสองกรณีคือ กรณีที่ไม่มีผลและมีผลจากร่างกายมนุษย์ ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.9 และ 5.10 ตามลำดับ จากรูปจะเห็นได้ว่าในกรณีที่ไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์นั้นสัญญาณเดินทางมาถึงด้านรับใช้เวลาเท่ากันคือประมาณ 5 นาโนวินาที โดยมีระดับของสัญญาณที่ต่างกันตามมุมที่ทำกรหมุนสายอากาศ ด้านรับซึ่งที่มุม 90 และ 270 องศา นั้นจะมีระดับของสัญญาณต่ำกว่ามุมอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะทางโครงสร้างของสายอากาศส่วนในกรณีที่มิผลจากร่างกายมนุษย์นั้นจะเห็นได้ว่าระดับของสัญญาณในแต่ละมุมนั้นลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มุม 180 องศา ระดับของสัญญาณจะต่ำที่สุดเนื่องจากเกิดการบดบังจากร่างกายมนุษย์นั่นเอง



รูปที่ 5.9 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานในแต่ละมุมกรณี ไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์.

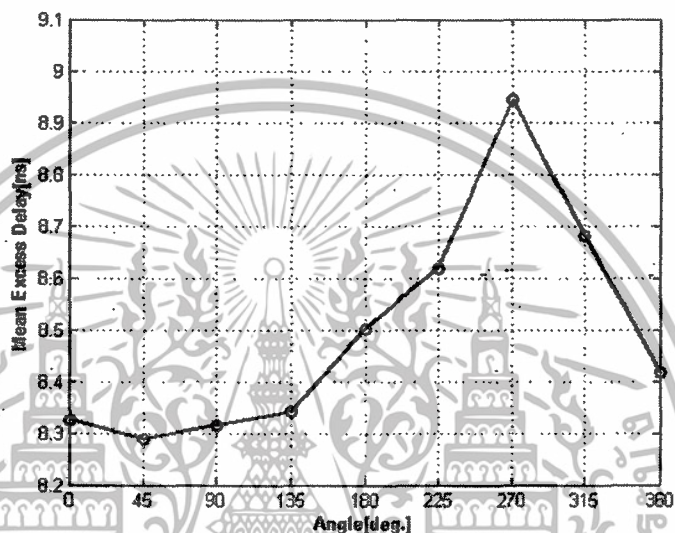


รูปที่ 5.10 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานในแต่ละมุมกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์

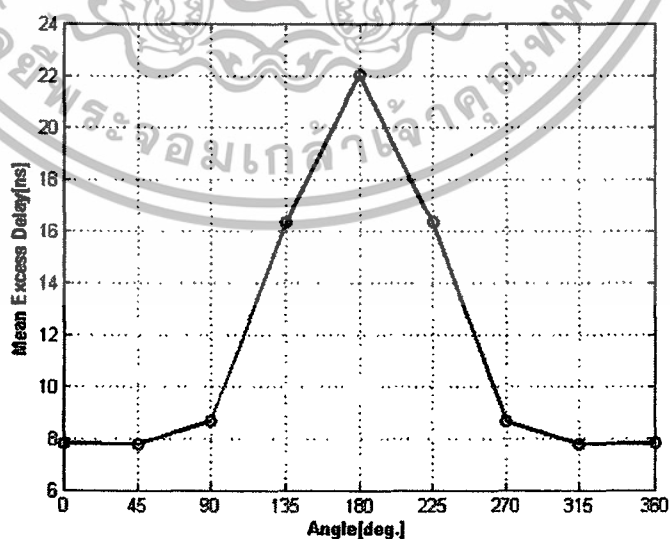
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.6 ลักษณะการกระจายทางเวลาของสัญญาณ

ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงผลการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายทางเวลาของสัญญาณ โดยจะแสดงใน 2 ส่วนคือ ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงและค่าการแผ่ประวิงด้วยผลการวัด ซึ่งเปรียบเทียบกับระหว่างกรณีที่ไม่มีผลและมีผลจากร่างกายมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 5.11 ถึง 5.14 ตามลำดับ

