การประเมินผลเชิงการทดลองวัดของการสูญเสียการแพร่กระจายและผลกระทบการแทรกสอดจากสัญญาณบลูทูธที่มีต่อระบบการสื่อสาร RFID

EXPERIMENTAL EVALUATION OF PROPAGATION LOSS AND INTERFERENCE EFFECT FROM BLUETOOTH SIGNAL TO RFID COMMUNICATION SYSTEM

อุสมาน อาเย๊าะแซ

USMAN R-YOHSAE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-230-307

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประเมินผลเชิงการทดลองวัดของการสูญเสียการแพร่กระจายและผลกระทบการแทรกสอดจากสัญญาณบลูทูธที่มีต่อระบบการสื่อสาร RFID

EXPERIMENTAL EVALUATION OF PROPAGATION LOSS AND INTERFERENCE EFFECT FROM BLUETOOTH SIGNAL TO RFID COMMUNICATION SYSTEM

อุสมาน อาเย๊าะแซ

USMAN R-YOHSAE

เลขหมู่..........
เลขทะเบียน.......82874
วัน,เดือน,ปี.......25 ก.ค. 2551

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

KMITL-2008-EN-M-230-307

EXPERIMENTAL EVALUATION OF PROPAGATION LOSS AND INTERFERENCE EFFECT FROM BLUETOOTH SIGNAL TO RFID COMMUNICATION SYSTEM

USMAN R-YOHSAE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

KMITL-2008-EN-M-230-307

COPYRIGHT 2008

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินผลเชิงการทดลองวัดของการสูญเสียการแพร่กระจายและผลกระทบการแทรกสอดจากสัญญาณบลูทูธที่มีต่อระบบการสื่อสาร RFID
นักศึกษา	นายอุสมาน อาเย๊าะแซ
รหัสประจำตัว	49061015
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. นิกร สุขุตมตันติ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ สถาพร พรมวงศ์

บทคัดย่อ

ระบบการสื่อสารแบบไร้สายมีสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ การสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นในตัวกลางอวกาศว่าง ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาในส่วนของคุณลักษณะช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นวิทยุของระบบแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมและระยะทางที่แตกต่างกันสำหรับย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร และวิเคราะห์ผลกระทบจากการแทรกสอดของสัญญาณระบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1 ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเครือข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลแบบไร้สาย เนื่องจากระบบการสื่อสารของบลูทูธทำงานอยู่ในย่านความถี่เดียวกัน ฉะนั้นในการวิเคราะห์สัญญาณได้พิจารณาใช้ทฤษฎีและหลักการส่งผ่านของฟรีส ผลจากการวัดและการวิเคราะห์ได้แสดงค่าของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของแมกนิจูดและเฟส กำลังสูญเสียเชิงวิถี อัตราการขยายเชิงวิถี อัตราบิตผิดพลาด สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และการแผ่ประวิงเวลา โดยค่าดังกล่าวสามารถนำมาวิเคราะห์หาการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ และผลกระทบการแทรกสอดจากสัญญาณบลูทูธที่มีต่อประสิทธิภาพของสัญญาณการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุได้ ทั้งนี้ผู้วิจัยยังเชื่อว่าการศึกษาครั้งนี้สามารถให้แนวทางเพื่องานวิจัยและออกแบบระบบแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานต่อไปในอนาคต

Thesis Title	Experimental Evaluation of Propagation Loss and Interference Effect From Bluetooth Signal to RFID Communication System
Student	Mr. Usman R-yohsae
Student ID.	49061015
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Asst. Prof. Nikorn Sukutamatanti
Thesis Co-Advisor	Mr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

A part of important consideration in wireless communication systems is the free space propagation loss. In this thesis, we focus on the characteristics of radio propagation channel in Radio Frequency Identification (RFID) systems at frequency range 2.45 GHz which depend on different angles and distances in an indoor environment and also analyze about the presence of Bluetooth (IEEE 802.15.1) system of wireless personal area networks (WPANs) to the performance of RFID transmission because Bluetooth communication systems operate at frequency range 2.45 GHz. The Friis' transmission formula is considered. We will show magnitude and phase of the antenna transfer function, bit error rate (BER), power loss, power gain, correlation coefficient and rms delay spread for analyzing the radio propagation loss and the interference effect of Bluetooth signal to the performance of RFID transmission signal. We believe our study would give a good guideline for further researches and design on RFID systems.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ นิกร สุขุตมตันติ และอาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศเป็นที่สุด ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ เนื่องจากการอนุเคราะห์ อบรมสั่งสอนดูแลลูกศิษย์เป็นอย่างดี ให้ความอนุเคราะห์ความรู้ต่างๆ คอยเสนอแนะการนำเสนองานวิจัยอย่างดีเยี่ยม ชี้แนะแนวทางเกี่ยวกับงานวิจัยทั้งหมด ตลอดจนความเป็นห่วงที่คอยสอบถามปัญหาของงานวิจัย ทำให้ข้าพเจ้ามีความรู้และสามารถนำเสนองานวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้เขียนมีความซาบซึ้งใจต่อความเป็นอาจารย์ จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอบคุณบิดา มารดา ผู้ซึ่งสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้โดยตลอด

ขอบคุณพี่น้องและเพื่อนๆ ที่คอยให้ข้อเสนอแนะ และคอยสอบถามถึงความคืบหน้าของงานวิจัยจนงานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ คุณความดีและประโยชน์ที่พึงบังเกิดมีจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ เป็นผลมาจากความกรุณาของบิดามารดา คณาจารย์ทุกท่านผู้ประสิทธิ์ประศาสน์วิชาความรู้และผู้ที่สนับสนุนข้าพเจ้าจึงขอยกคุณความดีทั้งหลาย ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อุสมาน อาเย๊าะแซ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย......I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ......II

กิตติกรรมประกาศ......III

สารบัญ......IV

สารบัญตาราง......IX

สารบัญรูป......X

รายการคำย่อและสัญลักษณ์......XIV

บทที่ 1 กล่าวนำ......1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา......1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา......2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา......3

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย......4

1.5 การเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน......4

1.6 ขอบเขตการวิจัย......5

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา......5

บทที่ 2 เทคโนโลยี RFID และ Bluetooth......6

2.1 กล่าวนำ......6

2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบการสื่อสาร RFID......8

2.3 ส่วนประกอบของระบบการสื่อสาร RFID......8

2.3.1 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ของระบบ RFID......9

2.3.1.1 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดแอ็กตีฟ (Active Tag)......11

2.3.1.2 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟ (Passive Tag)......12

2.3.2 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator)......13

2.4 หลักการทำงานของระบบ RFID......15

2.4.1 การสื่อสารแบบไร้สายของเทคโนโลยี RFID......16

2.4.2 การเข้ารหัส (Coding)......17

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4.3 การผสมข้อมูลแบบดิจิตอล (Digital Modulation Procedure) 18

2.4.3.1 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมปลิจูด (Amplitude Shift Keying: ASK)..19

2.4.3.2 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (Frequency Shift Keying: FSK) 19

2.4.3.3 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (Phase Shift Keying: PSK) 20

2.5 คลื่นพาหะและมาตรฐานของระบบ RFID 21

2.5.1 คลื่นพาหะของระบบ RFID..22

2.5.2 มาตรฐานของระบบ RFID 23

2.5.3 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบ RFID ในประเทศไทย.......................26

2.5.4 แนวความคิดของมาตรฐานระบบเปิดกับระบบปิด 27

2.6 การป้องกันการชนกันของสัญญาณข้อมูล (Anti-Collision) 28

2.7 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิธ 28

2.8 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง 28

2.9 จุดเด่นของระบบการสื่อสาร RFID 29

2.10 การนำระบบ RFIDไปใช้งาน...31

2.11 ระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ...34

2.11.1 สถาปัตยกรรมของบลูทูธ...36

2.11.2 โพรโตคอลสแต็กสำหรับระบบบลูทูธ...36

2.11.2.1 ชั้นสื่อสาร Radio Layer ในระบบบลูทูธ...37

2.11.2.2 ชั้นสื่อสาร Baseband Layer ในระบบบลูทูธ.......................................37

2.11.2.3 ชั้นสื่อสาร L2CAP ในระบบบลูทูธ..38

2.11.3 การนำระบบ Bluetooth ไปใช้งาน...38

2.12 บทสรุป.. 39

บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ระบบ RFID...40

3.1 กล่าวนำ.. 40

3.2 ช่องสัญญาณการสื่อสารไร้สายภายในอาคาร 40

3.2.1 ลักษณะของคลื่นที่เกิดขึ้นภายในช่องสัญญาณ...41

3.2.1.1 การสะท้อน..41

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.2.1.2 การหักเห..42

3.2.1.3 การเลี้ยวเบน..43

3.2.2 ช่องสัญญาณหลายวิถี...44

3.3 การแพร่กระจายคลื่น..45

3.4 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์สัญญาณการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่น....................47

3.4.1 สมการฟรีสในรูปแบบเชิงซ้อนสำหรับช่องสัญญาณในอวกาศว่าง...........................47

3.4.2 สมการฟรีสสำหรับช่องสัญญาณอวกาศว่าง..49

3.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองช่องสัญญาณ...50

3.5.1กำลังการสูญเสียเชิงวิถี (Power Loss) 50

3.5.2 อัตราการขยายเชิงวิถี (Power Gain) 51

3.5.3 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน...51

3.5.4 ค่าการกระจายทางเวลา..52

3.5.5 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio: SNR) 53

3.5.6 อัตราบิตผิดพลาด (Bite Error Rate: BER) 53

3.6 แบบจำลองเครื่องส่ง RFID...54

3.7 แบบจำลองเครื่องรับ RFID 55

3.8 สัญญาณส่งของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1.................56

3.9 แบบจำลองเครื่องรับ RFID ที่มีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ...........57

3.10 บทสรุป...57

บทที่ 4 การวัดและการทดลองวิจัยระบบ RFID...58

4.1 กล่าวนำ.. 58

4.2 การทดลองวัดช่องสัญญาณ..58

4.2.1 การทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่...58

4.2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์...60

4.2.2.1 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านช่องสัญญาณ..60

4.2.2.2 ผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณ..63

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.3 อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดลองวิจัย....64

4.3.1 เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวกเตอร์....64

4.3.2 สายอากาศที่ใช้ในการทดลองวิจัย....65

4.3.2.1 สายอากาศแบบไมโครสตริป....66

4.3.2.2 ข้อดีและข้อเสียของสายอากาศแบบไมโครสตริป....66

4.3.2.3 คุณสมบัติพื้นฐานของสายอากาศแบบไมโครสตริป....67

4.3.3 ลักษณะและขนาดของสายอากาศแบบไมโครสติปที่ใช้ในการทดลองวิจัย....69

4.4 การทดลองวัดช่องสัญญาณของระบบ RFID....71

4.4.1 รูปแบบในการทดลองวิจัย....71

4.4.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1....73

4.4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1....75

4.4.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 2....76

4.4.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 2....78

4.5 บทสรุป....78

บทที่ 5 ผลการทดลองวิจัยระบบ RFID....80

5.1 กล่าวนำ....80

5.2 ผลการทดลองวิจัย....80

5.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองการทดลองวิจัยที่ 1....80

5.2.1.1 ผลการวิเคราะห์ขนาดและเฟสของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของสายอากาศ....80

5.2.1.2 ผลการวิเคราะห์กำลังการสูญเสียเชิงวิถีและอัตราการขยายเชิงวิถี....82

5.2.1.3 ผลการวิเคราะห์การแผ่ประวิงเวลา....83

5.2.1.4 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์....84

5.2.1.5 ผลการวิเคราะห์อัตราบิตผิดพลาด....84

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองการทดลองวิจัยที่ 2..............................86

5.2.2.1 ผลการวิเคราะห์ขนาดและเฟสของฟังก์ชั่นการถ่ายโอน

ของช่องสัญญาณ...86

5.2.2.2 ผลการวิเคราะห์กำลังการสูญเสียเชิงวิถีและการแผ่ประวิงเวลา..........89

5.2.2.3 ผลการวิเคราะห์อัตราบิตผิดพลาด..90

5.3 บทสรุป.. 91

บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ...92

6.1 กล่าวนำ... 92

6.2 สรุปผลการทดลองวัดของการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นในสภาวะแวดล้อมภายใน

อาคารของระบบการสื่อสาร RFID...92

6.3 สรุปผลกระทบการแทรกสอดจากสัญญาณบลูทูธที่มีต่อระบบการสื่อสาร RFID......93

6.4 ข้อเสนอแนะ... 94

เอกสารอ้างอิง.. 95

ภาคผนวก ก. บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์...97

ประวัติผู้เขียน.. 116

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ย่านความถี่ของระบบ RFID และการใช้งาน 22

2.2 เปรียบเทียบย่านความถี่ต่างๆ ของระบบ RFID 23

2.3 มาตรฐานย่านความถี่ของระบบ RFID ตามชนิดของฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tags) 26

4.1 การเปรียบเทียบสายอากาศที่มีโครงสร้างเป็นระนาบเรียบชนิดต่างๆ....................66

4.2 พารามิเตอร์ของการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1 75

4.3 พารามิเตอร์ของการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 2 78

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 เทคโนโลยีระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ....1

1.2 ระดับความหนาแน่นของแถบกำลังงานของระบบการสื่อสารไร้สาย....2

2.1 เทคโนโลยีที่ใช้ระบบ Auto ID ในปัจจุบัน....6

2.2 ส่วนประกอบของระบบการสื่อสาร RFID....8

2.3 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ของระบบ RFID....9

2.4 โครงสร้างภายในฉลากอิเล็กทรอนิกส์ของระบบ RFID....10

2.5 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดแอ็กตีฟ (Active Tag)....11

2.6 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟ (Passive Tag)....12

2.7 เครื่องอ่านของระบบ RFID....13

2.8 โครงสร้างภายในของเครื่องอ่านระบบ RFID....14

2.9 แผนผังการทำงานของระบบ RFID....15

2.10 การสื่อสารด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของระบบ RFID....16

2.11 การไหลของสัญญาณและข้อมูลในระบบการสื่อสารแบบดิจิตอล....17

2.12 ชนิดของ Line Code ที่ใช้ในระบบ RFID....17

2.13 แสดงสัญญาณรูปคลื่นที่เข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์ (Manchester)....18

2.14 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมปลิจูด (Amplitude Shift Keying)....19

2.15 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (Frequency Shift Keying)....19

2.16 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (Phase Shift Keying)....20

2.17 ตำแหน่งที่เหมาะสมของฉลากอิเล็กทรอนิกส์ในระบบ RFID....21

2.18 ย่านความถี่ที่ใช้ในระบบ RFID....22

2.19 ระบบตรวจสอบการเข้าออก (Security Access Control)....31

2.20 ระบบหนังสือเดินทางอิเล็กทรอนิกส์ (e-Passport)....32

2.21 ระบบตั๋วอิเล็กทรอนิกส์และบัตรสมาชิก (e-Ticket/Member Card/Toll Tags)....32

2.22 ระบบกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Immobillizer)....33

2.23 ระบบ Animal Tracking....33

2.24 ระบบ Logistic....34

2.25 การใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1....35

2.26 พิโคเน็ต 2 ระบบสามารถนำมาสร้างเป็นสเก็ตเตอร์เน็ตได้....36

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.27 สถาปัตยกรรมของมาตรฐาน 802.15.1 หรือบลูทูธที่ได้รับการปรับปรุง 37

2.28 ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่สามารถประยุกต์ใช้งานในระบบ Bluetooth 39

3.1 ส่วนประกอบหลักของระบบการสื่อสารไร้สาย 41

3.2 ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นที่เกิดการสะท้อน 42

3.3 ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นสะท้อนและหักเห 43

3.4 ลักษณะการเลี้ยวเบนของคลื่น 44

3.5 เส้นทางการแพร่กระจายสัญญาณหลายวิถี 45

3.6 การจางหายในรูปของการจางหายแบบสเกลแคบและการจางหายแบบสเกลกว้าง 46

3.7 ส่วนประกอบของระบบการสื่อสารแบบไร้สาย 48

3.8 การกระจายแบบ Isotropic เป็นต้นเหตุของการสูญเสียในอากาศว่าง 49

3.9 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน 51

3.10 เวกเตอร์สัญญาณการมอดูเลตแบบ BPSK 54

3.11 สัญญาณการมอดูเลตแบบ BPSK ในโดเมนเวลา 55

3.12 การมอดูเลตแบบ GFSK (Gaussian frequency shift keying) ในโดเมนเวลา 56

4.1 ระบบการทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่โดยเครื่อง VNA และการแปลงสู่โดเมนเวลาโดยใช้ IFFT 60

4.2 ไดอะแกรมโครงข่ายแบบ 2 พอร์ต 61

4.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบ 64

4.4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่ 64

4.5 เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ 65

4.6 สายอากาศไมโครสตริปและระบบพิกัด 68

4.7 รูปร่างของแผ่นตัวนำสายอากาศไมโครสตริปแบบต่างๆ 68

4.8 ลักษณะของสายอากาศแบบไมโครสตริปที่สร้างขึ้นสำหรับย่านความถี่ 2.45 GHz....................69

4.9 ขนาดของสายอากาศแบบไมโครสตริปที่สร้างขึ้นสำหรับย่านความถี่ 2.45 GHz 69

4.10 S_{11} ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแบบไมโครสตริป....................70

4.11 ขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านของสายอากาศ....................70

4.12 เฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านของสายอากาศ 71

4.13 ขั้นตอนในการทดลองวัดช่องสัญญาณของระบบแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ....................72

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.14 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณการส่งผ่านของระบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุในการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1 73

4.15 แบบจำลองการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1 74

4.16 รูปแบบการใช้งานจริงของแบบจำลองการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1 74

4.17 การจัดวางอุปกรณ์ในการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1 75

4.18 บล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์สัญญาณสำหรับการส่งผ่านของระบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุโดยไม่มีสัญญาณแทรกสอดของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ 76

4.19 บล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์สัญญาณสำหรับการส่งผ่านของระบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุโดยมีสัญญาณแทรกสอดของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ 76

4.20 แบบจำลองการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 2 77

4.21 การจัดวางอุปกรณ์ในการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 2 77

5.1 แบบจำลองช่องสัญญาณในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารและตำแหน่งของสายอากาศ 81

5.2 ขนาดของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของสายอากาศที่ได้จากการวัด 81

5.3 เฟสของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของสายอากาศที่ได้จากการวัด 82

5.4 กำลังการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่สายอากาศด้านรับความสูง 0.50 และ 1.00 เมตร 82

5.5 อัตราการขยายเชิงวิถีที่สายอากาศด้านรับความสูง 0.50 และ 1.00 เมตร....83

5.6 การแผ่ประวิงเวลาที่สายอากาศด้านรับความสูง 0.50 และ 1.00 เมตร 83

5.7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่สายอากาศด้านรับความสูง 0.50 และ 1.00 เมตร 84

5.8 อัตราบิตผิดพลาดที่สายอากาศด้านรับความสูง 0.50 เมตร 85

5.9 อัตราบิตผิดพลาดที่สายอากาศด้านรับความสูง 1.00 เมตร 85

5.10 แบบจำลองช่องสัญญาณในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารที่มีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1 86

5.11 ขนาดของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่ไม่มีการใช้งานระบบบลูทูธ 87

5.12 ขนาดของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่มีการใช้งานระบบบลูทูธ 87

5.13 เฟสของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่ไม่มีการใช้งานระบบบลูทูธ 88

5.14 เฟสของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่มีการใช้งานระบบบลูทูธ 88

5.15 กำลังการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณตั้งแต่ระยะทางที่ 2 เมตร ถึง 10 เมตร 89

5.16 การแผ่ประวิงเวลาของสัญญาณตั้งแต่ระยะทางที่ 2 เมตร ถึง 10 เมตร 89

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.17 อัตราบิตผิดพลาดตั้งแต่ระยะทางที่ 2 เมตร ถึง 10 เมตร 90

