

**การศึกษานพพื้นฐานของแบบจำลองและการวัดช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นในการระบุ
ลักษณะตัวต้นด้วยความถี่วิทยุด้วยสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร**

**A Study on RFID Propagation Channel Measurement and Modeling
with Indoor Environment**



โดย
นางสาวธีราภรณ์ จิระรัตน์
นายพรเทพ ลิ้มสุทรักษ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **83228**
วันเดือนปี..... - 6 ส.ค. 2551

b. 119.264.64
i.....

**ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A STUDY ON PROPAGATION CHANNEL MEASUREMENT AND MODELING
WITH INDOOR ENVIRONMENT**

**BY
MISS TEERAPORN JIRARAT
MR. PORNTHEP LEESAKULRAK**

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

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาบัตร การศึกษาบนพื้นฐานแบบจำลองและการวัดช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นในการระบุลักษณะตัวตน โดยความถี่วิทยุด้วยสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร

ชื่อนักศึกษา นางสาวธีราภรณ์ จิระรัตน์ รหัสประจำตัว 47010345
นายพรเทพ ลีสกุลรักษ์ รหัสประจำตัว 47012121

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.สถาพร พรหมวงศ์
รศ.นิกร สุขุมตันติ

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2550

ปริญญาบัตรฉบับนี้ได้รับการอนุมัติเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

(รศ.นิกร สุขุมตันติ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาบนพื้นฐานแบบจำลองและการวัดของสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นในการระบุลักษณะตัวตนโดยความถี่วิทยุด้วยสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวธีราภรณ์	จิระรัตน์	รหัสประจำตัว 47010345
	นายพรเทพ	ลีสกุลรักษ์	รหัสประจำตัว 47012121
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.สถาพร	พรหมวงส์	
	รศ.นิกร	สุชุมตตันติ	
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมสารสนเทศ		
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2550		

บทคัดย่อ

ระบบการสื่อสารแบบไร้สายมีสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ การสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นในตัวกลางอวกาศว่างบทความนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยในส่วนของพฤติกรรมการแพร่กระจายคลื่นความถี่วิทยุของระบบแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องลูกข่ายที่ขึ้นอยู่กับมุมและระยะทางที่แตกต่างกันที่ย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ในตัวกลางอวกาศว่างและได้นำสูตรของการส่งผ่านของฟรีสมาใช้พิจารณาในการวิเคราะห์หาข้อมูลและประสิทธิภาพของระบบผู้วิจัยได้แสดงค่าของฟังก์ชันการถ่ายโอนของเฟสและแมกนิจูดการสูญเสียเชิงวิถี อัตราการขยายเชิงวิถีอัตราความผิดพลาดของบิตการแผ่ประวิงเวลาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นและฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกัน โดยค่าดังกล่าวสามารถนำมาวิเคราะห์หาระดับความเข้มของสัญญาณและการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นวิทยุของสัญญาณการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุได้ทั้งนี้ผู้วิจัยยังเชื่อว่าการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สามารถให้แนวทางเพื่อ งานวิจัยในระบบแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุต่อไปได้

Thesis Title A Study on RFID Propagation Channel Measurement and Modeling with Indoor Environment

Student Miss Teeraporn Jirarat ID. 47010345

Mr.Pornthep Leesakulrak ID. 47012121

Advisor Ass.Prof.Nikorn Sukuthumtanti

Mr.Sathaporn Promwong

Graduate Level Bachelor Degree of Information Engineering

Department Information Engineering

Academic Year 2007

ABSTRACT

A part of important consideration in wireless communication systems is the free space propagation loss. In this paper, we focus on the radio propagation behavior of Radio Frequency Identification (RFID) systems between the reader and the transponder at frequency range 2.45 GHz depend on different the angle and distance in free space. The Friis' transmission formula [1] is considered find. The data analysis, the performance of systems, we will show in Magnitude and Phase antenna transfer function, Path Loss, Path Gain, Bit Error Rate, Power Delay Profile, Correlation Coefficient, Probability Density Function function and Cumulative Distribution Function that can be analyzed the signal strength and radio propagation loss of RFID transmission signal. We believe our study would give a good guideline for further researches on RFID systems.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงมีอาจสำเร็จได้ ถ้าปราศจากความร่วมมืออย่างดียิ่งจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณทุกท่านที่ได้มีส่วนช่วยเหลือแนะนำให้คำปรึกษา ในทุก ๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณ รศ.นิกร สุขุมตันติและ อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์อาจารย์ที่ปรึกษาทั้งสองท่านที่ได้ช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งเอื้อเฟื้อข้อมูลต่าง ๆ ในการจัดทำโครงการ จึงทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คุณประโยชน์อันพึงมีจากโครงการนี้ทางผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้



นางสาวธีราภรณ์ จิระรัตน์
นายพรเทพ ตีสกุลรักษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ช
สารบัญตาราง	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับ RFID	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 วิวัฒนาการของ RF-ID	4
2.2.1 การประยุกต์ใช้งาน RF ID	5
2.2.1.1 ด้านการแพทย์และสาธารณสุข (Healthcare)	6
2.2.1.2 ระบบตรวจสอบการเข้า-ออก (Access Control)	8
2.2.1.3 ด้านการปศุสัตว์ (Animal Identification)	9
2.2.1.4 งานห้องสมุด	10
2.2.2 ข้อจำกัดของ RF-ID	12
2.3 เทคโนโลยี RF-ID	14
2.3.1 องค์ประกอบของระบบ RF-ID	15
2.3.2 การสื่อสารข้อมูลของระบบ RF-ID	21
2.3.3 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์	22
2.3.4 ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง	22
2.3.5 ลักษณะการทำงานของ RFID	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.5.1 การทำงานของแท็กอาร์เอฟไอดีแบบพาสซีฟ	25
2.3.5.2 การทำงานของแท็กอาร์เอฟไอดีแบบแอ็กทีฟ	26
2.3.5.3 เทคนิคการรับและส่งข้อมูลระหว่างแท็กและเครื่องอ่าน	27
2.3.5.4 สรุปหลักการดำเนินงานเบื้องต้นของระบบ RFID	30
2.3.6 เปรียบเทียบข้อดีของอาร์เอฟไอดีกับรหัสแท่ง(barcode)	31
2.4 คุณสมบัติของระบบ RFID	33
2.4.1 อ่าน/เขียน โดยไม่ต้องสัมผัส (Contactless)	33
2.4.2 ทนต่อสภาพแวดล้อมและสิ่งสกปรก	33
2.4.3 สามารถอ่าน/เขียนข้อมูลได้สะดวก	33
2.4.4 สื่อสารได้ทุกทิศทาง	34
2.4.5 Tags สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้	34
2.4.6 RFID Tags มีหลากหลายแบบให้ประยุกต์ใช้งาน	34
2.4.7 ความสามารถในการทะลุทะลวงของสัญญาณ	34
2.4.8 สื่อสารได้ระยะไกล	35
2.4.9 หน่วยความจำขนาดใหญ่	35
2.4.10 อ่าน/เขียนข้อมูลได้ครั้งละมากกว่า 1 Tags พร้อมกัน	35
2.4.11 สามารถอ่าน/เขียนข้อมูลขณะวัตถุกำลังเคลื่อนที่	35
2.5 สรุป	36
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ของสัญญาณการส่งผ่าน	37
3.1 กล่าวนำ	37
3.2 การวิเคราะห์ของสัญญาณการส่งผ่าน	37
3.3 รูปแบบการส่งผ่านของฟรีส (Friis' Transmission Formular)	37
3.3.1 สมการฟรีสสำหรับช่องสัญญาณอวกาศว่าง	37
3.3.2 สมการฟรีสในรูปแบบเชิงซ้อนสำหรับช่องสัญญาณในอวกาศว่าง	38
3.4 การสูญเสียเชิงวิถี (PATH LOSS)	39
3.5 ทฤษฎีการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain)	40
3.6 การหน่วงกำลัง (Power Delay)	40
3.7 อัตราความผิดพลาดต่อบิต (Bite Error Rate)	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.8 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)	42
3.9 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function)	42
3.10 ฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกัน (Cumulative Distribution Function)	43
3.11 สรุป	44
บทที่ 4 การออกแบบโครงงาน	45
4.1 กล่าวนำ	45
4.2 ขั้นตอนและรูปแบบการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณ	45
4.2.1 (Vector Network Analyzer: VNA) รุ่น HP-8510C	45
4.2.2 แบบจำลองการวัดที่ 1	47
4.2.2.1 อุปกรณ์การทดลองที่ 1	49
4.2.2.2 ขั้นตอนการทดลองที่ 1	49
4.2.3 แบบจำลองการวัดที่ 2	50
4.2.3.1 อุปกรณ์การทดลองที่ 2	51
4.2.3.2 ขั้นตอนการทดลองที่ 2	51
4.3 สรุป	52
บทที่ 5 ผลการทดลอง	53
5.1 กล่าวนำ	53
5.2 ผลการทดลองแบบจำลองการวัดที่ 1	53
5.3 ผลการทดลองแบบจำลองการวัดที่ 2	59
5.3.1 การสูญเสียเชิงวิถี	59
5.3.2 อัตราการขยายเชิงวิถี	62
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	70
6.1 สรุปผลการทดลอง	70
6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 การนำ RFID มาประยุกต์ใช้ในปัจจุบัน	6
รูปที่ 2.2 การนำระบบ RFID ไปใช้ในงานด้านการแพทย์และสาธารณสุข	7
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างชิป RFID ที่ฝังไว้ในผิวหนังมนุษย์	8
รูปที่ 2.4 เครื่อง RFID ที่พัฒนาโดย NECTEC	9
รูปที่ 2.5 การใช้ RFID ในการตรวจสอบชั้นหนังสือ	12
รูปที่ 2.6 การทำงานของระบบ RFID	15
รูปที่ 2.7 องค์ประกอบของ RFID	16
รูปที่ 2.8 ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์	17
รูปที่ 2.9 ตัวอย่าง Active Tag ที่มีแบตเตอรี่รีลิเทียม 2 ก้อนอยู่ภายนอก	18
รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟ	19
รูปที่ 2.11 โครงสร้างภายในเครื่องอ่าน	20
รูปที่ 2.12 เครื่องอ่านแบบต่างๆ	21
รูปที่ 2.13 การสื่อสารระหว่างป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์และตัวรับข้อมูล	22
รูปที่ 2.14 ย่านคลื่นความถี่ที่ใช้ในระบบ RFID	23
รูปที่ 2.15 สนามแม่เหล็กจากกระบวนการคู่ควบแบบเหนี่ยวนำ	25
รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของ LF, HF, และ UHF	26
รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการเข้ารหัสแบบต่างๆ	27
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการทำมอดูเลตแบบ ASK	28
รูปที่ 2.19 ตัวอย่างการทำมอดูเลตแบบ FSK	28
รูปที่ 2.20 ตัวอย่างการทำมอดูเลตแบบ PSK	29
รูปที่ 2.21 เครื่องอ่านทำงานร่วมกับแท็กหลาย ๆ อันพร้อม ๆ กัน	29
รูปที่ 2.22 ตัวอย่างของอัลกอริทึมในการป้องกันการชนกันของข้อมูล (Anti-Collision) ในแท็ก	30
รูปที่ 2.23 การตรวจสอบสินค้า (ซ้าย) ใช้รหัสแท่งอ่านได้ระยะไกลไม่สะดวก (ขวา) ใช้อาร์เอฟไอดีอ่านได้ระยะไกล	31
รูปที่ 2.24 การอ่านลากสินค้า (ซ้าย) ใช้รหัสแท่งอ่านได้ที่ละชิ้น (ขวา) ใช้อาร์เอฟไอดีอ่านได้ที่ละหลายชิ้น	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 2.25 การตรวจสอบสินค้า (ซ้าย) ใช้รหัสแท่งเวลาอ่านต้องเห็นรหัสแท่งอย่างชัดเจน และอยู่ในระนาบเดียวกับเครื่องอ่าน (ขวา) ใช้อาร์เอฟไอดีเวลาอ่านไม่ต้องเห็นแท็ก(อ่านทะลุหีบห่อได้) และไม่ต้องอยู่ในระนาบเดียวกับเครื่องอ่าน	32
รูปที่ 3.1 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นในทางทฤษฎี	43
รูปที่ 3.2 ฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันในทางทฤษฎี	44
รูปที่ 4.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ รุ่น HP-8510C	46
รูปที่ 4.2 โครงสร้างของสายอากาศแบบไมโครสตริป	46
รูปที่ 4.3 S_{11} คุณสมบัติของสายอากาศแบบไมโครสตริป	47
รูปที่ 4.4 แบบจำลองการวัดที่ 1	48
รูปที่ 4.5 แบบจำลองการวัดที่ 2	50
รูปที่ 5.1 แมกนิจูดฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่มุม 90 องศา	54
รูปที่ 5.2 เฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่มุม 90 องศา	54
รูปที่ 5.3 กำลังการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่สายอากาศภาครับความสูง 0.50 และ 1.00 เมตร	55
รูปที่ 5.4 อัตราการขยายเชิงวิถีที่สายอากาศภาครับความสูง 0.50 และ 1.00 เมตร	55
รูปที่ 5.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่สายอากาศด้านรับความสูง 0.50 และ 1.00 เมตร	56
รูปที่ 5.6 ค่าอัตราความผิดพลาดของบิตที่สายอากาศด้านรับความสูง 0.50 เมตร	57
รูปที่ 5.7 ค่าอัตราความผิดพลาดของบิตที่สายอากาศด้านรับความสูง 1.00 เมตร	57
รูปที่ 5.8 กำลังของสภาวะการประวิงที่สายอากาศรับความสูง 1.00 เมตรตั้งแต่มุมที่ 30 ถึง 150°	58
รูปที่ 5.9 กำลังของสภาวะการประวิงที่สายอากาศรับความสูง 0.50 เมตรตั้งแต่มุมที่ 30 ถึง 150°	58
รูปที่ 5.10 การสูญเสียเชิงวิถี	61
รูปที่ 5.11 อัตราการขยายเชิงวิถี	64
รูปที่ 5.12 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น	65
รูปที่ 5.13 ฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกัน	66
รูปที่ 5.14 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่สายอากาศ	67
รูปที่ 5.15 อัตราความผิดพลาดของบิต	68
รูปที่ 5.16 การแผ่ประวิง	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของ RFID และ บาร์โค้ด	12
ตารางที่ 2.2 ความถี่วิทยุที่นิยมใช้งานทั่วไปสำหรับ RF-ID	24
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของการวัดและทดสอบในแบบจำลองการทดลองวิจัยที่ 1	36
ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ของการวัดและทดสอบในแบบจำลองการทดลองวิจัยที่ 2	51
ตารางที่ 5.1 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี	59
ตารางที่ 5.2 ค่าอัตราการขยายเชิงวิถี	62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 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), เหม็ญ, 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 ทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณที่ได้รับ ได้ แต่ยังมีปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น นั่นก็คือ ผลจากร่างกายมนุษย์ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลถึงคุณภาพของ

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

1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาเทคโนโลยี RFID
- เพื่อออกแบบรูปแบบการวัดและกำหนด Parameter ที่สำหรับใช้ในการวัดและทดสอบ
- เพื่อทำการวัดช่องสัญญาณการส่งผ่านของ RFID
- เพื่อทำการวิเคราะห์ Parameter ต่างๆที่ได้จากการวัด

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- ออกแบบและกำหนด Parameter สำหรับการทดลองวัด
- สร้างรูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการวิเคราะห์
- ทำการวัดและทดสอบช่องสัญญาณ RFID
- ทำการวิเคราะห์ผลการวัดและหาประสิทธิภาพของช่องสัญญาณ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่จะใช้ในการพัฒนาระบบ เช่น ศึกษาระบบ RFID และศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการส่งผ่านสัญญาณ
2. กำหนดขอบเขตโครงการ
3. วางแผนการทำงานและกำหนดระยะเวลาของการทำงานด้านต่างๆ
4. นำความรู้ที่ได้จากการศึกษาทฤษฎีต่างๆ มาวิเคราะห์และทำการทดลอง
5. ทดสอบระบบที่ได้ทำขึ้นมา และบันทึกผลการทดสอบ
6. สรุปการทำงานของสายอากาศที่ในการส่งสัญญาณ ผลของการส่งสัญญาณที่ได้จากการทำโครงการนี้ รวมทั้งแนวทางในการพัฒนาโครงการนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีเกี่ยวกับ RFID

2.1 กล่าวนำ

แม้ว่าในช่วงนี้จะเป็นเศรษฐกิจถดถอยและอาจทำให้การซื้อหาอะไรจะต้องคิดหน้าคิดหลังอยู่บ้าง แต่เชื่อแน่ว่าทุกคนคงเคยได้เข้าไปเดินจับจ่ายซื้อของตามห้างสรรพสินค้าต่าง ๆ ในขณะที่นำสินค้าไปยังแคชเชียร์เพื่อชำระเงิน ก็จะคุ้นเคยกับภาพของพนักงานที่ใช้อุปกรณ์บางอย่างตรวจสอบแถบรหัสหรือที่เรียกกันว่า แถบบาร์โค้ด บนตัวสินค้าเพื่ออ่านข้อมูลบางอย่างออกมา ชื่อแม้ว่าฉลากแบบบาร์โค้ดจะเป็นที่นิยมและใช้กันมากในบ้านเรา แต่ทว่าวิธีการเก็บข้อมูลแบบดังกล่าวก็ยังคงมีจุดด้อยที่ควรได้รับการแก้ไขอยู่หลาย ๆ จุด ปัญหาที่เห็นได้ชัดข้อหนึ่งก็คือ ปัญหาในการอ่านค่าข้อมูลจากแถบดังกล่าวที่ต้องลำแสงตรวจจับยิงลงไปยังฉลากเพื่ออ่านค่ากลับหรือใช้กล้องซีดีขนาดเล็กรับภาพฉลากขึ้นมาเพื่ออ่านภาพก็ตาม ซึ่งถ้าหากว่าแถบข้อมูลดังกล่าวมีรอยเปื้อนหรือไม่ชัดเจน การอ่านค่ากลับมา มีความผิดพลาด นอกจากนั้นวิธีการอ่านค่าที่จำเป็นต้องนำเครื่องอ่านมาวางอยู่เหนือฉลากที่ต้องการอ่านค่าก็ไม่ใช่วิธีทางที่สะดวกสำหรับงานบางประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีฉลากต้องตรวจสอบเป็นจำนวนมาก ๆ นี้ก็คงเป็นหนึ่งในหลาย 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 ซึ่งจะมีส่วนในการเปลี่ยนโฉมของสังคมเข้าสู่สังคมสารสนเทศของประเทศ ไทย เริ่มมีการใช้งานจริงหรือการทดสอบการใช้งานบ้างแล้ว ได้แก่ บัตรโดยสารรถไฟฟ้าใต้ดิน การทดสอบอาร์เอฟไอดี เพื่อการตรวจสอบย้อนกลับในอุตสาหกรรมอาหาร (food traceability) การใช้อาร์เอฟไอดีในการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง และการกระจายสินค้า จะเห็นได้ว่า อาร์เอฟไอดีเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มขีดการแข่งขันของประเทศเป็นอย่างมาก

2.2 วิวัฒนาการของ RFID

ในราวต้นศตวรรษที่ 20 ประมาณปี ค.ศ. 1922 ได้มีการนำเทคโนโลยีเรดาร์มาใช้ทางทหาร เพื่อระบุตำแหน่งวัตถุ โดยใช้เครื่องรับ-ส่งคลื่นวิทยุ ส่งคลื่นวิทยุ (Radio Frequency) ออกไปยังวัตถุ หรือเครื่องบินที่กำลังบินผ่านเขตน่านฟ้าของประเทศเพื่อระบุตำแหน่งและความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือเครื่องบิน โดยนำมาวิเคราะห์ เพื่อระบุตำแหน่งและความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องบิน และทำการระบุว่าเครื่องบินดังกล่าวเป็นของฝ่ายเดียวกันหรือของฝ่ายศัตรู ซึ่งการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวนี้ช่วยสร้างความได้เปรียบของพันธมิตรฝ่ายตะวันตกในสงครามโลกครั้งที่ 2 และนับได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของนำเทคโนโลยีRFID(Radio Frequency Identification) มาใช้

หลังจากนั้น ได้มีการพัฒนาศักยภาพในการทำงานให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจนเริ่มเป็นที่ยอมรับอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะหลังปี ค.ศ.1960 เป็นต้นมา ได้เริ่มมีการนำเทคโนโลยีRFID มาประยุกต์ใช้ในภาคเอกชน เช่น การนำมาใช้ด้านการควบคุมการเข้าออกสถานที่ของหน่วยงานองค์กร และบริษัทเอกชนเพื่อการรักษาความปลอดภัย การป้องกันการโจรกรรมทรัพย์สินและการขโมยข้อมูลสำคัญ รวมทั้งใช้ในการเก็บเงินค่าผ่านทางรถที่ผ่านไปมาหรือด่านเก็บเงินในด้านการขนส่งสินค้า

ต่อมาในปี ค.ศ.1970 ได้เริ่มมีการนำเทคโนโลยี RFID มาใช้ในการเก็บข้อมูลเบื้องต้น สำหรับการติดตามและตรวจสอบสัตว์โดยใช้ป้ายอิเล็กทรอนิกส์ฝังไมโครชิปเก็บข้อมูล โดยติดไว้กับตัวสัตว์และใช้เครื่องอ่านแบบไร้สายที่สื่อสารกันด้วยคลื่นวิทยุในการอ่านและเขียนข้อมูล (ได้แก่ ประวัติ วันเวลาในการผลิต วันเวลาหมดอายุ หรือราคาสินค้า เป็นต้น) การติดตามและตรวจสอบเส้นทางของพาหนะ (ได้แก่ วันเวลาที่รถบรรทุกออกจากโรงงานตรวจสอบเส้นทางที่ใช้ว่าเป็นไปตามที่กำหนดไว้หรือไม่ ตรวจสอบระยะทางและเวลาที่ใช้ในการเดินทาง เป็นต้น) และระบบตรวจสอบอัตโนมัติสำหรับบริหารจัดการในโรงงาน (ได้แก่ การใช้งานการจัดการ

กระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอนการผลิต การบริหารสินค้าในคลังสินค้าการจัดเก็บและสืบค้นข้อมูลในอุตสาหกรรม เป็นต้น)

ในปี ค.ศ.1980 เทคโนโลยี RFID ได้รับการพัฒนาศักยภาพในการทำงานเพื่อให้สามารถรองรับการทำงานที่มีลักษณะแตกต่างและหลากหลายรูปแบบมากขึ้นจนเกิดการพัฒนาและนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในส่วนต่างๆ ของโลกเพิ่มขึ้น อาทิ ประเทศสหรัฐอเมริกานิยมใช้ RFID ในด้านการขนส่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งทางรถไฟและระบบขนถ่ายสินค้า การเก็บเงินค่าผ่านทางตามท้องถนน การเข้า-ออกสถานที่ของพนักงานหรือลูกค้า และการควบคุมจำนวนของสัตว์ ส่วนในทวีปยุโรปนิยมใช้ RFID ก็มีการใช้งานใน RFID อย่างกว้างขวางและประยุกต์กับงานหลายประเภท เช่นเดียวกับทางสหรัฐอเมริกา

นับแต่ปี ค.ศ.1990 มาจนถึงปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่เพื่อสนับสนุนรูปแบบการทำงานที่หลากหลายคาบเกี่ยวในหลายสาขาของธุรกิจที่มีรูปแบบการทำงานที่มีความแตกต่างกัน เนื่องจาก RFID มีคุณสมบัติที่พิเศษและโดดเด่นกว่าเทคโนโลยีอื่น อาทิบาร์โค้ด (Bar Code) ตัวอย่างคุณสมบัติที่โดดเด่นของ RFID ได้แก่ สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้โดยไม่ต้องสัมผัส ทนต่อสภาพแวดล้อมและ สิ่งสกปรก สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้สะดวก สื่อสารได้ทุกทิศทาง มีความสามารถในการทะลุทะลวงของสัญญาณ โดยสามารถทะลุผ่านวัตถุที่ไม่เป็น โลหะหรือมีโลหะผสมอยู่ได้ นอกจากนั้นป้ายอิเล็กทรอนิกส์หรือป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ (Tag) ยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ป้ายอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานกันในปัจจุบันมีหลากหลายแบบให้ประยุกต์ใช้งาน มีระยะสื่อสารตั้งแต่ 0 - 10 เมตร อ่านและเขียนข้อมูลได้มากกว่าครั้งละหนึ่งป้ายพร้อมกัน และสามารถอ่านและเขียนข้อมูลขณะวัตถุกำลังเคลื่อนที่ได้เป็นต้น