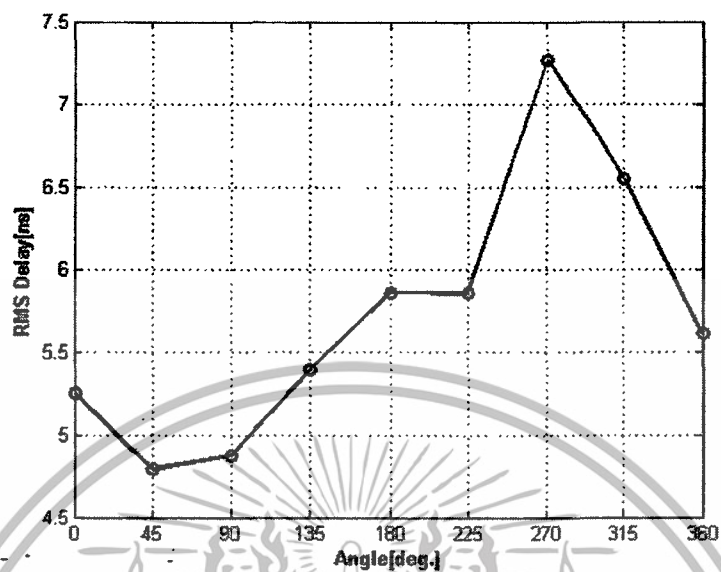


รูปที่ 5.11 ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของสัญญาณในกรณีที่ไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์

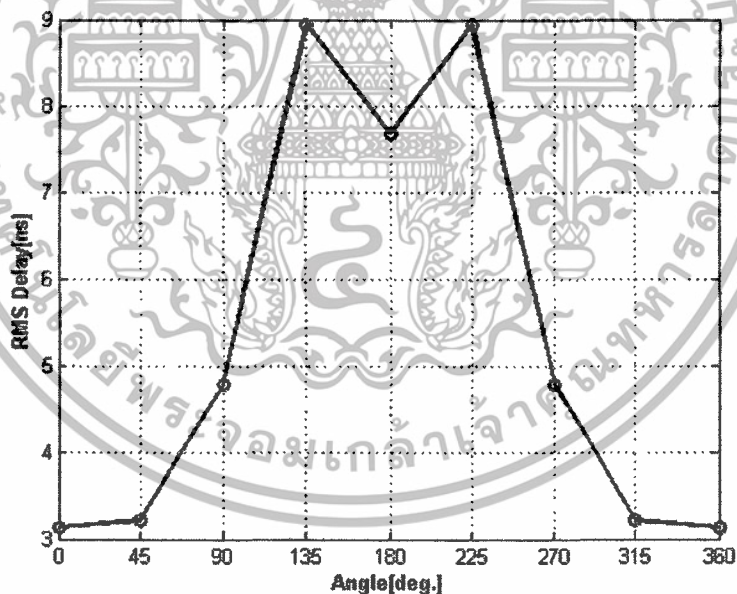


รูปที่ 5.12 ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของสัญญาณในกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 ค่าการแผ่ประวิงของสัญญาณในกรณีที่ไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์