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

สถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	IEEE
กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซโทรปิก (Equivalent isotropic radiated power)	EIRP
คณะกรรมาธิการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission)	FCC
คณะกรรมาธิการสื่อสารคลื่นวิทยุแห่งยุโรป (European Radio Communications Committee)	ERCC
หน่วยงานกำหนดแถบรหัส (Electronic Product Code)	EPC
หน่วยงานรับรองออกรหัสบนสัตว์ (International Committee for Animal Recording)	ICAR
สถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute)	ETSI
สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union)	ITU
หน่วยงานวิจัยชั้นสูงของสหรัฐ (Defense Advanced Research Projects Agency)	DARPA
หน่วยงานกำหนดมาตรฐานสากล (International Standard Organization)	ISO
ย่านความถี่สำหรับใช้ในเชิงอุตสหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ (Industrial Scientific Medical)	ISM
เครือข่ายไร้สายท้องถิ่น (Wireless Local Area Network)	WLAN
เครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Networks)	WPANs
ระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Identification)	RFID
ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม (Power Spectral Density)	PSD
เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer)	VNA
คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)	PC
คลื่นพาหะ (Radio Frequency)	RF
ระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global Positioning Systems)	GPS
โดเมนความถี่ (Frequency Domain)	FD
โดเมนเวลา (Time Domain)	TD
ฟังก์ชันสหสัมพันธ์ตัวเอง (Auto-correlation function)	ACF
ฟูเรียร์ผกผันแบบเร็ว (Inverse Fast Fourier Transform)	IFFT
ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power Delay Profile)	PDP
ระดับแนวสายตา (Line of Sight)	LOS
อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio)	SNR
อัตราบิตผิดพลาด (Bit Error Rate)	BER

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

ช่องทางเพื่อการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ทั่วไป (General Purpose Interface Bus)	GPIB
เครื่องส่ง (Transmitter)	Tx
เครื่องรับ (Receiver)	Rx
จำนวนของเส้นทาง	NP
เดซิเบล (Decibel)	dB
เฮิรตซ์ (Hertz)	Hz
กิกะเฮิรตซ์ (Gigahertz)	GHz
เมตร (meter)	m
วินาที (Second)	s
นาโนวินาที (Nanosecond)	ns
มิลลิวัตต์ (Milliwatt)	mW
สัดส่วนแบนด์วิธ (Fractional bandwidth)	B_f
ความเร็วแสง (Velocity of light), $c = f\lambda = 1/\sqrt{\varepsilon_0\mu_0} \approx 3\times10^8, m/s$	c
ความถี่ (Frequency), Hz	f
ฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ (Frequency transfer function)	$H(\omega)$
ฟังก์ชัน Dirac delta	$\delta(t)$
เวลา (Time), s	t
ค่าอัตราการขยายร่วมนัย (Gain coefficient)	α
เส้นทางของสัญญาณที่รับได้	K
กลุ่มของสัญญาณที่รับได้	L
ขั้วของสัญญาณที่ได้รับได้	p
ส่วนประกอบทางขนาด	β
พลังงานเฉลี่ยต่อบิต	E_b
ความน่าจะเป็นของความผิดพลาด (Probability of Error)	Q
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)	C_c
ความสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)	PL
อัตราการขยายเชิงวิถี (Path Gain)	PG
ความแรงของสัญญาณที่รับได้ (Receive signal strength)	RSS
สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Transmission coefficient)	s_{21}

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

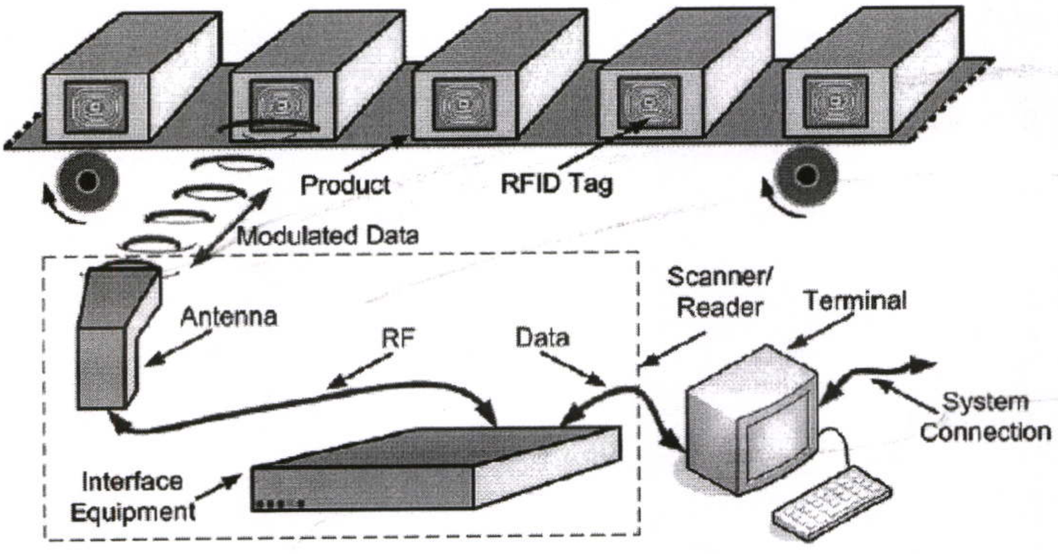
อัตราการส่งของข้อมูล (Bit rate)	B_r
อัตราการขยายในตัวกลางอวกาศว่าง	G_f
อัตราการขยายของสายอากาศส่ง	G_t
อัตราการขยายของสายอากาศรับ	G_r
สเกลทางเวลา (Time scaling)	τ
ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง (Mean excess delay), s	$\bar{\tau}$
ค่าการแผ่ประวิงเวลา (RMS delay spread), s	σ_τ
ส่วนประกอบทางมุม	θ
ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวน	σ_0
ค่าความซึมซาบ (Permeability)	μ
ความหนาแน่นกำลังของสัญญาณรบกวน	N_0
อัตราเร็วต่อบิต	R_b
ค่าความถี่บนของระบบการสื่อสาร	f_H
ค่าความถี่ล่างของระบบการสื่อสาร	f_L
ความยาวคลื่น (Wavelength), *m*	λ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

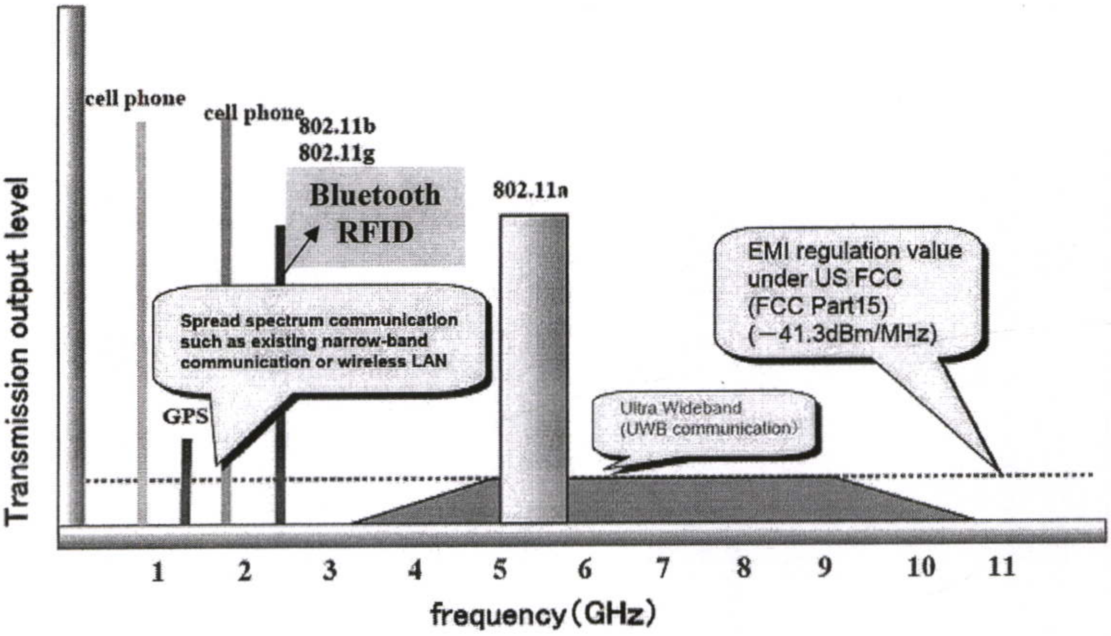
ปัจจุบันเทคโนโลยีระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio frequency identification: RFID) เพื่อระบุและจำแนกบุคคลและสิ่งของได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในชีวิตประจำวัน ซึ่งระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุนั้นมีสารประโยชน์อันหลากหลายมากกว่าเทคโนโลยีระบบบ่งชี้อัตโนมัติอื่นๆ อาทิเช่น เทคโนโลยีรหัสแถบ (Barcode) เป็นต้น โดยจุดเด่นของระบบแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ คือ ความสามารถในการอ่านข้อมูลของวัตถุได้พร้อมกันหลายๆวัตถุ โดยที่ไม่ต้องมีการสัมผัส สามารถอ่านได้ในขณะที่วัตถุกำลังเคลื่อนที่และสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก สามารถอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง และสามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายอย่างเช่น น้ำ พลาสติก กระจก หรือวัสดุทึบแสงอื่นๆ



รูปที่ 1.1 เทคโนโลยีระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ [1]

ระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุเป็นระบบที่ใช้คลื่นความถี่พาห์แบบแถบแคบ ย่านความถี่ที่ได้รับการจัดสรรให้ใช้งานประกอบไปด้วย 125 KHz ,13.56 MHz ,868/915 MHz และ 2.45/5.8 GHz ในกรณีที่มีการใช้งานระบบแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุในระยะหวังผลที่ไกลมากกว่า 1 เมตรขึ้นไป ระยะห่างที่ห่างมากขึ้นระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย จะทำให้เกิด

การลดทอนประสิทธิภาพในการรับส่งสัญญาณ ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วจะนิยมใช้ที่ย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.45 GHz และ 5.8 GHz คลื่นความถี่วิทยุในย่านดังกล่าวนี้จัดเป็นคลื่นความถี่สูง มีค่าความยาวคลื่นสั้น ก่อให้เกิดผลดีในการออกแบบระบบสายอากาศที่มีขนาดเล็ก ทั้งยังมีสมรรถนะในการรับส่งสัญญาณที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับการใช้งานในแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุในย่านความถี่ต่ำกว่า 30 MHz และในขณะเดียวกันปัจจุบันการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1 มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งได้ใช้ย่านความถี่เดียวกันกับระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุที่ย่านความถี่ 2.45 GHz ดังในรูปที่ 1.2 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นของแถบกำลังงานในระบบแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุและระบบบลูทูธ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาและวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่น รวมถึงผลกระทบการแทรกสอดจากสัญญาณของระบบบลูทูธว่ามีผลอย่างไรต่อระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุที่ย่านความถี่ 2.45 GHz



รูปที่ 1.2 ระดับความหนาแน่นของแถบกำลังงานของระบบการสื่อสารไร้สาย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ เป็นเทคโนโลยีใหม่และมีการศึกษาวิจัยน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.45 GHz เป็นคลื่นความถี่สูง ซึ่งมีแนวโน้มที่จะมีการนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ในระบบการสื่อสารไร้สายนั้นมีสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ การสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นในตัวกลางอวกาศว่าง และเมื่อกล่าวถึงระบบการ

สื่อสารของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ ตัวแปรที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับระบบ คือ คุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่น การศึกษาในส่วนของคุณลักษณะช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นที่ไม่สามารถมองเห็นได้นี้ ถือว่าเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของแต่ละระบบขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่ระบบนั้นๆใช้งานอยู่ และในขณะเดียวกันระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1 ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบเครือข่ายบริเวณส่วนบุคคลไร้สาย (Wireless personal area networks: WPANs) เป็นระบบที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นความถี่วิทยุเดียวกันกับระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุที่ย่านความถี่ 2.45 GHz ซึ่งเป็นปัจจัยที่น่าจะส่งผลกระทบต่อการแพร่กระจายคลื่น และประสิทธิภาพของสัญญาณการส่งผ่านในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ออกแบบจำลองช่องสัญญาณเพื่อจำลองช่องลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณที่ใช้ในเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุนั้น เนื่องจากจำเป็นต้องใช้แบบจำลองช่องสัญญาณของการสื่อสารที่สร้างมาจากสภาวะแวดล้อมที่ระบบการสื่อสารนี้นำไปใช้งานจริง และศึกษาในส่วนของคุณลักษณะช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นความถี่วิทยุของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุที่ย่านความถี่ 2.45 GHz ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมและระยะทางที่แตกต่างกันในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร รวมถึงสภาวะที่มีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1 ด้วย เพื่อพัฒนาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุให้สามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เนื่องจากระบบการสื่อสารไร้สายในเทคโนโลยีแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุที่ย่านความถี่ 2.45 GHz ได้มีการพัฒนาและมีประสิทธิภาพมากกว่าเทคโนโลยีแบบระบบบ่งชี้อัตโนมัติอื่น และในปัจจุบันถูกนำไปใช้ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารเป็นจำนวนมาก และเนื่องจากปัจจุบันระบบการสื่อสารแบบบลูทูธซึ่งเป็นระบบที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นความถี่วิทยุเดียวกันกับระบบแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุนั้นมีการใช้งานมากขึ้นเช่นกัน จึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องทำการทดสอบช่องสัญญาณและทราบถึงคุณสมบัติของระบบการสื่อสารในสภาวะแวดล้อมดังกล่าว เราจึงได้มีการจำลองการทำงานของระบบการสื่อสารไร้สายในเทคโนโลยีแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ คือ ตำแหน่งมุมและระยทางที่แตกต่างกัน รวมถึงสภาวะแวดล้อมที่มีการใช้งานจริงของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1 โดยการจำลองช่องสัญญาณแต่ละแบบนั้นจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์หลายๆ พารามิเตอร์ด้วยกัน เช่น กำลังการสูญเสียเชิงวิถี (Power loss) อัตราการขยายเชิงวิถี (Power gain) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) การแผ่ประวิงเวลา (RMS delay spread) อัตราบิตผิดพลาด(Bit error rate) โดยได้นำพารามิเตอร์ดังกล่าวไปคำนวณ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่น

และประสิทธิภาพสัญญาณการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ รวมทั้งผลกระทบการแทรกสอดจากสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาในส่วนของคุณลักษณะช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นความถี่วิทยุของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุที่ย่านความถี่ 2.45 GHz ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมและระยะทางที่แตกต่างกันในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร รวมทั้งสภาวะที่มีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1 ในการวิเคราะห์สัญญาณได้พิจารณาใช้ทฤษฎีและหลักการส่งผ่านของฟรีส (Friis transmission formula) และพิจารณาบนพื้นฐานของการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวคเตอร์ และใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางตรง (Directional) ทำการวัดตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.3 GHz ถึง 2.6 GHz เพื่อครอบคลุมช่วงความถี่ที่กำหนดให้ใช้งานของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ โดยสัญญาณส่งของระบบแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุเป็นรูปคลื่นความถี่พาห์แบบแถบแคบที่ย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.45 GHz และใช้การมอดูเลตแบบ BPSK (Binary phase shift keying) ซึ่งเป็นไปตามนิยามของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

มีนักวิจัยจำนวนมากพยายามวิเคราะห์ช่องสัญญาณด้วยปัจจัยหลายๆ อย่างมาใช้เพื่อปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ ส่วนใหญ่เป็นคลื่นความถี่ต่ำกว่า 30 MHz จึงได้สร้างแบบจำลองของช่องสัญญาณในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารที่ย่านความถี่สูงหรือย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.45 GHz รวมถึงในสภาวะแวดล้อมที่มีการใช้งานของระบบบลูทูธที่มีการใช้ย่านความถี่เดียวกัน เนื่องจากสภาวะแวดล้อมดังกล่าวยังไม่มีผู้วิจัยทำการทดสอบ และเป็นสภาวะแวดล้อมที่ระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุได้นำไปใช้งานจริง จึงจำเป็นต้องทราบถึงค่าคุณสมบัติต่างๆ และค่าพารามิเตอร์ รวมทั้งการกำหนดตัวแปรที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อประสิทธิภาพของช่องสัญญาณ ซึ่งค่าต่างๆ เหล่านี้ได้มาจากการทดสอบช่องสัญญาณภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ต้องนำเอาระบบไปใช้งาน เสมือนกับว่าคุณลักษณะและพารามิเตอร์ที่ได้วิเคราะห์ออกมานั้นเป็นค่าของช่องสัญญาณนั้นจริงๆ เพื่อนำไปประเมินการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่น และประสิทธิภาพของสัญญาณระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ รวมทั้งสามารถพัฒนาประสิทธิภาพของระบบให้ดียิ่งขึ้น

1.6 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎี และหลักการทำงานของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ สำหรับสายอากาศแบบไมโครสตริปที่ย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.45 GHz ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร และสภาวะแวดล้อมที่มีการใช้งานของระบบการสื่อสารบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1 เพื่อศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่น โดยพิจารณาถึงค่าการสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่น และประสิทธิภาพสัญญาณการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ รวมถึงผลกระทบการแทรกสอดจากสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธที่มีต่อระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ เพื่อนำไปปรับปรุงและพัฒนาระบบให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 6 บท ด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ ซึ่งประกอบไปด้วยความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน ขอบเขตการวิจัย และขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงเทคโนโลยี RFID และ Bluetooth ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ ประวัติและความเป็นมา องค์ประกอบและหลักการทำงาน จุดเด่นของระบบ ย่านความถี่และมาตรฐาน การเข้ารหัส การป้องกันการชนกัน ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิธ การประยุกต์ไปใช้งาน ระบบการสื่อสารของบลูทูธ การนำระบบบลูทูธไปใช้งาน และบทสรุป

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ระบบ RFID ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ ช่องสัญญาณการสื่อสารไร้สายภายในอาคาร ทษฎีและหลักการวิเคราะห์เพื่อหาค่าการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่น ประสิทธิภาพการส่งผ่านของช่องสัญญาณ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองช่องสัญญาณ ระบบจำลองเครื่องส่งและเครื่องรับของ RFID ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร รวมถึงสภาวะแวดล้อมที่มีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ และบทสรุป

บทที่ 4 กล่าวถึงการวัดและการทดลองวิจัยระบบ RFID ซึ่งประกอบด้วยบทนำ การทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดลองวัด การทดลองวัดช่องสัญญาณของระบบ RFID และบทสรุป

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดลองวิจัยระบบ RFID และบทสรุป

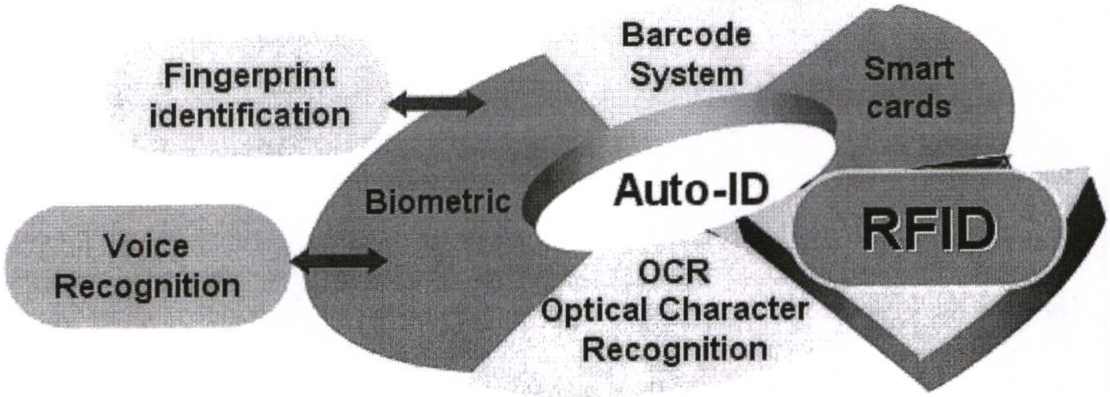
บทที่ 6 กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

เทคโนโลยี RFID และ Bluetooth

2.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีแสดงตัวตนแบบอัตโนมัติ (Automatic identification: Auto ID) ถูกนำมาใช้งานและพัฒนาไปอย่างมาก ทั้งในภาคอุตสหกรรม ลอจิสติกส์ กระบวนการผลิต การขนถ่ายวัตถุดิบ การจัดเก็บข้อมูลเพื่อระบุลักษณะเฉพาะของคน สัตว์ สิ่งของ ระบบ Auto ID ที่ใช้งานในปัจจุบันมีมากมาย แต่ปัจจุบันนี้ระบบ RFID กำลังมีบทบาทเป็นอย่างมาก