2.2.1 การประยุกต์ใช้งาน RFID

ในปัจจุบันระบบ RFID ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในหลากหลายด้าน เช่น ระบบคลังสินค้า ระบบการขนส่ง ด้านการทหาร ด้านการแพทย์และสาธารณสุข ด้านการเกษตรกรรมและปศุสัตว์ ธุรกิจการบิน ธุรกิจการเงิน การศึกษา การท่องเที่ยว การผลิตอุตสาหกรรม ตัวอย่างการใช้งานที่สำคัญๆ ได้แก่



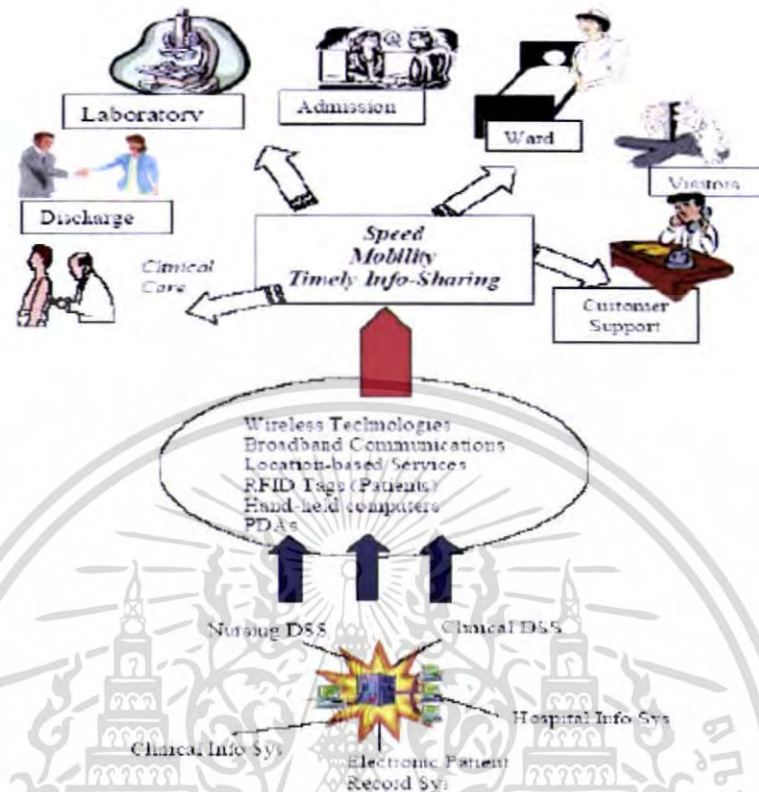
รูปที่ 2.1 การนำ RFID มาประยุกต์ใช้ในปัจจุบัน

2.2.1.1 ด้านการแพทย์และสาธารณสุข (Healthcare)

มีการนำ RFID มาใช้งานสำหรับการทำ Asset tracking กับเครื่องมือแพทย์ที่มีราคาแพง ทำให้สามารถตรวจสอบการเก็บรักษาเครื่องมือแพทย์ได้สะดวกรวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีการใช้ RF-ID เสริมในการผลิตยาเพื่อตรวจสอบยาปลอม ซึ่งช่วยให้ผู้ผลิตสามารถป้องกันความสูญเสียจากสินค้าเลียนแบบ และป้องกันไม่ให้ผู้ป่วยได้รับยาที่ไม่มีคุณภาพหรือยาปลอมได้

ข้อมูลจาก The United States of Food and Drug Administration (USFDA) รายงานว่าปัจจุบันโรงพยาบาลบางแห่งในสหรัฐฯ ได้ฝังป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ไว้ใต้ผิวหนังบริเวณท่อนแขนของคนไข้ เพื่อความสะดวกในการตรวจรักษาและติดตามข้อมูลการรักษาของผู้ป่วย เมื่ออวัยวะที่ได้รับการฝังชิปไว้ภายในถูกสแกนด้วยเครื่องอ่านระบบจะแสดงข้อมูลการรักษาของคนไข้รายนั้นออกมา ทำให้แพทย์ที่ถูกเปลี่ยนให้มาดูแลรักษาคนไข้รายดังกล่าวได้รับทราบประวัติการรักษา โดยแพทย์คนก่อนหน้านั้นได้อย่างถูกต้องหรือหากคนไข้ถูกส่ง มาโรงพยาบาลอย่างหมดสติ เมื่อเครื่องอ่านสแกนผ่านป้ายระบุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การนำระบบ RFID ไปใช้ในงานด้านการแพทย์และสาธารณสุข

อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีหมายเลขที่ไม่ซ้ำกันอยู่ในนั้น ก็จะทำให้สามารถทราบข้อมูลเกี่ยวกับคนไข้อย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ฝังใต้ผิวหนังมนุษย์นี้ยังถูกใช้ในการติดตามคนไข้ที่เป็นโรคที่ต้องการติดตามอย่างใกล้ชิด เช่น โรคอัลไซเมอร์ โรลเบาหวาน และโรคหัวใจ เป็นต้น สำหรับวิธีการฝังป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ลงไปใต้ผิวหนังไม่ได้ยุ่งยากมากนัก เพียงแค่บรรจุชิปลงในหลอดฉีดยาแล้วฉีดลงไปใต้ผิวหนัง โดยชิปจะถูกเคลือบด้วยสารที่ชื่อว่า Biobond ช่วยในการยึดเกาะกับเนื้อเยื่อภายในร่างกาย และช่วยป้องกันไม่ให้ชิปเสียหายด้วย

นอกจากนี้ เทคโนโลยี RFID ยังถูกนำไปประยุกต์ใช้ในบริษัทบริหารจัดการขยะในญี่ปุ่นแห่งหนึ่ง ได้ร่วมมือกับโรงพยาบาลและบริษัทรับขนส่ง กำลังศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยี RFID มาใช้ในการจัดการขยะทางการแพทย์ ทั้งนี้เนื่องจากขยะทางการแพทย์เป็นขยะอันตราย จึงต้องระมัดระวังในเรื่องการกำจัดและการขนส่งเป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างชิป RFID ที่ฝังไว้ในผิวหนังมนุษย์

2.2.1.2 ระบบตรวจสอบการเข้า-ออก (Access Control)

เทคโนโลยี RFID ถูกนำไปประยุกต์ใช้การจัดทำบัตรในลักษณะต่างๆ เพื่อควบคุมการเข้าออกอาคารหรือสถานที่ต่างๆ (Access Control) รวมถึงการตรวจสอบเวลาเข้า-ออกการเข้ารหัสเพื่อใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ แทนระบบเดิมที่ใช้บัตรแถบแม่เหล็ก เนื่องบัตรแถบแม่เหล็กเมื่อมีการใช้งานนานจะมีการชำรุดสูง แต่บัตรแบบ RFID (Proximity Card) มีอัตราการชำรุดต่ำกว่า เนื่องจากลักษณะของการทำงานนั้นนำบัตรเพียงแตะหรือแสดงผ่านหน้าเครื่องอ่านเท่านั้น

การนำ RFID มาใช้กับการควบคุมการเข้า-ออกอาคารและสถานที่ต่างๆ จะช่วยให้สามารถตรวจสอบได้ว่าผู้ที่มีสิทธิผ่านเข้าออกเท่านั้นที่จะเข้าไปยังสถานที่ควบคุมได้ นอกจากนี้สามารถนำไปใช้ในด้านต่างๆ ดังนี้

- ควบคุมการเข้า-ออกอาคาร (Building Access Control Applications)
- ควบคุมการเข้าออกอาคารจอดรถ(Parking Access Control Applications)
- ความปลอดภัยในสนามบิน (Airport Security)
- เครื่องตรวจเช็คการเข้า-ออกอัตโนมัติ (Passive Entry and Hands-Free Access Control)
- Product Authentication Applications Against Fraud
- Ticketing Applications

นอกจากนั้น บัตรแบบ RFID ยังมีแนวโน้มถูกนำไปใช้เพื่อระบุตัวตน (Personal Identification) ที่เชื่อมโยงกับหนังสือเดินทางอิเล็กทรอนิกส์ (E-Passport) และ บัตรเอกสารประชาชนอิเล็กทรอนิกส์ (E-Citizen) ในอนาคตอีกด้วย ไม่นานมานี้เห็นได้ว่าประเทศไทยได้เริ่มนำเทคโนโลยี RFID ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 เครื่อง RFID ที่พัฒนาโดย NECTEC

2.2.1.3 ด้านการปศุสัตว์ (Animal Identification) และการตรวจสอบย้อนกลับอาหาร (Food Traceability)

ระบบ Animal tracking นี้เหมาะกับการพัฒนาใช้กับงานปศุสัตว์ให้เป็นระบบฟาร์มอัตโนมัติขึ้น ด้วยป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ติดตัวสัตว์เลี้ยง เพราะจะช่วยให้สามารถทราบเจ้าของตรวจสอบสายพันธุ์ การให้อาหารและการควบคุมโรคติดต่อในสัตว์ได้ โดย ID Tag ที่ใช้ในฟาร์มปศุสัตว์จะสามารถระบุข้อมูลเฉพาะของสัตว์ได้ เช่น วัน เดือน ปี เกิด น้ำหนัก การได้รับวัคซีนหรือยา ชื่อและสถานที่ตั้งของฟาร์มปศุสัตว์ ซึ่งข้อมูลที่เกี่ยวกับฟาร์มมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อระบบห่วงโซ่อาหาร ซึ่งจะรวมไปถึงขั้นตอนการผลิต การขนส่ง การฆ่าสัตว์ กระบวนการขนส่ง สินค้าทั้งรูปแบบขายส่งและขายปลีก และจบลงที่ผู้บริโภคสุดท้าย การติดป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ไว้กับถุงหรือหีบห่ออาหาร สามารถช่วยบอกได้ว่าสิ่งนั้นๆ มาจากแหล่งผลิตใดและเมื่อเกิดปัญหาด้านการปนเปื้อน ก็จะช่วยหาต้นตอได้อย่างรวดเร็ว เพราะทราบที่มาที่ไป (Food Safety through Traceability)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสืบย้อนหาที่มาของอาหารเป็นสิ่งที่เหมาะสมอย่างยิ่งในการตอบสนองเป้าประสงค์ของรัฐบาลไทย ในการมุ่งสู่การเป็นครัวของโลก (Kitchen of the World) นอกจากนี้ยังช่วยส่งเสริมมาตรฐานความปลอดภัยด้านอาหารที่จำเป็นต่อการส่งออกไปยังประเทศที่มีการกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยของสินค้าอาหารนำเข้าที่เข้มงวด เช่น ญี่ปุ่น และ ยุโรป

สำหรับประเทศไทยมีการนำเทคโนโลยี RFID ไปใช้ในฟาร์มสุกรของเอกชน 2 – 3 แห่งตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 โดยมีจุดประสงค์เพื่อควบคุมปริมาณการให้อาหารของสุกรแม่พันธุ์ในฟาร์มเลี้ยงสุกร ซึ่ง RFID chip สามารถช่วยลดต้นทุนแรงงาน และความผิดพลาดที่เกิดจากคนได้ เพราะในอดีต การให้อาหารแม่สุกรจำนวนมากๆ ด้วยแรงงานคนมักขาดความถูกต้องแม่นยำในเรื่องการกำหนดปริมาณอาหาร และระยะเวลาในการให้อาหาร อีกทั้ง ระบบการให้อาหารอัตโนมัติยังช่วยแก้ไขปัญหาอาหารสัตว์หกหล่น ในขณะที่แรงงานคนลำเลียงอาหารไปยังจุดต่างๆ อีกด้วย อย่างไรก็ตาม ฟาร์มปศุสัตว์ต้นแบบที่ใช้เทคโนโลยี RFID ก็ยังคงประสบกับปัญหาต้นทุนในการดูแลรักษาอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีอัตราสูง เพราะอุปกรณ์ส่วนใหญ่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ ทำให้บริการหลังการขายไม่สะดวก และมีค่าบริการที่สูง

2.2.1.4 งานห้องสมุด

ห้องสมุดหลายแห่งในประเทศสหรัฐอเมริกาและสิงคโปร์ ได้เป็นผู้ที่เริ่มนำเทคโนโลยี RFID เข้ามาใช้ในห้องสมุดแทนบาร์โค้ด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดภาระการทำงานประจำของเจ้าหน้าที่ และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของห้องสมุด โดย RFID นั้นสามารถประยุกต์ใช้กับงานห้องสมุดด้านต่างๆ ได้ดังนี้

(1) เครื่องบริการยืม - คืนทรัพยากรสารสนเทศอัตโนมัติ (Borrowing station) เครื่องบริการยืม - คืนทรัพยากรสารสนเทศอัตโนมัติ เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีไว้สำหรับบริการผู้ใช้ที่ต้องการทำรายการยืมหรือคืนทรัพยากรสารสนเทศด้วยตนเอง (self check) เมื่อต้องการยืม สมาชิกต้องระบุข้อมูลของตนเองเข้าสู่ระบบโดยใช้บัตรสมาชิก เช่น

PIN Code Barcode Identification หรือ Smart card รวมถึง Biometrics เช่น ลายนิ้วมือ เป็นต้น ผู้ยืมเพียงวางหนังสือที่ต้องการยืมหรือคืนไว้ที่แผ่นรับสัญญาณ ระบบก็จะทำการตรวจสอบ หลังจากนั้นระบบจะพิมพ์ใบยืม-คืนออกมา

นอกจากนั้นห้องสมุดส่วนมากยังจัดบริการคืนหนังสือ โดยจัดตู้ให้ผู้ใช้คืนหนังสือ (library book drop) เมื่อนำหนังสือมาคืน เครื่องอ่านจะอ่านข้อมูลจากป้ายทันที ทำให้ผู้ใช้ได้ใช้สิทธิในการยืมได้อย่างเต็มที่ ไม่ต้องนำมาคืนก่อนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) เครื่องตรวจสอบชั้นวางทรัพยากรสารสนเทศ เครื่องตรวจสอบชั้นวางทรัพยากรสารสนเทศ (Sorting station) ใช้สำหรับตรวจสอบหมายเลขชั้นที่เป็นที่อยู่ของทรัพยากรสารสนเทศด้วยการวางทรัพยากรสารสนเทศลงบนแผ่นตรวจสอบชั้นวาง (Sorting pad) เมื่อแผ่นตรวจสอบรับข้อมูลจากป้ายที่อยู่ในตัวทรัพยากรข้อมูลที่ได้จะถูกส่งไปแสดงยังหน้าจอ เพื่อแจ้งให้ทราบว่าทรัพยากรสารสนเทศนั้นอยู่ที่ชั้นหมายเลขอะไร พร้อมกันนั้นระบบจะเปิดสัญญาณป้องกันการขโมยทรัพยากรสารสนเทศกลับขึ้นมาใหม่

(3) การสำรวจทรัพยากรสารสนเทศและการจัดชั้น (Inventory and Shelf Management) การสำรวจทรัพยากรสารสนเทศบนชั้น โดยใช้เครื่องอ่านสัญญาณความถี่วิทยุแบบมีคัมจับที่สามารถยึด - หักได้ โดยนำเครื่องอ่านไปอ่านทรัพยากรสารสนเทศที่เรียงอยู่บนชั้นต่างๆ (โดยไม่ต้องเปิดอ่านทีละเล่ม) เครื่องอ่านทำหน้าที่จ่ายสัญญาณไปยังป้าย หลังจากนั้นข้อมูลที่อยู่ในป้ายจะถูกส่งกลับมาเพื่อตรวจสอบ โดยที่ระยะเวลาในการอ่านขึ้นอยู่กับขนาดของหน่วยความจำและความเร็วของเครื่องอ่าน โดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 2 - 20 เล่มต่อวินาทีเมื่อเครื่องอ่านตรวจสอบพบความผิดปกติ เช่น ทรัพยากรเรียงผิดตำแหน่งจะส่งข้อความหรือสัญญาณเตือนให้เจ้าหน้าที่ทราบ

(4) ระบบรักษาความปลอดภัย ระบบรักษาความปลอดภัย (theft detection) ของทรัพยากรสารสนเทศ เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตรวจสอบการนำทรัพยากรสารสนเทศออกจากห้องสมุดอย่างไม่ถูกต้อง ระบบรักษาความปลอดภัยซึ่งประกอบด้วยประตูที่มีสัญญาณเสียงหรือสัญญาณอื่นๆ เพื่อแจ้งให้เจ้าหน้าที่ทราบเมื่อเกิดสิ่งผิดปกติ เมื่อผู้ใช้นำทรัพยากรสารสนเทศออกไปโดยไม่ผ่านการยืม ประตูจะส่งสัญญาณเตือนให้เจ้าหน้าที่ทราบ

สำหรับห้องสมุดของมหาวิทยาลัยในประเทศไทยนั้น ได้เริ่มมีการนำระบบ RFID เข้ามาใช้ในห้องสมุดบ้างแล้วตัวอย่างเช่นการนำมาใช้งานในห้องสมุดป่วย อังคารของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ โดยความเป็นมาในการนำระบบ RFID มาใช้ เริ่มจากการที่มหาวิทยาลัยได้ย้ายคณะสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ จากท่าพระจันทร์ มาตั้งอยู่ที่ศูนย์รังสิตจึงทำให้ต้องแบ่งเจ้าหน้าที่ห้องสมุดส่วนหนึ่งมาอยู่ที่นั่นด้วย ซึ่งในขณะนั้นเจ้าหน้าที่มีจำนวนน้อย ทางมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์จึงได้หาเทคโนโลยีมาช่วยในการให้บริการผู้ใช้ห้องสมุดเพื่อให้ได้รับความสะดวกและสามารถเปิดบริการห้องสมุดได้ในช่วงเวลาที่ยาวขึ้นซึ่งจากการศึกษาข้อมูลและการดูงานห้องสมุดต่างประเทศจึงได้เริ่มนำระบบ RFID เข้ามาใช้งานในปี พ.ศ. 2546 ด้วยเงินงบประมาณในการติดตั้งระบบ 13 ล้านบาท สำหรับหนังสือ จำนวน 200,000 เล่ม และเทอร์มินัลจำนวน 8 ชุด ทั้งนี้ ไม่รวมค่าบำรุงรักษาระบบอีกปีละหลายแสนบาท



รูปที่ 2.5 การใช้ RFID ในการตรวจสอบชั้นหนังสือ

2.2.2 ข้อจำกัดของ RFID

ถึงแม้ RFID เป็นเทคโนโลยีการระบุอัตโนมัติ (Automatic identification) เช่นเดียวกับเทคโนโลยีรหัสแท่งหรือบาร์โค้ดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลกในปัจจุบัน แต่ RFID สามารถแก้ไขข้อจำกัดหลายประการของการใช้บาร์โค้ด ดังแสดงในตารางด้านล่าง

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของ RFID และ บาร์โค้ด

คุณสมบัติ	บาร์โค้ด	RFID
ความสามารถในการอ่านป้ายสินค้าโดยไม่ต้องเล็ง	ไม่มี(ต้องใช้แสงเลเซอร์กราดป้ายรหัสแท่งตามแนวการมองเห็น)	มี(อ่านป้ายได้แม้ไม่อยู่ในแนวการมองเห็น เพียงขอให้อยู่ในรัศมีการอ่านของเครื่องอ่าน)
ความสามารถในการอ่านป้ายสินค้าหลายชั้นพร้อมกัน	ไม่มี	มี(ด้วยระบบ anti-collision ป้องกันการชนกันของข้อมูล)
ความสามารถในการนำป้ายกลับมาใช้ซ้ำหรือบันทึกข้อมูลใหม่	ไม่มี	อาจมีได้ (หากใช้หน่วยความจำชนิดโปรแกรมแล้วลบได้)
ความสามารถในการระบุสินค้ารายชิ้น	ไม่มี(ระบุได้เพียงรายชนิด)	มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

คุณสมบัติ	บาร์โค้ด	RFID
ความสามารถในการกันขโมย	ไม่มี	มี
ความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม	ไม่ทนต่อความเปียกชื้น และความเปรอะเปื้อน	ทนต่อความเปียกชื้น และความเปรอะเปื้อน
ต้นทุนของป้ายสินค้า	ต่ำมาก	ค่อนข้างสูง(แต่มีแนวโน้มลดลง)
ระยะเวลาอ่าน	ใกล้	ไกลกว่า
เวลาที่ใช้ในการตรวจนับสินค้า 300 ชิ้น (300 ป้ายสินค้า)	30 นาที	5 วินาที (ตามมาตรฐาน EPC Class 1 Gen 2)

สิ่งที่เป็นข้อจำกัดสำคัญประการหนึ่งของ RFID ในปัจจุบันคือราคาต่อหน่วยที่ยังสูง(ประมาณ 10-20 บาทต่อ 1 ชิ้น7) เมื่อเทียบกับบาร์โค้ด ทำให้ผู้ประกอบการต้องพิจารณาถึงผลตอบแทนจากการลงทุนและความเหมาะสมในการบูรณาการ RFID เข้าในกระบวนการผลิตของตน โดยต้องคำนึงถึงต้นทุนที่ลดลงในระยะยาวและมูลค่าเพิ่มของสินค้าที่เกิดขึ้นจากการใช้ RFID กระบวนการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน (cost-benefit analysis) จึงมีความสำคัญต่อการตัดสินใจของผู้ประกอบการ จากประสบการณ์ที่ผ่านมาในการนำเทคโนโลยีใหม่ๆ ไปประยุกต์ใช้ราคาเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการยอมรับของตลาดในระดับ mass-market

แม้ว่าราคายังแพง แต่การใช้ RFID อาจให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุน จากการศึกษาเบื้องต้นของ Siemens Business Services พบว่าเมื่อเทียบกับบาร์โค้ดแล้ว RFID สามารถลดต้นทุนได้ถึงร้อยละ 50 ต่อแพลตฟอร์ม ในขณะที่ช่วยลดอัตราความผิดพลาดเหลือ 0.1% ผลการศึกษาของซีเมนส์ยังต้องได้รับการพิสูจน์ต่อไปจากการดำเนินโครงการนำร่อง (pilot projects) ต่างๆ

ปัญหาเรื่องต้นทุนจะได้รับการแก้ไขในที่สุด ด้วยจำนวนผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้นและการกำหนดมาตรฐานที่ชัดเจนแน่นอนและเปิดกว้างมากขึ้น (มาตรฐาน EPC Class 1 Gen 2 ซึ่งคาดว่าจะได้รับการรับรองจาก ISO ให้เป็นมาตรฐาน ISO 18000-6c8) IDC คาดการณ์ว่าราคาของป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องอ่าน และอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ จะมีราคาถูกลงในอนาคตอันใกล้ ยังผลให้เกิดความยอมรับในเทคโนโลยี RFID มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ราคายังถูกลงอีกซึ่งจะทำให้ RFID สามารถทดแทนบาร์โค้ดได้มากขึ้นเรื่อยๆจนอาจกล่าวได้ว่าจะมีสินค้าติดป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ 1 ชิ้นต่อสินค้าทุกๆ 20 ชิ้น ภายในปี ค.ศ. 2008 (จากการประมาณของ Sereon Research) ซึ่งเมื่อนั้นการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งาน RFID จะเข้าสู่ระดับรายชิ้น (item-level) แทนที่จะเป็นเพียงรายพัสดุ (pallet-level) ดังที่พบในโครงการนำร่องของผู้ค้าปลีกรายใหญ่ในประเทศต่างๆ