รูปที่ 5.14 ค่าการแผ่ประวิงของสัญญาณในกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณวิทยุแบบช่องสัญญาณอาเอฟไอดี กับผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ โดยอาศัยการตรวจสอบบนพื้นฐานการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ห้วงจร ข่ายแบบเวกเตอร์ ซึ่งได้จำลองการวัดภายในห้องที่มีลักษณะต่างๆ กัน 2 แบบคือ แบบแรกวัดโดยไม่มีตัวบุคคลเรียกว่าในช่องอวกาศว่างและ แบบที่สองทำการวัดโดยทำการติดสายอากาศเข้ากับตัวบุคคลความสูงของสายอากาศของทั้งสองแบบจำลองอยู่ที่ 1.4 เมตร ภายในห้อง ประชุมขนาดกลาง โดยใช้สายอากาศ 2 ชนิดในการทดสอบคือ สายอากาศแบบปากแตรและสายอากาศแบบเส้นตัวนำ กลางซึ่งเป็นสายอากาศที่ตอบสนองแถบความถี่สูงและมีขนาดเล็ก โดยทำการวิเคราะห์ผลการวัด ด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้คือ ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ ค่าเฉลี่ยเวลา ประวิงของสัญญาณ ค่าการแผ่ประวิงของสัญญาณ ค่าการกระจายตัวของกำลังงาน ค่าการสูญเสีย กำลังงานและค่าความเพี้ยนของรูปสัญญาณ โดยแสดงผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทั้งในเชิงมุมคือตั้งแต่ 0 องศาถึง 360 องศาและในเชิงระยะทาง 2 เมตร ส่วนในห้องแบบที่ 2 และ 3 รวมทั้งการวิเคราะห์ที่ได้ ทำภายในภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทั้งหมด

6.2 สรุปผลการวิเคราะห์ช่องสัญญาณกรณีไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์

ในการตรวจสอบถึงคุณสมบัติของช่องสัญญาณวิทยุแบบช่องสัญญาณอาเอฟไอดีในแบบจำลอง ที่ 1 แบบ โดยใช้สายอากาศ 2 ชนิดด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดในส่วนต่างๆ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อ แสดงถึงผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่อช่องสัญญาณวิทยุแบบช่องสัญญาณอาเอฟไอดีในกรณีที่ไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลการวัด สรุปได้ว่าค่าการแผ่ประวิงของสัญญาณจะแปรไปตามมุม ของสายอากาศ ก็จะทำให้เกิดสัญญาณที่มาจากหลายทิศทาง ส่งผลให้ค่าการแผ่ประวิงเพิ่มขึ้นไป ด้วย และอีกปัจจัยหนึ่งคือระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและรับ เมื่อระยะห่างเพิ่มมากขึ้นค่าการแผ่ ประวิงของสัญญาณก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของห้องด้วยเช่นกัน ส่วนค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของสัญญาณนั้นจะแปรไปตามระยะห่างระหว่างสายอากาศและค่าเวลา ประวิงของสายอากาศ โดยเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ยเวลาประวิงก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่วนค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาเวลาประวิงของสายอากาศขึ้นอยู่กับชนิดของสายอากาศที่ใช้ ค่าการสูญเสียกำลังงานของสัญญาณในกรณีนี้จะเป็นไปตามทฤษฎีที่ว่าด้วยการสูญเสียเชิงวิถีนั่นคือเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นค่าการสูญเสียกำลังงานก็จะเพิ่มขึ้นตามนั่นเอง และในส่วนของความเพี้ยนของรูปสัญญาณนั้นจะเห็นได้ว่าในกรณีนี้ความเพี้ยนของสัญญาณจะเกิดจากคุณสมบัติของสายอากาศและผลจากช่องสัญญาณ ในที่นี้ก็คือผลของระยะทางร่วมกับลักษณะภายในห้องนั่นเอง

6.3 สรุปผลการวิเคราะห์ช่องสัญญาณกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์

จากผลสรุปข้างต้นจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณส่วนใหญ่เกิดจากมุมของสายอากาศทั้งสอง สภาพแวดล้อมภายในห้องและคุณสมบัติของสายอากาศ แต่เมื่อพิจารณาผลการบดบังจากร่างกายมนุษย์ในมุมต่าง ๆ พบว่าร่างกายมนุษย์ก็เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเกิดการบดบังจากร่างกายมนุษย์อย่างสมบูรณ์หรือที่มุม 180 องศาจากการวัดจะเกิดผลการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงต่อช่องสัญญาณ ซึ่งส่งผลกระทบต่อระดับของค่าเฉลี่ยเวลาประวิง ค่าการแผ่ประวิง ค่าการสูญเสียกำลังและค่าความเพี้ยนของรูปสัญญาณ โดยสิ่งที่เกิดขึ้นนี้จะส่งผลให้คุณภาพของสัญญาณที่รับได้ลดลงอีกทั้งยังทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงด้วยเช่นกัน