รูปที่ 2.1 เทคโนโลยีระบบ Auto ID ในปัจจุบัน

ระบบ Auto ID ซึ่งเป็นที่รู้จักและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย คือ ระบบบาร์โค้ด (Barcode system) สามารถพบเห็นได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน เช่น บนหีบห่อสินค้า หนังสือ หรือบนตัวสินค้า เนื่องจากมีต้นทุนต่อหน่วยที่ต่ำและง่ายต่อการใช้งานจึงเป็นเหตุผลให้บาร์โค้ดถูกนำมาใช้งานมากที่สุดแต่บาร์โค้ดนั้นมีข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ จัดเก็บข้อมูลจำกัด และมีปัญหาระหว่างการอ่านได้ง่าย ระบบ Auto ID ที่เรารู้จักรองลงมาจากบาร์โค้ด คือ ระบบสมาร์ทการ์ด (Smart card system) เป็นระบบที่กำลังมีบทบาทอย่างรวดเร็ว ในปัจจุบันเราจะพบเห็นสมาร์ทการ์ดในรูปแบบของบัตรต่างๆ เช่น บัตรโดยสาร ซิมการ์ดของโทรศัพท์เคลื่อนที่ และบัตรสมาชิกตามคลับต่างๆ สมาร์ทการ์ดจะใช้แถบแม่เหล็กหรือไมโครชิพในการอ่านและเขียนข้อมูล โดยมีข้อดีคือ สามารถเก็บข้อมูลได้มากและปลอดภัย แต่เนื่องจากเป็นแถบแม่เหล็ก ซึ่งวิธีการอ่านข้อมูลจากสมาร์ทการ์ดจะต้องใช้วิธีสัมผัสทำให้เกิดการสึกหรอของเครื่องอ่านเมื่อใช้เป็นเวลานาน

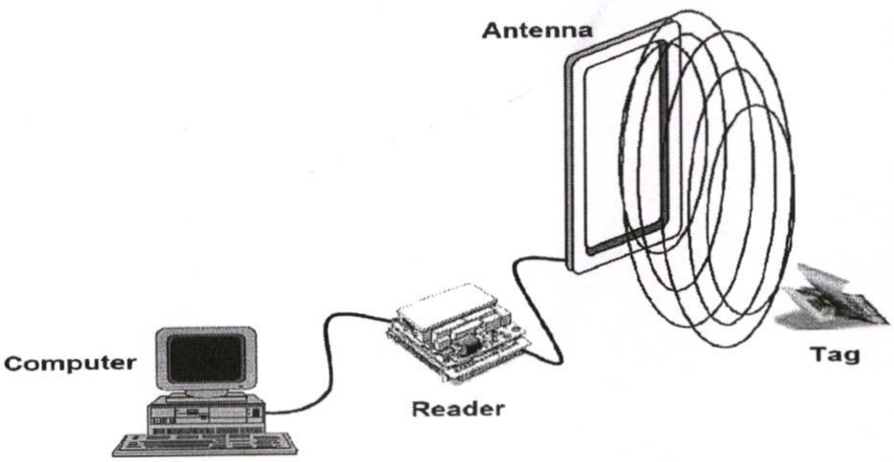
จากปัจจัยต่างๆที่ได้กล่าวนั้นจึงได้มีการนำเอาเทคโนโลยีระบบการสื่อสารไร้สายแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio frequency identification: RFID) มาใช้งาน ซึ่งเป็นระบบที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นความถี่วิทยุเป็นพาหะในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิดที่เรียกว่า ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tag) และเครื่องอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) โดยการนำข้อมูลที่ต้องการส่งมาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นวิทยุแล้วส่งออกผ่านทางสายอากาศที่อยู่ในตัวรับข้อมูล เพื่อระบุตัวตน หรือสิ่งของด้วยลักษณะเฉพาะ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่มีแนวโน้มการนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในหลายๆด้าน โดยจุดเด่นของระบบ RFID คือ ความสามารถในการอ่านข้อมูลของวัตถุได้พร้อมกันหลายๆวัตถุโดยที่ไม่ต้องมีการสัมผัส สามารถอ่านค่าได้แม่นยำในขณะที่วัตถุกำลังเคลื่อนที่แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก สามารถอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง และสามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายอย่าง เช่น น้ำ พลาสติก กระจก หรือวัสดุทึบแสงอื่นๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีระบบการสื่อสาร RFID นั้นเป็นระบบที่ดีกว่าเทคโนโลยีอื่นๆ ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก

RFID เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่กำลังมีบทบาทและความสำคัญเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การนำเทคโนโลยี RFID ไปประยุกต์ใช้งานมีรูปแบบหลากหลายด้วยจุดประสงค์ที่แตกต่างกันไป แต่จะขึ้นอยู่บนหลักพื้นฐานเดียวกัน คือ การใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อการระบุเอกลักษณ์ของวัตถุ บอกตำแหน่ง ติดตามและตรวจสอบสินค้า โดยการติดฉลากอิเล็กทรอนิกส์ RFID แทนการระบุด้วยวิธีการอื่น ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยอำนวยความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีกว่า ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยี RFID มาใช้งานกันในหลายๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นในวงการปศุสัตว์ การป้องกันโจรกรรมรถยนต์ โรงงาน การกีฬา และแม้กระทั่งวงการแพทย์ การประยุกต์ใช้ RFID มาใช้งานทั้งหมดนั้นเพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบการผ่านเข้าออกบริเวณใดบริเวณหนึ่ง หรือเพื่ออ่านและเก็บข้อมูลบางอย่างเอาไว้ เช่นในกรณีที่เป็นฉลากสินค้า RFID จะถูกนำมาใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า เพื่อให้สามารถทราบถึงที่มาที่ไปของสินค้าชิ้นนั้นๆได้ สำหรับรูปแบบของเทคโนโลยี RFID ที่ใช้ดังกล่าวนั้นมีทั้งแบบสมาร์ตการ์ดที่สามารถถูกเขียนหรืออ่านข้อมูลออกมาได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับเครื่องอ่านบัตรหรือคอนแทคเลสสมาร์ตการ์ด (Contactless smart card) อาทิเช่น บัตรประจำตัวประชาชน บัตรเอทีเอ็ม บัตรโดยสารของสายการบิน บัตรสำหรับผ่านเข้าออกอาคารและการควบคุมยานพาหนะ ฉลากของสินค้า และในปัจจุบันขนาดของป้ายชื่อหรือฉลากอิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กมากจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษหรือฝังเอาไว้ในตัวสัตว์ได้เลยทีเดียวเพื่อบันทึกประวัติ เป็นต้น โดยในบทนี้จะกล่าวถึงประวัติและความเป็นมารายละเอียดของหลักการทำงาน คลื่นความถี่และมาตรฐาน รวมถึงข้อกำหนดต่างๆ และการนำไปใช้งานของเทคโนโลยีระบบการสื่อสาร RFID และ Bluetooth

2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบการสื่อสาร RFID

ในปี ค.ศ 1945 ถูกประดิษฐ์ขึ้นใช้งานเป็นครั้งแรกโดย Leon Theremin ที่สร้างให้กับรัฐบาลของประเทศรัสเซีย โดยสร้างขึ้นมาเพื่อเป็นเครื่องมือดักจับสัญญาณวิทยุ และ ค.ศ 1970 ได้พัฒนานำไปใช้ในทางการทหารรวมทั้งได้นำไปใช้ในสงครามโลกครั้งที่สอง เพื่อระบุตำแหน่งใช้ร่วมกับการบิน โดยใช้สัญญาณวิทยุที่เข้ารหัสเพื่อระบุว่าเครื่องบินที่บินผ่านน่านฟ้าว่าเป็นของฝ่ายเดียวกันหรือฝ่ายศัตรู และต่อมาเมื่อมีการประดิษฐ์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กทำให้เกิดแนวคิดในการประยุกต์ใช้ทางพลเรือนโดยเริ่มจากการสร้าง RFID ใช้ฝังในสัตว์เลี้ยง ใช้ในด้านการควบคุมการเข้าออกสถานที่ และใช้ในการขนส่งในปัจจุบัน RFID กลายเป็นสิ่งที่เล็กลงมาก และราคาถูกพอที่จะใช้กับวัตถุต่างๆได้ง่าย RFID กำลังกลายเป็นกระแสโลกเมื่อมีการประยุกต์ใช้ในการค้าระหว่างประเทศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความมั่นคงปลอดภัย และในปี ค.ศ. 1980 เพื่อวัตถุประสงค์หลักในการใช้งานที่ระบบฉลากแบบบาร์โค้ดไม่สามารถใช้ได้ โดยจุดเด่นของ RFID คือ ความสามารถในการอ่านข้อมูลของฉลากได้โดยที่ไม่ต้องมีการสัมผัส สามารถอ่านค่าได้แม่นยำแม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก และสามารถอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง แต่ในขณะนั้นอุปกรณ์ RFID ไม่สะดวกในการนำมาใช้งานเพราะมีขนาดใหญ่ นอกจากนั้นแล้วยังมีราคาแพง จึงไม่ได้รับความนิยมมากเพียงพอที่จะนำมาใช้ในเชิงพาณิชยกรรมได้ ต่อมาได้มีการพัฒนา RFID อย่างต่อเนื่อง จนสามารถย่อขนาดลงเป็นแผ่นเล็กๆ (Chip) ได้ จึงมีแนวความคิดหลากหลายที่จะนำ RFID มาใช้งานในเชิงพาณิชยกรรม บริหารและในทางราชการ

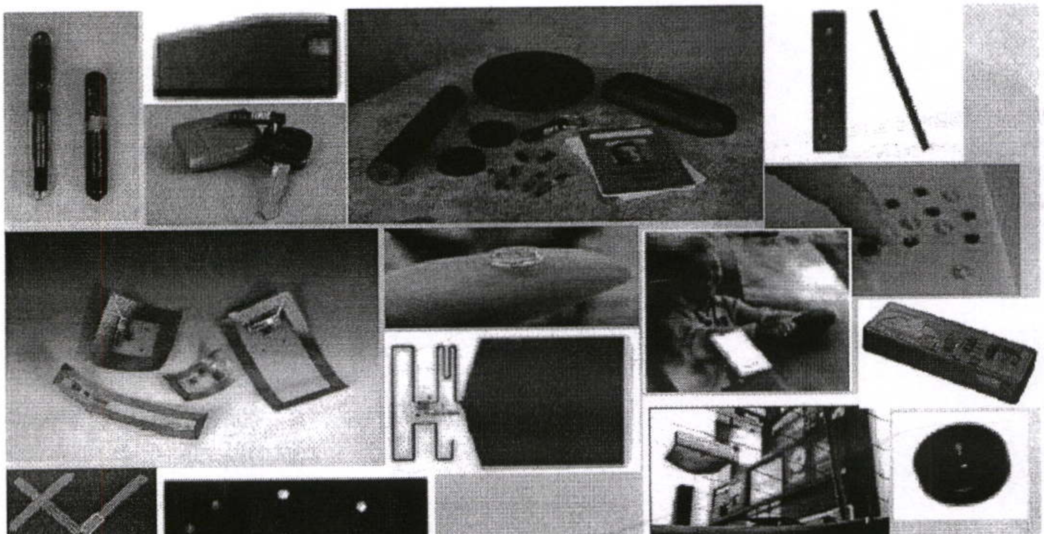
2.3 ส่วนประกอบของระบบ RFID



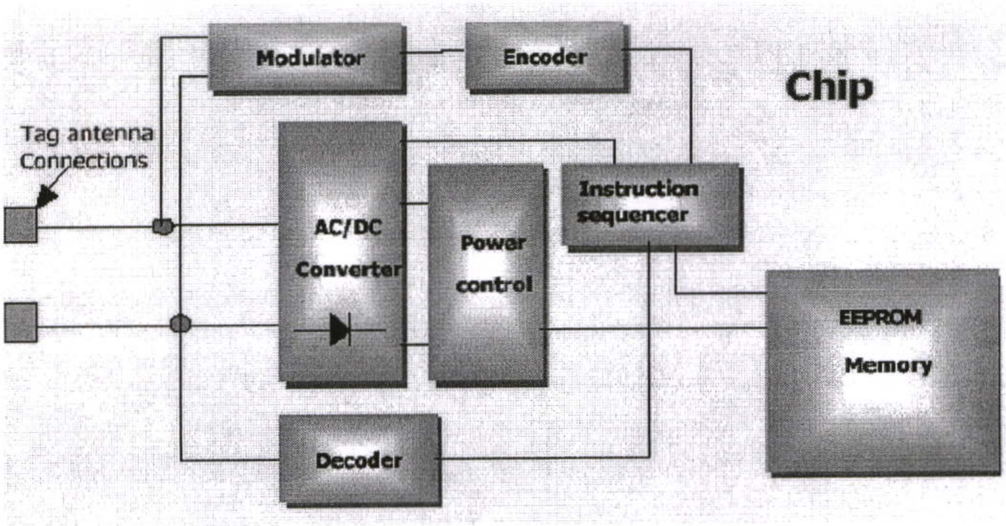
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของระบบการสื่อสาร RFID [2]

โดยทั่วไประบบ RFID มีองค์ประกอบที่สำคัญหลัก ๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือ ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tags/Transponder) ที่ใช้ติดอยู่กับวัตถุต่างๆที่เราสนใจ โดยฉลากนี้จะทำการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้น ๆ เอาไว้บนไมโครชิพ (Microchip) ซึ่งจะติดไปกับสายอากาศ (Microchip และสายอากาศรวมกันเรียกว่า ตัวส่งสัญญาณ RFID หรือ RFID Tags) ส่วนที่สองคือ เครื่องสำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Reader หรือ Interrogator) ซึ่งจะทำการแปลงคลื่นวิทยุที่ได้รับจาก RFID Tags เป็นข้อมูลดิจิตอล ทั้งสองส่วนจะสื่อสารกันโดยอาศัยช่องสัญญาณความถี่วิทยุ สัญญาณนี้สามารถผ่านได้ทั้งโลหะและอโลหะ เมื่อเครื่องอ่านส่งข้อมูลผ่านคลื่นความถี่วิทยุ แสดงถึงความต้องการของข้อมูลที่ถูกระบุไว้จากแท็ก แท็กจะตอบข้อมูลกลับและเครื่องอ่านจะส่งข้อมูลต่อไปยังส่วนประมวลผลหลักของคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องอ่านจะติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป โดยผ่านสายเครือข่าย LAN (Local area network) สายอนุกรม (Serial cable) มาตรฐาน RS 232 RS 485 และ USB

2.3.1 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tags/Transponder) ของระบบ RFID



รูปที่ 2.3 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ของระบบRFID [3]



รูปที่ 2.4 โครงสร้างภายในฉลากอิเล็กทรอนิกส์ของระบบRFID [4]

เครื่องลูกข่าย หรือฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tag) นั้นเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าทรานสปอนเดอร์ (Transponder) มาจากคำว่าทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ผสมกับคำว่าเรสปอนเดอร์ (Responder) โดยทั่วไปตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์ อาจอยู่ในชนิดทั้งที่เป็นกระดาษ แผ่นฟิลม์ และพลาสติก ซึ่งจะมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำเอาไปติดมีหลายรูปแบบ เช่น ขนาดเท่ากับบัตรเครดิต เหรียญ กระดุม ฉลากสินค้า แคปซูล เป็นต้น โดยอาจมีรูปร่างเหมือนบัตรเครดิตในการใช้งานทั่วไป หรือเล็กขนาดไส้ดินสอยาวเพียง 10 มิลลิเมตร เพื่อฝังเข้าไปใต้ผิวหนังสัตว์ในกรณีนำไปใช้ในงานปศุสัตว์ หรืออาจมีขนาดใหญ่มากสำหรับตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ติดกับเครื่องจักรขณะทำการขนส่ง ตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์อาจนำไปติดไว้กับสินค้าในร้านค้าขายปลีกทั่วไปเพื่อป้องกันการขโมย โดยจะมีการติดตั้งสายอากาศของตัวอ่านข้อมูลขนาดใหญ่ไว้ตรงประตูทางออกเพื่อทำการตรวจจับขโมย โดยตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์จะรับพลังงานจากสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ เพื่อติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่าน หรือใช้พลังงานจากแบตเตอร์รี่ที่บรรจุภายในตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นแบตเตอร์รี่ Lithium-lion ซึ่งมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

ฉลากอิเล็กทรอนิกส์จะเป็นส่วนของการเก็บข้อมูลและถูกติดตั้งอยู่กับวัตถุที่เราต้องการชี้บ่ง (Identify) ฉลากอิเล็กทรอนิกส์จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ในฉลากอิเล็กทรอนิกส์ตอบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล การสื่อสารระหว่างตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์และตัวอ่านข้อมูลจะเป็นการสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุผ่านอากาศ โครงสร้างภายในตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ส่วนของขดลวดซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna) สำหรับรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ โดยสายอากาศจะแผ่สัญญาณวิทยุจำนวนหนึ่งออกมา เพื่อกระตุ้นให้ฉลากอิเล็กทรอนิกส์อ่านหรือเขียนข้อมูลลงไป และสร้างพลังงาน ป้อนให้ส่วนของไมโครชิพ (Microchip) ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุ เช่น รหัสสินค้า

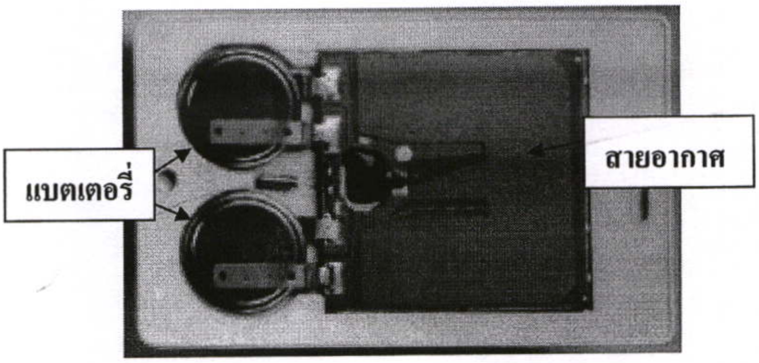
โดยหลักการของฉลากอิเล็กทรอนิกส์ มีการใช้งานกันอยู่ 2 ชนิดใหญ่ๆ แต่ละชนิดก็จะมีความแตกต่างในด้านของการใช้งาน ราคา โครงสร้าง และหลักการทำงาน โดยทั้งสองส่วนนี้จะเชื่อมต่ออยู่ด้วยกัน ส่วนของไอซีเป็นชิปสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor chip / Microchip) โดยทั่วไปโครงสร้างภายในส่วนที่เป็นไอซีของตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์นั้นประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่

1. ส่วนของการควบคุมภาครับส่งสัญญาณวิทยุ สำหรับโครงสร้างของส่วนนี้ประกอบด้วยภาคดีมอดูเลตและภาคมอดูเลต (สำหรับรับส่งข้อมูลระหว่างตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์กับตัวเครื่องอ่าน) และวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

2. ส่วนของการควบคุมภาคดิจิตอล ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับกระบวนการทางดิจิตอลทั้งหมด โครงสร้างหลักของส่วนการทำงานนี้ประกอบด้วย ส่วนบันทึกข้อมูลประกอบด้วยหน่วยความจำแรม (RAM) รอม(ROM) อีอีพรอม(EEPROM) โดยที่หน่วยความจำซึ่งอาจเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว (ROM) หรือทั้งอ่านทั้งเขียน (RAM) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน โดยปกติหน่วยความจำแบบ ROM จะใช้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัย เช่นข้อมูลของบุคคลที่มีสิทธิผ่านเข้าออกในบริเวณที่มีการควบคุมหรือระบบปฏิบัติการ ในขณะที่หน่วยความจำแบบ RAM จะใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างที่ฉลากอิเล็กทรอนิกส์และตัวอ่านข้อมูลทำการติดต่อสื่อสารกัน

นอกจากนี้มีการนำหน่วยความจำแบบ EEPROM มาใช้ในกรณีต้องการเก็บข้อมูลในระหว่างที่ฉลากอิเล็กทรอนิกส์และตัวอ่านข้อมูลทำการสื่อสาร และข้อมูลยังคงอยู่ถึงแม้จะไม่มีพลังงานไฟฟ้าป้อนให้กับฉลากอิเล็กทรอนิกส์ก็ตาม

2.3.1.1 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดแอ็กตีฟ (Active tag)