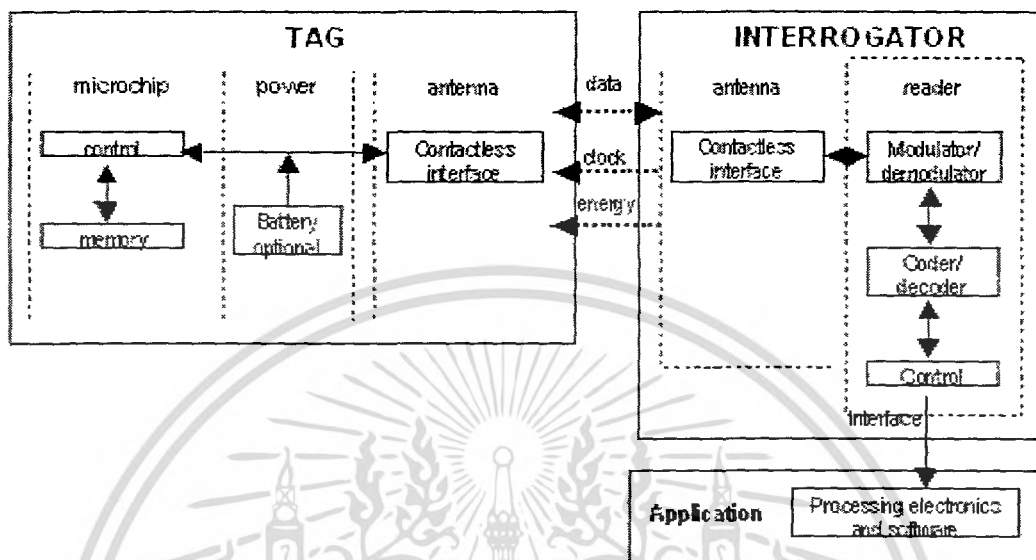
อย่างไรก็ตาม ด้วยราคาที่ยังคงค่อนข้างสูงในปัจจุบัน ทำให้คาดการณ์ได้ว่าระบบบาร์โค้ดจะยังคงอยู่เคียงคู่ระบบ RFID ไปอีกนานหลายปี เนื่องจากการใช้งานกับสินค้าราคาถูกยังขาดความคุ้มค่าในระดับ item สินค้าที่ RFID สามารถเข้าไปทดแทนบาร์โค้ดลงไปถึงระดับ item คือสินค้าที่มีมูลค่าสูงหรือมีความเสี่ยงจากการถูกปลอมแปลง เช่น ซีดี, ดีวีดี, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เสื้อผ้าที่มียี่ห้อ และยา นอกจากนี้ความพยายามทำให้ราคา RFID ต่ำลงด้วยการกำหนดมาตรฐาน RFID สำหรับการจัดการหน่วยสินค้า (RFID for item management) โดย ISO และ EPC Global แล้ว ยังมีความพยายามของหน่วยงานวิจัยอีกหลายแห่งที่จะหาเทคโนโลยีในการทำให้ราคา RFID ต่ำลงหนึ่งในหน่วยงานนั้นคือกระทรวงเศรษฐกิจ การค้าและอุตสาหกรรม (METI) ของญี่ปุ่นซึ่งมีกำลังดำเนินโครงการที่จะตัดราคาป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ ให้เหลือเพียง 5 เยน (ประมาณ 2 บาท) โดยความร่วมมือของ Hitachi, Dai Nippon Printing และ Toppan Printing ซึ่งจะพัฒนา UHF passive tag inlay ที่มีหน่วยความจำ 512 บิต เขียนซ้ำได้ 100,000 ครั้ง, ระยะอ่านไม่ต่ำกว่า 3 เมตร, ระยะเขียนไม่ต่ำกว่า 1 เมตร, และ อายุการใช้งาน 10 ปี ระบบจะต้องอ่านป้ายได้ 100 ป้ายต่อวินาทีบนสายพานลำเลียงที่มีความเร็วไม่เกิน 180 เมตรต่อนาที ซึ่งเป็นที่น่าจับตาว่าหากโครงการดังกล่าวประสบความสำเร็จ ตลาด RFID จะขยายตัวเพิ่มขึ้นอีกมากเท่าใด

2.3 เทคโนโลยี RFID

RFID ย่อมาจากคำว่า Radio Frequency Identification เป็นระบบที่นำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นพาหะเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย (wireless) ระหว่างอุปกรณ์สองชนิดที่เรียกว่าป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์หรือป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ (tag) และตัวอ่านข้อมูล โดยการนำข้อมูลที่ต้องการจะส่ง มาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นวิทยุแล้วส่งออกผ่านทางสายอากาศที่อยู่ในตัวรับข้อมูล ดังแผนผังการทำงานของระบบ RFID ดังรูปที่ 2.6

การประยุกต์ใช้งาน RFID จะมีลักษณะการใช้งานที่คล้ายกับบาร์โค้ด (Barcode) และยังสามารถรองรับความต้องการอีกหลายอย่างที่บาร์โค้ดไม่สามารถตอบสนองได้ เนื่องจากบาร์โค้ดจะเป็นระบบที่อ่านได้อย่างเดียว (read only) ไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่อยู่บนบาร์โค้ดได้ แต่ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ของระบบ RFID จะสามารถทั้งอ่านและบันทึกข้อมูลได้ ดังนั้นเราจึงสามารถเปลี่ยนแปลง หรือทำการบันทึกข้อมูลที่อยู่ในป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน นอกจากนี้ระบบ RFID ยังสามารถใช้งานได้แม้ในขณะที่วัตถุกำลังเคลื่อนที่ เช่น

ในขณะที่สินค้ากำลังเคลื่อนที่อยู่บนสายพานการผลิต(conveyor) หรือในบางประเทศก็มีการใช้ระบบ RFID ในการเก็บค่าผ่านทางด่วน โดยที่ผู้ใช้



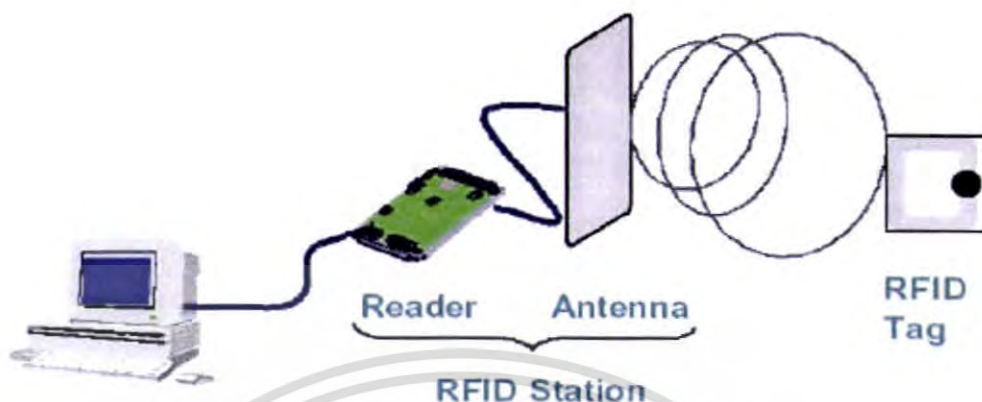
รูปที่ 2.6 การทำงานของระบบ RFID

บริการทางด่วนไม่ต้องหยุดรถเพื่อจ่ายค่าบริการ ผู้ใช้บริการทางด่วนจะมี RFID ป้ายระบบอิเล็กทรอนิกส์ติดอยู่ที่รถ และป้ายระบบอิเล็กทรอนิกส์จะทำการสื่อสารกับตัวอ่านข้อมูลผ่านสายอากาศขนาดใหญ่ที่ติดตั้งอยู่ตรงบริเวณทางขึ้นทางด่วน ในขณะที่รถแล่นผ่านสายอากาศตัวอ่านข้อมูลก็จะคิดค่าบริการและบันทึกจำนวนเงินที่เหลือลงในป้ายระบบอิเล็กทรอนิกส์โดยอัตโนมัติ หรือแม้กระทั่งการใช้งานในปศุสัตว์เพื่อบันทึกประวัติ หรือระบุความแตกต่างของสัตว์แต่ละตัวที่อยู่ในฟาร์ม ข้อดีของระบบ RFID อีกประการหนึ่งคือ ป้ายระบบอิเล็กทรอนิกส์และตัวอ่านข้อมูลสามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายชนิด เช่น น้ำ พลาสติก กระดาษ หรือวัสดุทึบแสงอื่นๆ ในขณะที่บาร์โค้ดทำไม่ได้

2.3.1 องค์ประกอบของระบบ RFID

ระบบ RFID ประกอบไปด้วยฮาร์ดแวร์ที่สำคัญได้แก่ ป้ายอิเล็กทรอนิกส์หรือป้ายระบบอิเล็กทรอนิกส์ และ เครื่องอ่าน ดังแสดงในรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 องค์ประกอบของ RFID

Tag หรือ Transponder ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ (Tag) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ทรานสปอนเดอร์ (Transponder) มาจากคำว่า ทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ผสมกับคำว่า เรสพอนเดอร์ (Responder) ซึ่งป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ในป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ตอบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล การสื่อสารระหว่างป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์และตัวอ่านข้อมูลจะเป็นแบบไร้สายผ่านอากาศ ภายในป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบไปด้วย ชิปสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Chip) ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับสายอากาศ

ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์อาจมีรูปร่างได้หลายแบบขึ้นอยู่กับนำไปใช้งาน โดยอาจมีรูปร่างเหมือนบัตรเครดิตในการใช้งานทั่วไป หรือเล็กขนาดใส่ดินสอยาวเพียง 10 มิลลิเมตร เพื่อฝังเข้าไปใต้ผิวหนังสัตว์ในกรณีนำไปใช้ในงานปศุสัตว์ หรืออาจมีขนาดใหญ่มากสำหรับป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ติดกับเครื่องจักรขณะทำการขนส่ง ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์อาจนำไปติดไว้กับสินค้าในร้านค้าปลีกทั่วไปเพื่อป้องกันขโมย โดยจะมีการติดตั้งสายอากาศของตัวอ่านข้อมูลขนาดใหญ่ไว้ตรงประตูทางออกเพื่อทำการตรวจจับขโมย ชิปที่อยู่ในป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์จะมีหน่วยความจำซึ่งอาจเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว (ROM) หรือทั้งอ่านทั้งเขียน (RAM) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน โดยปกติหน่วยความจำแบบ ROM จะใช้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัย เช่น ข้อมูลของบุคคลที่มีสิทธิผ่านเข้าออกในบริเวณที่มีการควบคุมหรือระบบปฏิบัติการ ในขณะที่ RAM จะใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างที่ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์และตัวอ่านข้อมูลทำการติดต่อสื่อสารกัน นอกจากนี้อาจมีการนำหน่วยความจำแบบ EEPROM มาใช้ในกรณีที่ต้องการเก็บข้อมูลในระหว่างที่ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์และตัวอ่านข้อมูลทำการสื่อสาร และข้อมูลยังคงอยู่ถึงแม้จะไม่มีพลังงานไฟฟ้าป้อนให้แก่ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปวัสดุที่นำมาทำป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์อาจเป็น กระดาษ แผ่นฟิล์ม พลาสติกที่มีขนาดและรูปร่างต่างๆ กันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำมาไปติดและมีหลาย รูปแบบ เช่นบัตรเครดิต เหรียญ กระดุม ฉลากสินค้า แคลปซูล หรือป้าย เป็นต้น (ดังแสดงในรูปที่ 2.8) ประเภทของป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ



รูปที่ 2.8 ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์

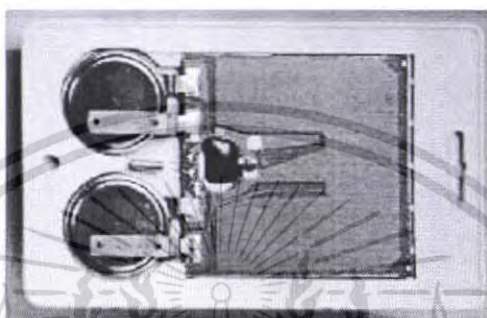
(1) Active Tag หรือ ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ชนิดแอ็กทีฟ ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ชนิด

นี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายใน เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ทำงาน โดยปกติเราจะสามารถทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงในป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้ได้และสิ่งที่ต้องใส่แบตเตอรี่จึงทำให้ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ชนิดแอ็กทีฟนี้มีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดต้องนำป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีการปิดผนึก (Seal) ที่ตัวป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์จึงไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าสามารถออกแบบวงจรของป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ชนิดแอ็กทีฟนี้จะมีกำลังส่งสูงและระยะการรับส่งข้อมูลไกลกว่าป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟ นอกจากนี้ยังสามารถทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวน

ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาของเอกสารอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์แบบนี้สามารถมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ และสามารถอ่านได้ในระยะไกลสูงสุดประมาณ 100 เมตร ข้อเสียของป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้คือ มีราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีอายุการใช้งานที่จำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ซึ่งจะมีอายุการใช้งานประมาณ 3 - 7 ปี

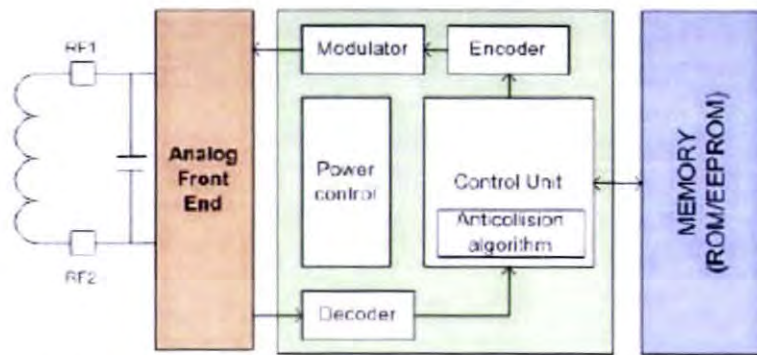


รูปที่ 2.9 ตัวอย่าง Active Tag ที่มีแบตเตอรี่รีชาร์จ 2 ก้อนอยู่ภายนอก

(2) Passive Tag หรือ ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟ จะไม่มีแบตเตอรี่อยู่ภายใน แต่จะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล จึงทำให้ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบากว่าป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ ชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ และตัวอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวสูง นอกจากนี้ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟ มักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาและอายุการใช้งานทำให้ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟนี้เป็นที่นิยมมากกว่า

ไมโครชิปหรือไอซีของป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมามีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แบบแท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ไปจนถึงขนาดใหญ่สะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปโครงสร้างภายในส่วนที่เป็นไอซีของป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์นั้นก็จะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ส่วนของควบคุมการทำงานของภาครับส่งสัญญาณวิทยุ (Analog front-end) ส่วนควบคุมภาคลอจิก (Digital control unit) ส่วนของหน่วยความจำ (Memory) ซึ่งอาจจะเป็นแบบ ROM หรือ EEPROM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



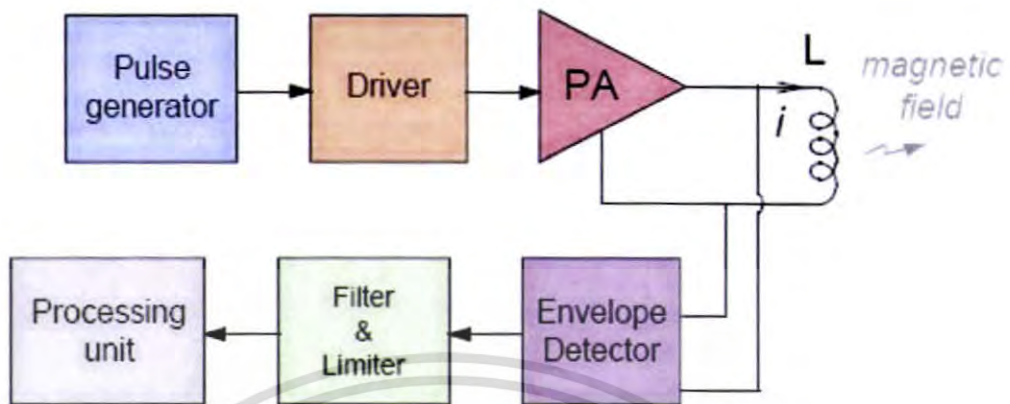
รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟ

นอกจากการแบ่งจากชนิดที่นำมาแล้ว เราสามารถที่จะแบ่งประเภทของป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์จากรูปแบบในการใช้งานได้เป็น 3 แบบ คือ ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถถูกอ่านและเขียนข้อมูลได้ (Read-Write), ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ที่เขียนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นแต่อ่านได้อย่างอิสระ (Write-Once Read-Many หรือ WORM) และป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่านได้เพียงอย่างเดียว (Read-Only)

Reader หรือ Interrogator เครื่องอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) มีหน้าที่สำคัญคือรับข้อมูลที่ส่งมาจากป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ แล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสข้อมูล และนำข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป นอกจากนี้ ตัวอ่านข้อมูลที่ดีควรมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่น ในกรณีที่ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรืออยู่ในระยะการรับส่ง ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ซ้ำอยู่เรื่อยๆ ไม่สิ้นสุด ดังนั้น ตัวอ่านข้อมูลที่ดีควรมีระบบป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้เรียกว่าระบบ "Hands Down Polling" โดยตัวอ่านข้อมูลจะสั่งให้ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์หยุดการส่งข้อมูลในกรณีเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว หรืออาจมีบางกรณีที่มีป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์หลายป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์อยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกัน หรือที่เรียกว่า "Batch Reading" ตัวอ่านข้อมูลควรมีความสามารถที่จะจัดลำดับการอ่านป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ทีละตัวได้

การเชื่อมต่อเพื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลลงในป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ ภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วยเสาอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดง เพื่อใช้รับส่งสัญญาณ ภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุ และวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูล ซึ่งมักจะเป็นวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 โครงสร้างภายในเครื่องอ่าน

เครื่องอ่านจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ
- ภาคสร้างสัญญาณพาหะ
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ
- วงจรสัญญาณ
- หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์

โดยทั่วไปหน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ในเครื่องอ่านมักใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ในโปรแกรมจะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล (Decoding) ที่ได้รับ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยลักษณะ ขนาด และรูปร่างของเครื่องอ่านจะแตกต่างกันไปตามประเภทของการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็ก หรือ ดิจนนิ่ง จนถึงขนาดใหญ่เท่าประตู (Gate size) เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.12 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบคือ ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา และคอยตรวจจับว่ามีป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามีการมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่เมื่อมีป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์จะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้ป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์เริ่มทำงาน และจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ คลื่นพาหะที่ ถูกส่งออกมาจากป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด, ความถี่ หรือเฟส ขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต ตัวอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



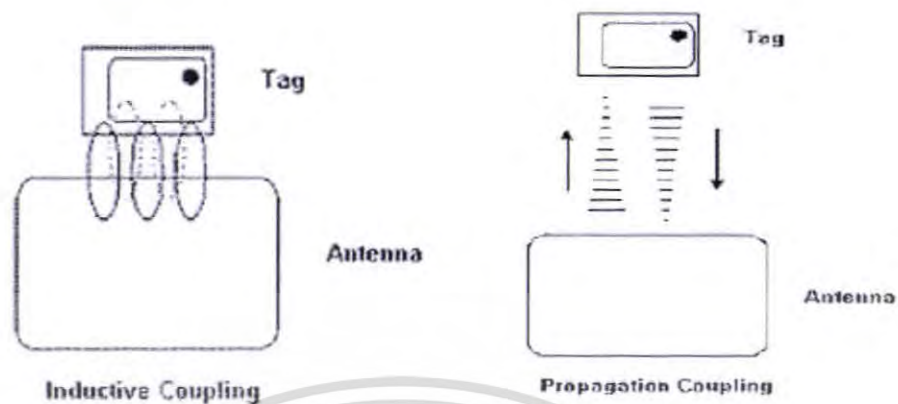
Performa Long Range Reader

รูปที่ 2.12 เครื่องอ่านแบบต่างๆ

2.3.2 การสื่อสารข้อมูลของระบบ RFID

การสื่อสารข้อมูลของระบบ RFID คือระหว่างป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์และตัวอ่านข้อมูล (reader หรือ interrogator) จะสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลต (modulation) กับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุโดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive coupling หรือ Proximity electromagnetic) กับ วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic propagation coupling) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 เทคนิคการมอดูเลตข้อมูลเข้ากับคลื่นพาหะก็มีด้วยกันหลายวิธี เช่น ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying) หรือ PSK (Phase Shift Keying) ซึ่งขึ้นกับผู้ออกแบบจะเลือกตามความเหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภทความถี่ของคลื่นพาหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การสื่อสารระหว่างป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์และตัวรับข้อมูล

2.3.3 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์

อัตราการรับส่งข้อมูล (Data transfer rate) จะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นพาหะโดยปกติถ้าความถี่ของคลื่นพาหะยิ่งสูง อัตราการรับส่งข้อมูลก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ส่วนการเลือกแบนด์วิดท์ หรือย่านความถี่นั้นก็จะมีผลต่ออัตราการรับส่งข้อมูลเช่นกัน โดยมีหลักว่าแบนด์วิดท์ควรจะมีค่ามากกว่าอัตราการรับส่งข้อมูลที่ต้องการอย่างน้อยสองเท่า ยกตัวอย่างเช่น ถ้าใช้แบนด์วิดท์ในช่วง 2.4 GHz -2.5 GHz ก็จะสามารถรองรับอัตราการรับส่งข้อมูลได้ถึงประมาณ 2 เมกะบิตต่อวินาที เป็นต้น แต่การใช้แบนด์วิดท์ที่กว้างเกินไปก็อาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนมาก

2.3.4 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง

ระยะการรับส่งข้อมูลในระบบ RFID ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือ กำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล (Reader power) กำลังส่งของป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ (Tag power) และสภาพแวดล้อม ส่วนการออกแบบสายอากาศของตัวอ่านข้อมูลจะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะการรับส่งข้อมูล บางทีอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์และตัวอ่านข้อมูลด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญ

ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทางโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆ รอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอาจแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสี่ ปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า "Multi-path Attenuation" ซึ่งจะส่งผลให้ระยะการรับส่งข้อมูลสั้นลง หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมี

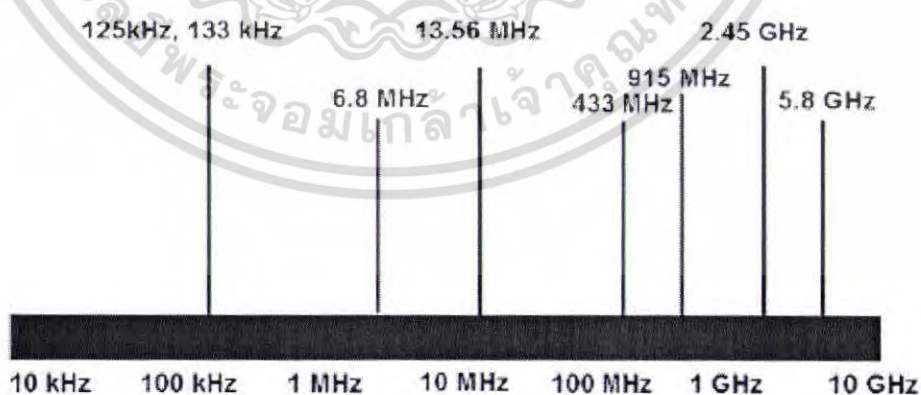
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลในกรณีที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบ RFID ไปใช้งานก็ควรมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบกับระยะการรับส่งข้อมูล และพยายามติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

กำลังส่งของป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ที่จะส่งกลับมายังตัวอ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไป จะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวอ่านข้อมูล ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา ถึงแม้ในทางเทคนิคเราจะสามารถทำให้ตัวอ่านข้อมูลมีกำลังส่งมากแค่ไหนก็ได้ แต่โดยทั่วไปก็จะถูกจำกัดโดยกฎหมายของแต่ละประเทศ เช่นเดียวกับความถี่ที่กฎหมายของแต่ละประเทศให้ใช้โดยไม่ต้องขออนุญาต ซึ่งกำลังส่งในระบบ RFID โดยทั่วไป จะมีกำลังส่งระหว่าง 100-500 mW⁹

คลื่นความถี่วิทยุสำหรับ RFID ปัจจุบันคลื่นพาหะในระบบ RFID ที่ใช้งานในประเทศไทยจะอยู่ในย่านความถี่ ISM(Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดในการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรมวิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสาร โดยทั่วไป โดยมี 4 ย่านความถี่ใช้งาน คือ

1. ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency : LF) ต่ำกว่า 150 kHz
2. ย่านความถี่สูง (High Frequency : HF) 13.56 MHz
3. ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency : UHF) 433/860-930 MHz
4. ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave frequency) 2.45/5.8 GHz



รูปที่ 2.14 การเปรียบเทียบสเปกตรัมที่คลื่นความถี่ที่ใช้ในระบบ RFID

ในการใช้งาน 2 ย่านความถี่แรกจะเหมาะสมสำหรับใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะใกล้ (LF และ HF ระยะอ่านไม่เกิน 1 เมตร) เช่น การตรวจสอบการผ่านเข้าออกพื้นที่การตรวจหาและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บประวัติในสัตว์ ส่วนย่านความถี่สูงยิ่งจะถูกใช้กับงานที่มีระยะการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล (UHF ระยะอ่านประมาณ 1-5 เมตร) เช่น ระบบเก็บค่าบริการทางด่วนระบบขนส่งสินค้า และในปัจจุบันระบบ RFID กำลังถูกวิจัยและพัฒนาในย่านความถี่ไมโครเวฟที่ความถี่ 2.4 GHz และความถี่ 5.8 GHz เพื่อใช้งานในระบบคลังสินค้าเนื่องจากขนาดของสายอากาศที่เล็กมาก โดยมีรายละเอียดการใช้งาน RFID ในย่านความถี่ต่างๆ