6.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

จากแนวคิดที่ได้ทำการตรวจสอบถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณอาร์เอฟไอดีทั้งในกรณีที่มีผลและไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์ที่ได้แสดงไว้ในปริยญาณีพนธ์ฉบับนี้ จากการวิเคราะห์พบว่าผลของช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดนั้นถูกรวมเข้ากับผลของคุณลักษณะของสายอากาศ ผู้เขียนเห็นว่าควร จะทำการแยกผลของคุณสมบัติของสายอากาศออกจากผลของช่องสัญญาณด้วยเทคนิควิธีการใดวิธีการหนึ่ง ซึ่งจะทำให้สามารถนำผลของช่องสัญญาณนั้น ไปใช้ในการวิเคราะห์หาผลในกรณีอื่นๆ ได้อีกในอนาคตต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] “Fundamental Operating Principles of RFID-Systems.” [Online]. Available :<http://rfid-handbook.com/>
- [2] “RFID Technology.” [Online]. Available :<http://www.samsys.com>
- [3] “RFID Inc. features radio frequency identification products.” [Online]. Available :<http://www.rfida.com/nb/rfidinc.htm>
- [4] “RFID, Parking Access Control, Car Park Management, long range RFID systems.” [Online]. Available :http://www.dasnagar.com/Software/AMgm/RF_products/it_RF_carparking.htm
- [5] “RFID Parking Access Control Systems.” [Online]. Available :
<http://www.transcore.com/wdparkingaccess.html>
- [6] “Smart Card & RF-ID Cluster” [Online]. Available :<http://www.tidi.nectec.or.th/rfid-cluster/>
- [7] คมสัน ระวังพิศม์ และนิพนธ์ เพ็ชรตาน. Thesis RFID-CAR PARKING สถาบันเทคโนโลยี วิศวกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : ปีการศึกษา 2548
- [8] ศุภชัย สมพานิช. “สร้างระบบงานฐานข้อมูลด้วย Visual Basic .NET ฉบับโปรแกรมเมอร์” นนทบุรี : สำนักพิมพ์ ไอดีซี อินโฟ ดิสทริบิวเตอร์ เซ็นเตอร์ 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

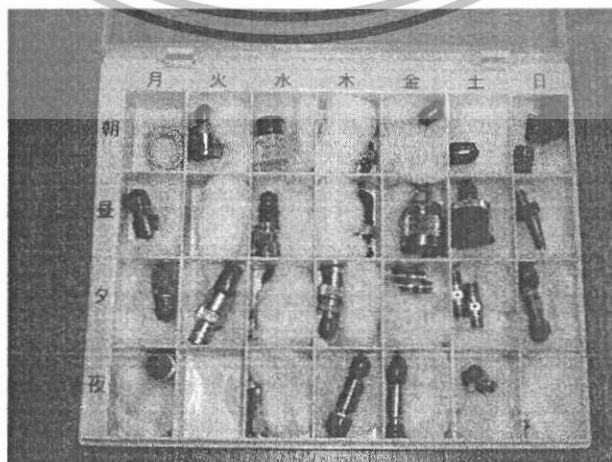


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ก.1 เครื่อง Vector Network Analyzers (VNA)