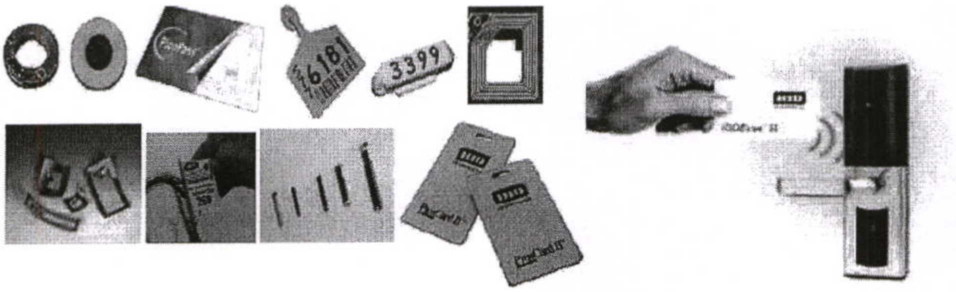
รูปที่ 2.5 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดแอ็กตีฟ (Active Tag) [5]

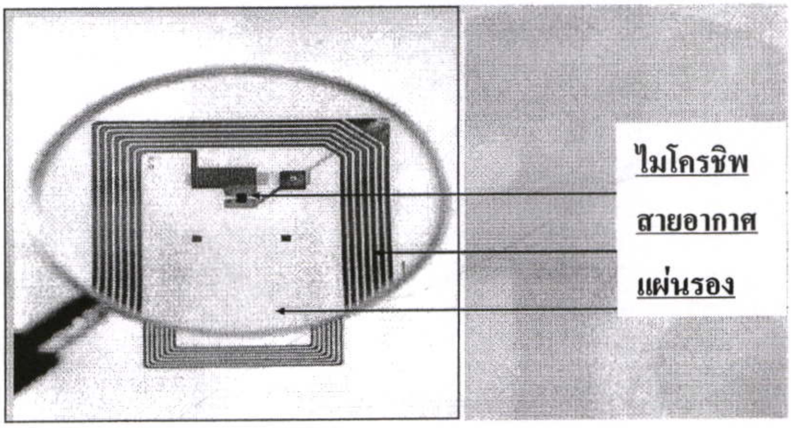
ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ภายนอก เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับวงจรภายในฉลากอิเล็กทรอนิกส์ทำงาน โดยฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้มีฟังก์ชั่นการทำงานทั่วไปทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงในฉลากอิเล็กทรอนิกส์ได้ และเมื่อต้องใช้

แบตเตอรี่จึงทำให้ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดแอ็กตีฟมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำฉลากอิเล็กทรอนิกส์ไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีการซีล (seal) ที่ตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์จึงไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าสามารถออกแบบวงจรของฉลากอิเล็กทรอนิกส์ให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนาน

ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดแอ็กทีฟนี้จะมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ มีกำลังส่งสูงและระยะการรับส่งข้อมูลไกลสูงสุดถึง 10 เมตร ซึ่งไกลกว่าฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟ นอกจากนี้ยังทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี แม้ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้จะมีข้อดีอยู่หลายข้อแต่มีข้อเสียอยู่ด้วยเหมือนกัน เช่น ราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด

2.3.1.2 ฉลากอิเล็กทรอนิส์ชนิดพาสซีฟ (Passive tag)





รูปที่ 2.6 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟ (Passive tag) [3]

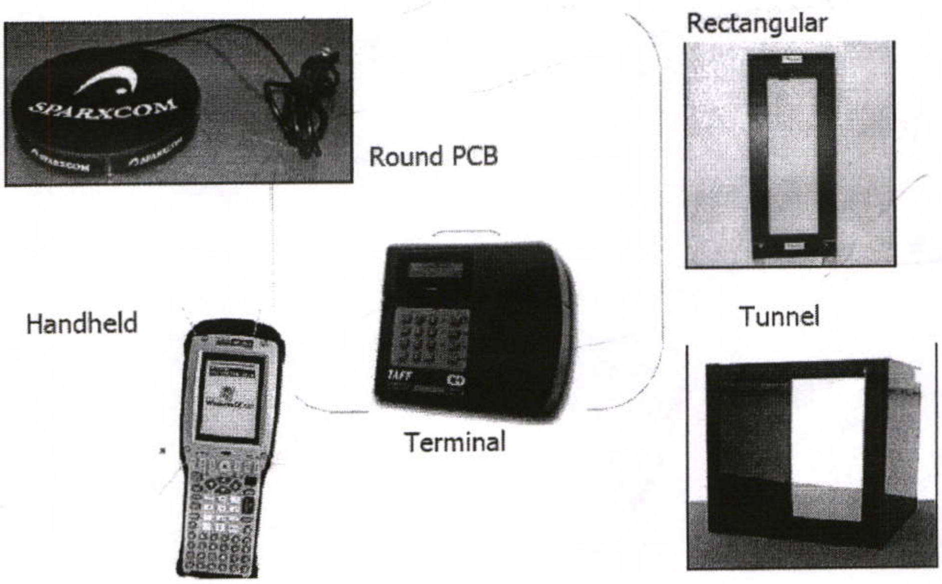
ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอกใดๆ เพราะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่านข้อมูล มีวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัว หรือที่เรียกว่าอุปกรณ์ Transceiver จึงทำให้ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟมี

น้ำหนักเบาและเล็กกว่าฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่มีข้อเสีย คือ ระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสุดเพียง 1.5 เมตร ซึ่งเป็นระยะการอ่านที่สั้น มีหน่วยความจำขนาดเล็กซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปประมาณ 16 ถึง 1,024 ไบต์ และตัวเครื่องอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวและกำลังที่สูง นอกจากนี้ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่าฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดแอ็กทีฟและอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าทำให้ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟนี้เป็นที่นิยมมากกว่า

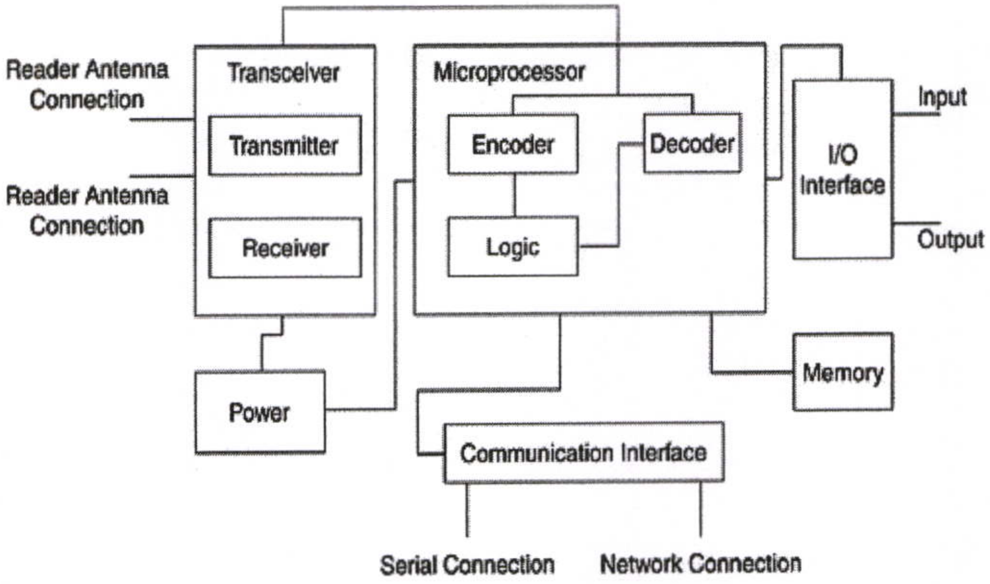
ไอซีของฉลากอิเล็กทรอนิกส์ชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ ไปจนถึงขนาดใหญ่จนสะดุดตา ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของชนิดงานที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ยังสามารถแบ่งประเภทจากรูปแบบของการใช้งานได้เป็น 3 แบบ คือ

1. แบบที่สามารถถูกอ่านและเขียนข้อมูลได้อย่างอิสระ (Read-write)
2. แบบเขียนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นแต่อ่านได้อย่างอิสระ (Write-one, Read-many หรือ Write or Read many: WORM)
3. แบบอ่านได้เพียงอย่างเดียว (Read-only)

2.3.2 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator)



รูปที่ 2.7 เครื่องอ่านของระบบ RFID [6]

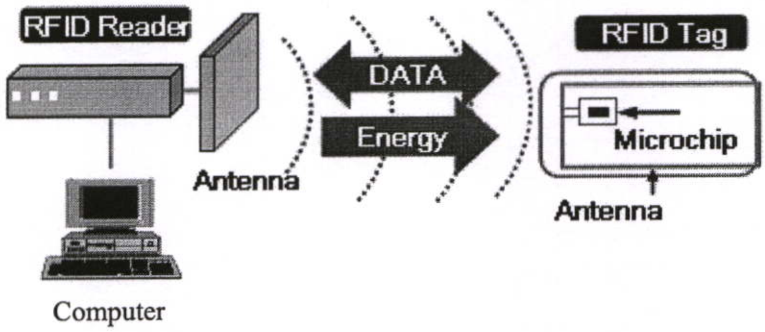


รูปที่ 2.8 โครงสร้างภายในของเครื่องอ่านระบบ RFID [4]

เครื่องอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) มีหน้าที่สำคัญ คือการรับข้อมูลที่ส่งมาจากฉลากอิเล็กทรอนิกส์ แล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสสัญญาณข้อมูลที่ได้รับซึ่งกระทำโดยไมโครคอนโทรเลอร์ อัลกอริทึมที่อยู่ในเฟิร์มแวร์ (Firmware) ของตัวไมโครคอนโทรเลอร์จะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณ ถอดรหัสสัญญาณที่ได้ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป นอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่นในกรณีที่ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรืออยู่ในระยะการรับส่งอาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากฉลากอิเล็กทรอนิกส์ซ้ำอยู่เรื่อยๆไม่สิ้นสุด ดังนั้นตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีระบบป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ที่เรียกว่าระบบ "Hands down polling" โดยตัวอ่านข้อมูล จะสั่งให้ฉลากอิเล็กทรอนิกส์หยุดการส่งข้อมูลในกรณีเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว หรืออาจมีบางกรณีที่มีฉลากอิเล็กทรอนิกส์หลายฉลากอิเล็กทรอนิกส์อยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกัน หรือที่เรียกว่า "Batch reading" ตัวอ่านข้อมูลควรมีความสามารถที่จะจัดลำดับการอ่านฉลากอิเล็กทรอนิกส์ทีละตัวได้เครื่องอ่านทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ
- ภาคสร้างสัญญาณพาหะ
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ
- วงจรจูนสัญญาณ
- หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์

2.4 หลักการทำงานของระบบ RFID



รูปที่ 2.9 แผนผังการทำงานของระบบ RFID [2]

เทคโนโลยี RFID เป็นระบบการสื่อสารที่นำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นพาหะเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิดที่เรียกว่า ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tag) และตัวอ่านข้อมูล (Reader) ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless) ผ่านทางอากาศ ซึ่งหลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID ดังนี้คือ

1. ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาอย่างต่อเนื่อง และคอยตรวจจับสัญญาณจากตัวฉลากอิเล็กทรอนิกส์ว่ามีเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามีการมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่

2. เมื่อมีฉลากอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ฉลากอิเล็กทรอนิกส์จะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้ฉลากอิเล็กทรอนิกส์เริ่มทำงาน โดยอาศัยหลักการทำงานตามแนวคิดของไมเคิล ฟาราเดย์ เรื่องแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็กจากเครื่องอ่านที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Time-varying magnetic field) พุ่งผ่านสายอากาศของฉลากอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อฉลากอิเล็กทรอนิกส์และเครื่องอ่านตั้งอยู่ห่างกันในระยะ 0.16 เท่าของความยาวของคลื่นพาหะที่ใช้ เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า Transformer-type coupling ซึ่งเป็นปรากฏการณ์แบบเดียวกับการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิ (Primary) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ในทรานสฟอร์เมอร์ (Transformer) จะเป็นวงจรพื้นฐานสำหรับอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลของฉลากอิเล็กทรอนิกส์และจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในฉลากอิเล็กทรอนิกส์

3. คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากฉลากอิเล็กทรอนิกส์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมปลิจูด ความถี่ หรือเฟส โดย วงจรของสายอากาศจะทำการมอดูเลตข้อมูลขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต

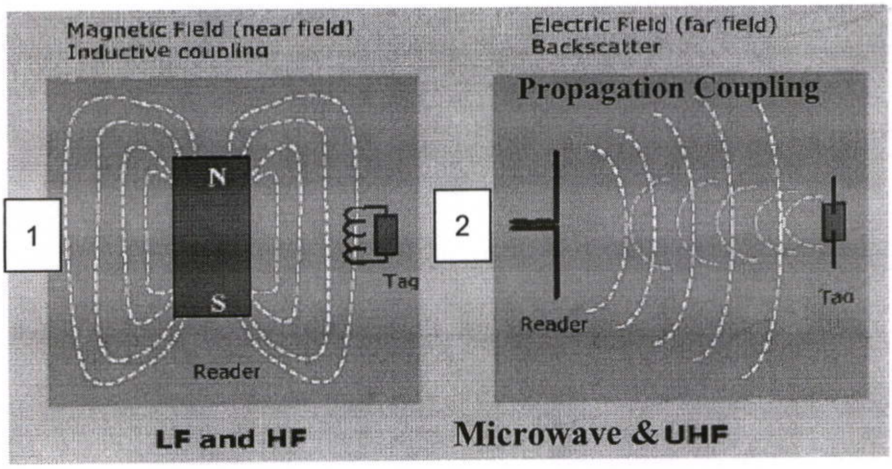
4. เครื่องอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูล แล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

2.4.1 การสื่อสารแบบไร้สายของเทคโนโลยี RFID

การสื่อสารข้อมูลของระบบ RFID คือระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) จะสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุโดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ

1. วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive coupling หรือ Proximity electromagnetic) สำหรับย่านความถี่ต่ำ (Low frequency: LF) ต่ำกว่า 150 kHz และย่านความถี่สูง (High frequency: HF) 13.56 MHz

2. วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic propagation coupling) สำหรับย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra high frequency: UHF) 433/868/915MHz และย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave) 2.45/5.8 GHz

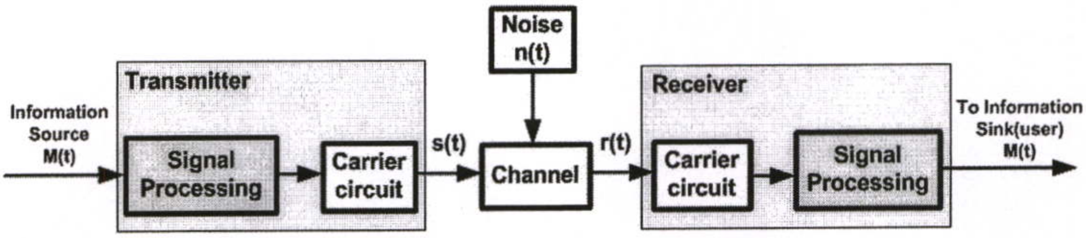


รูปที่ 2.10 การสื่อสารด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของระบบ RFID [6]

RFID มีการทำงานของระบบการสื่อสารแบบดิจิตอล (Digital communication system) คือการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่าน (Reader) กับ ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tags) ของระบบ RFID ในกระบวนการสื่อสารแบบดิจิตอลจะอาศัยหลักการเข้ารหัสข้อมูล (Signal coding) การผสมรหัสข้อมูลเข้ากับคลื่นพาหะ (Modulation) การส่งคลื่นสัญญาณออกไป (Transmission) การถอดข้อมูล

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

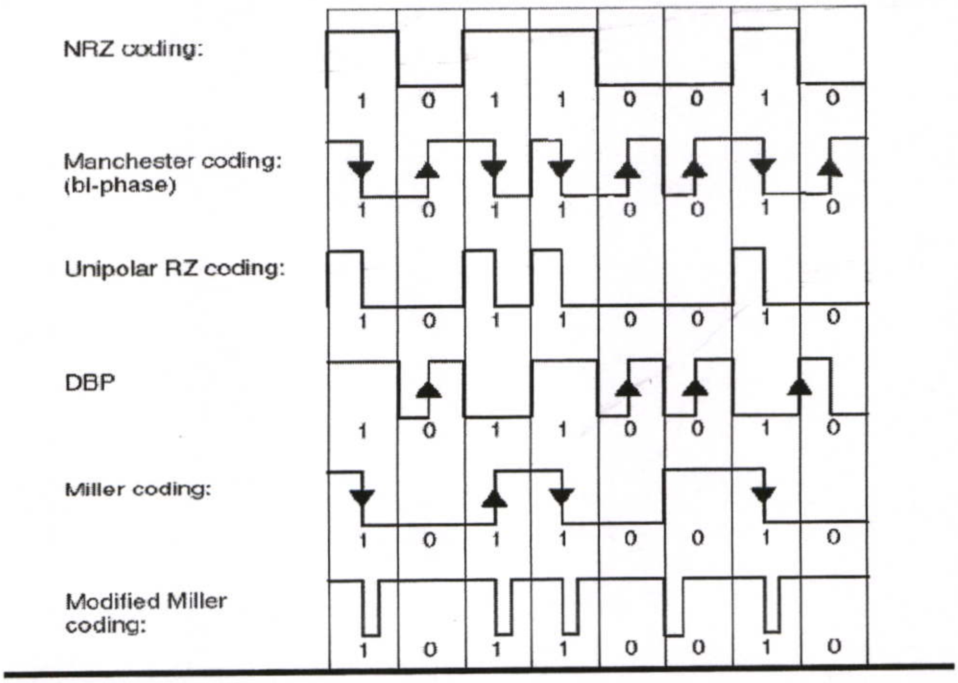
ออกจากคลื่นพาหะ (Demodulation) การแปลรหัสสัญญาณข้อมูล (Signal decoding) ดังรูปที่ 2.11 แสดงการไหลของสัญญาณและข้อมูลในระบบการสื่อสารแบบดิจิตอล



รูปที่ 2.11 การไหลของสัญญาณและข้อมูลในระบบการสื่อสารแบบดิจิตอล

2.4.2 การเข้ารหัส (Coding)

การรับส่งข้อมูลแบบตรงไปตรงมาจะทำให้ข้อมูลที่ส่งและรับนั้นมีความยาวเกินไป จึงมีการคิดค้นวิธีการเข้ารหัสขึ้นมาใช้ ซึ่งการเข้ารหัสจะช่วยการส่งและรับข้อมูลสิ้นสุดลง และไม่ถูกรบกวนจากสิ่งรบกวนภายนอก การเข้ารหัสเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการสื่อสารแบบดิจิตอล ในระบบการสื่อสารแบบดิจิตอลนั้นจะใช้สัญลักษณ์ 0 กับ 1 แทนข้อมูลโดยความแตกต่างของข้อมูลจะเป็นตัวกำหนดค่า 0 กับ 1 ของแต่ละบิตข้อมูล ข้อมูลจะถูกจัดเรียงเป็นแนวนอนหรือเส้นตรง (Line code) ซึ่งมาตรฐานของ Line code จะมีหลายมาตรฐาน ดังรูปที่ 2.12

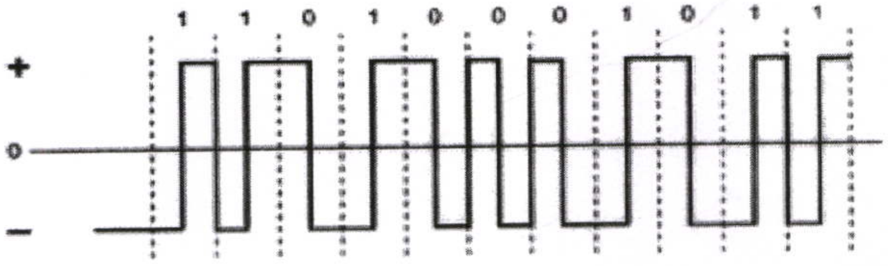


รูปที่ 2.12 ชนิดของ Line code ที่ใช้ในระบบ RFID [6]

82874

จากรูปที่ 2.12 เราจะพบว่ามาตรฐานของ Line code มีอยู่หลายชนิด ซึ่งมีความแตกต่างคือลักษณะการแสดงค่า 0 กับ 1 ที่ให้ลักษณะสัญญาณแตกต่างกัน Line code ที่พบบ่อยและที่นิยมใช้คือ NRZ และ Manchester coding

การเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์ (Manchester coding) เป็นการเข้ารหัสข้อมูลดิจิตอลวิธีหนึ่งก่อนที่ข้อมูลซึ่งผ่านการเข้ารหัสแล้วจะถูกส่งไปมอดูเลต เพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับการซิงโครไนซ์ของข้อมูล เนื่องจากการส่งกระจายสัญญาณตามปกตินั้นหากมีการส่งสัญญาณดิจิตอลในระดับเดียวติดต่อกันเป็นช่วงยาว เช่น ส่งสัญญาณดิจิตอลมีค่าลอจิกเป็น 1 ออกไป 20 บิตติดต่อกัน จะทำให้การซิงโครไนซ์ของข้อมูลเกิดความคลาดเคลื่อน (โดยปกติวงจรดิจิตอลจะปรับการซิงโครไนซ์ของข้อมูลได้เฉพาะในช่วงที่มีการเปลี่ยนระดับของข้อมูลจาก 1 เป็น 0 หรือจาก 0 เป็น 1) และทำให้รับข้อมูลผิดพลาดเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าวจึงจะต้องมีการนำสัญญาณดิจิตอลปกติไปผ่านการเข้ารหัสเสียก่อน โดยการเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์จะเปลี่ยนให้สัญญาณดิจิตอลลอจิก 0 ถูกแทนด้วยการเปลี่ยนค่าจากลอจิก 1 เป็น 0 และสัญญาณดิจิตอลลอจิก 1 แทนด้วยการเปลี่ยนค่าจากลอจิก 0 เป็น 1 ข้อดีของการเข้ารหัสแบบนี้คือ ทำให้การเปลี่ยนระดับของข้อมูลทุกๆ ครั้งเป็นไปอย่างแน่นอนหรือเกิดการเข้าจังหวะ (Synchronize) กันของข้อมูลนั่นเอง แต่ว่าการเข้ารหัสแบบนี้ก็มีข้อเสียอยู่กล่าวคือช่วงความถี่ที่ใช้ในการส่งข้อมูลต้องเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ดังรูปที่ 2.13



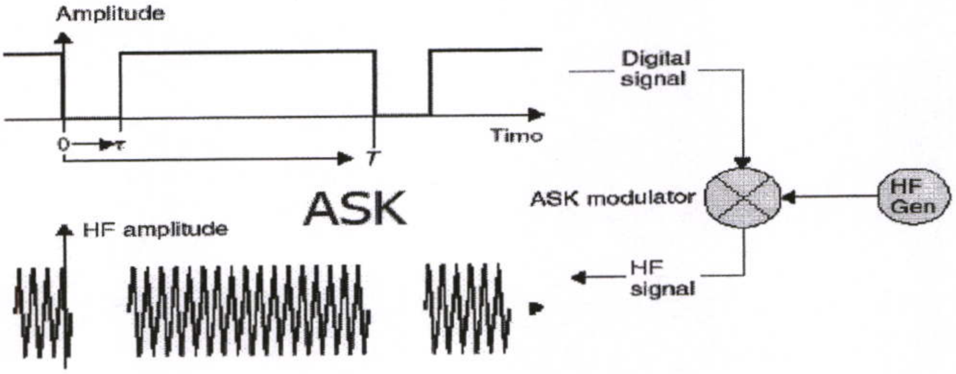
รูปที่ 2.13 แสดงสัญญาณรูปคลื่นที่เข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์ (Manchester) [3]

2.4.3 การผสมข้อมูลแบบดิจิตอล (Digital modulation procedure)

เนื่องจากหลักการพื้นฐานของ RFID คือใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการสื่อสารรับส่งข้อมูล ดังนั้น ก่อนการสื่อสารจะต้องมีกระบวนการผสมข้อมูลที่เข้ารหัสไว้แล้วไปกับคลื่นพาหะ (Modulation) แต่เนื่องจากลักษณะข้อมูลเป็นดิจิตอล จึงต้องใช้วิธีการผสมแบบดิจิตอล การผสมข้อมูลแบบดิจิตอลมี 3 วิธี คือ ASK (Amplitude shift keying) FSK (Frequency shift keying) หรือ PSK (Phase shift keying) ดังนี้

2.4.3.1 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมปลิจูด (Amplitude shift keying: ASK)

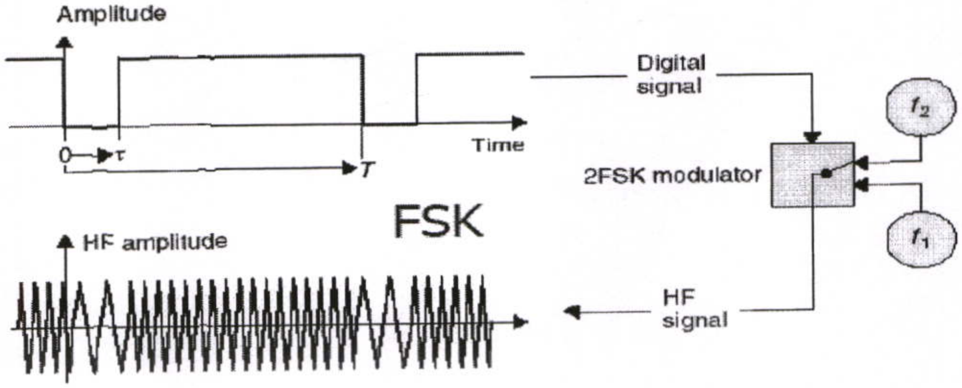
เป็นการผสมข้อมูลโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงของยอดคลื่นพาหะ (Amplitude) เป็นตัวแสดงลักษณะข้อมูล โดยความถี่ของคลื่นพาหะ (Carrier wave) จะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ลักษณะการมอดูเลตเมื่อค่าของบิตของสัญญาณข้อมูลดิจิตอลมีค่าเป็น 1 ขนาดของคลื่นพาห์จะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ขนาดของคลื่นพาห์จะตกลงกว่าปกติ การมอดูเลต ASK มักจะไม่ค่อยได้รับความนิยมเพราะจะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นได้ง่าย



รูปที่ 2.14 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมปลิจูด (Amplitude shift keying) [6]

2.4.3.2 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (Frequency shift keying: FSK)

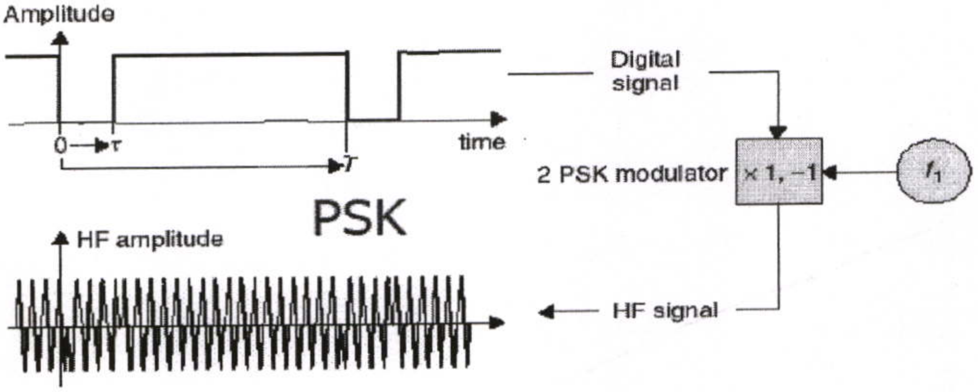
วิธีนี้จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นพาหะระหว่าง 2 ความถี่ขึ้นอยู่กับสถานะของข้อมูล 0 กับ 1 โดยขนาดของคลื่นพาห์หรือความสูงของยอดคลื่น (Amplitude) จะไม่เปลี่ยนแปลง แต่ความถี่ของคลื่นพาห์นั้นจะเปลี่ยนแปลง คือ เมื่อบิตมีค่าเป็น1 ความถี่ของคลื่นพาห์จะสูงกว่าปกติและเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ความถี่ของคลื่นพาห์ก็จะต่ำกว่าปกติ



รูปที่ 2.15 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (Frequency shift keying) [6]

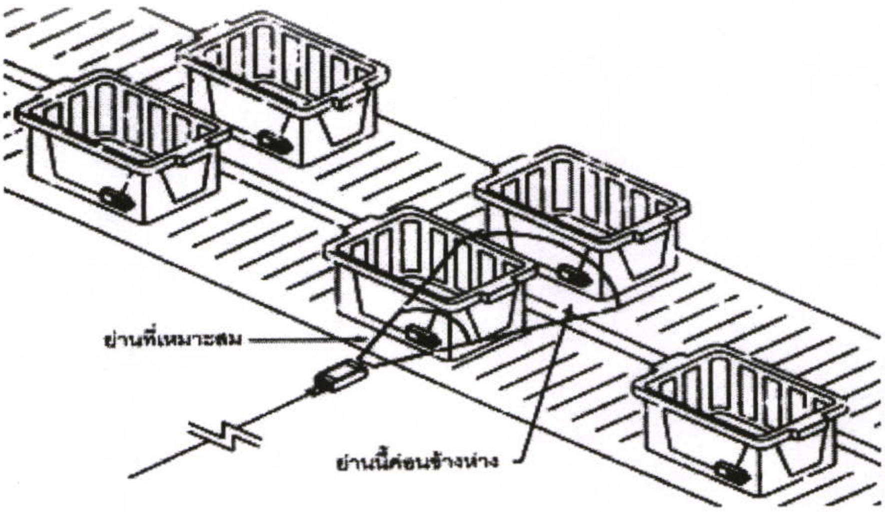
2.4.3.3 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (Phase shift keying: PSK)

หลักการของ Phase keying (PSK) คือ ค่าของขนาดและความถี่ของคลื่นพาห์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ส่วนที่จะเปลี่ยนแปลง คือ เฟสของสัญญาณกล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของบิตจาก1 ไปเป็น 0 หรือเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 เฟสของคลื่นจะเปลี่ยน(Shift) ไป 180 องศาด้วยหลักการ PSK สามารถทำได้ทั้งแบบ 2 เฟส (0, 180) หรือ BPSK (Binary phase shift keying) จัดเป็นสัญญาณประเภท antipodal เนื่องจากสัญญาณที่ใช้ส่งมีเครื่องหมายตรงข้ามกัน แบบ 4 เฟส (0, 90, 180 และ 270 องศา) และแบบ 8 เฟส (0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 และ 315 องศา) ในการมอดูเลตเพื่อเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกทั้ง 3 แบบ วิธีการแบบ PSK จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุดได้สัญญาณที่มีคุณภาพดีที่สุดแต่วงจรการทำงานจะยุ่งยากกว่าและราคาสูงกว่า



รูปที่ 2.16 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (Phase shift keying) [6]

การประยุกต์ใช้งานของระบบ RFID จะมีลักษณะการใช้งานที่คล้ายกับบาร์โค้ด (Bar code) และยังสามารถรองรับความต้องการอีกหลายอย่างที่บาร์โค้ดไม่สามารถตอบสนองได้ เนื่องจากบาร์โค้ดจะเป็นระบบที่อ่านได้อย่างเดียว (Read only) ไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่อยู่บนบาร์โค้ดได้ แต่ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ของระบบ RFID มีความสามารถทั้งอ่านและบันทึกข้อมูลได้ ดังนั้นเราจึงสามารถเปลี่ยนแปลง หรือทำการบันทึกข้อมูลที่อยู่ในฉลากอิเล็กทรอนิกส์ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน



รูปที่ 2.17 ตำแหน่งที่เหมาะสมของฉลากอิเล็กทรอนิกส์ในระบบ RFID [7]

นอกจากนี้ระบบ RFID ยังสามารถใช้งานได้แม้ในขณะที่วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ เช่นในขณะสินค้ากำลังเคลื่อนที่อยู่บนสายพานการผลิต (Conveyor) ดังรูปที่ 2.17 หรือในบางประเทศก็มีการใช้ระบบ RFID ในการเก็บค่าผ่านทางด่วนโดยที่ผู้ใช้บริการทางด่วนไม่ต้องหยุดรถเพื่อจ่ายค่าบริการ ผู้ใช้บริการทางด่วนจะมีฉลากอิเล็กทรอนิกส์ติดอยู่กับรถและฉลากอิเล็กทรอนิกส์จะทำการสื่อสารกับตัวอ่านข้อมูล ผ่านสายอากาศขนาดใหญ่ที่ติดตั้งอยู่ตรงบริเวณทางขึ้นทางด่วน ในขณะที่รถแล่นผ่านสายอากาศ ตัวอ่านข้อมูลก็จะคิดค่าบริการและบันทึกจำนวนเงินที่เหลือลงในฉลากอิเล็กทรอนิกส์โดยอัตโนมัติ หรือแม้กระทั่งการใช้งานในปศุสัตว์เพื่อบันทึกประวัติ หรือระบุความแตกต่างของสัตว์แต่ละตัวที่อยู่ในฟาร์ม

2.5 คลื่นพาหะและมาตรฐานของระบบ RFID

ในปัจจุบันได้มีการรวมกลุ่มระหว่างแต่ละประเทศ เพื่อทำการกำหนดมาตรฐานความถี่คลื่นพาหะของระบบ RFID โดยมีสามกลุ่มหลัก คือ กลุ่มประเทศในยุโรปและอาฟริกา (Region 1) กลุ่มประเทศอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ (Region 2) และสุดท้ายคือกลุ่มประเทศตะวันออกไกลและออสเตรเลีย (Region 3) ซึ่งแต่ละกลุ่มประเทศจะกำหนดแนวทางในการเลือกใช้ความถี่ต่างๆ ให้แก่บรรดาประเทศสมาชิก โดยคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบ RFID จะอยู่ในย่านความถี่ ISM (Industrial-scientific-medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดการใช้งานในเชิงอุตสหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสารทั่วไป

2.5.1 คลื่นพาหะของระบบ RFID

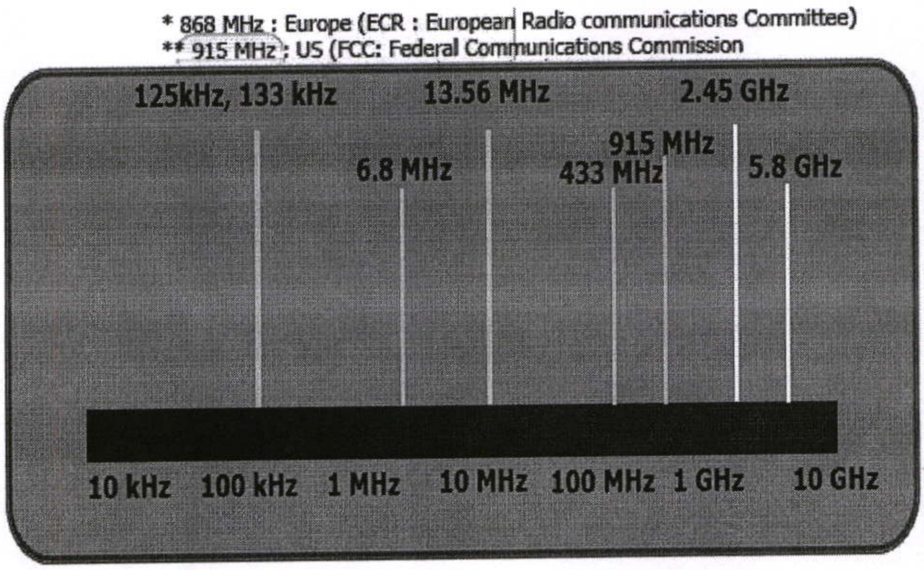
สำหรับความถี่ของคลื่นพาหะที่นิยมใช้งานกันในระบบ RFID อาจแบ่งออกได้เป็น 4 ย่านความถี่หลัก ได้แก่

1) ย่านความถี่ต่ำ (Low frequency: LF) ต่ำกว่า 150 kHz

2) ย่านความถี่สูง (High frequency: HF) 13.56 MHz

3) ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra high frequency: UHF) 433/868*/915**MHz

4) ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave) 2.45/5.8 GHz



รูปที่ 2.18 ย่านความถี่ที่ใช้ในระบบ RFID [6]

ในด้านของราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วระบบ RFID ซึ่งใช้คลื่นพาหะย่านความถี่สูงเป็นระบบที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุดและมีราคาแพงที่สุดด้วยเช่นกัน ส่วนระบบ RFID ที่ใช้คลื่นพาหะย่านความถี่ต่ำมีการส่งข้อมูลต่ำ และราคาจะต่ำลดหลั่นตามลงไปด้วยดังตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 ย่านความถี่ของระบบ RFID และการใช้งาน

ย่านความถี่	**คุณลักษณะ**	**การใช้งาน**
ย่านความถี่ต่ำ 100-500 kHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไปคือ 125 kHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ -ต้นทุนไม่สูง -ความเร็วในการอ่านข้อมูลต่ำ -ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	-Access control -ปศุสัตว์ -ระบบคลังสินค้า
ย่านความถี่กลาง 10-15 MHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไปคือ 13.56 MHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลปานกลาง -ราคามีแนวโน้มถูกลงในอนาคต -ความเร็วในการอ่านข้อมูลปานกลาง -ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	-ระบบห้องสมุด -สมาร์ทการ์ด -ระบบรักษาความปลอดภัย
ย่านความถี่สูง 433/868/915 MHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (10 เมตร) -ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง -ราคาแพง	-ระบบขนส่ง -ตู้สินค้า
ย่านความถี่ ไมโครเวฟ 2.45-5.8 GHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (15 เมตร) -ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง -ราคาแพง	-โรงงานอุตสหกรรม -ระบบเก็บค่าผ่านทาง

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบย่านความถี่ต่างๆ ของระบบ RFID

ย่านความถี่	< 135 kHz	13.56 MHz	868/915 MHz, 2.45/5.8 GHz
ชนิดของฉลากอิเล็กทรอนิกส์	Passive Tag(ไม่มีแบตเตอรี่)		Active Tag(มีแบตเตอรี่)
การเหนี่ยวนำ	การเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า		การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
กำลังส่ง	72 dBμA/m	42 dBμA/m	10 ถึง 100 mW, 500 mW, 4W
ชนิดหน่วยความจำ	EEPROM		SRAM มีแบตเตอรี่
ระยะอ่าน	0.5 – 1 เมตร		4-15 เมตร
อัตรารับส่งข้อมูล	ต่ำ ⟶		สูง
ขนาดสายอากาศ	ใหญ่ ⟵		เล็ก
กำลังทะลุทะลวงวัตถุ	ดี ⟵		ไม่ดี
สามารถผ่านความชื้น	ต่ำ ⟶		สูง

2.5.2 มาตรฐานของระบบ RFID

ISO 11784

เป็นมาตรฐานที่กำหนดเกี่ยวกับรายละเอียดของ ID ขนาด 64 บิต (8 ไบต์)

- 1 Animal (1)/non-animal (0) กำหนดความเป็นสัตว์หรือ ไม่ใช่สัตว์
- 2-15 Reserved สงวนไว้ในอนาคต
- 16 Data block (1) follow/
- no data block (0)
- 17-26 Country code (ISO 3166) THA = 764 กำหนดรหัสประเทศ

ถ้าเป็น 999 เป็นการทดสอบตัวส่ง

- 27-64 National identification code รหัสของสัตว์ที่มีรหัสเดียวเท่านั้นในประเทศ
- National identification Code จะต้องมีระบบจัดการใช้การออกรหัสของสัตว์แต่ละประเภทขึ้นอยู่กับข้อตกลงในแต่ละประเทศซึ่งสามารถโปรแกรมได้ 274,877,906,944
- Country code 10 bits = 1,024 ประเทศ ซึ่งประเทศไทยมีรหัสเป็น 764 ตาม ISO 3166 ถ้า เป็นระบบ Manufacture code ซึ่งต้องผ่านการรับรองจาก ICAR (International committee for animal recording) ในการทดสอบการทำงานและความเป็นมาตรฐานตามที่ ISO 11784-85 ระบุในมาตรฐานโดยตัวเลขที่ทาง ICAR ออกให้กับผู้ผลิตที่ผ่านการรับรองแล้ว จะขึ้นต้นด้วย 9xx แทนการใช้ Country code ตาม ISO 3166

ISO 11785

เป็นมาตรฐานที่กำหนดรายละเอียดของมาตรฐานการส่งข้อมูลระหว่างฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Transponder) กับเครื่องอ่าน (Reader) และกำหนดความถี่ของคลื่นพาหะ และกำหนดมาตรฐานของเครื่องอ่าน

- ความถี่คลื่นพาหะของเครื่องอ่านที่ 134.2 kHz คลาดเคลื่อนได้ 1.8 kHz
- ข้อมูลเข้ารหัสแบบ DBP (Differential bi-phase code) โดยใช้การทำโหลดมอดูเลชั่น (Load modulation) แบบไม่มีคลื่นพาหะย่อย (Sub carrier)
- ขนาดความเร็วของข้อมูลที่ส่งเท่ากับ 4194 bit/s (134.2 kHz หารด้วย 32)