ตารางที่ 2.2 ความถี่วิทยุที่นิยมใช้งานทั่วไปสำหรับ RFID

ย่านความถี่	ระยะการอ่าน	ความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล	การใช้งานเบื้องต้น
ย่านความถี่ต่ำ 120-150 kHz ISO1800-2 (passive tags)	< 1m	ต่ำ	ระบบระบุรหัสประจำตัวสัตว์ บัตรผ่านเข้า-ออกประตู
ย่านความถี่สูง 13.56 MHz ISO1800-3 (passive tags)	< 1m	ต่ำ ถึง ปานกลาง	สมาร์ทการ์ด ตั๋วรถโดยสาร บัตรเติมเงิน ห้องสมุด
ย่านความถี่สูงยิ่ง 433 MHz 18000, Part 7 (active tags)	1 – 100 m	ปานกลาง	ระบบคลังสินค้า ระบบลอจิสติกส์
ย่านความถี่สูงยิ่ง 860-960 MHz 18000, Part 6 (passive tags)	2 – 5 m	ปานกลาง ถึง สูง	ระบบ EPC, ระบบคลังสินค้า, ระบบลอจิสติกส์

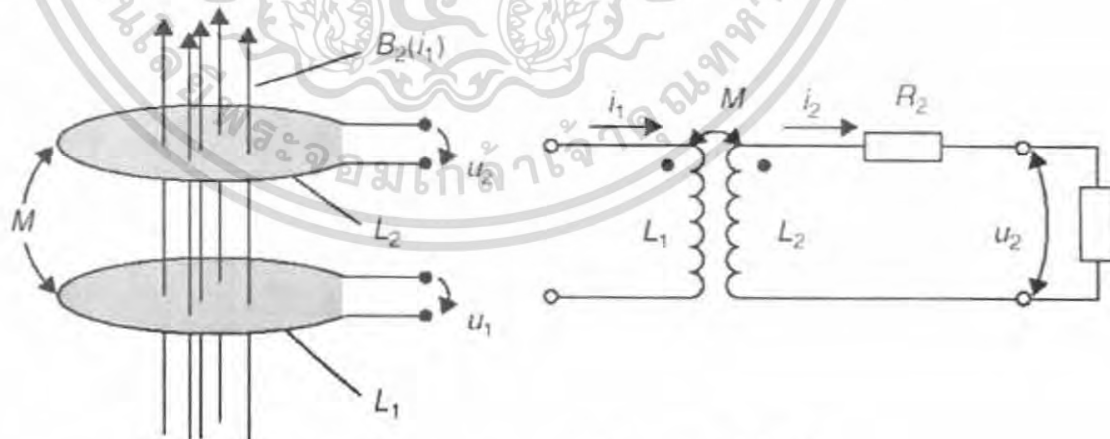
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 ลักษณะการทำงานของ RFID

2.3.5.1 การทำงานของแท็กอาร์เอฟไอดีแบบพาสซีฟ

แท็กชนิดนี้ทำงานได้ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอกใด ๆ โดยทั่วไปการทำงานของแท็กอาร์เอฟไอดีแบบพาสซีฟ ในย่านความถี่ต่ำและสูง (LF และ HF) จะใช้หลักการคู่ควบแบบเหนี่ยวนำ (Inductive coupling) ซึ่งเกิดจากการอยู่ใกล้กันของขดลวดจากเครื่องอ่านที่กำลังทำงานและสายอากาศของแท็ก ทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานจากเครื่องอ่านไปยังไมโครชิปในแท็กผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เมื่อไมโครชิปได้รับพลังงานก็จะทำงานตามลักษณะเฉพาะของข้อมูลรหัสประจำตัว ปฏิกริยาของไมโครชิปดังกล่าวเครื่องอ่านจะรับรู้ได้ผ่านสนามเหล็กและจะทำการตีความเป็นข้อมูลดิจิทัลแสดงถึงรหัสประจำตัวที่ส่งมาจากแท็กได้ ลักษณะเงื่อนไขในการทำการเหนี่ยวนำแบบซิงโครไนซ์ทำให้การอ่านข้อมูลทำได้ไม่ไกลมากนัก โดยทั่วไประยะอ่านสูงสุดจะประมาณ 1 เมตรขึ้นอยู่กับกำลังงานของเครื่องส่งและคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้

โดยปกติแท็กชนิดนี้มักมีหน่วยความจำขนาดเล็ก โดยทั่วไปประมาณ 16-1,024 ไบต์ มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ราคาต่อหน่วยต่ำ ไมโครชิปหรือไอซีของแท็กชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แบบแท่ง หรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ไปจนถึงขนาดใหญ่สะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดการใช้งานที่แตกต่างกัน



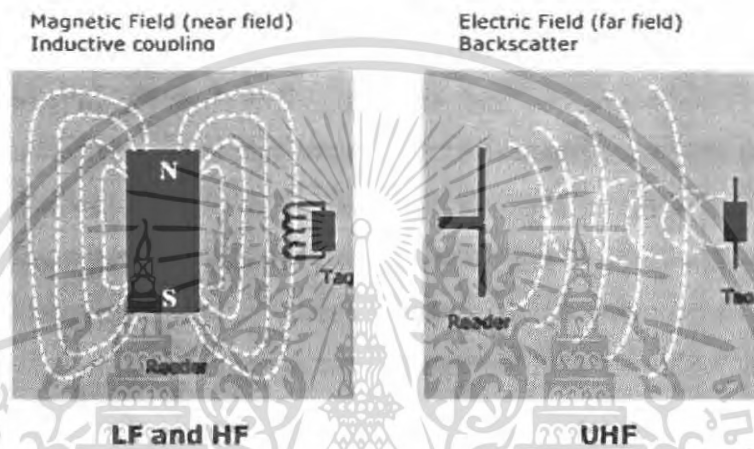
รูปที่ 2.15 สนามแม่เหล็กจากกระบวนการคู่ควบแบบเหนี่ยวนำ

ส่วนในระบบความถี่สูงยิ่ง (UHF) แทนที่จะใช้การสร้างสนามแม่เหล็ก

ไฟฟ้า จะใช้การคู่ควบแบบแผ่กระจาย (Propagation coupling) โดยที่สายอากาศของเครื่องอ่านจะเอกลำนี้เป็นเอกลำที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการส่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปคลื่นวิทยุออกมา ซึ่งเมื่อแท็กได้รับสัญญาณผ่านสายอากาศของตน แท็กก็จะทำงาน โดยการสะท้อนกลับคลื่นที่ได้รับซึ่งถูกปรับค่าตามรหัสประจำตัวของตนไปยังเครื่องอ่าน (Backscattering)

ทั้งนี้การทำงานในย่านความถี่ต่างกันจะทำให้มีคุณสมบัติการทะลวงต่างกันรวมทั้งประสิทธิภาพโดยรวมจะขึ้นกับเงื่อนไขอื่น ๆ ด้วย เช่น ขนาดของสายอากาศหรือสัญญาณรบกวน อีกด้วย



รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของ LF, HF, และ UHF

2.3.5.2 การทำงานของแท็กอาร์เอฟไอดีแบบแอ็กทีฟ

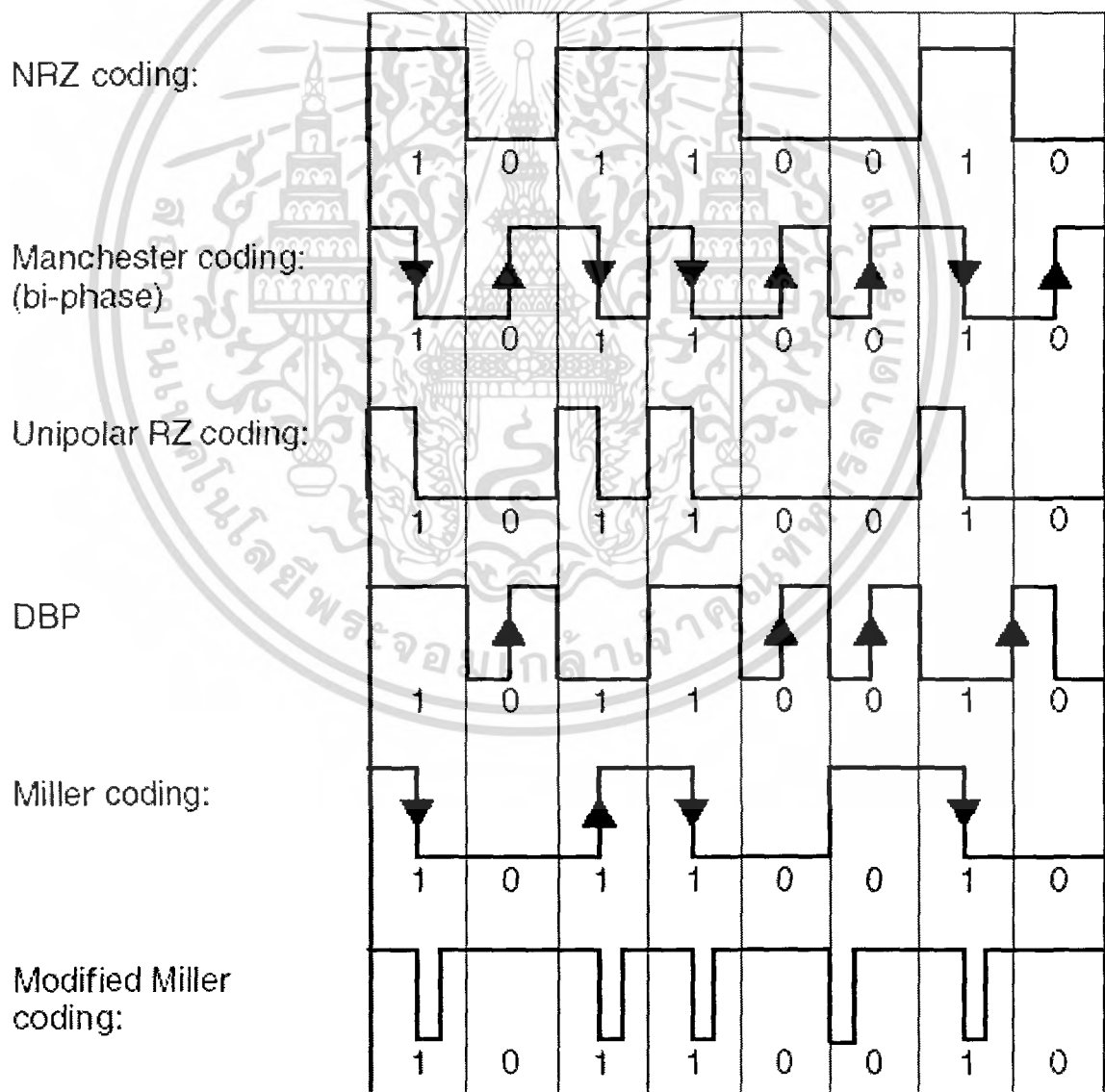
แท็กชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ภายนอก เพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรภายในทำงาน โดยหลักใหญ่อาจสามารถแบ่งตามหลักการทำงานได้เป็นทรานสปอนเดอร์แบบแอ็กทีฟ ซึ่งจะทำการส่งข้อมูลออกก็ต่อเมื่อได้รับสัญญาณจากเครื่องอ่านและแบบเครื่องบอกตำแหน่ง หรือเบคอน (Beacon) ซึ่งสัญญาณจะถูกปล่อยออกมาเป็นระยะ ๆ ตลอดเวลาการใช้งานของแท็กหรือทรานสปอนเดอร์แบบแอ็กทีฟนั้น อาจพบได้ในระบบ เช่น ระบบจ่ายเงินในทางด่วน หรือด่านตรวจ ขณะที่เบคอนอาจพบได้ในระบบที่ต้องการการบ่งชี้พิกัดแบบเวลาจริง (Real-time locating system, RTLS) เช่น การจัดการการขนส่งสินค้า เป็นต้น

โดยแท็กแบบนี้สามารถมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ และสามารถอ่านได้ในระยะไกลสูงสุดประมาณ 100 เมตร ข้อเสียของแท็กแบบนี้คือ มีราคาต่อหน่วยสูง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีอายุการใช้งานที่จำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ซึ่งจะมีอายุการใช้งานประมาณ 3-7 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5.3 เทคนิคการรับและส่งข้อมูลระหว่างแท็กและเครื่องอ่าน

กระบวนการส่งสัญญาณระหว่างอาร์เอฟไอดีและเครื่องอ่านโดยทั่วไป เป็นไปตามกระบวนการทางด้านการสื่อสารระบบดิจิทัล นั่นคือ การเตรียมข้อมูลดิจิทัลที่จะส่งผ่าน โดยการทำการเข้ารหัสให้อยู่ในเหมาะสมสำหรับการส่งผ่านช่องสัญญาณ (Channel) คำว่าเหมาะสม หมายถึงว่าสัญญาณมีโอกาสจะถูกส่งผ่านช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน (noise) โดยมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ซึ่งวิธีการเข้ารหัสนั้นมีได้หลายแบบ โดยการเลือกใช้นั้นขึ้นอยู่กับช่องสัญญาณที่จะส่งผ่าน ตัวอย่างเทคนิคการเข้ารหัส เช่น การเข้ารหัสสัญญาณแบบ NRZ การเข้ารหัสแบบ Manchester การเข้ารหัสแบบ Miller การเข้ารหัสแบบ Differential เป็นต้น



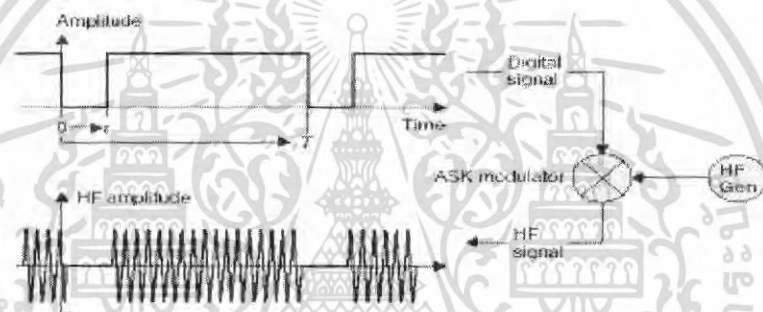
รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการเข้ารหัสแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งหลังจากการเข้ารหัสสัญญาณแล้ว สัญญาณจะถูกทำการกล้ำสัญญาณ (Modulation) กับคลื่นพาหะย่านที่สูงกว่าเพื่อทำการส่งรับข้อมูลในย่านนั้น ๆ การกล้ำสัญญาณ หมายถึงการปรับเปลี่ยนค่าต่าง ๆ ของคลื่นพาหะซึ่งเป็นคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น แอมพลิจูด เฟส หรือความถี่ ตามค่าของข้อมูลที่จะส่ง ตัวอย่างเช่น ในการกล้ำสัญญาณแบบ ASK (amplitude shift keying) ค่าแอมพลิจูดของคลื่นพาหะจะถูกเปลี่ยนอยู่ระหว่างค่าสองค่าขึ้นกับค่าไบนารีของสัญญาณที่ถูกเข้ารหัส ดังเช่นในรูปที่ 2.18-2.20

ASK: Amplitude shift keying

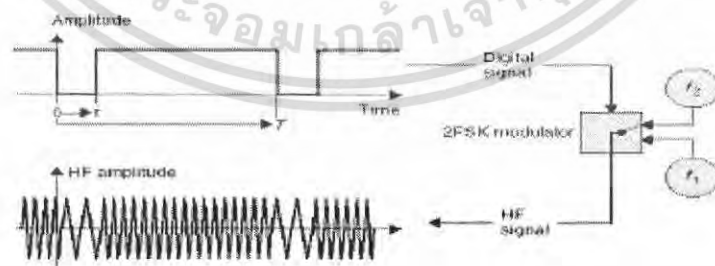
Short/Middle wave



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการทำมอดูเลตแบบ ASK

FSK: Frequency shift keying

Middle wave

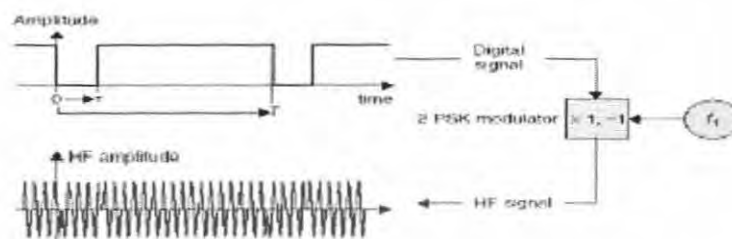


รูปที่ 2.19 ตัวอย่างการทำมอดูเลตแบบ FSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

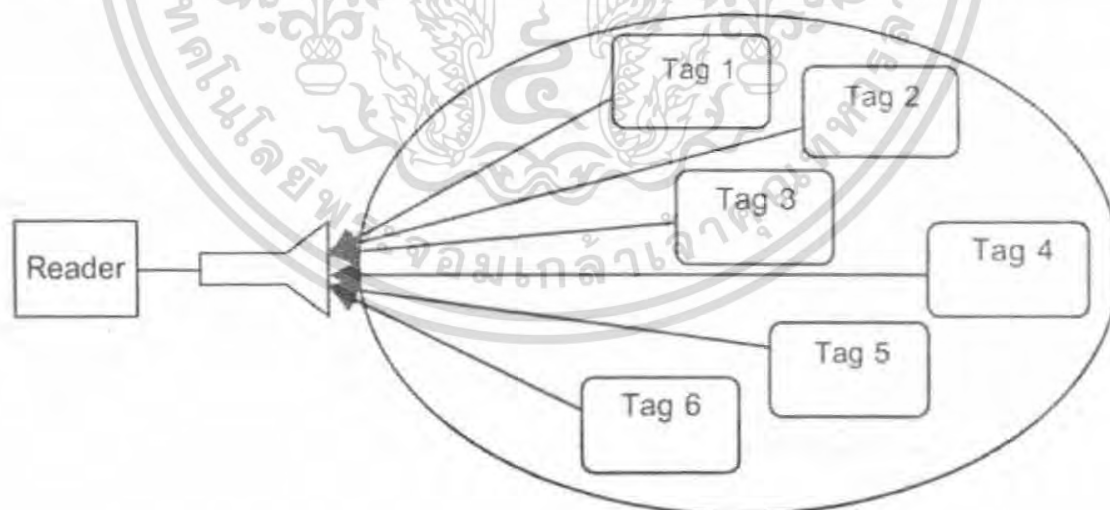
PSK: Phase shift keying

Middle wave



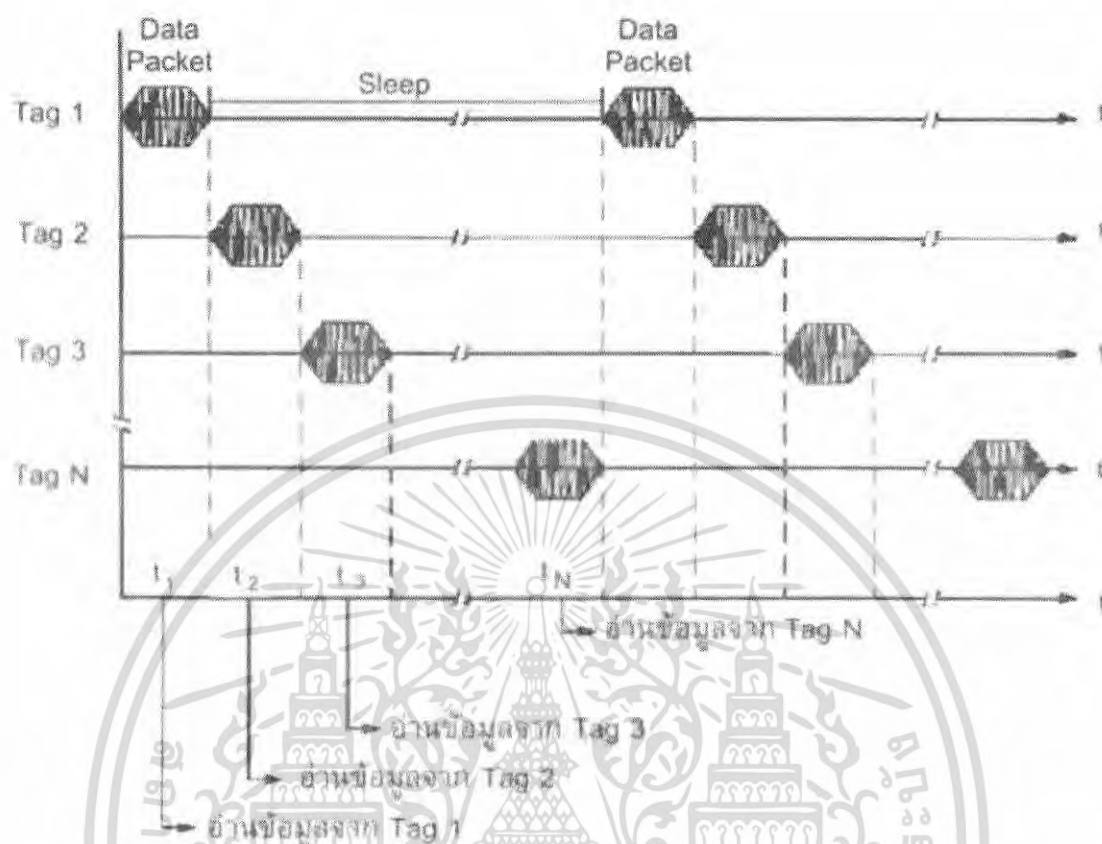
รูปที่ 2.20 ตัวอย่างการทำการมอดูเลตแบบ PSK

นอกจากนี้ ข้อดีอีกส่วนหนึ่งของระบบอาร์เอฟไอดี คือการอ่านข้อมูลจากแท็กได้หลาย ๆ แท็กในเวลาเดียวกัน โดยระบบป้องกันการชนกันของสัญญาณข้อมูล (Anti-collision) ซึ่งจะทำให้การอ่านข้อมูลของแท็กจำนวนมากทำได้อย่างรวดเร็วพร้อม ๆ กัน ตัวอย่างการทำการป้องกันการชนกันเช่นการใช้เทคนิค TDMA (Time Division Multiple Access) ซึ่งจะเป็นการจัดลำดับการอ่านค่าจากแท็กในเวลาที่แตกต่างกันไปทำให้สามารถอ่านได้ครบทุกแท็กเป็นต้น ยิ่งไปกว่านั้น อาร์เอฟไอดี ยังมีกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับ เช่น การทำผลรวมตรวจสอบ (Checksum)



รูปที่ 2.21 เครื่องอ่านทำงานร่วมกับแท็กหลายๆ อันพร้อม ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างของอัลกอริธึมในการป้องกันการชนกันของข้อมูล (Anti-Collision) ในแท็ก

2.3.5.4 สรุปหลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID

1. ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลาและคอยตรวจจับว่ามีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามีกรรมอุตสาหกรรมเกิดขึ้นหรือไม่
2. เมื่อมีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแท็กจะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้แท็กเริ่มทำงานและจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในแท็ก
3. คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากแท็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด, ความถี่ หรือเฟส ขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต
4. ตัวอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 เปรียบเทียบข้อดีของอาร์เอฟไอดีกับรหัสแท่ง(Barcode)

- อาร์เอฟไอดีสามารถอ่านได้โดยอัตโนมัติ การใช้งานรหัสแท่งผู้ใช้จะต้องนำเครื่องสแกนไปอ่านที่แถบรหัส ขณะที่อาร์เอฟไอดีสามารถทำงานได้เองโดยอัตโนมัติ เมื่อแท็กอยู่ในรัศมีของการอ่าน จึงเหมาะกับงานที่ต้องการการทำงานแบบอัตโนมัติ ไม่จำเป็นต้องมีผู้ปฏิบัติงาน เช่น ในระบบลำเลียงในโรงงาน เมื่อลำเลียงผ่านขบวนรถไฟ ก็สามารถตรวจสอบและบันทึกได้ เพียงเคลื่อนสินค้าผ่านเครื่องอ่าน เครื่องอ่านก็จะทำงานโดยอัตโนมัติ

- อาร์เอฟไอดีสามารถทำได้ทั้งอ่านและเขียน ในขณะที่รหัสแท่งสามารถอ่านรหัสประจำตัวได้อย่างเดียว ระบบอาร์เอฟไอดีนอกจากอ่านรหัสประจำตัวมาทำการประมวลผลแล้วยังสามารถบันทึกข้อมูลอะไรบางอย่างกลับไปที่แท็กได้ ยกตัวอย่างการตรวจสอบสต็อกสินค้า เมื่อทำการอ่านข้อมูลแล้วก็จะทำการบันทึกกลับไปยังแท็กว่าได้รับการตรวจแล้ว เพื่อลดข้อผิดพลาดกรณีหยิบสินค้าขึ้นมาอ่านรหัสประจำตัวซ้ำอีกครั้ง จะทำให้ระบบตรวจสอบสินค้าผิดพลาดได้ ซึ่งระบบรหัสแท่งไม่สามารถทำได้

- อาร์เอฟไอดีสามารถอ่านได้จากระยะไกล ในขณะที่รหัสแท่งต้องอยู่ในระยะใกล้และตำแหน่งที่แสงสามารถสแกนถึง อาร์เอฟไอดีสามารถอ่านข้อมูลจากแท็กได้อย่างสะดวก แม้ว่าอยู่ในพื้นที่ ๆ ไม่สะดวกหรือในพื้นที่อันตรายต่อการปฏิบัติงาน เช่น ห้องฟอสซิล หรือพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง



รูปที่ 2.23 การตรวจสอบสินค้า (ซ้าย) ใช้รหัสแท่งอ่านได้ระยะใกล้ไม่สะดวก

(ขวา) ใช้อาร์เอฟไอดีอ่านได้ระยะไกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อาร์เอฟไอดี สามารถอ่านข้อมูลได้พร้อม ๆ กัน ในขณะที่ระบบแท่งจะต้องทำการสแกนแถบรหัสทีละแถบ ในขณะที่อาร์เอฟไอดีสามารถอ่านได้พร้อมกันหลาย ๆ แท่ง เพียงแค่นำสิ่งของที่ติดแท็กมาวางไว้ในพื้นที่รัศมีของเครื่องอ่านก็สามารถอ่านได้พร้อมกันอย่างรวดเร็ว สามารถลดเวลาการทำงานและลดข้อผิดพลาดในการเคลื่อนย้ายสิ่งของ



รูปที่ 2.24 การอ่านลากสินค้า (ซ้าย) ใช้รหัสแท่งอ่านได้ทีละชั้น
(ขวา) ใช้อาร์เอฟไอดีอ่านได้ทีละหลายชั้น

อาร์เอฟไอดีสามารถอ่านได้แม้ไม่เห็นตัวแท็กที่ติดอยู่ ทำให้สะดวกในการไม่ต้องเคลื่อนย้ายสิ่งของ เช่น การตรวจสอบสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ระบบอาร์เอฟไอดี สามารถทราบรายละเอียดสินค้าในตู้สินค้า โดยไม่ต้องเปิดตู้เพิ่มระบบความปลอดภัยได้



รูปที่ 2.25 การตรวจสอบสินค้า (ซ้าย) ใช้รหัสแท่งเวลาอ่านต้องเห็นรหัสแท่งอย่างชัดเจนและอยู่ในระนาบเดียวกับเครื่องอ่าน (ขวา) ใช้อาร์เอฟไอดีเวลาอ่านไม่ต้องเห็นแท็ก

(อ่านทะลุหีบห่อได้) และไม่ต้องอยู่ในระนาบเดียวกับเครื่องอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อาร์เอฟไอดีมีความปลอดภัยสูง เนื่องจากข้อมูลเป็นข้อมูลดิจิทัลในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้สามารถเพิ่มความปลอดภัยของข้อมูลด้วยการเข้ารหัสลับเพื่อไม่ให้ผู้อื่นทราบข้อมูลที่ไม่ต้องการเปิดเผยได้

- อาร์เอฟไอดีสามารถบันทึกประวัติการเคลื่อนย้ายของสินค้าได้ (Dynamic data on items) เช่น บันทึกเวลาเข้าออก ivaบนสินค้าเอง หรือบันทึกเวลาต่าง ๆ ลงบนสินค้าได้โดยตรง ในขณะที่รหัสแท่งไม่สามารถทำได้ ต้องบันทึกไว้ในระบบฐานข้อมูล ซึ่งเมื่อสินค้าไปอยู่ในพื้นที่ที่ไม่สามารถเข้าถึงฐานข้อมูลทำให้ไม่สามารถรู้ข้อมูลเกี่ยวกับสินค้านั้น ๆ ได้

2.4 คุณสมบัติของระบบ RFID

ที่ผ่านมาเราได้ทราบถึงโครงสร้างการทำงานและเทคโนโลยีของระบบ RFID แล้วในขั้นตอนนี้จะอธิบายถึงคุณสมบัติของระบบ RFID ซึ่งอาศัยพื้นฐานของการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุเป็นเกณฑ์สำคัญ

2.4.1 อ่าน/เขียนโดยไม่ต้องสัมผัส (Contactless)

จุดเด่นข้อแรกของระบบ RFID คือเครื่องอ่านกับ Tags สามารถสื่อสารกันได้โดยไม่ต้องสัมผัสทำให้ไม่เกิดส่วนของการสึกหรอเหมือนการ์ดแถบแม่เหล็ก ทำให้ต้นทุนในการดูแลรักษาต่ำ อายุการใช้งานยาวนานสะดวกรวดเร็วในการใช้งาน ตัวอย่างเช่น RFID ที่ใช้ในระบบรถไฟฟ้าได้คืนผู้ให้บริการเพียงนำ Tags ที่เป็นตัวรถไฟเข้าใกล้บริเวณเครื่องอ่านก็สามารถอ่านข้อมูลได้ ซึ่งสะดวกและประหยัดเวลาได้มาก

2.4.2 ทนต่อสภาพแวดล้อมและสิ่งสกปรก

ปัญหาที่เป็นอุปสรรคในการอ่าน/เขียนข้อมูลในระบบ Auto ID ที่แก้ไขลำบากก็คือสภาพแวดล้อมในการใช้งานเช่น ในโรงงานอุตสาหกรรมมีทั้งฝุ่นละออง น้ำมัน ระบบ Auto ID ที่มีปัญหาหนักที่สุดคือระบบบาร์โค้ด เพราะถ้าแถบบาร์โค้ดสกปรกหรือฉีกขาดก็จะไม่สามารถอ่านข้อมูลได้ หรือถ้าหน้าจอของตัวอ่านสกปรกก็มีปัญหาในการอ่านอีกเช่นกัน แต่ด้วยลักษณะของ RFID ที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นพาหะนำข้อมูลไปจะพบว่าปัญหาดังกล่าวจะไม่มีผลกระทบต่อ RFID เลย 100% ดังนั้น RFID จึงเป็นอุปกรณ์ Auto ID ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม

2.4.3 สามารถอ่าน/เขียนข้อมูลได้สะดวก

มีระบบ Auto ID น้อยชนิดที่สามารถอ่าน/เขียนแยกกันต่างหาก เช่น บาร์โค้ด ต้องมีเครื่องพิมพ์และเครื่องอ่านแยกกัน สมาร์ทการ์ดต้องนำ Tags มาสัมผัสกับวงจรถ่าน/เขียนโดยตรง แต่ระบบ RFID ตัวอ่านกับตัวเขียนข้อมูลจะอยู่ในตัวเดียวกันเพียงเปลี่ยนโหมดโดยใช้ซอฟต์แวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่านั้น จึงเหมาะสำหรับงานที่ต้องอ่านและเปลี่ยนแปลงข้อมูลอยู่ตลอดเวลาเช่นสายการผลิตอัตโนมัติ

2.4.4 สื่อสารได้ทุกทิศทาง

เนื่องจากคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าการอ่าน/เขียนในระบบ RFID จึงไม่ต้องคำนึงถึงทิศทางว่า Tags จะต้องอยู่ตรงหน้ากับเครื่องอ่านเสมอ Tags สามารถอยู่ด้านหลัง ด้านข้างหรือแม้กระทั่งถูกทับอยู่ แต่ถ้าเข้ามาอยู่ในพื้นที่สัญญาณแล้วก็สามารถอ่าน/เขียนข้อมูลได้ตามปกติ ตัวอย่างเช่น RFID ถูกนำไปใช้ในระบบการจัดเก็บสัมภาระอัตโนมัติเช่นเครื่องบินหรือเรือเดินสมุทร Tags จะติดตั้งไว้ที่สัมภาระแต่ละใบ ไม่ว่าสัมภาระนั้นจะอยู่ในลักษณะใดก็ตามเครื่องอ่านจะสามารถอ่านข้อมูลจาก Tags

2.4.5 Tags สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ด้วยลักษณะโครงสร้างและความสามารถในการเขียนข้อมูลซ้ำได้ทำให้ Tags สามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตได้มากกว่า 100,000 ครั้งต่อ 1 Tags คุณสมบัติข้อนี้เป็นจุดแข็งอีกจุดหนึ่งที่ระบบ Auto ID ชนิดอื่นไม่สามารถทำได้ ตัวอย่างเช่น การประยุกต์ใช้ RFID ในกระบวนการแยกแยะและจัดเก็บยางรถยนต์ข้อมูลการผลิตเช่นขนาดโมเดล Lot Number จะถูกบันทึกไว้ใน Tags ที่ติดอยู่กับตัวแวนเมื่อยางถูกจัดเก็บในคลังสินค้าแล้วตัวแวนจะถูกนำกลับมาใช้โดยเขียนข้อมูลใหม่ทับลงไปได้

2.4.6 RFID Tags มีหลากหลายแบบให้ประยุกต์ใช้งาน

Tags ของระบบ RFID นั้นจะถูกออกแบบให้มีรูปร่าง ขนาดโครงสร้างความจุของหน่วยความจำและลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันออกไปเช่น มีลักษณะเป็นสมาร์ทการ์ด กระดุม เหรียญ ทรงสี่เหลี่ยม หรือแม้กระทั่งเป็นแผ่นบางๆ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้ตามความต้องการ

2.4.7 ความสามารถในการทะลุทะลวงของสัญญาณ

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถทะลุผ่านวัตถุที่ไม่ใช่โลหะเป็นส่วนผสมอยู่ได้เช่นพลาสติก ผิวหนัง ไม้ ปูนซีเมนต์ ฯลฯ ดังนั้น Tags จึงสามารถถูกติดตั้งแบบฝังหรือซ่อนลงไปใต้อวัตถุที่เราต้องการได้ เช่น เราจะพบเห็นการฉีก RFID ที่มีลักษณะเป็นแท่งแก้วเล็กๆ เข้าไปในตัวสัตว์ การฝัง Tags ลงบนพื้นในระบบ AGV (Automatic Guide Vehicle) ตัวอย่างเช่น RFID ที่ถูกประยุกต์ในงานคิดเงินอัตโนมัติในร้านอาหารโดย Tags จะถูกฝังอยู่ในภาชนะใส่อาหาร ราคาอาหารจะถูกบันทึกลงในภาชนะที่ถูกระบุว่าจะต้องใส่อาหารที่มีราคาดังกล่าว เมื่อภาชนะวางลงในพื้นที่ชำระเงิน เครื่องอ่านจะอ่านและคำนวณราคาของอาหารทั้งหมดได้อย่างรวดเร็ว

2.4.8 สื่อสารได้ระยะไกล

ระยะในการอ่านเขียนข้อมูลของระบบ RFID นั้นทำได้ตั้งแต่ 0-10 เมตร ซึ่งถือว่าไกลที่สุดในบรรดาระบบ Auto ID ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันนี้ ทั้งนี้ระยะในการอ่าน/เขียนข้อมูลจะขึ้นอยู่กับกำลังส่งของเสาอากาศและช่วงความถี่ที่ใช้งาน สำหรับกำลังส่งของเสาอากาศนั้นจะถูกกำหนดโดยกฎหมายของแต่ละประเทศทำให้ RFID ที่ผลิตในบางประเทศมีระยะในการอ่าน/เขียนต่างกันทั้งที่ความถี่ใช้งานเท่ากัน ตัวอย่างเช่น ไลน์ตรวจสอบคุณภาพของรถยนต์จำเป็นต้องใช้ทั้งระบบ ID ที่สามารถอ่าน/เขียนข้อมูลในระยะไกล Tags จะถูกติดตั้งไว้กับตัวถัง เครื่องอ่านจะถูกติดตั้งห่างออกไป จึงระบบนี้ใช้คลื่นความถี่ไมโครเวฟ /2.45 GHz ทำให้ระยะในการอ่าน/เขียนสูงสุดถึง 5 เมตร

2.4.9 หน่วยความจำขนาดใหญ่

หน่วยความจำที่ใช้ในระบบ RFID มีตั้งแต่ขนาด 1 บิต (EAS) จนถึงมากกว่า 8 กิโลไบต์ หน่วยความจำที่เป็น RAM จะสามารถเก็บข้อมูลได้มากกว่าหน่วยความจำแบบอื่น ข้อมูลในกระบวนปฏิบัติงานสามารถบันทึกลงใน Tags ได้ทั้งกระบวนการ หรือแม้กระทั่งข้อมูลส่วนบุคคลก็สามารถบันทึกลงใน Tags ได้ ตัวอย่างเช่น การประยุกต์ใช้ RFID ในลักษณะบัตรประจำตัวพนักงานโดยบรรจุ ชื่อ, ตำแหน่ง, แผนก, หมายเลขประจำตัว, วันเข้าทำงาน ฯลฯ และมีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ตลอดเวลา

2.4.10 อ่าน/เขียนข้อมูลได้ครั้งละมากกว่า 1 Tags พร้อมกัน

เมื่อ Tags เข้ามาอยู่ในพื้นที่สัญญาณได้มากกว่า 1 Tags พร้อมกัน เครื่องอ่านสามารถอ่านข้อมูลซึ่งมาพร้อมกันได้หมดหรือจะสามารถเลือกอ่านเฉพาะ Tags ที่ระบุก็ได้ ตัวอย่างเช่น เสาอากาศที่ถูกออกแบบเป็นอุโมงค์ในงาน Logistics, Tags จะติดตั้งอยู่กับ Pallet ที่วางซ้อนกันอยู่ เมื่อเซ็น Pallet ผ่านอุโมงค์ข้อมูลใน Tags แต่ละอันจะถูกอ่านขึ้นมาพร้อมกันได้หมด

2.4.11 สามารถอ่าน/เขียนข้อมูลขณะวัตถุกำลังเคลื่อนที่

เครื่องอ่านกับ Tags สามารถสื่อสารกันได้แม้ขณะฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งกำลังเคลื่อนที่ โดยความเร็วของการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับชนิดของการสื่อสาร หน่วยความจำและปริมาณข้อมูลที่ใช้ อ่าน/เขียน ตัวอย่างเช่น เป็นไลน์ผลิตฮาร์ดดิสก์โดยสายพานจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงและไม่ต้องการหยุดเพื่ออ่าน/เขียนข้อมูล RFID ชนิดความเร็วสูงจะถูกนำมาใช้งาน

2.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน รวมถึงการกำหนดกฎเกณฑ์ในการใช้งาน ข้อบังคับต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งาน และการนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีไปประยุกต์ใช้กับระบบต่าง ๆ เช่น คลังสินค้า ซูเปอร์มาร์เก็ต งานระบบรักษาความปลอดภัยในการเข้า-ออกอาคาร บัตรทางด่วน บัตรรถไฟฟ้าใต้ดิน เป็นต้น ระบบอาร์เอฟไอดีไม่ใช่สิ่งที่ไกลตัวเรา หลายท่านอาจจะเคยใช้งานระบบอาร์เอฟไอดีในชีวิตประจำวัน โดยไม่รู้ตัวก็ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ของสัญญาณการส่งผ่าน

3.1 กล่าวนำ

สภาวะแวดล้อมในการแพร่กระจายคลื่นนั้นการส่งผ่านสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับจะเกี่ยวข้องไปถึงลักษณะของช่องสัญญาณ ได้มีทฤษฎีและเทคนิคในการวัดสำหรับการจำลองแบบการแพร่กระจายของสัญญาณไว้แล้ว โดยในการแพร่กระจายคลื่นทั้งสภาวะแวดล้อมภายในและภายนอกอาคารเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญด้วยผลกระทบที่เกี่ยวกับทิศทาง ขอบเขตของเส้นทางและปัจจัยอื่น ๆ ล้วนแล้วแต่เป็นการประเมินค่าความสำเร็จของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี ถ้าช่องสัญญาณมีคุณลักษณะที่ดีแล้วผลของการรบกวนและการแทรกสอดของแหล่งกำเนิดสัญญาณอื่นๆ จะสามารถที่จะทำให้ลดลงได้โดยการออกแบบเครื่องส่งและเครื่องรับที่เหมาะสม โดยลักษณะสำคัญอีกอย่างหนึ่งของการจำลองช่องสัญญาณวิทยุคือการตรวจสอบถึงฟังก์ชันการกระจายตัวของพารามิเตอร์ช่องสัญญาณ โดยทั่วไปการกระจายตัวเหล่านี้มักจะได้มาจากผลการวัดหรือผลการจำลองบนพื้นฐานของความถูกต้องหรือมีลักษณะตามสภาวะแวดล้อมที่ชัดเจน

3.2 การวิเคราะห์ของสัญญาณการส่งผ่าน

สำหรับลักษณะของสัญญาณการส่งผ่านจะมีค่าดังสมการ (1) โดยกำหนดให้ $H_c(f)$ คือ สัญญาณที่วัดได้ในรูปของความถี่

$$V_r(f) = H_c(f) \cdot V_t(f) \quad (3.1)$$

ส่วนสัญญาณรับ $v_r(t)$ สามารถคำนวณได้จากส่วนกลับของสมการฟูเรียร์ ดังสมการ

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_r(f) e^{j2\pi ft} df \quad (3.2)$$

3.3 รูปแบบการส่งผ่านของฟรีส (Friis' Transmission Formular)

3.3.1 สมการฟรีสสำหรับช่องสัญญาณอวกาศว่าง

ในการศึกษานี้เป็นการพิจารณาช่องสัญญาณการส่งผ่านในอวกาศว่าง โดยใช้สมการของฟรีส ในการประมาณหาค่าแถบสัญญาณในช่องสัญญาณแคบที่อยู่ในระดับสายอากาศตัวส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และตัวรับ ดังสมการ (3.3) โดยอัตราการขยายของสายอากาศในช่องสัญญาณอวกาศว่าง $G_{Frms}(f)$ สามารถเขียนได้เป็น

$$G_{Frms} = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_r G_f G_i \quad (3.3)$$

เมื่อ

G_{Frms}	แทนด้วยอัตราการขยายของฟรีส
G_i	แทนด้วยอัตราการขยายของด้านส่ง
G_f	แทนด้วยอัตราการขยายของพื้นที่ว่าง
G_r	แทนด้วยอัตราการขยายของด้านรับ

ซึ่ง G_r และ G_i เป็นอัตราการขยายของสายอากาศตัวรับและตัวส่งตามลำดับ โดยที่ $G_f(f)$ เป็นตัวแปรที่ใช้อ้างอิงในตัวกลางอวกาศว่างสามารถหาได้จากสมการ (3.4) กำหนดให้ λ คือความยาวคลื่นมีค่า $\lambda = c/f$ โดย c คือ ความเร็วแสงมีค่า $3 \times 10^8 \text{ m/s}$, f คือความถี่ที่ใช้ทดลอง และ d คือระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งกับตัวรับ

$$G_f = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (3.4)$$

3.3.2 สมการฟรีสในรูปแบบเชิงซ้อนสำหรับช่องสัญญาณในอวกาศว่าง

โดยปกติสูตรการส่งผ่านของฟรีสได้ถูกใช้อย่างกว้างขวาง และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณของช่องสัญญาณในแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุดังนี้คือ

$$H_{Frms}(f) = \frac{V_r(f)}{E_t} = H_f(f) H_r(f) H_i(f) \quad (3.5)$$

(3.5)

สำหรับช่องสัญญาณอวกาศว่างแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ ได้วิเคราะห์การส่งผ่านจากทฤษฎีและหลักการส่งผ่านของฟรีสในรูปแบบเชิงซ้อน [3.5]-[3.7] โดยพิจารณาให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศส่ง (Tx) และสายอากาศรับ (Rx) มีอัตราขยายคงที่เป็นหนึ่ง ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณอวกาศว่าง H_f สามารถเขียนได้เป็น

$$H_f(f) = \frac{\lambda}{4\pi d} e^{(-jkd)} \quad (3.6)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3.7)$$

โดยที่ d เป็นระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ (T-R) และ $\lambda = \frac{c}{f}$ คือความยาวคลื่น, c คือ ความเร็วของแสงมีค่าเท่ากับ $3 \times 10^8 \text{ m/s}$, f คือ ความถี่ที่ทำการวัด

3.4 การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)

การสูญเสียเชิงวิถี เกิดจากการที่คลื่นแพร่กระจายออกไปด้วยมุมกว้างทำให้ความเข้มของกำลังคลื่นสัญญาณอ่อนตัวลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นแบบยกกำลังสอง จึงนิยามให้เป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณที่รับได้ต่อกำลังของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา อัตราส่วนนี้มีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$P_L(\text{dB}) = 20 \log_{10} \left(\frac{\max |v_r(t)|}{\max |v_t(t)|} \right) \quad (3.8)$$

เมื่อ

$$\begin{array}{ll} v_r(t) & \text{ค่าแรงดันทางด้านรับ} \\ v_t(t) & \text{ค่าแรงดันทางด้านส่ง} \end{array}$$

แต่จากสัญญาณด้านส่งจะมีขนาดของยอดคลื่นที่สูงที่สุดที่ ณ เวลาเท่ากับ 0 มีค่าเท่ากับ 1

$$\max |v_r(t)| \text{ ไว้ที่ } \max |v_r(0)| = 1 \quad (3.9)$$

ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาค่า path loss ดังสมการ

$$P_L(\text{dB}) = -20 \log_{10} (\max |v_r(t)|) \quad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ path gain เป็นส่วนกลับของ path loss ดังสมการ

$$G_p = 20 \log_{10} (\max |v_r(t)|) \quad (3.11)$$

3.5 ทฤษฎีการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain)

คืออัตราส่วนการของกำลังงานทางด้านรับ (Power of receivers) เทียบกับกำลังงานทางด้านส่ง (Power of transmitter) หรือก็คือส่วนกลับของการสูญเสียเชิงวิถีนั่นเอง

$$TG = 10 \log \left[\max \left[\frac{v_r(t)}{v_t(t)} \right] \right]^2 \quad (3.12)$$

เมื่อ

TG	แทนอัตราขยายส่งผ่าน
$v_r(t)$	แทนค่าแรงดันทางด้านรับ
$v_t(t)$	แทนค่าแรงดันทางด้านส่ง (มีค่าเท่ากับ 1V)

3.6 การแผ่ประวิงเวลา (Power Delay Profile)

การแผ่ประวิง จากข้างต้นเส้นทางการแพร่กระจายของสัญญาณ ระหว่างเครื่องรับมายังเครื่องส่งสัญญาณแต่ละส่วนมักจะส่งผ่านในเส้นทางที่มีระยะไม่เท่ากัน สัญญาณบางส่วนอาจจะเดินทางเป็นเส้นตรงระหว่างภาคส่งและภาครับ ในขณะที่ส่วนอื่นที่มีการตกกระทบพื้นผิวของวัสดุ และเกิดการสะท้อนหลายครั้ง กว่าที่จะเดินทางถึงภาครับสัญญาณมักใช้เวลาในการแพร่กระจายยาวนานกว่าความล่าช้าในการเดินทางของสัญญาณแต่ละส่วนก่อให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า การแผ่ประวิง (delay spread) ขึ้น นั่นคือสัญญาณแต่ละส่วนใช้เวลาในการเดินทางถึงจุดหมายไม่เท่ากัน กล่าวคือ ถ้าสัญญาณที่ส่งมีแบนด์วิดท์ที่แคบมากเมื่อเทียบกับส่วนของความแตกต่างของเวลาการมาถึง เราสามารถหลีกเลี่ยงผลกระทบของดีเลย์สเปรดได้ แต่หากสัญญาณที่ส่งมีแบนด์วิดท์ที่สูงมาก ขึ้น ในการวิเคราะห์แบบจำลองช่องสัญญาณจำเป็นที่เราจะต้องนำปัญหาของดีเลย์สเปรดมา่วมคิดด้วย ประกอบด้วย การหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย (Mean excess delay) การแผ่การหน่วง rms (rms delay spread) และการแผ่การหน่วงเฉลี่ย (Excess delay spread) โดยค่าการหน่วงเข้าถึงเฉลี่ย ($\bar{\tau}$) หาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (3.13)$$

และค่าการแผ่การหน่วง rms หาได้จาก

$$\sigma_\tau = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\bar{\tau})^2} \quad (3.14)$$

เมื่อ

$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (3.15)$$

โดย σ_τ คือค่า RMS (Root Mean Dquare) delay spread

3.7 อัตราความผิดพลาดต่อบิต (Bite Error Rate)

สัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารทำให้ประสิทธิภาพของการสื่อสารลดลงโดยสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุเช่นเกิดกระทำของมนุษย์ หรือ โดยธรรมชาติในระบบ เราจะใช้อัตราความผิดพลาดต่อบิต เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของการสื่อสารแบบระบบ RFID โดยที่ค่าของอัตราความผิดพลาดต่อบิต ยิ่งมีค่ามากขึ้นเท่าใดจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ดังนั้นค่าอัตราความผิดพลาดเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$BER = Q \left[\sqrt{2(E_b / N_o) C_c} \right] \quad (3.16)$$