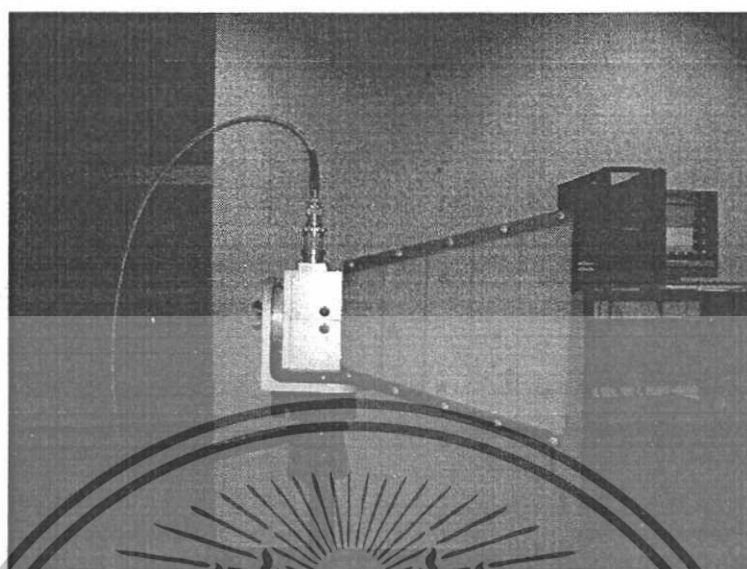
รูปที่ ก.2 ชุดเครื่องมือที่ใช้ร่วมกับ VNA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับสารเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 เสื่อที่ใช้ในการติดตั้งสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.6 สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การเตรียมเครื่อง Vector Network Analyzer ก่อนทำการวัด

การเตรียมเครื่อง Vector Network Analyzer ก่อนทำการวัดมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการต่อ Connector ที่หัวต่อ PORT 1 และที่หัวต่อ PORT 2 โดยใช้สายแบบ Coaxial Cable Semi rigid



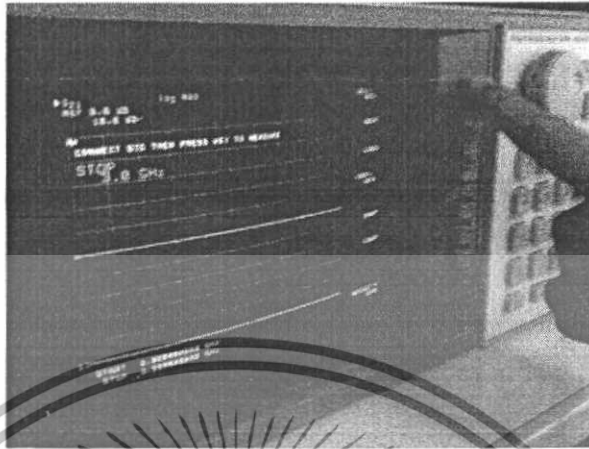
2. กด MANU ในโหมด STIMULUS



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กด CAL ที่ MENUS



- เลือกกดที่ CAL 1 (3.5 mm. B.3)
 - เลือกกดที่ FULL (2-PORT)
 - เลือกกดที่ REFLECT'N
4. ขั้นตอนคือ ไปเป็นการนำชุด CAL มาทำการ CAL ที่ติดตั้งที่หัวต่อ PORT 1 (S11)
- นำชุด CAL แบบ OPEN มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง 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 (ด้านที่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด OPEN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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
 - เลือกกดที่ REFLECT'N DONE
5. ทำการต่อหัว ISOLATOR เข้ากับสาย Coaxial Cable ทั้งสองด้าน จากนั้นจึงทำการกด TRANSMISSION และกดเลื่อนลงมาตามลำดับคือ
- กด FWD.TRANS.THURU
 - กด FWD.MATCH.THURU
 - กด REV.TRANS.THURU
 - กด REV.MATCH.THURU
6. กด TRANS DONE
- เลือกกดที่ OMIT ISOLATION
7. กด ISOLATION
8. กด ISOLATION DONE
9. กด SAVE (2-PORT CAL)
10. ทำการเลือกตำแหน่ง CAL SET โดยมีตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึง 8 เพื่อใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลที่ได้ทำการ CAL ไปแล้วข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้