ISO 14443A

เป็นมาตรฐานปิดที่ถูกพัฒนาโดย Phillips ซึ่งเป็นผู้พัฒนารายแรกในโลกสำหรับ Contactless smart card มีผู้ใช้งานบัตรสมาร์ตการ์ดมาตรฐานนี้มากที่สุดในโลกซึ่งมีรายละเอียดส่วนสำคัญๆของมาตรฐานดังนี้

- มีระบบป้องกันการก๊อปปี้ข้อมูล (True anticollision)

- การรับส่งข้อมูลและพลังงานไฟฟ้าระหว่าง เครื่องอ่าน/เขียน กับบัตรสมาร์ตการ์ดเป็นแบบไร้สัมผัส (Contactless)
- เวลาในการอ่าน/เขียนข้อมูล กับบัตรสมาร์ตการ์ดน้อยกว่า 100 มิลลิวินาที
- ความถี่วิทยุ (Radio frequency) 13.56 เมกกะเฮิรตซ์
- ระยะห่างระหว่างเครื่องอ่าน/เขียน กับบัตรสมาร์ตการ์ดถึง 10 เซนติเมตร (ขึ้นอยู่กับสายอากาศ)
- ความถูกต้องของการรับส่งข้อมูลสูงด้วยเทคนิคการทำ 16 bit CRC, Parity, Bit coding และ Bit Counting
- ส่งผ่านข้อมูลระหว่างเครื่องอ่าน/เขียน กับบัตรสมาร์ตการ์ดด้วยความเร็วสูงถึง 106 Kbit/วินาที

ISO 14443B

มาตรฐาน ISO 14443B เป็นมาตรฐานเปิดมีหลายบริษัทเป็นผู้ร่วมพัฒนา โดยมาตรฐานมีความใกล้เคียงกับ ISO 14443A ต่างกันเฉพาะที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพเพิ่มเติมจาก ISO 14443A เช่น ลักษณะการ Modulate สัญญาณซึ่งเป็นแบบ 10% ASK, BPSK (Binary phase shift keying) แต่ยังมีข้อด้อยในหลายๆเรื่องเนื่องจากมาตรฐานในส่วนสำคัญๆถูก ISO 14443A บังคับอยู่ แต่ข้อดีคือเป็นมาตรฐานเปิดทำให้มีผู้ผลิตมากราย มีการแข่งขันด้านราคาและคุณภาพมากขึ้น

ISO 15693

เป็นมาตรฐานที่ร่วมกันพัฒนาระหว่าง Phillips และ Texas instrument สำหรับ ISO 15693 นั้นมีจุดประสงค์ในการใช้งานเพื่อเป็นแผ่นป้ายบอกข้อมูล (RFID) มากกว่าจะเป็นสมาร์ตการ์ดแบบใช้งานทั่วไป ซึ่งจะมีลักษณะรูปร่างเป็น Label สามารถนำไปแปะบนกล่องสินค้า หรือตัวสินค้าต่างๆเพื่อใช้งานแทน บาร์โค๊ด โดยสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ด้วยการโปรแกรมข้อมูลเข้าไปในตัวชิพใหม่ มีระยะการทำงานไกลถึง 1 เมตรจากเครื่องอ่าน (ขึ้นอยู่กับการออกแบบสายอากาศ) นอกจากนี้ตัวเครื่องอ่านยังสามารถอ่านข้อมูลจากชิพได้พร้อมๆกันหลายชิพ โดยใช้กรรมวิธีการแยกแยะข้อมูลจากชิพแต่ละตัวได้อย่างดี

นอกจากนี้ ISO 15693 ยังแตกย่อยเป็นมาตรฐานการใช้งานอีกหลายรูปแบบ เช่นเมื่อนำไปใช้งานในขบวนการสินค้าคงคลัง หรือแทนบาร์โค๊ด ก็จะมีหน่วยงานมาตรฐาน EPC (Electronic product code) เป็นผู้กำหนดรายละเอียดปลีกย่อยลงไป เพื่อให้สามารถใช้แทนระบบบาร์โค้ดซึ่งถูกพัฒนาเป็นมาตรฐานมาก่อนหน้านี้โดยไม่มีปัญหาใดๆ สำหรับ ISO 15693 สามารถติดตามข้อมูลเพิ่มเติมได้ใน RFID technology เพราะมีความเป็น RFID อยู่มากจึงไม่ขอกล่าวในส่วนของสมาร์ตการ์ดทั่วไป

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานย่านความถี่ของระบบ RFID ตามชนิดของฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tags)

FREQUENCY	125 kHz	5-7 MHz	13.56 MHz	303/433 MHz	860-960 MHz	2.45 GHz
TAG TYPE						
Passive	ISO11784/5, 14223 ISO18000-2	ISO10536 iPico DF/iPX	MIFARE (ISO14443) Tag-IT (ISO15693) ISO18000-3		ISO18000-6 EPC class 0 EPC class 1 EPC GEN II Intellitag tolls (Title 21) rail (AAR S918)	ISO18000-4 Intellitag µ-chip
Semi-passive					rail (AAR S918) Title 21	ISO18000-4 Alien BAP
Active				Savi (ANSI 371.2) ISO18000-7 RFCode		ISO18000-4 WhereNet (ANSI 371.1)

2.5.3 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบ RFID ในประเทศไทย

2.5.3.1 ย่านความถี่ 920-925 MHz กำลังส่งให้ใช้กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซโทรปิก (Equivalent isotropically radiated power : EIRP) ไม่เกิน 4 วัตต์ และไม่อนุญาตให้ใช้กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซโทรปิกเกินกว่า 4 วัตต์ เว้นแต่คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เห็นว่ามีความจำเป็นหรือมีเหตุผลอื่นที่เหมาะสม

2.5.3.2 การได้รับการยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต อุปกรณ์ RFID ซึ่งมีกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซโทรปิกไม่เกิน 0.5 วัตต์ (EIRP) ได้รับการยกเว้นใบอนุญาต มีใช้และนำออก ซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคม

2.5.3.3 การตรวจสอบลักษณะทางวิชาการ อุปกรณ์ RFID จะต้องผ่านการทดสอบลักษณะทางวิชาการจาก คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ หรือจากห้องปฏิบัติการทดสอบรับรองมาตรฐานเครื่องวิทยุคมนาคมที่ยอมรับได้

2.5.3.4 สิทธิการคุ้มครอง การใช้อุปกรณ์ RFID ไม่ได้รับสิทธิคุ้มครองการรบกวน หากก่อให้เกิดการรบกวนระดับรุนแรงต่อการใช้ความถี่วิทยุของข่ายสื่อสารวิทยุคมนาคมอื่นในบริเวณใดบริเวณหนึ่งผู้ใช้ต้องระงับการใช้อุปกรณ์ RFID ที่ก่อให้เกิดการรบกวนในบริเวณนั้นทันที เนื่องจากเทคโนโลยี RFID ใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นสื่อกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและเครื่องลูกข่าย จึงจำเป็นที่จะต้องออกมาตรฐานควบคุมเพื่อป้องกันมิให้อุปกรณ์ RFID ส่งผลกระทบต่อระบบการสื่อสารและโทรคมนาคมอื่นๆ ที่ใช่คลื่นความถี่วิทยุที่ได้รับการจัดสรรอยู่ก่อนแล้ว ไม่ว่าจะเป็นระบบรับส่งวิทยุและโทรทัศน์ เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ วิทยุตำรวจ เครือข่ายวิทยุสื่อสาร วิทยุเดินเรือ และระบบวิทยุการบิน ย่านความถี่คลื่นที่วิทยุที่ได้รับการจัดสรรโดย

องค์กรสากลทางด้านการสื่อสารนานาชาติ เพื่อใช้กิจการต่างๆ โดยมีการกำหนดเพิ่มย่านความถี่สำหรับใช่งานกับระบบ RFID ดังแสดงโดยกราฟแท่ง ทั้งนี้มีข้อสรุปให้ใช้ย่านความถี่ ISM ซึ่งเป็นย่านความถี่สากลสำหรับใช้ในวงการอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์สำหรับเทคโนโลยี RFID นอกจากนั้นยังมีความเป็นไปได้ที่จะนำความถี่ในย่านต่ำกว่า 135 KHz (ยุโรป) และต่ำกว่า 400 KHz (ทวีปอเมริกาและญี่ปุ่น) ใช้กับเทคโนโลยีการรับส่งสัญญาณ RFID แบบ Inductive coupling เป็นพิเศษอีกด้วย

2.5.4 แนวความคิดของมาตรฐานระบบเปิดกับระบบปิด

-ระบบเปิด (Open system) คือ ระบบที่มีรูปแบบของข้อมูลที่ส่งในลักษณะกลุ่มมีกฎระเบียบที่สามารถอ่านได้จากเครื่องอ่านจำนวนมาก ความเป็นมาตรฐานจะถูกกำหนดจากเครื่องมือที่สร้างข้อมูล ผู้ใช้โดยทั่วไปสามารถอ่านข้อมูลดังกล่าวได้ ซึ่งอาจจะเกิดจากการใช้วิธีการหลาย ๆ อย่างรวมกัน

- ระบบปิด (Closed system) คือ ระบบที่กฎของการเข้ารหัส (encode) และการถอดรหัส (decode) ถูกกำหนดไว้โดยเฉพาะเจาะจง หรือรู้เฉพาะกลุ่มผู้ใช้ที่เป็นเจ้าของ

สำหรับป้าย RFID ปัจจุบันนี้ถือว่ายังเป็นมาตรฐานระบบเปิด ดังนั้นผู้ขาย (vendor) ต้องผลิต และสนับสนุนระบบของตนเอง ส่วนเทคโนโลยีบาร์โค้ด เป็นระบบที่มีความเป็นมาตรฐานทั้งระบบเปิดและระบบปิด

อย่างไรก็ดี ปัจจุบันนี้มีอุตสาหกรรมและองค์กรมาตรฐานจำนวนมากที่พยายามพัฒนาระบบ RFID ให้มีความเป็นมาตรฐานมากยิ่งขึ้น The international standards organization (ISO) Sub-committee (SC 31) ซึ่งเป็นข้อตกลงที่อยู่ภายใต้การสำรวจเทคโนโลยีบาร์โค้ด และ RFID ของ ISO ในปัจจุบัน SC 31 จะเน้นที่ระบบมาตรฐานแบบเปิด โดยประเด็นที่องค์กรมาตรฐานได้คำนึงถึงได้แก่

- วิธีการเปลี่ยนป้ายของระบบปิดไปเป็นระบบเปิด เครื่องอ่านต้องสามารถแยกได้ทั้งสองระบบ เพราะว่า RFID สามารถอ่านป้ายหลายป้ายได้ในเวลาเดียวกัน ดังนั้นความเป็นมาตรฐานต้องไม่มีความซ้ำซ้อนกันระหว่างข้อมูลหลากหลายที่มีเข้ามา

- RFID บางชนิดยอมให้อ่านและเขียนข้อมูลได้ แต่บาร์โค้ดไม่สามารถทำได้ และข้อบังคับจะทำให้เกิดผลเล็กน้อยกับการติดตั้งภายนอก ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาความสำคัญของการใช้ RFID จะเกี่ยวข้องกับการพัฒนาไปสู่ความเป็นมาตรฐานไม่ได้เน้นไปที่จำนวนองค์กรจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ ว่ามีส่วนร่วมกับ SC 31 มากน้อยเพียงใด แม้ว่าส่วนใหญ่จะเป็นการทำงานร่วมกัน มีการแสดงให้เห็นถึงกลุ่มผลประโยชน์ต่าง ๆ ออกมา แต่ก็มีหลักฐานแสดงให้เห็นว่า มีองค์กรในอุตสาหกรรม RFID จำนวนมากที่ไม่ค่อยคำนึงถึงความเป็นมาตรฐาน ทำให้คนทั่ว ๆ ไปเชื่อว่านี้คือ การขาดความเป็นมาตรฐาน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ขัดขวางการพัฒนาเทคโนโลยี RFID

2.6 การป้องกันการชนกันของสัญญาณข้อมูล (Anti-collision)

ในการที่จะรับข้อมูลจากฉลากอิเล็กทรอนิกส์หลาย ๆ อัน ทั้งฉลากอิเล็กทรอนิกส์และตัวเครื่องอ่านต้องได้รับการออกแบบให้รองรับสภาวะที่มีฉลากอิเล็กทรอนิกส์มากกว่า 1 อันทำงาน (ส่งสัญญาณ) มิเช่นนั้นแล้วสัญญาณพาหะก็จะมีการส่งออก ในเวลาเดียวกันทำให้เกิดการชนของสัญญาณ (Collision) จะทำให้ไม่มีข้อมูลใด ๆ ส่งถึงตัวเครื่องอ่านเลย การติดต่อระหว่างฉลากอิเล็กทรอนิกส์กับตัวเครื่องอ่านเปรียบเสมือน บัสแบบอนุกรม แต่บัสชนิดนี้จะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณ ในระบบบัสที่ใช้เคเบิ้ลเป็นตัวกลางก็ต้องมีการควบคุมไม่ให้เกิดการชนกันของสัญญาณ RFID ก็จำเป็นที่จะต้องมีการป้องกันให้มีการส่งสัญญาณจากฉลากอิเล็กทรอนิกส์อันเดียวต่อช่วงเวลานั้นเช่นกัน

2.7 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิธ

อัตราการรับส่งข้อมูล (Data transfer rate) จะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นพาหะ โดยปกติถ้าความถี่ของคลื่นพาหะยิ่งสูง อัตราการรับส่งข้อมูลก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ส่วนการเลือกแบนด์วิธหรือย่านความถี่นั้นก็จะมีผลต่ออัตราการรับส่งข้อมูลเช่นกันโดยมีหลักว่า แบนด์วิธควรจะมีค่ามากกว่าอัตราการรับส่งข้อมูลที่ต้องการอย่างน้อยสองเท่า ยกตัวอย่างเช่น ถ้าใช้แบนด์วิธในช่วง 2.4-2.5 GHz ก็จะสามารถรองรับอัตราการรับส่งข้อมูลได้ถึงประมาณ 2 megabits ต่อวินาที เป็นต้น แต่การใช้แบนด์วิธที่กว้างเกินไปก็อาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนมาก หรือทำให้ S/N Ratio ต่ำลงนั่นเอง ดังนั้นการเลือกใช้แบนด์วิธให้ถูกต้องก็เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณา

2.8 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง

ระยะการรับส่งข้อมูลในระบบ RFID ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือ กำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator power) กำลังส่งของฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tag power) และสภาพแวดล้อม ส่วนการออกแบบสายอากาศของตัวอ่านข้อมูล จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะการรับส่งข้อมูล บางทีอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างฉลากอิเล็กทรอนิกส์และตัวอ่านข้อมูลด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทางโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆรอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอาจแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสี่ ปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า "Multi-path attenuation" ซึ่งจะส่งผลให้ระยะการรับส่งข้อมูลสั้นลง หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบ RFID ไปใช้งานก็ควรมีการ

คำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบกับระยะการรับส่งข้อมูล และพยายามติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

กำลังส่งของฉลากอิเล็กทรอนิกส์ที่จะส่งกลับมายังตัวอ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของ ตัวอ่านข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวอ่านข้อมูล ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา ถึงแม้ในทางเทคนิคเราจะสามารถทำให้ตัวอ่านข้อมูลมีกำลังส่งมากแค่ไหนก็ได้ แต่โดยทั่วไปก็จะถูกจำกัดโดยกฎหมายของแต่ละประเทศ เช่นเดียวกับความถี่ ดังนั้นในระบบ RFID โดยทั่วไปจะมีกำลังส่งเพียงระหว่าง 100 -500 mW แต่ไม่เกิน 4 W

2.9 จุดเด่นของระบบการสื่อสาร RFID

เทคโนโลยีของระบบการสื่อสาร RFID นั้นเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารในหลายๆ ประการอาทิเช่น

- **การอ่านและเขียนโดยไม่ต้องสัมผัส (Contactless)**

จุดเด่นข้อแรกของระบบ RFID คือ เครื่องอ่าน (Reader) กับ ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tags) สามารถสื่อสารกันได้โดยไม่ต้องสัมผัส ทำให้ไม่เกิดส่วนการสึกหรอเหมือนการ์ดแถบแม่เหล็ก เช่น สมาร์ทการ์ดต้องนำฉลากอิเล็กทรอนิกส์มาสัมผัสกับวงจรอ่านและเขียน โดยตรง ซึ่งระบบ RFID ตัวอ่านกับตัวเขียนข้อมูลจะอยู่ในตัวเดียวกันเพียงเปลี่ยนโหมด โดยใช้ซอฟแวร์เท่านั้น ทำให้ต้นทุนในการดูแลรักษาต่ำ อายุการใช้งานยาวนานและสะดวกรวดเร็วในการใช้งาน

- **ทนต่อสภาพแวดล้อมและแรงสั่นสะเทือน**

ปัญหาที่เป็นอุปสรรคในการอ่านและเขียนในระบบ Auto ID ที่แก้ไขลำบาก คือ สภาพแวดล้อมในการใช้งาน เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรมมีทั้งฝุ่นละออง น้ำมัน ระบบ Auto ID ที่มีปัญหามากที่สุดคือ ระบบบาร์โค้ด เพราะถ้าแถบบาร์โค้ดสกปรกหรือฉีกขาดก็จะไม่สามารถอ่านข้อมูลได้ หรือถ้าหน้าจอของตัวอ่านและแถบบาร์โค้ดมีแรงสั่นสะเทือนจะเป็นปัญหาสำหรับการอ่านอีกเช่นกัน แต่ด้วยลักษณะเทคโนโลยีของ RFID ที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นพาหะนำข้อมูลไปจะพบว่าปัญหาดังกล่าวจะไม่มีผลกระทบต่อระบบ RFID เลย ดังนั้น RFID จึงเป็นอุปกรณ์ Auto ID ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม

- **สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้ทุกทิศทาง**

เนื่องจากคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าการอ่านและเขียนในระบบ RFID จึงไม่ต้องคำนึงถึงทิศทางว่าฉลากอิเล็กทรอนิกส์จะต้องอยู่ตรงหน้ากับเครื่องอ่านเสมอ ฉลากอิเล็กทรอนิกส์สามารถอยู่ด้านหลังด้านข้าง หรือแม้กระทั่งถูกทับอยู่ แต่ถ้าเข้ามาอยู่ในพื้นที่สัญญาณแล้วก็จะสามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้ตามปกติ

- **ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Tags) สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้**

ด้วยลักษณะโครงสร้างและความสามารถในการเขียนข้อมูลซ้ำได้ ทำให้ Tags สามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตได้มากกว่า 100,000 ครั้งต่อ 1 Tags คุณสมบัติข้อนี้เป็นจุดแข็งอีกจุดหนึ่งที่ระบบ Auto ID ชนิดอื่นไม่สามารถทำได้

- **RFID Tags มีหลากหลายรูปแบบให้ประยุกต์ใช้งาน**

Tags ของระบบ RFID นั้นจะถูกออกแบบให้มีรูปร่าง ขนาดโครงสร้างความจุของหน่วยความจำและลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป เช่น มีลักษณะเป็นสมาร์ทการ์ด กระดุมเหรียญ ทรงสี่เหลี่ยม หรือแม้กระทั่งเป็นแผ่นบางๆ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้ตามความต้องการ

- **ความสามารถในการทะลุทะลวงของสัญญาณ**

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถทะลุผ่านวัตถุที่เป็นอโลหะหรือโลหะเป็นส่วนผสมอยู่ได้ เช่น พลาสติก ผิวหนัง ไม้ ปูนซีเมนต์ เป็นต้น ดังนั้น Tags จึงสามารถถูกติดตั้งแบบฝังหรือซ่อนลงไปในเนื้อวัตถุที่เราต้องการได้ เช่น เราจะพบเห็นการฉีด RFID Tags ที่มีลักษณะเป็นทางแก้วเล็กๆ เข้าไปในตัวสัตว์ และการฝัง Tags ลงบนพื้นในระบบ AGV (Automatic guide vehicle)

- **สื่อสารได้ระยะไกล**

ระยะในการอ่านและเขียนข้อมูลของระบบ RFID นั้นทำได้ตั้งแต่ 0-10 เมตร ซึ่งถือว่าไกลที่สุดในบรรดาระบบ Auto ID ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันนี้ ทั้งนี้ระยะในการอ่านและเขียนข้อมูลจะขึ้นอยู่กับกำลังส่งของสายอากาศและช่วงความถี่ที่ใช้งาน สำหรับกำลังส่งของสายอากาศนั้นจะถูกกำหนดโดยกฎหมายของแต่ละประเทศทำให้ RFID ที่ผลิตในบางประเทศมีระยะในการอ่านและเขียนต่างกันทั้งที่ความถี่ใช้งานเท่ากัน