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt \quad (3.17)$$

โดยที่ E_b คือ พลังงานเฉลี่ย

N_o คือ ความหนาแน่นกำลังของสัญญาณรบกวน

C_c คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

Q คือ ความน่าจะเป็นของความผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

ในการตรวจสอบหาความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณที่รับได้นั้นสามารถวิเคราะห์และแสดงให้เห็นโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังแสดงนิยามตาม สมการที่ 3.18 ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดของค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross correlation) ที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้กับค่าสูงสุดของค่าสหสัมพันธ์ที่สองของผลคูณระหว่างค่าอัตราสหสัมพันธ์ (Auto correlation) ของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้โดยสมการที่นิยามถึงค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นตามสมการที่ 3.19 ถึงสมการที่ 3.21 ตามลำดับ

$$\rho(d) = \frac{\max |r_{ab}(\tau)|}{\max \sqrt{r_a(\tau)r_b(\tau)}} \quad (3.18)$$

โดยสมการที่นิยามค่าสหสัมพันธ์ข้าม คือ

$$r_{ab}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_i(\tau)v_r(t+\tau)dt \quad (3.19)$$

และสมการที่นิยามค่าอัตราสหสัมพันธ์ คือ

$$r_a(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_i(\tau)v_i(t+\tau)dt \quad (3.20)$$

$$r_b(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(\tau)v_r(t+\tau)dt \quad (3.21)$$

โดยที่

$v_i(t)$ คือ สัญญาณส่ง

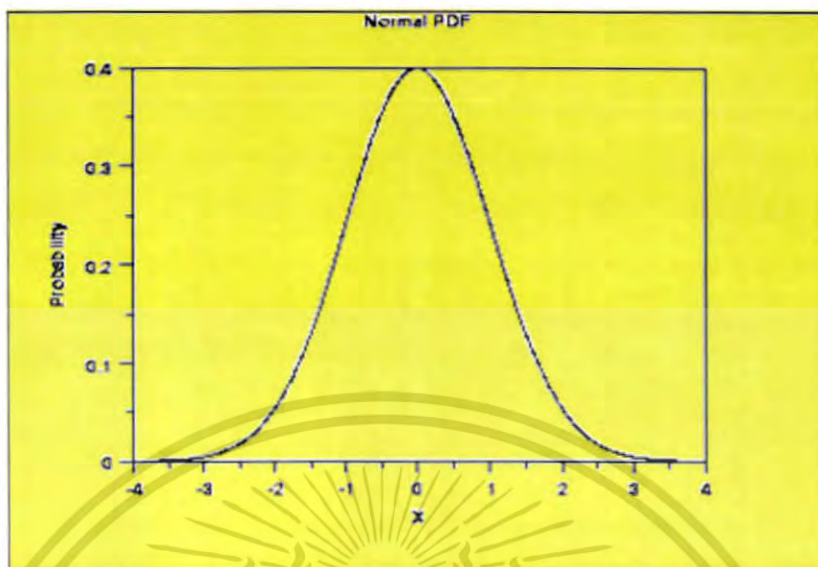
$v_r(t)$ คือ สัญญาณที่รับได้

3.9 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function)

เป็นการแสดงค่าความน่าจะเป็นในเชิงสถิติของการที่จะเกิดของสัญญาณ โดยที่ดูจากความหนาแน่นที่เกิดโดยที่จุดที่มีความหนาแน่นสูงจะกำหนดให้มีค่าความน่าจะเป็นสูง โดยที่ค่าสูงสุดจะไม่เกิน 1 สำหรับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นสามารถหาได้จาก

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & (0 \leq r \leq \infty) \\ r < 0 \end{cases} \quad (3.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



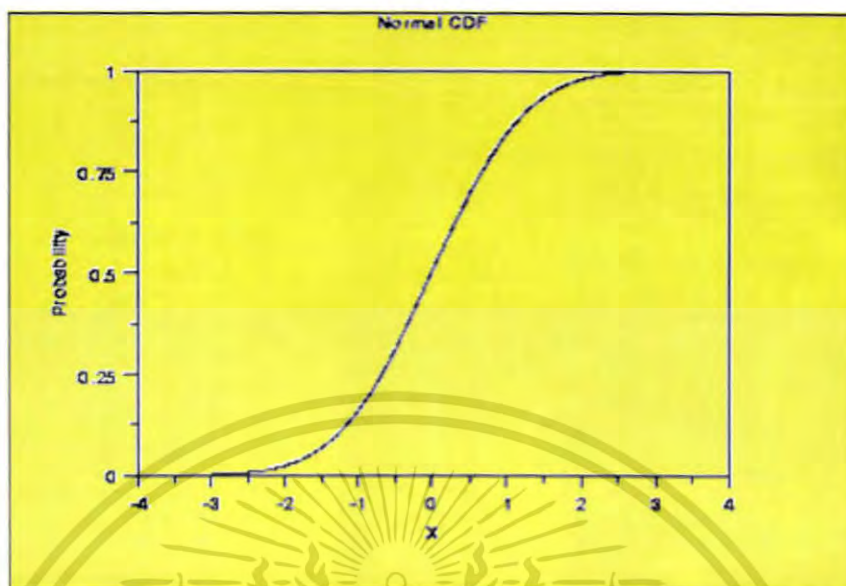
รูปที่ 3.1 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นในทางทฤษฎี

3.10 ฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกัน (Cumulative Distribution Function)

ฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันเป็นการแสดงการกระจายที่มารวมกัน โดยจะดูที่ความชันของเส้นกราฟซึ่งในทางทฤษฎีเส้นกราฟจะมีความลื่นเียว (Linear) แต่ในความเป็นจริงจะเป็นอย่างไรนั้นต้องดูจากผลการทดลองซึ่งค่าของฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันสามารถหาได้จาก

$$P(R) = \Pr(r \leq R) = \int_0^R p(r) dr = 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.23)$$

สำหรับสมการฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันและฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นนั้นเป็นส่วนกลับกันซึ่งเมื่อทราบตัวใดตัวหนึ่งก็จะสามารถอีกตัวหนึ่งได้อย่างเช่นเมื่อเราทราบฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นเมื่อทำการอินทิกรัลสมการของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นก็จะได้ค่าของฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกัน



รูปที่ 3.2 แสดงฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันในทางทฤษฎี

ซึ่งจะใช้สมการเหล่านี้มาช่วยในการวิเคราะห์สัญญาณ สำหรับหลักการในการวิเคราะห์นั้น เมื่อทำการวัดสัญญาณนำค่าสัญญาณที่ได้จากการทดลองไปหาค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการเพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบหาตำแหน่งที่ดีที่สุดและเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันและฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นกับทฤษฎีเพื่อดูค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นตามวัตถุประสงค์ของปริภูมิพจน์นี้

3.11 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการที่เกี่ยวข้องกับช่องสัญญาณในการสื่อสารซึ่งเป็นส่วนสำคัญในปริภูมิพจน์นี้อันประกอบด้วยรายละเอียดของคุณลักษณะของช่องสัญญาณ ปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณลักษณะของช่องสัญญาณ ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบถึงผลการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวในบทต่อไป จากนั้นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับช่องสัญญาณจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ถึงผลที่เกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็น ผลการลดทอนของกำลังงาน การผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณ ผลการกระจายทางเวลา ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้จะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ

บทที่ 4

การออกแบบโครงการ

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของขั้นตอนในการทดลองซึ่งเป็นการตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณ โดยทั่วไปจะมีการพิจารณาอยู่ 2 วิธีด้วยกันคือ ตรวจสอบจากการใช้แบบจำลองช่องสัญญาณ (channel model) บนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และตรวจสอบจากการวัดโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่าย ซึ่งเป็นการตรวจสอบบนโดเมนความถี่ โดยปริภูมยานิพนธ์นี้จะทำการตรวจสอบบนพื้นฐานของการวัดเป็นหลักสำหรับขั้นตอนในการวัดนั้น จำเป็นต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยจะกล่าวถึงในข้อหัวต่อไปและสิ่งที่สำคัญที่สุดอีกอย่างหนึ่งคือการกำหนดรูปแบบหรือลักษณะสภาพแวดล้อม ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่ต้องการตรวจสอบ โดยในปริภูมยานิพนธ์นี้จะทำการวัดช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่น RFID ในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร โดยกรณีการวัดภายในอาคารนั้นได้กำหนดลักษณะการวัดออกเป็น 2 แบบบนสถานะแวดล้อมที่ต่างกันดังที่จะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

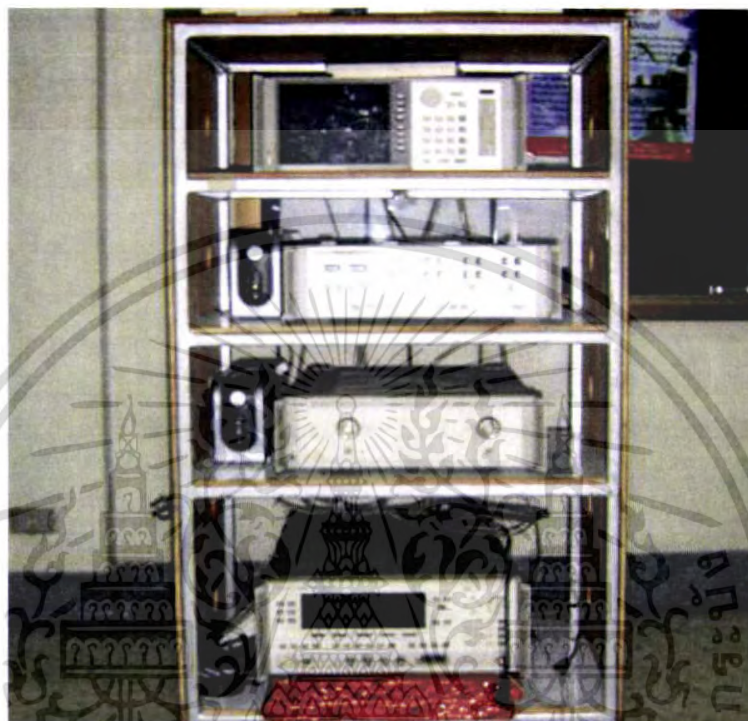
หลังจากขั้นตอนการวัดเสร็จสิ้นลงข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อหาผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นซึ่งจะแสดง ในรูปของพารามิเตอร์ต่างๆ อาทิเช่น ผลของระดับกำลังงานที่สูญเสีย ผลของการสูญเสียเชิงวิถีและการแผ่ประวิงเวลา เป็นต้น

4.2 ขั้นตอนและรูปแบบการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณ

4.2.1 (Vector Network Analyzer : VNA) รุ่น HP-8510C

โดยการวัดในครั้งนี้จะเป็นการวัดช่องสัญญาณทางโดเมนความถี่ และใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ VNA รุ่น HP-8510C ดังรูปที่ 4.1 เป็นอุปกรณ์หลักในการวัดครั้งนี้ ซึ่งสามารถวัดได้เกี่ยวกับฟังก์ชันการถ่ายโอนที่ซับซ้อน เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายจะทำการตรวจวัดอยู่สองพอร์ต แต่ละพอร์ตจะต่ออยู่กับสายอากาศแบบไมโครสตริป ซึ่งมีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางตรงดังรูปที่ 4.2 และคุณสมบัติของสายอากาศแบบไมโครสตริปแสดงดังรูปที่ 4.3 โดยพอร์ตที่หนึ่งใช้สำหรับการส่งสัญญาณ (Tx) และพอร์ตที่สองใช้สำหรับการรับสัญญาณ (Rx) สำหรับการศึกษและการวัด โดยที่สายอากาศด้านส่งต่อกับพอร์ตที่ 1 และ

สายอากาศด้านรับต่อกับพอร์ตที่ 2 เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงและศึกษาผลกระทบในรูปแบบต่างๆ ที่มีต่อระบบการสื่อสารแบบระบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ

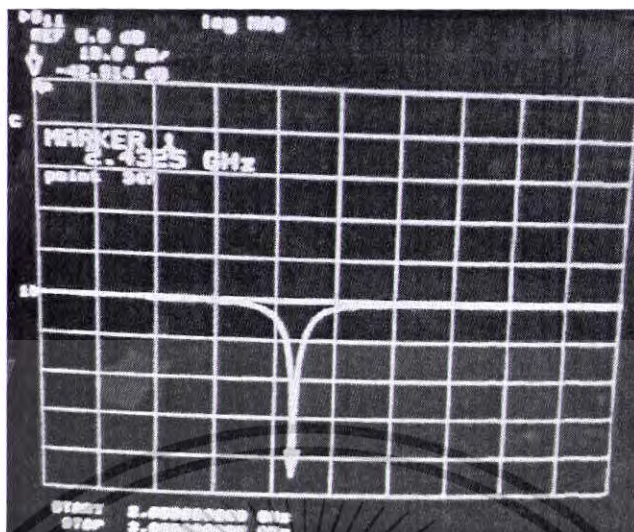


รูปที่ 4.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ รุ่น HP-8510C



รูปที่ 4.2 โครงสร้างของสายอากาศแบบไมโครสตริป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

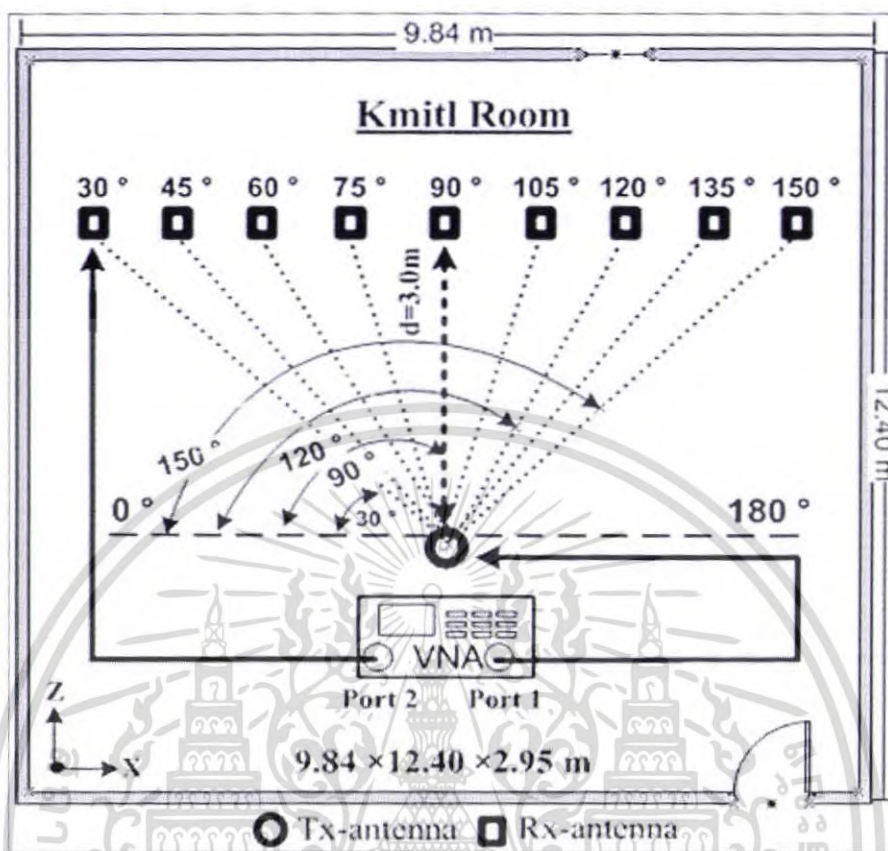


รูปที่ 4.3 S_{11} คุณสมบัติของสายอากาศแบบไมโครสตริป

4.2.2 แบบจำลองการวัดที่ 1

โดยการใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (vector network analyzer : VNA) ซึ่งสามารถวัดได้เกี่ยวกับฟังก์ชันการถ่ายโอนที่ซับซ้อน ฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ นำมาวัดที่ S_{21} บนโดเมนความถี่ โดยที่สายอากาศด้านส่งต่อกับพอร์ตที่ 1 และสายอากาศด้านรับต่อกับพอร์ตที่ 2 ซึ่งสายอากาศด้านส่งกำหนดความสูง 1.50 เมตร สายอากาศด้านรับกำหนดความสูง 0.50 และ 1.00 เมตรจากพื้น และวางห่างกันด้วยระยะห่าง 3.00 เมตรในแนว 90 องศา การติดตั้งอุปกรณ์มีรูปอธิบายเพื่อให้เห็นได้ชัดเจนขึ้นดังรูปที่ 4.1 ผู้วิจัยได้เลือกใช้สายอากาศทั้งด้านส่งและด้านรับเป็นสายอากาศไมโครสตริปดังรูปที่ 4.2 และพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการวัดได้แสดงไว้ใน

ตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.4 แบบจำลองการวัดที่ 1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของการวัดและทดสอบในแบบจำลองการทดลองวิจัยที่ 1

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	2.0 GHz ถึง 3.0 GHz
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
พิสัยพลวัตของกำลังงาน	80 dB
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.50 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	0.50 ,1.00 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

พารามิเตอร์	ค่า
ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับ	3.00 เมตร ที่มุม 90°
มุมระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับ	30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150 องศา
การวางตัวของสายอากาศ	แนวตั้ง
ชนิดของสายอากาศ	ไมโครสตริป

4.2.2.1 อุปกรณ์การทดลองที่ 1

- เสาอากาศไมโครสตริป
- สายอากาศ
- เครื่อง VNA
- สายวัด
- ขาดั่งเสาอากาศ
- เทปขาว

4.2.2.2 ขั้นตอนการทดลองที่ 1

3.2 คือนำตัวส่งสัญญาณทั้งภาคส่ง และภาครับต่อเข้ากับเครื่อง VNA โดยตัวส่งสัญญาณภาคส่ง และภาครับตั้งอยู่ห่างกันเป็นระยะทาง 3 เมตร

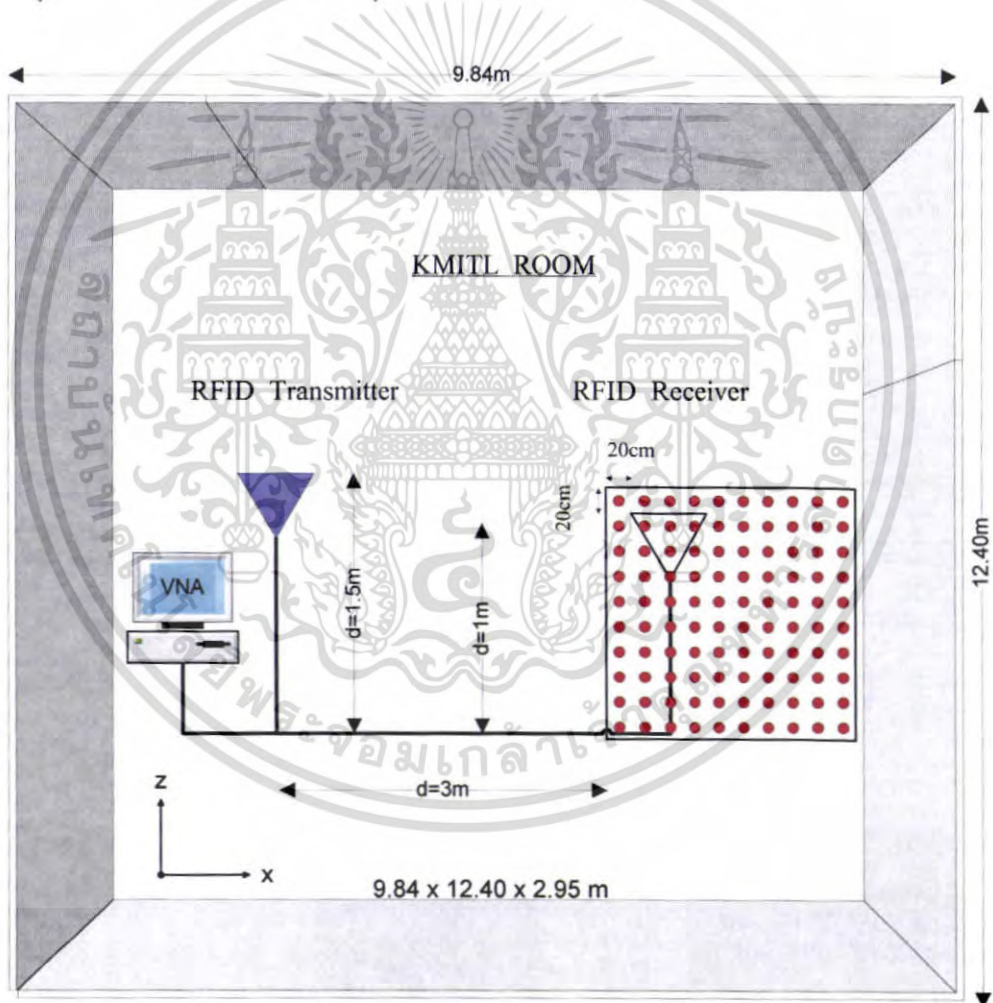
- เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดเรียบร้อยแล้วจึงเริ่มทำการวัดสัญญาณ โดยจะทำการวัดสัญญาณทั้งหมด 9 จุด จุดละ 3 ครั้ง โดยจุดแรกตัวส่งสัญญาณภาครับ จะตั้งทำมุมต่างจากตัวส่งสัญญาณภาคส่ง 30° เมื่อทำการวัดสัญญาณครบ 3 ครั้ง จึงเลื่อนตัวส่งสัญญาณภาครับให้ทำมุมต่างจากตัวส่งสัญญาณภาคส่งเพิ่มขึ้นทีละ 15° แล้วทำการวัดอีกครั้งจนครบทั้ง

9 จุด บันทึกค่าที่ได้จากการวัดทั้ง 9 จุด

- นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าต่างๆตามทฤษฎี แล้วพลอตกราฟตามผลการทดลองที่ได้

4.2.3 แบบจำลองการวัดที่ 2

สำหรับแบบจำลองการทดลองนี้จะเป็นการออกแบบโดยที่พิจารณาถึงตำแหน่ง 100 จุด ที่จะใช้ติดตั้งสายอากาศเพื่อทำการทดลอง โดยแบบจำลองการทดลองนั้นจะไม่สร้างจากวัสดุที่เป็นโลหะหรือวัสดุที่มีขนาดใหญ่เนื่องด้วยวัสดุที่เป็นโลหะนั้นจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำ ส่วนวัสดุที่มีขนาดใหญ่จะเกิดการสะท้อน ซึ่งจะมีผลต่อสัญญาณอาจทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณ ด้วยเหตุนี้แบบจำลองการทดลองจึงควรทำจากวัสดุที่ไม่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำและใหญ่เกินไปอย่างเช่น ไม้ พลาสติก เป็นต้น สำหรับจำลองที่ใช้ในการทดลองนี้ทำมาจากวัสดุที่เป็นพลาสติกและไม้จากเหตุผลดังกล่าว



รูปที่ 4.3 แบบจำลองการวัดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ของการวัดและทดสอบในแบบจำลองการทดลองวิจัยที่ 2

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	2.0 GHz ถึง 3.0 GHz
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
พิสัยพลวัตของกำลังงาน	80 dB
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.50 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.00 เมตร
ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับ	3.00 เมตร
การวางตัวของสายอากาศ	แนวตั้ง
ชนิดของสายอากาศ	ไมโครสตริป

4.2.3.1 อุปกรณ์การทดลองที่ 2

- เสาอากาศไมโครสตริป
- สายอากาศ
- เครื่อง VNA
- สายวัด
- ขาดั่งเสาอากาศ
- เทปกาวย

4.2.3.2 ขั้นตอนการทดลองที่ 2

1. สร้างแบบจำลองการทดลองทางด้านรับสัญญาณ โดยที่ระยะห่างระหว่างจุดแต่ละจุดกำหนดให้ห่างกัน 20 ซม. และวางสายอากาศทางด้านส่งกำหนดให้มีความสูงจากพื้นขึ้นมา 150 ซม. ซึ่งจะเป็นจุดกึ่งกลางของแบบจำลองทดลอง

2. เริ่มทำการเซตแบบจำลองการทดลอง สำหรับการทดลองนี้จะทำการวัด 100 จุดด้วยกันเพื่อนำค่าผลการทดลองที่ได้รับในแต่ละจุดแต่ละตำแหน่งไปเปรียบเทียบวิเคราะห์

3. ทำการวัดวัดที่ระยะ 3 เมตร โดยเลื่อนสายอากาศด้านรับจากจุดด้านซ้ายมือซึ่งกำหนดให้เป็นจุดที่ย้ายระดับไปทางด้านขวาจนครบ 100 จุดแล้วมาเริ่มทำการวัดจากจุดด้านล่างแล้ววัดไปจนครบ โดยทำแบบนี้จนครบ 100 จุด

4. ทำการวัด และบันทึกผล โดยการวัดและบันทึกผลนั้นเราจะ
บันทึกผลจุดละ 2 ค่า
6. นำผลการทดลองไปทำการวิเคราะห์ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์
ต่างๆ
7. ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่วัดได้โดยเปรียบเทียบค่าที่
ตำแหน่งต่างๆ