- **อ่านและเขียนข้อมูลได้ครั้งละมากกว่า 1 Tags พร้อมกัน**

เมื่อ Tags เข้ามาอยู่ในพื้นที่สัญญาณมากกว่า 1 Tags พร้อมกัน เครื่องอ่านสามารถอ่านข้อมูลซึ่งมาพร้อมกันได้ทั้งหมดหรือจะสามารถเลือกอ่านเฉพาะ Tags ที่ระบุก็ได้

- **สามารถอ่านและเขียนข้อมูลขณะวัตถุกำลังเคลื่อนที่**

เครื่องอ่านกับ Tags สามารถสื่อสารกันได้แม้ขณะฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งกำลังเคลื่อนที่ โดยความเร็วของการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับชนิดของการสื่อสาร หน่วยความจำและปริมาณข้อมูลที่ใช้อ่านและเขียน

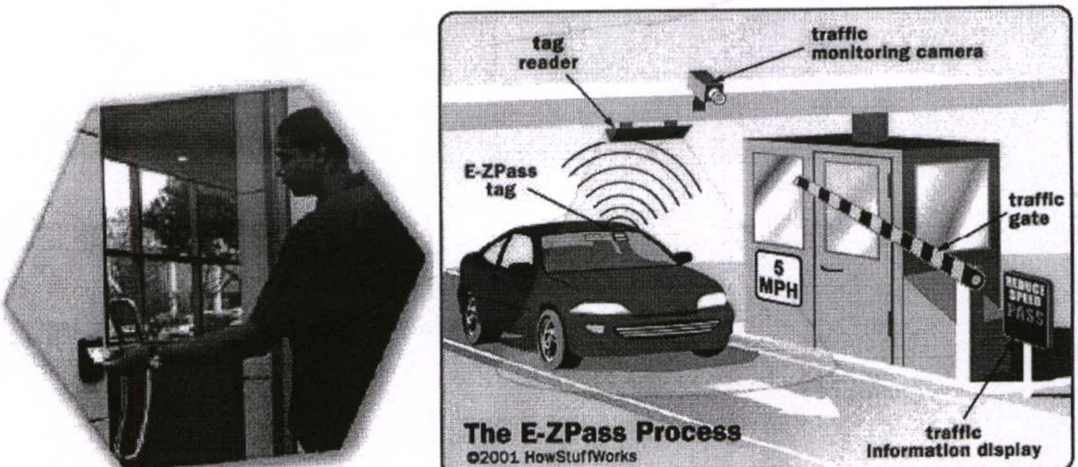
- **หน่วยความจำขนาดใหญ่**

หน่วยความจำที่ใช้ในระบบ RFID มีตั้งแต่ขนาด 1 บิต จนถึงมากกว่า 8 กิโลไบต์ หน่วยความความจำที่เป็น RAM จะสามารถเก็บข้อมูลได้มากกว่าหน่วยความจำแบบอื่น ข้อมูลในกระบวนปฏิบัติงานสามารถบันทึกลงใน Tags ได้ทั้งกระบวนการ หรือแม้กระทั่งข้อมูลส่วนบุคคลก็สามารถบันทึกลงใน Tags ได้

2.10 การนำระบบ RFID ไปใช้งาน

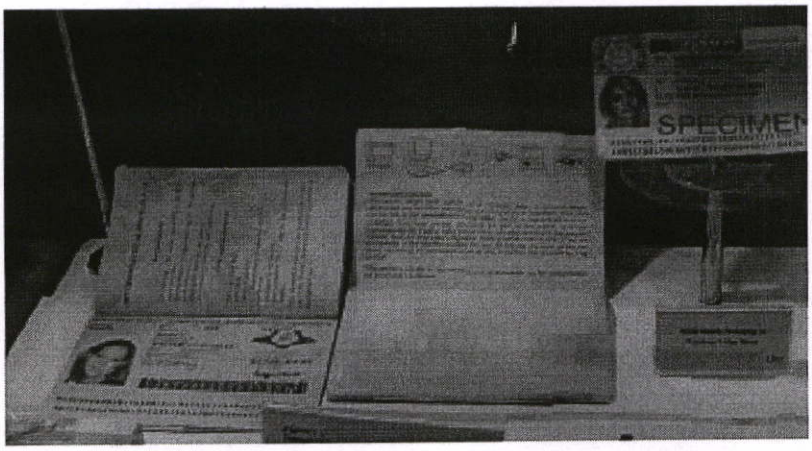
เราสามารถนำระบบ RFID ไปใช้งานได้หลากหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นในอุตสาหกรรม การผลิต การค้า หรือการบริการต่างๆ ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลที่ต้องการได้ เช่น บันทึกเวลาทำงานของพนักงาน เก็บเงินค่าใช้บริการทางด่วน หรือระบบกันขโมยรถยนต์ แต่การพิจารณานำระบบ RFID มาใช้งานยังคงต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ ในการใช้งานไม่ว่าจะเป็นเรื่องของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในสภาพแวดล้อม หรือกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับระเบียบการใช้คลื่นความถี่วิทยุและกำลังส่งของแต่ละประเทศ ปัจจุบันการนำระบบ RFID มาประยุกต์ใช้งาน เช่น

- **ระบบตรวจสอบการเข้าออก (Security access control)** หรือการเข้า-ออกอาคาร แทนการใช้บัตรแม่เหล็กแบบรูด เนื่องจากบัตรแม่เหล็กเมื่อใช้งานมากๆ ก็จะเสื่อมเร็ว แต่บัตรแบบ RFID (Proximity card) ใช้เพียงแตะหรือแสดงผ่านหน้าเครื่องอ่านเท่านั้น



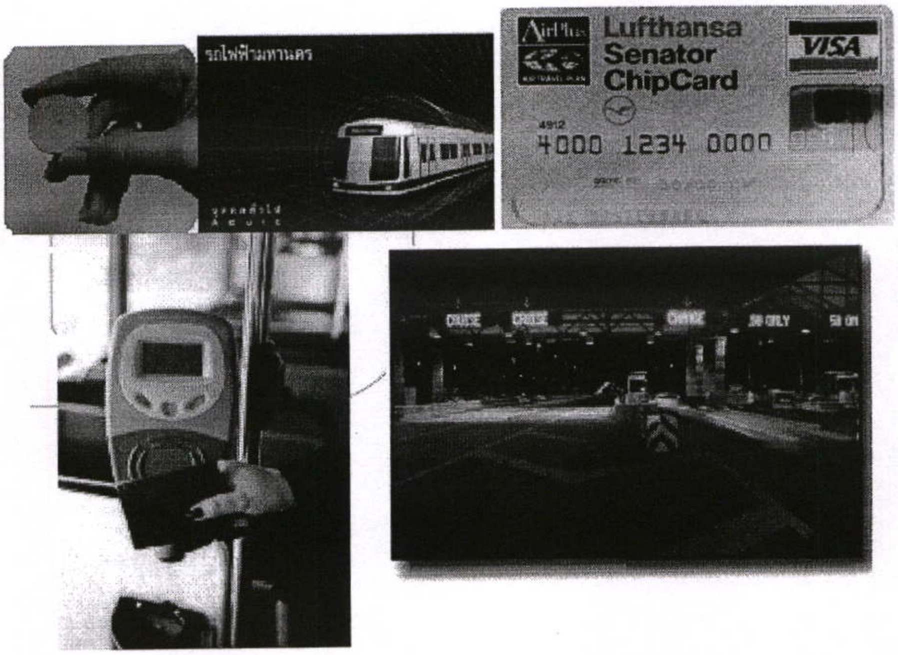
รูปที่ 2.19 ระบบตรวจสอบการเข้าออก (Security access control) [6]

- **ระบบหนังสือเดินทางอิเล็กทรอนิกส์ (E-passport)** ที่ทางประเทศสหรัฐอเมริกากำลังกำหนดมาตรฐานการเข้าออกของประเทศ เพื่อป้องกันผู้ก่อการร้าย รวมไปถึง E-citizen ด้วย



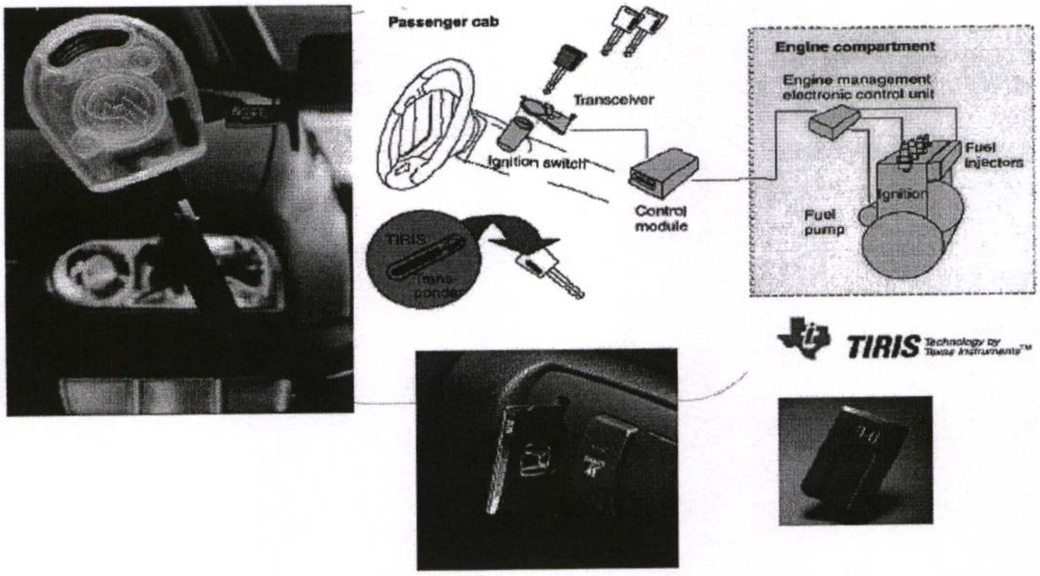
รูปที่ 2.20 ระบบหนังสือเดินทางอิเล็กทรอนิกส์ (E-passport) [6]

- **ระบบตั๋วอิเล็กทรอนิกส์และบัตรสมาชิก (E-ticket/Member card/Toll tags)** เช่น บัตรทางด่วน บัตรรถไฟฟ้าใต้ดิน บัตรเครดิตหรือเดบิต



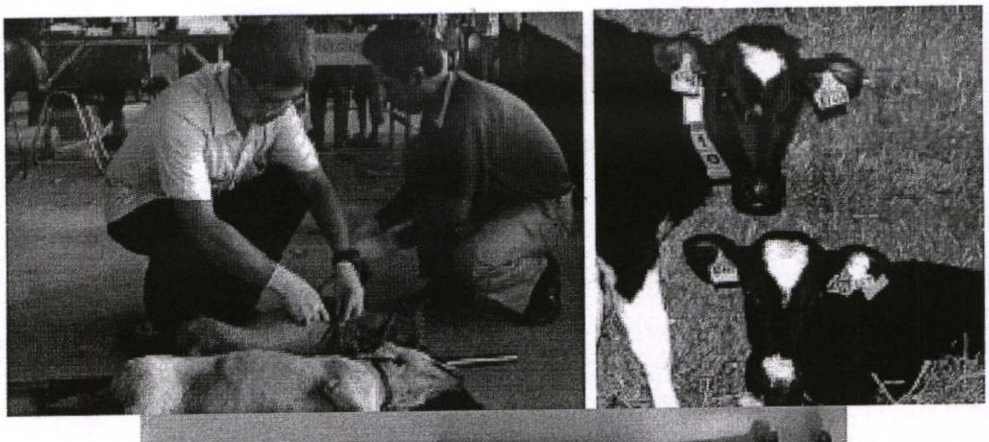
รูปที่ 2.21 ระบบตั๋วอิเล็กทรอนิกส์และบัตรสมาชิก (E-ticket/Member card/Toll tags) [6]

- **ระบบกุญแจอิล็กทรอนิกส์ (Electronic immobillizer)** ในรถยนต์ ป้องกันกุญแจผิดในการขโมยรถยนต์ (Smart key entry) พวก Keyless ในรถยนต์ราคาแพงบางรุ่นก็เริ่มนำมาใช้งานแล้ว



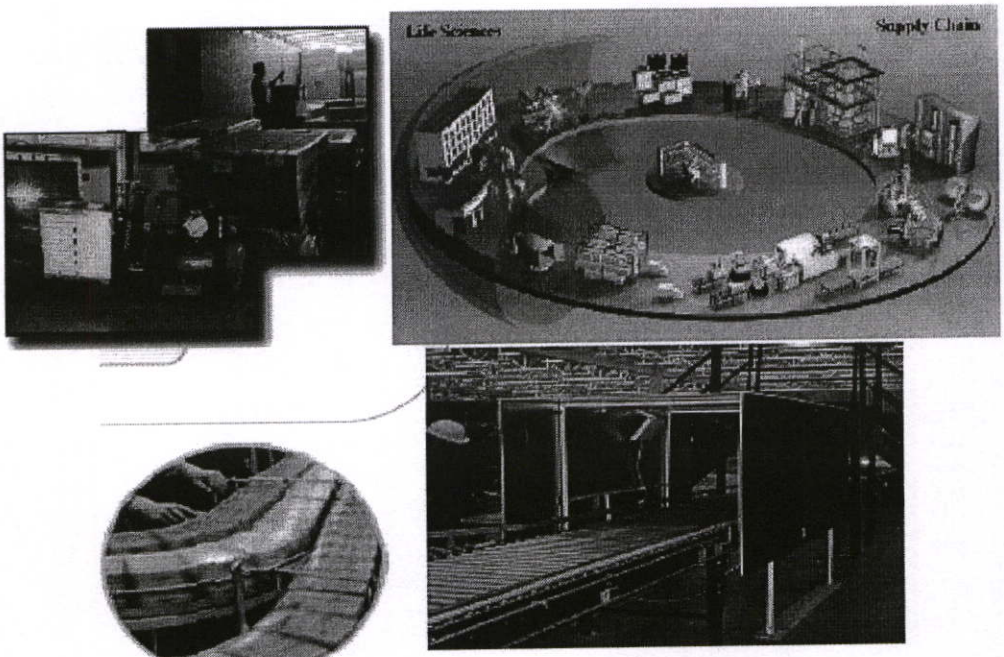
รูปที่ 2.22 ระบบกุญแจอิล็กทรอนิกส์ (Electronic immobillizer) [6]

- **ระบบ Animal tracking** ในการพัฒนาด้านปศุสัตว์ให้เป็นระบบฟาร์มออโตเมชัน ด้วยชิพ RFID ติดตัวสัตว์เลี้ยง ทำให้สามารถทราบเจ้าของ ตรวจสอบสายพันธุ์ การให้อาหารและการควบคุมโรคติดต่อในสัตว์ รวมถึงการสร้าง Food trace ability



รูปที่ 2.23 ระบบ Animal tracking [6]

- ระบบ Logistic ภาพที่จะเห็นในโรงงานในอนาคต คือสามารถติด Tags ไว้กับชิ้นงานเมื่อชิ้นงานผ่านสายพานขนสินค้าในโรงงาน แต่ละแผนกจะรู้ว่าต้องทำอย่างไร ติดอะไรบ้าง และต้องส่งไปที่ไหนต่อ รวมถึงการจัดการสินค้าในคลังสินค้าว่ารับสินค้ามาเมื่อใด จะต้องเก็บไว้ที่ไหน จะส่งไปไหนยังไง ใครจะมารับ ส่วนภาพที่ผู้บริโภคจะเห็นคือ การซื้อสินค้าในซูเปอร์มาร์เก็ต เวลาซื้อก็หยิบใส่ตะกร้าคิดเงินผ่านเครื่องอ่าน RFID ครั้งเดียวคิดเงินได้ทันที ไม่ต้องหยิบมายิงบาร์โค้ดทีละชิ้นให้เสียเวลา และเตือนผู้ซื้อได้หากสินค้าที่ซื้อหมดอายุ



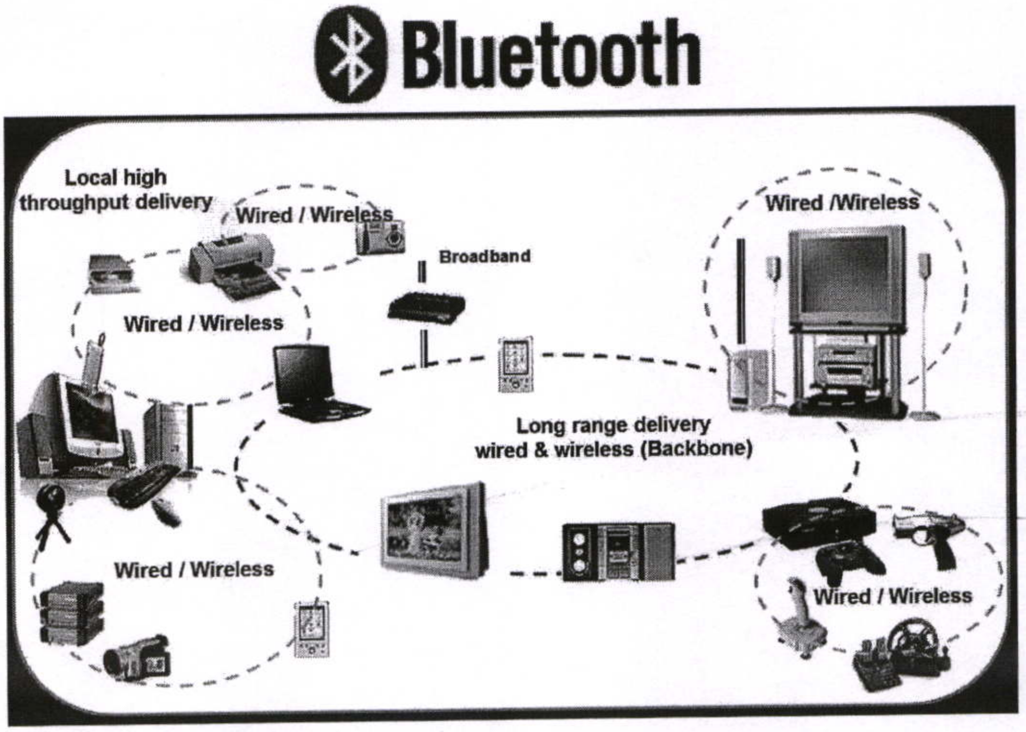
รูปที่ 2.24 ระบบ Logistic [6]

2.11 ระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ (Bluetooth)

ปัจจุบันการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธมีปริมาณมากขึ้น บลูทูธเป็นเทคโนโลยีของอินเตอร์เฟสทางคลื่นวิทยุ(Universal radio interface) สำหรับใช้ในการเชื่อมโยงสื่อสารไร้สายในแถบความถี่ 2.45 GHz ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ถือเคลื่อนย้ายได้ สามารถติดต่อเชื่อมโยงสื่อสารแบบไร้สายระหว่างกันในระยะห่างสั้นๆ ได้ อุปกรณ์แต่ละตัวสามารถติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นๆได้สูงสุดถึง 7 เครื่องพร้อมกัน และปัจจุบันนี้เทคโนโลยีบลูทูธก็ได้กลายเป็นแฟชั่น เครื่องประดับที่บ่งบอกถึงความทันสมัยและอิสระในโลกของการสื่อสารที่มักจะพบในอุปกรณ์พีดีเอ(Personal digital assistants: PDA) พ็อกเก็ตพีซี(Pocket PC) หรือโทรศัพท์มือถือ ส่วนใหญ่ใช้สำหรับรับ-ส่งไฟล์ขนาดเล็ก โดยบลูทูธเป็นทางเลือกในการส่งผ่านข้อมูลแบบไร้สายระหว่างคอมพิวเตอร์กับโทรศัพท์มือถือ(Mobile phone) หรือเครื่องพิมพ์กับ

คอมพิวเตอร์ เป็นต้น เพื่อรองรับระบบมัลติมิเดียต่างๆ โดยบลูทูธนั้นสามารถส่งได้ทั้งที่เป็นไฟล์ รูปภาพ เสียง วีดีโอ เป็นต้น