4.3 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการทดลองวัดช่องสัญญาณภายในห้อง โดยใช้สายอากาศที่
ตอบสนองช่วงความถี่ได้กว้าง ประกอบกับการใช้เครื่องวิเคราะห์หัวจรข่ายแบบเวกเตอร์เป็น
อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัดบน โดเมนความถี่เพื่อตรวจสอบถึงผลกระทบต่างๆ ที่มีต่อช่องสัญญาณ
โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่วัดช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่น RFID ในสภาวะแวดล้อมภายใน
อาคาร โดยข้อมูลการวัดที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์และแสดงผลในพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ ดังจะ
แสดงในบทต่อไป

บทที่ 5

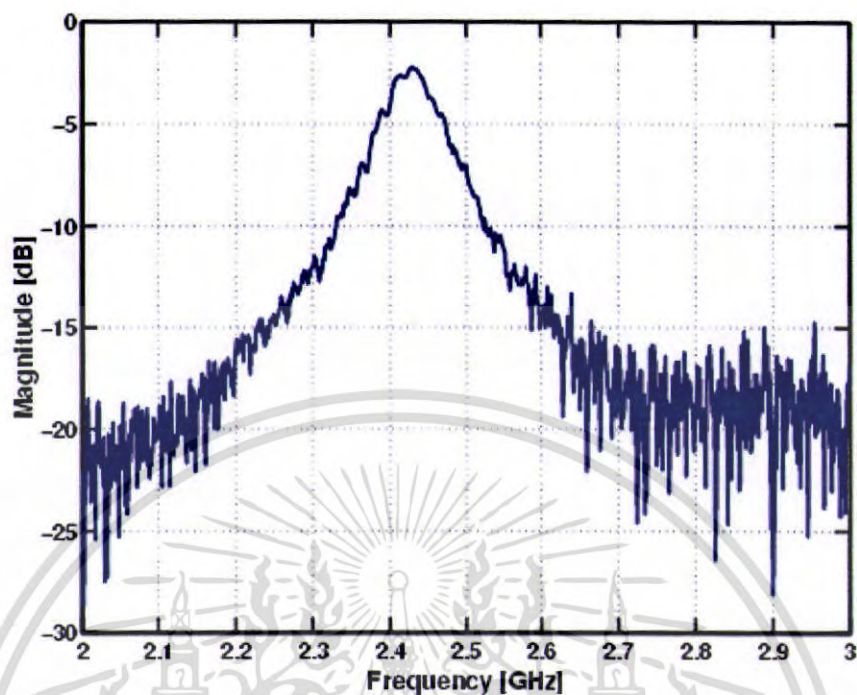
ผลการทดลอง

5.1 กล่าวนำ

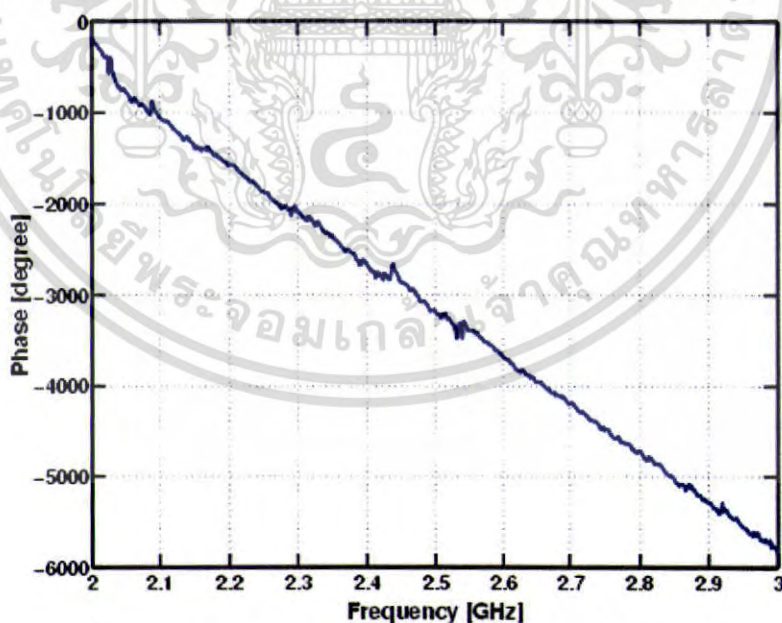
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ข้อมูลของช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดทั้ง 2 แบบ โดยแสดงในพารามิเตอร์หลักคือ ค่าแมกนิจูด เฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศ ค่าการสูญเสียเชิงวิถี อัตราการขยายเชิงวิถี ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าอัตราความผิดพลาดของบิตและค่ากำลังของสภาวะการประวิง

5.2 ผลการทดลองแบบจำลองการวัดที่ 1

ในบทความฉบับนี้ ผู้วิจัยได้หาค่าจากการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (vector network analyzer : VNA) เพื่อหาฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ โดยการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ด้วยความถี่ของจำนวนจุดคือ 801 จุด ในสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ข้อมูลที่ได้จากการวัดสามารถแสดงถึงพฤติกรรมการแพร่กระจายคลื่นวิทยุในการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ในมุมที่แตกต่างกันระหว่างสายอากาศด้านรับและสายอากาศด้านส่งตามรูปภาพดังนี้



รูปที่ 5.1 แมกนิจูดฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่มุม 90 องศา

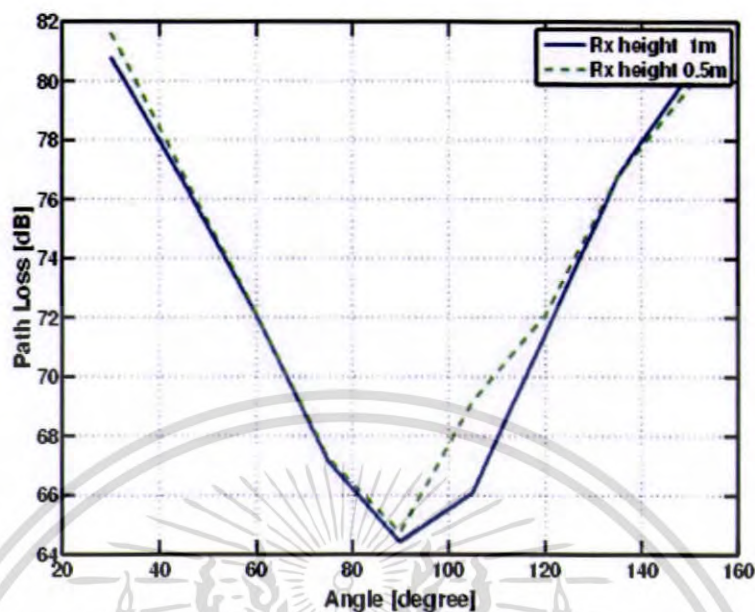


รูปที่ 5.2 เฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่มุม 90 องศา

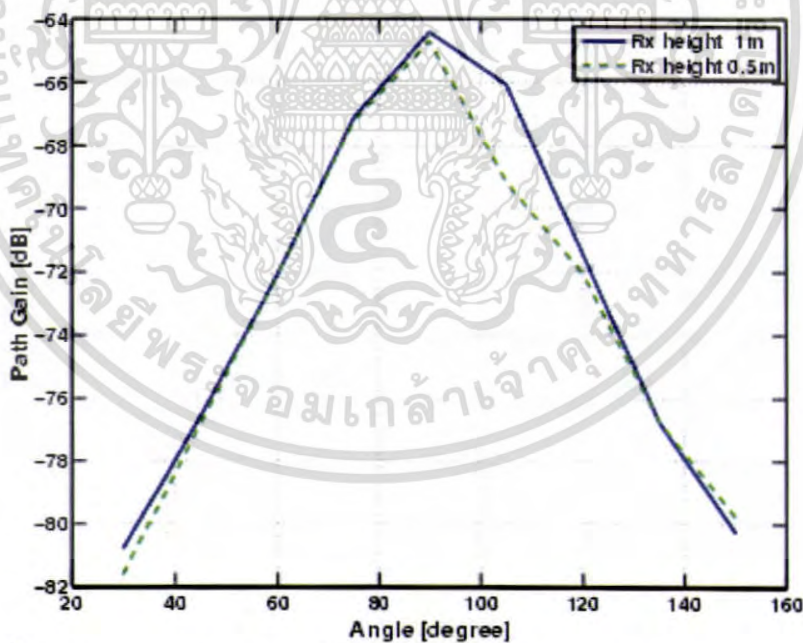
สำหรับกราฟรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 เป็นการอธิบาย ค่าแมกนิจูดและเฟสฟังก์ชันการถ่าย

โอนของสายอากาศ เป็นคุณสมบัติของสายอากาศที่ใช้ในการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 กำลังการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่สายอากาศรับความสูง 0.50 และ 1.00 เมตร

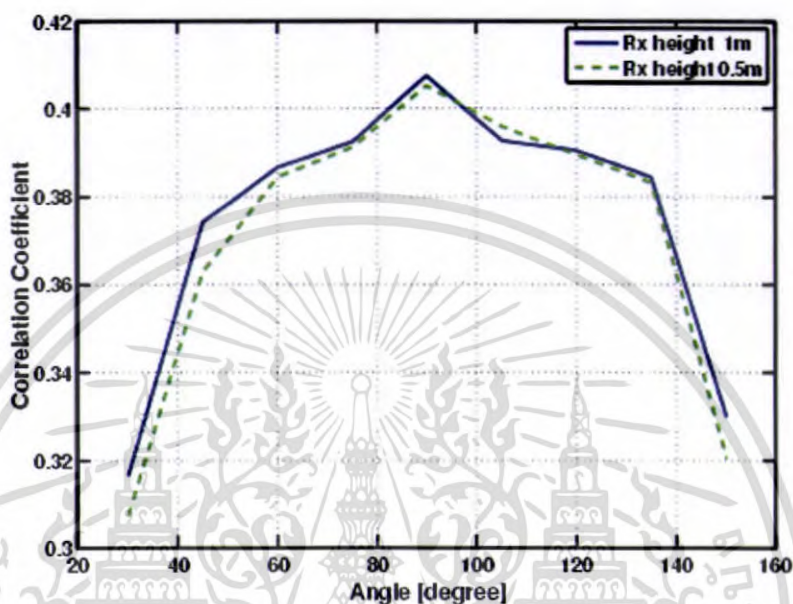


รูปที่ 5.4 อัตราการขยายเชิงวิถีที่สายอากาศรับความสูง 0.50 และ 1.00 เมตร

สำหรับกราฟรูปที่ 5.3 และ รูปที่ 5.4 เป็นการอธิบายค่าการสูญเสียเชิงวิถี และค่าอัตราการขยายเชิงวิถี ของสัญญาณในการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุทั้งสายอากาศที่ความสูง 0.50 และ 1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

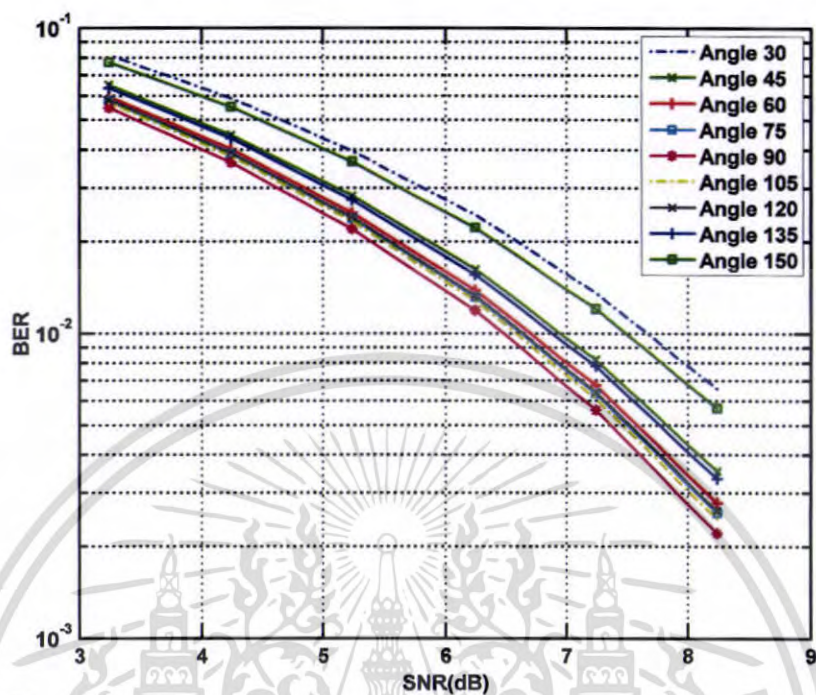
เมตรในตำแหน่งมุม 90 องศา มีการสูญเสียเชิงวิถีและการแผ่ประวิงน้อยที่สุด และ 0 กับ 150 องศา มีค่ามากที่สุด



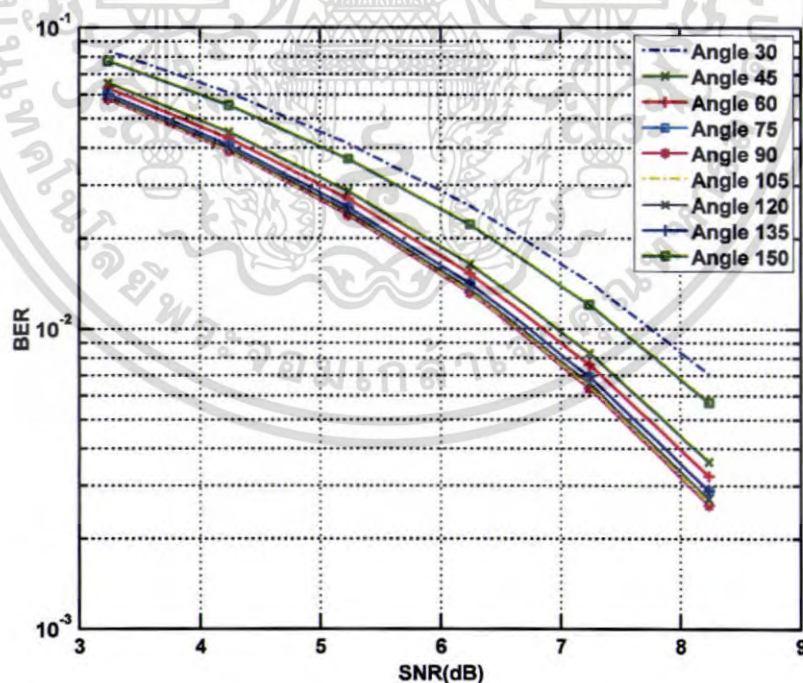
รูปที่ 5.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่สายอากาศด้านรับความสูง 0.50 และ 1.00 เมตร

สำหรับกราฟรูปที่ 5.5 เป็นการอธิบายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสัญญาณในการแพร่กระจายคลื่นแบบระบุดัดด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่งสังเกตได้ว่า ตำแหน่งมุมที่ 90° มีค่ามากที่สุด และตำแหน่งมุมที่ 30° กับ 150° มีค่าน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



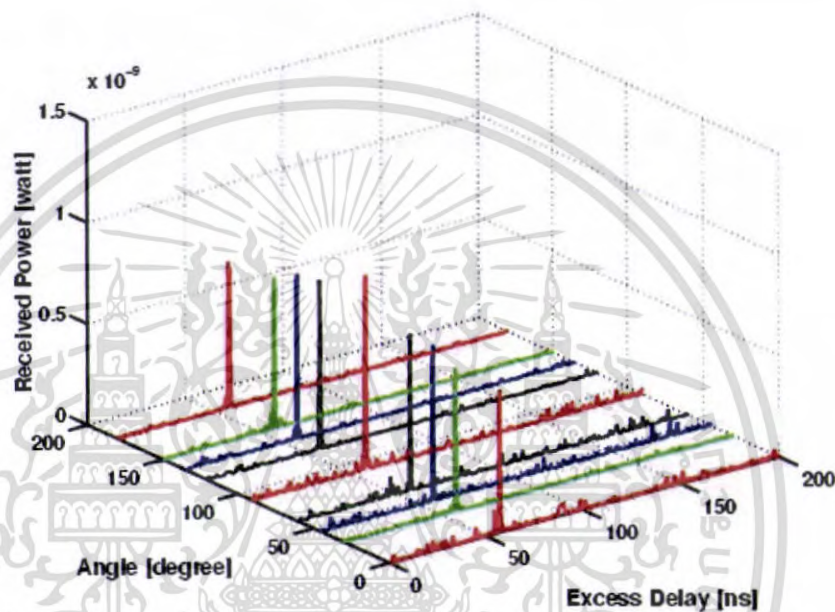
รูปที่ 5.6 ค่าอัตราความผิดพลาดของบิตที่สายอากาศด้านรับความสูง 0.50 เมตร



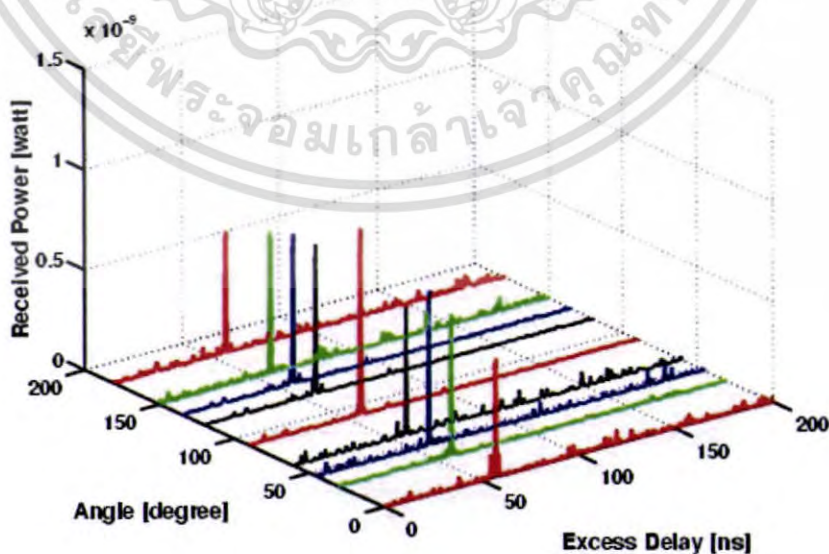
รูปที่ 5.7 ค่าอัตราความผิดพลาดของบิตที่สายอากาศด้านรับความสูง 1.00 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกราฟรูปที่ 5.6 และรูปที่ 5.7 เป็นการอธิบายค่าอัตราความผิดพลาดของบิต ทั้งสายอากาศที่ความสูง 0.50 และ 1.00 เมตรในตำแหน่งมุมที่ 90 องศา มีค่าน้อยที่สุด และ 0 กับ 150 องศา มีค่ามากที่สุด สามารถบ่งบอกได้ถึงประสิทธิภาพของสัญญาณในการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ



รูปที่ 5.8 กำลังของสภาวะการประวิงที่สายอากาศรับความสูง 1.00 เมตร ตั้งแต่มุมที่ 30 ถึง 150 องศา



เอกสารนี้รูปที่ 5.9 กำลังของสภาวะการประวิงที่สายอากาศรับความสูง 0.50 เมตร ตั้งแต่มุมที่ 30 ถึง 150 องศา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกราฟรูปที่ 5.8 และรูปที่ 5.9 เป็นการอธิบายค่ากำลังของสภาวะการประวิง แสดงผลให้เห็นว่ากำลังส่งที่คีของคลื่นวิทยุแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุหึ่งสายอากาศที่ความสูง 0.50 และ 1.00 เมตรในตำแหน่งมุม 90 องศา มีกำลังส่งคีที่สุด และ 0 กับ 150 องศา มีกำลังส่งน้อยที่สุด

5.3 ผลการทดลองแบบจำลองการวัดที่ 2

5.3.1 การสูญเสียเชิงวิถี

ซึ่งจะทำให้เราทราบความสูญเสียของการส่งสัญญาณที่ได้จากการส่งสัญญาณในการทดลองนี้ซึ่งผลของการสูญเสียเชิงวิถี จะทำให้ทราบว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถี มีมากหรือน้อยอย่างไรซึ่งค่าของสูญเสียเชิงวิถีจะแปรผันกับค่าของค่าที่รับได้ นั่นคือถ้าหากสูญเสียเชิงวิถีมีค่ามากค่าที่รับได้ก็จะมีค่าน้อย ทำให้เราไม่จำเป็นที่จะต้องหาค่าที่รับได้ สำหรับผลการทดลองเป็นดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี

ตำแหน่ง	ค่าการสูญเสียเชิงวิถี(dB)	ตำแหน่ง	ค่าการสูญเสียเชิงวิถีdB)
1	53.1881	51	55.7526
2	52.802	52	56.2264
3	52.1063	53	56.3388
4	50.9433	54	56.7775
5	51.6471	55	60.0433
6	50.4876	56	61.5958
7	53.3522	57	60.1892
8	52.7519	58	62.7252
9	52.4687	59	60.7872
10	52.9339	60	60.3025
11	53.6696	61	56.1892
12	55.7452	62	57.6118
13	55.8702	63	55.4391
14	54.0289	64	57.7804
15	55.1546	65	56.9677
16	54.5193	66	60.0047

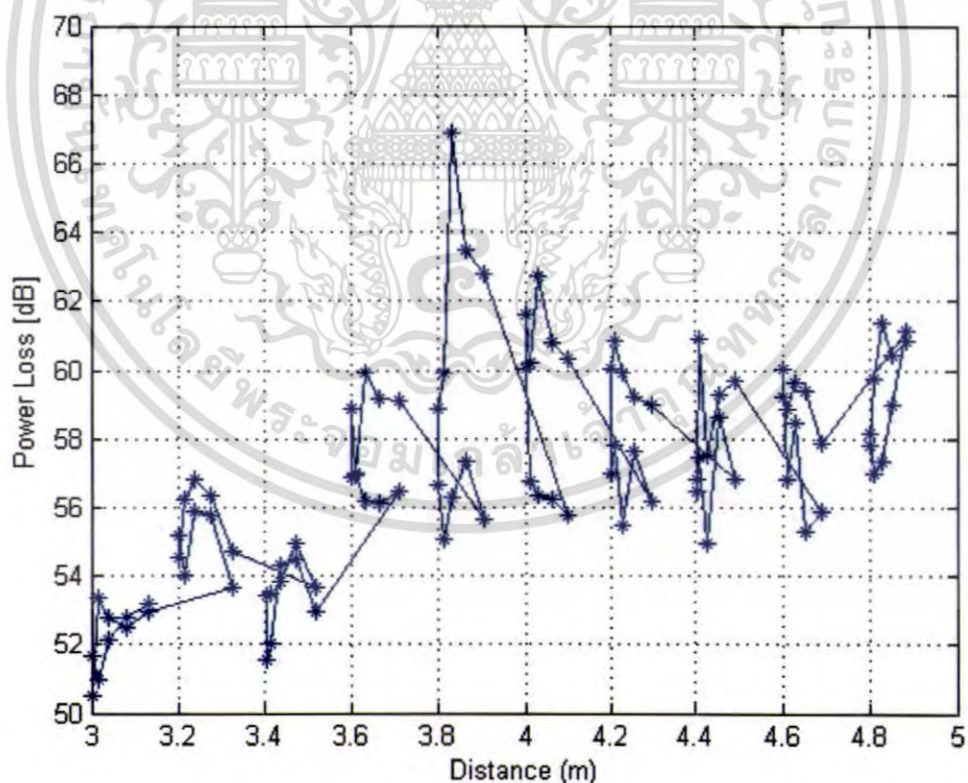
ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ค่าการสูญเสียเชิงวิถี(dB)	ตำแหน่ง	ค่าการสูญเสียเชิงวิถี(dB)
17	56.2209	67	60.8730
18	56.8140	68	59.9371
19	56.3729	69	59.1823
20	54.7001	70	58.9584
21	53.6819	71	56.7877
22	54.9591	72	58.6150
23	53.8295	73	54.9243
24	53.4543	74	57.4842
25	53.4277	75	56.4597
26	51.5718	76	56.8276
27	52.0457	77	60.8922
28	54.3027	78	57.4886
29	54.5005	79	59.2496
30	52.9541	80	59.6929
31	56.4757	81	55.8883
32	56.1281	82	55.3041
33	56.1881	83	58.4573
34	56.9114	84	56.7914
35	56.8691	85	60.0392
36	58.8395	86	59.2358
37	56.9763	87	58.8564
38	59.9315	88	59.6284
39	59.1692	89	59.3589
40	59.0953	90	57.8682
41	55.6146	91	61.1491
42	57.3297	92	58.9524

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ค่าการสูญเสียเชิงวิถี(dB)	ตำแหน่ง	ค่าการสูญเสียเชิงวิถี(dB)
43	56.2929	93	57.3356
44	55.0505	94	56.9684
45	56.6249	95	58.1445
46	58.8707	96	57.8238
47	59.8971	97	59.7166
48	66.8595	98	61.3734
49	63.4711	99	60.4614
50	62.7694	100	60.8332



รูปที่ 5.10 การสูญเสียเชิงวิถี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกราฟรูปที่ 5.10 เป็นการอธิบายการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านรับและด้านส่งเป็นระยะ 3 เมตร จากรูปจะเห็นว่าค่าของการสูญเสียอยู่ที่ประมาณ 56-58 dB ตำแหน่งของพาราลอสจะถูกลำมาเสนอในรูปแบบของกราฟเพื่อที่จะแสดงให้เห็นความชัดเจนยิ่งขึ้น หากต้องการทราบค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดสามารถดูได้จากตารางของพาราลอส ตำแหน่งใดมีค่าการสูญเสียน้อยสุดคือตำแหน่งที่ดีที่สุด

5.3.2 อัตราการขยายเชิงวิถี

ตารางที่ 5.2 ค่าอัตราการขยายเชิงวิถี

ตำแหน่ง	ค่าอัตราการขยายเชิงวิถี (dB)	ตำแหน่ง	ค่าอัตราการขยายเชิงวิถี (dB)
1	-53.1881	51	-55.7526
2	-52.802	52	-56.2264
3	-52.1063	53	-56.3388
4	-50.9433	54	-56.7775
5	-51.6471	55	-60.0433
6	-50.4876	56	-61.5958
7	-53.3522	57	-60.1892
8	-52.7519	58	-62.7252
9	-52.4687	59	-60.7872
10	-52.9339	60	-60.3025
11	-53.6696	61	-56.1892
12	-55.7452	62	-57.6118
13	-55.8702	63	-55.4391
14	-54.0289	64	-57.7804
15	-55.1546	65	-56.9677
16	-54.5193	66	-60.0047
17	-56.2209	67	-60.8730
18	-56.8140	68	-59.9371

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

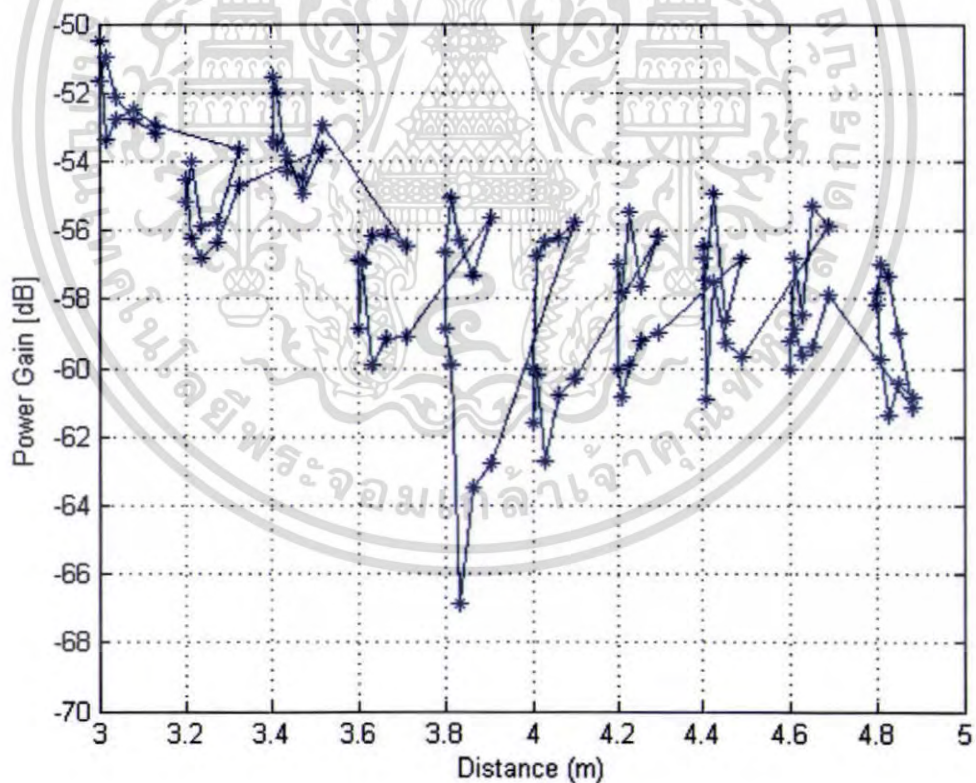
ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ค่าอัตราการขยายเชิงวิถี (dB)	ตำแหน่ง	ค่าอัตราการขยายเชิงวิถี (dB)
19	-56.3729	69	-59.1823
20	-54.7001	70	-58.9584
21	-53.6819	71	-56.7877
22	-54.9591	72	-58.6150
23	-53.8295	73	-54.9243
24	-53.4543	74	-57.4842
25	-53.4277	75	-56.4597
26	-51.5718	76	-56.8276
27	-52.0457	77	-60.8922
28	-54.3027	78	-57.4886
29	-54.5005	79	-59.2496
30	-52.9541	80	-59.6929
31	-56.4757	81	-55.8883
32	-56.1281	82	-55.3041
33	-56.1881	83	-58.4573
34	-56.9114	84	-56.7914
35	-56.8691	85	-60.0392
36	-58.8395	86	-59.2358
37	-56.9763	87	-58.8564
38	-59.9315	88	-59.6284
39	-59.1692	89	-59.3589
40	-59.0953	90	-57.8682
41	-55.6146	91	-61.1491
42	-57.3297	92	-58.9524
43	-56.2929	93	-57.3356

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

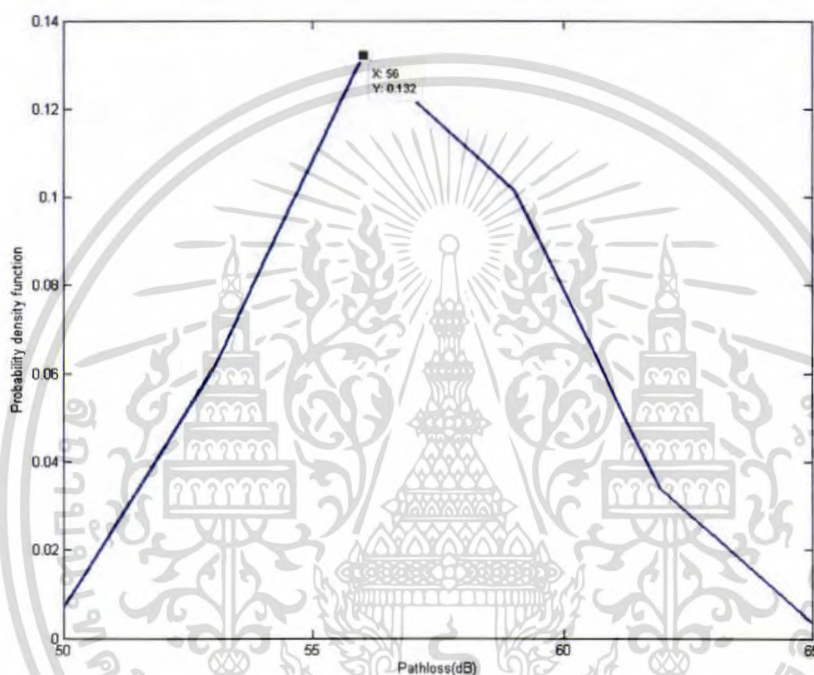
ตำแหน่ง	ค่าอัตราการขยายเชิงวิถี (dB)	ตำแหน่ง	ค่าอัตราการขยายเชิงวิถี (dB)
44	-55.0505	94	-56.9684
45	-56.6249	95	-58.1445
46	-58.8707	96	-57.8238
47	-59.8971	97	-59.7166
48	-66.8595	98	-61.3734
49	-63.4711	99	-60.4614
50	-62.7694	100	-60.8332



รูปที่ 5.11 อัตราการขยายเชิงวิถี

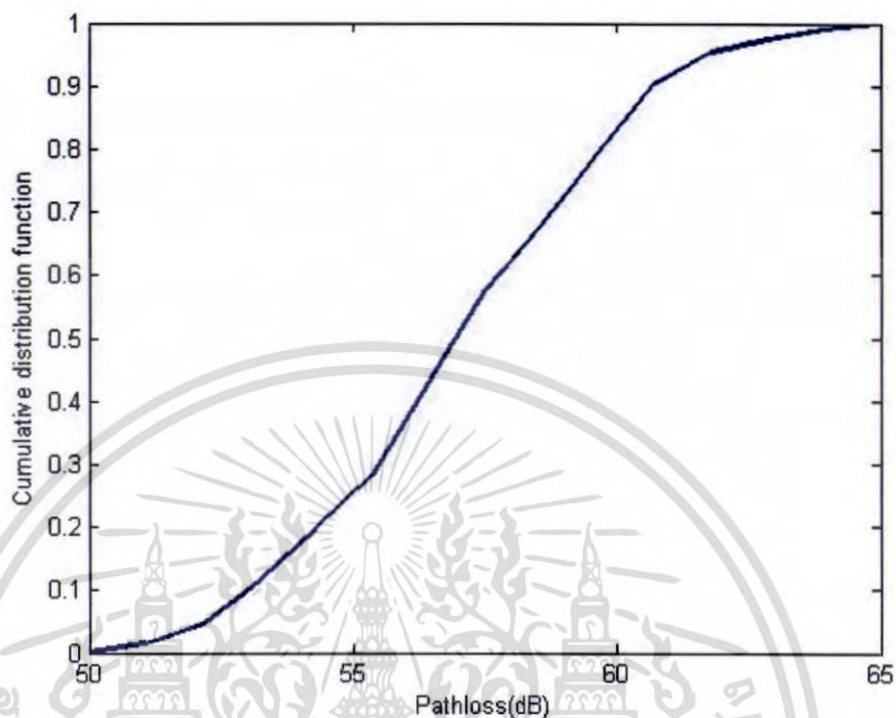
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกราฟรูปที่ 5.11 เป็นการอธิบายอัตราการขยายเชิงวิถีของสัญญาณที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านรับและด้านส่งเป็นระยะ 3 เมตร จากรูปจะเห็นว่าค่าของการสูญเสียอยู่ที่ประมาณ -56 ถึง -58 dB ตำแหน่งของพารเกนจะถูกนำมาเสนอในรูปแบบของกราฟเพื่อที่จะแสดงให้เห็นความชัดเจนยิ่งขึ้น หากต้องการทราบค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดสามารถดูได้จากตารางของอัตราการขยายเชิงวิถี ตำแหน่งใดมีค่าการสูญเสียมากที่สุดคือตำแหน่งที่ดีที่สุด



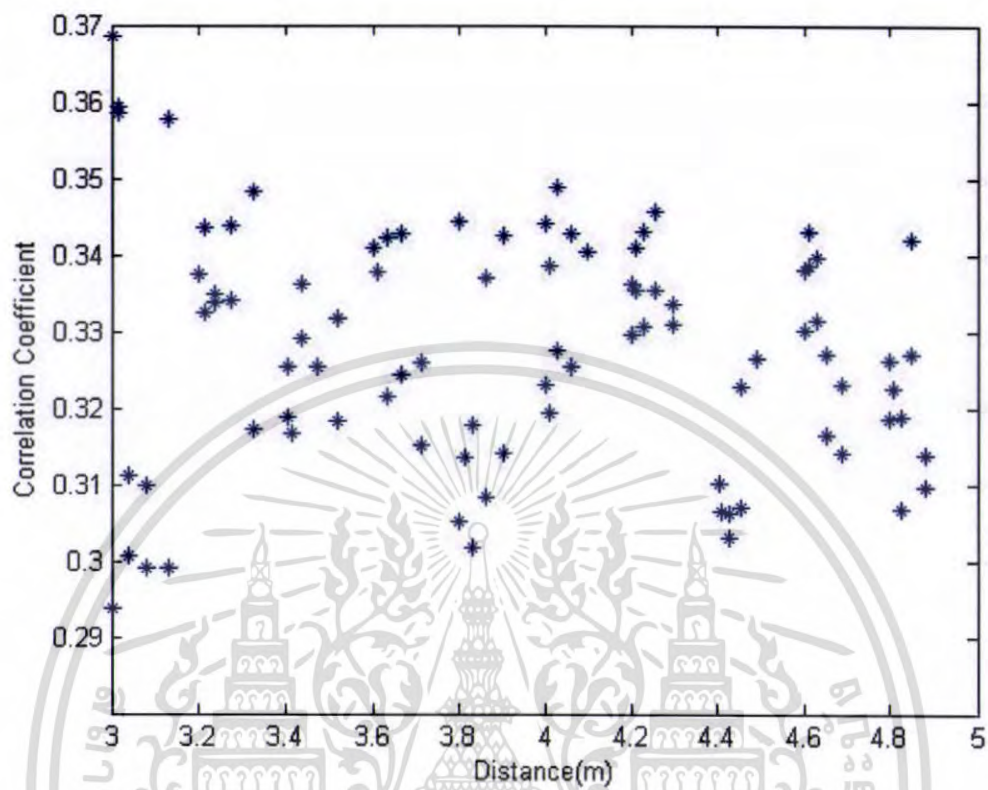
รูปที่ 5.12 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น

สำหรับกราฟรูปที่ 5.12 เป็นการอธิบายฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น สำหรับค่าฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น คือ การที่นำเสนอในรูปแบบของความน่าจะเป็นในการเกิด โดยที่ดูการกระจายของสัญญาณแต่ละจุด เมื่อดูจากรูปก็จะเห็นว่า จะมีการสัญญาณการสูญเสียเชิงวิถี อยู่ที่ประมาณ 56 dB จุดที่สัญญาณสูงสุด คือ จุดที่มีสัญญาณที่รับได้มากที่สุดซึ่งผลที่ได้จะแตกต่างกับแนวทฤษฎีมีความโค้งที่ไม่ได้รูป มีการบิดเบี้ยวซึ่งอาจเกิดจากการผลกระทบของสภาพแวดล้อมของการวัด อย่างเช่นมีเครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่ เป็นต้น



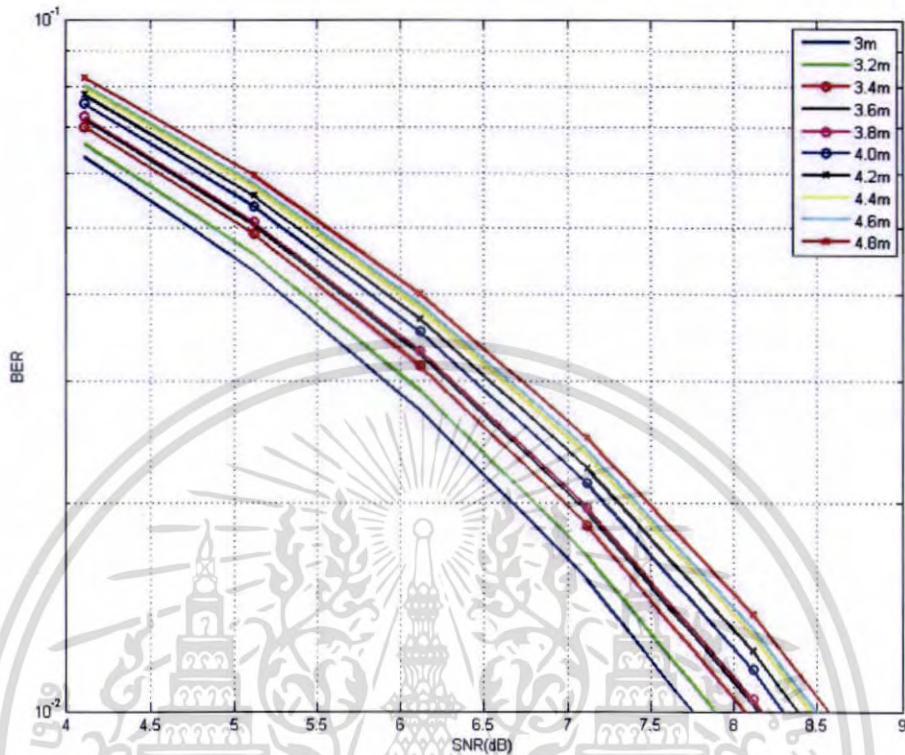
รูปที่ 5.13 ฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกัน

สำหรับกราฟรูปที่ 5.13 เป็นการอธิบายฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันในทางทฤษฎีคือการแสดงในเชิงสถิติเช่นเดียวกัน แต่จะเป็นในลักษณะการรวมตัวกันของจุดต่างซึ่งจะเป็นเส้นชั้นลักษณะการเกิดอยู่ในช่วงเดียวกับค่าความน่าจะเป็นของความหนาแน่น (PDF) แต่จะดูที่ความลื่นเนียร์ของเส้นกราฟ



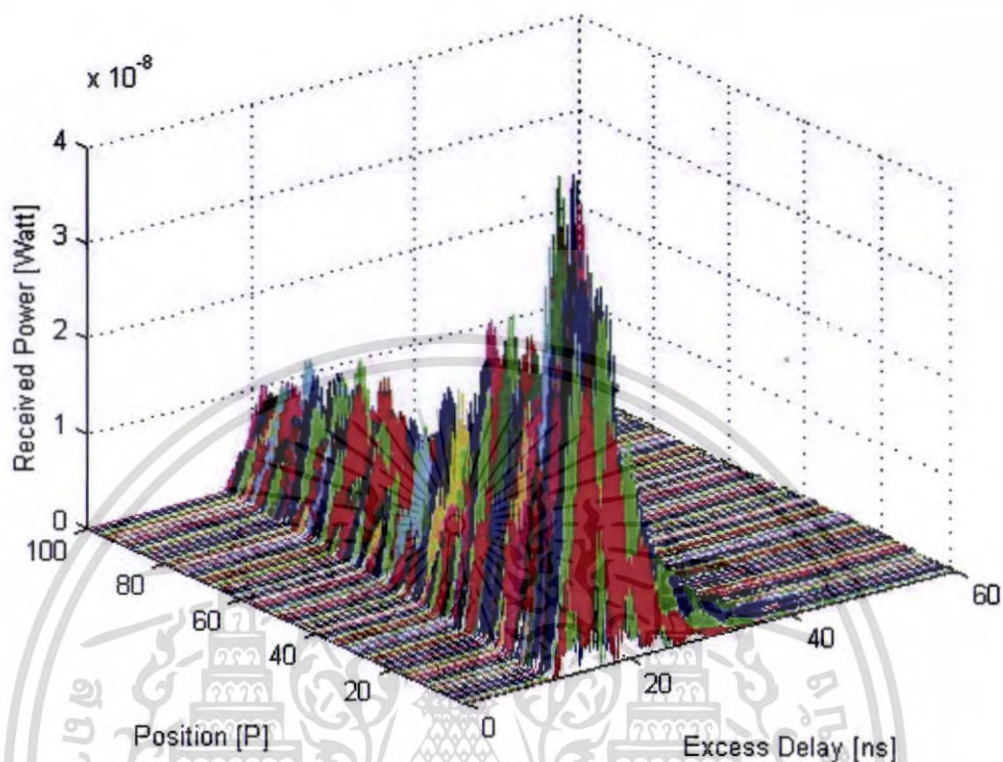
รูปที่ 5.14 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่สายอากาศ

สำหรับกราฟรูปที่ 5.14 เป็นการอธิบายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสัญญาณในการแพร่กระจายคลื่นแบบระบุดวงด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่งสังเกตได้ว่าถ้าระยะทางเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสัญญาณในการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุ จะลดลง คือมีการลดทอนของสัญญาณมากขึ้น



รูปที่ 5.15 อัตราความผิดพลาดของบิต

สำหรับกราฟรูปที่ 5.14 เป็นการอธิบายค่าอัตราความผิดพลาดของบิต สามารถบ่งบอกได้ถึงประสิทธิภาพของสัญญาณในการส่งผ่านแบบระบุตัวคนด้วยความถี่วิทยุซึ่งสังเกตได้ว่าถ้าระยะทางเพิ่มขึ้นค่าอัตราความผิดพลาดของบิตจะเพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 5.16 การแผ่ประวิง

สำหรับกราฟรูปที่ 5.8 เป็นการอธิบายค่า การแผ่ประวิง แสดงผลให้เห็นว่ากำลังส่งที่ดีของคลื่นวิทยุแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุในระยะทางไกลๆจะมีกำลังส่งที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

6.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองที่ผ่านมา ผู้วิจัยได้ศึกษาถึงการสูญเสียการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุในการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ที่ใช้ในระบบ RFID โดยสัญญาณนั้นจะมีช่วงความถี่ในช่วง 2-3 GHz ซึ่งเป็นความถี่ช่วง Low Band ซึ่งใช้ในระบบ RFID จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่า

สัญญาณที่รับได้ มีค่าการสูญเสียเชิงวิถี ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางที่มากขึ้น เพราะฉะนั้นสรุปได้ว่า ยิ่งระยะทางระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณอยู่ใกล้กันมาก ค่าการสูญเสียเชิงวิถีก็ยิ่งมาก

ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด กับ ความถี่ ซึ่งค่าแอมพลิจูดนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ ซึ่งค่าแอมพลิจูดนี้จะบ่งบอกด้วยการรับสัญญาณยิ่งถ้าตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณอยู่ใกล้กันมากขึ้นจะทำให้ค่าแอมพลิจูดมากขึ้นด้วย

ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ สามารถอธิบายได้ว่า ในตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณที่มีระยะทางอยู่ใกล้กับเครื่องส่งสัญญาณจะมีค่าเฟสเป็นเชิงเส้นมากกว่าตำแหน่งที่ไกลจากเครื่องส่งสัญญาณออกไป นั่นก็คือเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นการรับสัญญาณก็จะรับสัญญาณได้ต่ำกว่าที่ระยะทางที่อยู่ใกล้เครื่องส่งสัญญาณ ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่า เราจำลองการวัดให้มีระยะที่ต่างกันถ้าระยะทางยิ่งไกลกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฟส กับ ความถี่ ก็จะไม่เป็นเชิงเส้นมากขึ้นเท่านั้น

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง BER กับระยะทาง จะเห็นได้ว่า BER เพิ่มขึ้นเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นเพราะยิ่งระยะทางไกล ค่าความสูญเสียเชิงวิถีมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้น โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดในการตัดสินใจข้อมูลผิดพลาดมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกัน

จากการทดลอง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะเห็นได้ว่าจะมีค่าลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นสรุปได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปรผกผันกับระยะทาง

สัญญาณที่ได้จากการวัดช่องสัญญาณการสูญเสียการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุในการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ภายในอาคารเป็นสัญญาณที่เข้ามาจากหลายทิศทาง เป็นไปตามกลไกการแพร่กระจายของคลื่นที่มีการสะท้อน หักเห และเลี้ยวเบน ซึ่งทำให้แต่ละเส้นทางเข้ามาถึงด้านรับไม่พร้อมกัน ซึ่งสามารถแสดงการขยายออกทางเวลาได้ด้วยค่ากำลังงานของสภาวะการประวิงของสัญญาณ ซึ่งค่า delay ของสัญญาณนั้นจะแปรตามระยะห่างระหว่างด้านส่งและด้านรับ เมื่อระยะมากขึ้นทำให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีเพิ่มมากขึ้น ค่า delay มีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง

1. การทดลองแต่ละครั้งมีผลกระทบจากสภาพแวดล้อมภายนอก ดังนั้นจึงต้องมีการวัดซ้ำหลายครั้ง เพื่อได้ค่าที่แน่นอน
2. จากการทำการศึกษาโครงการนี้พบว่ายังมีหลายส่วนๆ ที่ขาดต่อความเข้าใจ ในการที่จะทำการวิเคราะห์จึงค่อนข้างจะทำได้ช้า และการที่พัฒนาต่อต้องศึกษาให้มากขึ้นเพื่อพัฒนารูปแบบการใช้งานจริง
3. ขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแนวทฤษฎีของเทคโนโลยี RFID และโปรแกรมที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ จึงต้องใช้เวลาในการศึกษานาน
4. ยังขาดความชำนาญในการใช้อุปกรณ์เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ใหม่ที่ยังไม่มีการใช้งานทั่วไปในปัจจุบัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] “RFID Multiple Access Methods,” Summer semester 2004 Luc Andre Burdet Seminar “Smart Environments”.
- [2] M.L Ng,P.H Cole, “The reader collision problem in RFID systems”, presented in MAPE 2005, Beijing, August 2005.
- [3] “Smart Environments” Securing RFID with Ultrawideband Modulation Electrical and Computer Engineering Department. Blacksburg, VA 24061.
- [4] P. Malison, S. Promwong, N. Sukutamantanti and P. Juengkittigul, “An Indoor Measurement of RFID Transmission Gain for Wireless Body Area Network”, Joint International Conference on Information and Communication Technology (JICT2007), pp. 21-24, 19-22 Dec 2007.
- [5] H. T. Friis, “A Note on a Simple Transmission Formula,” *Proc. IRE*, Vol 34, no 5, pp. 254-256, May 1946.