เรื่องของบลูทูธไม่ได้จำกัดแค่บนโทรศัพท์มือถือเท่านั้น มีการพัฒนาใช้งานกับอุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อเพิ่มความสะดวกให้กับผู้บริโภค เช่น เมาส์ คีบอร์ดไร้สาย หูฟังสเตอริโอ เครื่องเล่นซีดี กล้องถ่ายวีดีโอ กล้องถ่ายรูปดิจิตอล รีโมทเปิด-ปิดประตู หรือระบบ Keyless แม้กระทั่งในรถยนต์ และบัตรผ่านนิรภัย ในปัจจุบันบลูทูธเป็นระบบไร้สายมาตรฐานบนเครื่องโทรศัพท์มือถือทุกเครื่อง คอมพิวเตอร์ โน็ตบุ๊ค รวมไปถึงเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆและจะทำให้ตลาดการสื่อสารเปลี่ยนรูปแบบใหม่ทำให้การใช้บริการสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น



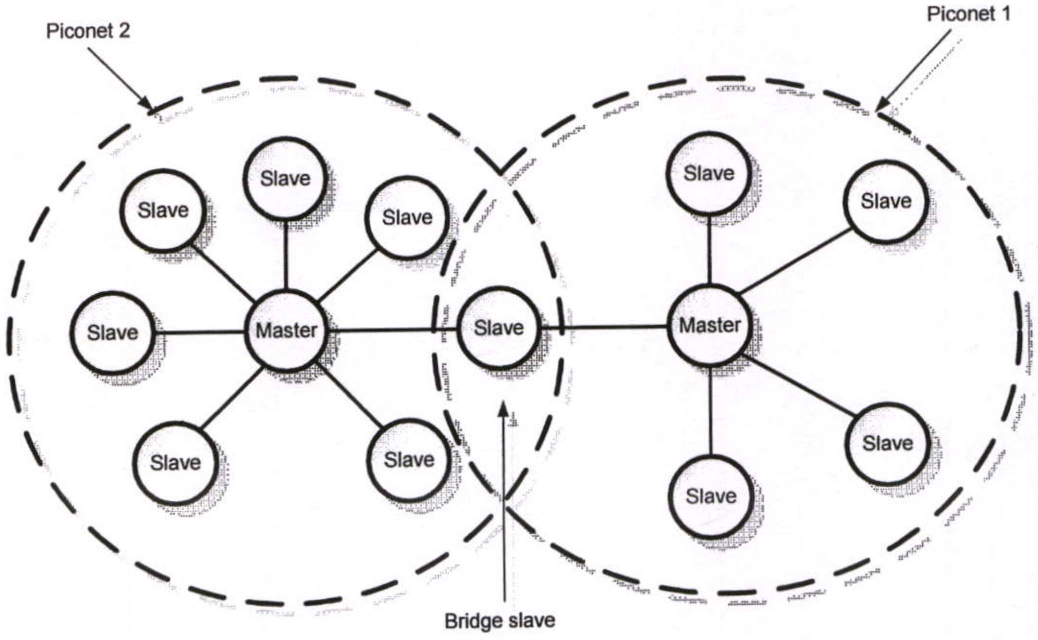
รูปที่ 2.25 การใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1

โดยทั่วไประบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1 เป็นส่วนหนึ่งของระบบการเชื่อมต่อเครือข่ายบริเวณส่วนบุคคลไร้สาย (Wireless personal area networks: WPANs) ซึ่งเป็นระบบการสื่อสารระยะสั้นที่มีอัตราการส่งข้อมูล 36 Kbps ถึง 1 Mbps ระยะทางในการส่งข้อมูลไม่เกิน 10 เมตร กำลังส่งไม่เกิน 100 mW และใช้ย่านความถี่ที่ 2.45 GHz ซึ่งเป็นความถี่เดียวกันกับระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องนำมาวิเคราะห์เกี่ยวกับผลกระทบการแทรกสอดจากสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ

2.11.1 สถาปัตยกรรมของบลูทูธ (Bluetooth)

เทคนิคการส่งสัญญาณของบลูทูธนั้นคือ Frequency hopping spread spectrum (FHSS) ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีการแบ่งช่วงความถี่ออกเป็นช่องสัญญาณย่อยๆ แล้วมีการย้ายความถี่ไปเรื่อยๆ เป็นจังหวะที่ฝั่งผู้รับและฝั่งผู้ส่งทราบว่าความถี่ถัดไปนี้คือความถี่อะไร การย้ายความถี่ไปเรื่อยๆ นี้ช่วยลดปัญหาสัญญาณรบกวนได้ เนื่องจากเมื่อมีสัญญาณรบกวนที่ความถี่หนึ่งๆ ก็จะไม่สามารถรบกวนความถี่ที่เหลือได้ การสื่อสารจึงไม่ถูกตัดขาดลง ต่างจากวิธีแบบเดิมที่ใช้ความถี่เดียวในการรับส่งข้อมูล เมื่อถูกรบกวนที่ความถี่นี้ก็จะไม่ติดต่อกันได้เลย

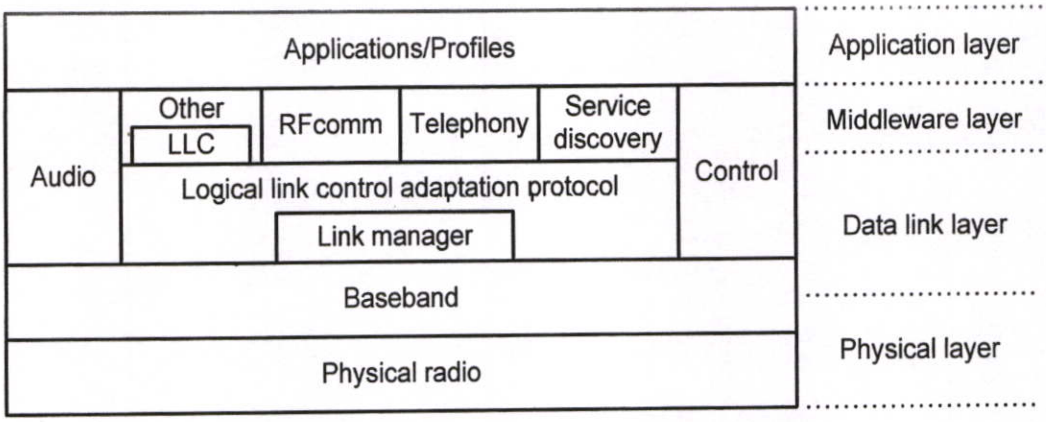
ขอบเขตพื้นฐานของระบบสื่อสารของบลูทูธเรียกว่า พิโคเน็ต (Piconet) ซึ่งประกอบด้วยโหนดแม่ (Master) และโหนดลูก (Slave) อีกไม่เกิน 7 โหนด ที่สื่อสารกันภายในระยะทางไม่เกิน 10 เมตร พิ-โคเน็ตหลายๆ ระบบสามารถที่จะมีอาณาเขตซ้อนทับกันได้และทำงานร่วมกันได้ เรียกว่า สแก็ตเตอร์เน็ต (Scatternet) แสดงได้ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 พิโคเน็ต 2 ระบบสามารถนำมาสร้างเป็นสเก็ตเตอร์เน็ตได้ [8]

2.11.2 โพรโตคอลสแต็กสำหรับระบบบลูทูธ

องค์กร IEEE ได้ทำการปรับปรุงบลูทูธเพื่อให้สามารถเข้าไปเป็นหนึ่งในมาตรฐานในตระกูล 802 ดังรูป 2.27 แสดงสถาปัตยกรรมของบลูทธที่ได้รับการปรับปรุง



รูปที่ 2.27 สถาปัตยกรรมของมาตรฐาน 802.15.1 หรือบลูทูธที่ได้รับการปรับปรุง [8]

2.11.2.1 ชั้นสื่อสาร Radio layer ในระบบบลูทูธ

ชั้นล่างสุดเป็นชั้นสื่อสาร Radio Layer ทำการเคลื่อนย้ายบิตข้อมูลระหว่างโหนดแม่กับโหนดลูก ซึ่งเป็นระบบที่ใช้พลังงานน้อยที่มีรัศมีการส่งเพียง 10 เมตรและทำงานในย่านความถี่ 2.45 GHz ของ ISM band ช่องสื่อสารจะถูกแบ่งออกเป็น 79 ช่องโดยมีความกว้างช่องละ 1 MHz และใช้วิธีการแปลงสัญญาณแบบ frequency shift keying ที่ส่งข้อมูลออกไป 1 บิตต่อ Hz ทำให้มีความเร็วรวมในการส่งข้อมูลเป็น 1 Mbps และใช้การกำหนดช่องสัญญาณแบบเทคนิค frequency hopping spread spectrum (FHSS) ซึ่งมีความเร็วในการเปลี่ยนช่องสัญญาณ 1600 ครั้งต่อวินาที และมีระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละช่องสัญญาณเป็น 625 ไมโครวินาที โหนดทุกโหนดในพิโคเน็ตจะเปลี่ยนช่องสัญญาณไปพร้อมๆ กันทั้งหมดโดยมีโหนดแม่เป็นผู้กำหนดรายละเอียดในการเปลี่ยนช่องสัญญาณ

เนื่องจากทั้งระบบ RFID และบลูทูธทำงานในย่านความถี่ 2.45 GHz ของช่อง ISM band จึงเกิดการรบกวนซึ่งกันละกัน เนื่องจากบลูทูธมีอัตราความเร็วในการเปลี่ยนช่องสัญญาณเร็วกว่าระบบ RFID มาก จึงเป็นไปได้ว่าระบบบลูทูธจะรบกวนสัญญาณการสื่อสารในระบบ RFID

2.11.2.2 ชั้นสื่อสาร Baseband layer ในระบบบลูทูธ

ชั้นสื่อสาร baseband layer ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนข้อมูลจากกระแสบิตที่ได้รับให้เป็นเฟรมข้อมูลและกำหนดรูปแบบที่มีความสำคัญให้ด้วย ในรูปแบบที่ง่ายที่สุด เฟรมแต่ละเฟรมจะถูกส่งผ่านช่องสื่อสารเรียกว่า ลิ้งค์ (link) ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างโหนดแม่และโหนดลูก ลิ้งค์แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ ACL และ SCO ลิ้งค์แบบ ACL (Asynchronous connection-less) ถูกนำมาใช้สำหรับการส่งข้อมูลแบบแพ็กเก็ตสวิทซ์ที่มีงานเป็นครั้งคราว ข้อมูลนี้ถูกส่งมาจากชั้นสื่อสาร L2CAP จากทางฝั่งผู้ส่ง และถูกส่งต่อไปให้ชั้นสื่อสาร L2CAP ทางฝั่งผู้รับ ข้อมูลแบบ ACL จะถูกส่งโดยไม่

รับประกันว่าถ้าเฟรมข้อมูลหายจะต้องถูกจัดส่งใหม่ โหนดลูกสามารถลิ้งค์ ACL ได้เพียงลิ้งค์เดียวไปยังโหนดแม่ ส่วนลิ้งค์แบบที่ 2 คือ SCO (Synchronous connection oriented) ใช้สำหรับการส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ (real time) เช่น การเชื่อมต่อโทรศัพท์สำหรับการสนทนา ช่องสื่อสารประเภทนี้จะถูกกำหนดให้ใช้ช่องเวลาที่แน่นอนในแต่ละทิศทางที่ส่งข้อมูล เนื่องจาก ข้อจำกัดในเรื่องเวลาการทำงานของลิ้งค์ SCO ทำให้ไม่มีการส่งข้อมูลเฟรมซ้ำ การให้ตัวลูกสามารถมีลิงค์ SCO ได้มากถึง 3 ลิงค์ ไปยังโหนดแม่เพียงโหนดเดียว ลิงค์ SCO สามารถถ่ายทอดสัญญาณเสียงได้ 64,000 bps ผ่านทางช่องสื่อสาร

2.11.2.3 ชั้นสื่อสาร L2CAP ในระบบบลูทูธ

ชั้นสื่อสาร L2CAP มีหน้าที่หลัก 3 ประการ

ประการแรก ทำหน้าที่รับแพ็กเก็ตข้อมูลจากชั้นสื่อสาร ชั้นบนซึ่งมีขนาดไม่เกิน 64 กิโลไบต์ แล้วจัดการแบ่งออกเป็นเฟรมเพื่อส่งต่อไปยังผู้รับ ทางฝั่งผู้รับก็จะจัดการรวบรวมเฟรมต่างๆ ที่ส่งมาแล้วประกอบกลับเป็นแพ็กเก็ตเพื่อส่งต่อไปให้ชั้นสื่อสารชั้นต่อไป

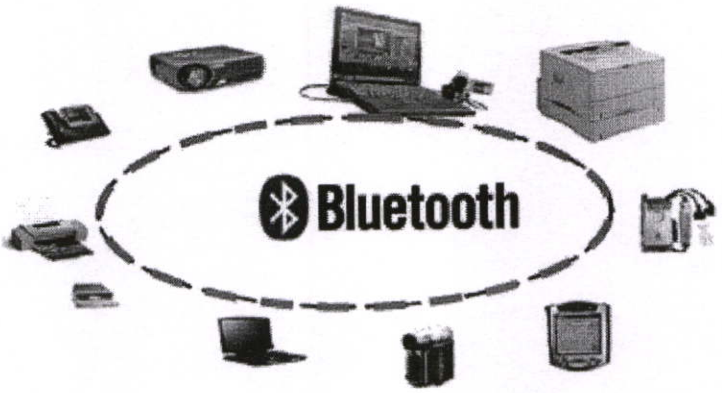
ประการที่สอง ทำหน้าที่เกี่ยวกับการผสมสัญญาณ (Multiplexing) และแยกสัญญาณ (Demultiplexing) ของแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกส่งมาจากหลายแหล่ง เมื่อจัดการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลขึ้นมาใหม่ทางฝั่งผู้รับ ชั้นสื่อสาร L2CAP จะทำการค้นหาว่าโปรโตคอลใดเป็นเจ้าของแพ็กเก็ตนั้นและจัดการส่งคืนให้

ประการที่สาม ทำหน้าที่เกี่ยวกับคุณภาพของการให้บริการ ทั้งในช่วงที่กำลังจัดตั้งลิ้งค์และในระหว่างการทำงานตามปกติ ในระหว่างการจัดตั้งลิงค์ก็จะทำการต่อรองขนาดของปริมาณข้อมูลจริงที่จะส่งไปในเฟรมข้อมูล เพื่อป้องกันไม่ให้เฟรมขนาดใหญ่สร้างปัญหาให้แก่อุปกรณ์ขนาดเล็ก คุณสมบัติข้อนี้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพราะอุปกรณ์ส่วนหนึ่งไม่สามารถรับเฟรมข้อมูล ขนาด 64 กิโลไบต์ได้

2.11.3 การนำระบบ Bluetooth ไปใช้งาน

ในอนาคตนั้นมีแนวโน้มว่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เครื่องใช้ภายในบ้านชนิดต่างๆ นั้นต้องการติดต่อสื่อสารข้อมูลกันระหว่างตัวอุปกรณ์มากขึ้น

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วๆไป เช่น ทีวี วิทยุ วีดีโอเกมส์ กล้องดิจิตอล เครื่องขยายเสียง ลำโพง เครื่องเล่นดีวีดี โทรศัพท์เคลื่อนที่ พีดีเอ เครื่องเล่นเอ็มพีสาม เครื่องพิมพ์ เครื่องฉายภาพ อุปกรณ์เก็บข้อมูล คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ และคอมพิวเตอร์แบบพกพา ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่สามารถประยุกต์ใช้งานในระบบ Bluetooth

ซึ่งอุปกรณ์เหล่านั้นล้วนสามารถนำเอาเทคโนโลยีระบบ Bluetooth มาประยุกต์ เพื่อให้สามารถติดต่อสื่อสาร แลกเปลี่ยนข้อมูลและส่งผ่านข้อมูลได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น เช่น มีการส่งสัญญาณภาพจากเครื่องเล่นดีวีดีไปยังเครื่องฉายภาพเพื่อทำการฉายภาพ หรืออาจทำการส่งข้อมูลวีดีโอจากกล้องถ่ายภาพวีดีโอไปยังคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะเพื่อบันทึกและตัดต่อภาพวิดีโอนั้นๆ เป็นต้น

นอกจากนั้นระบบ Bluetooth สามารถนำไปประยุกต์กับระบบเซนเซอร์ต่างๆ ได้ดังตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ทางการแพทย์ซึ่งแต่เดิมจะมีการใช้สายในการส่งผ่านข้อมูลที่วัดได้จากร่างกายผู้ป่วยไปยังเครื่องที่ทำการวิเคราะห์ซึ่งหากมีการนำการสื่อสารแบบ Bluetooth นี้ไปประยุกต์ใช้งานก็จะทำให้ความยุ่งยากเกี่ยวกับสายสัญญาณต่างๆหมดไป และเนื่องจากข้อดีของระบบ Bluetooth ที่ใช้กำลังส่งที่ต่ำจึงทำให้ไม่ไปรบกวนอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ

2.12 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับระบบการสื่อสาร RFID และBluetooth ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อันประกอบด้วยรายละเอียดของสถาปัตยกรรมและหลักการทำงาน ย่านความถี่และมาตรฐานต่างๆ รวมถึงการนำไปใช้งานของเทคโนโลยีระบบ RFID ซึ่งเทคโนโลยีทั้งสองระบบนั้นปัจจุบันมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย และที่สำคัญระบบ Bluetooth นั้นมีการใช้งานที่ย่านความถี่ 2.45 GHz ซึ่งตรงกับย่านความถี่ของระบบ RFID และอาจจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการส่งผ่านของช่องสัญญาณระบบ RFID ซึ่งบทต่อไปจะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ระบบ RFID เป็นการวิเคราะห์การสูญเสียการแพร่กระจายคลื่น และผลกระทบการแทรกสอดจากสัญญาณของระบบการสื่อสาร Bluetooth

บทที่ 3

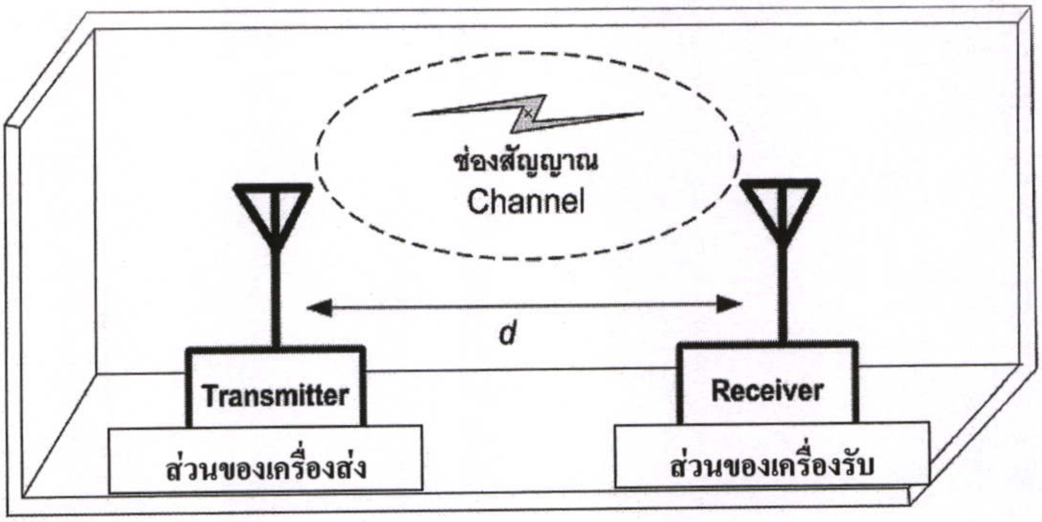
ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ระบบ RFID

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้ได้อธิบายถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ของการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ (Radio wave propagation) บนช่องสัญญาณในรูปแบบต่างๆ ซึ่งนำมาใช้ในการออกแบบและสร้างแบบจำลองสำหรับระบบการส่งผ่านสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ รวมถึงผลกระทบการแทรกสอดจากสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธที่มีต่อระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ โดยปกติสัญญาณที่ส่งออกไปจะถูกลดทอนและอาจถูกรบกวนด้วยสัญญาณในระบบการสื่อสารต่างๆ ซึ่งส่งผลทำให้ช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงและส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสัญญาณทางด้านรับได้ ปัจจุบันระบบการสื่อสารมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและมีความเที่ยงตรงแม่นยำ ซึ่งมีทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์เพื่อเป็นมาตรฐานและข้อบังคับสำหรับเทคโนโลยี RFID ที่เรานำมาใช้งาน เพื่อหาค่าประสิทธิภาพสำหรับการทดลองวิจัย โดยระบบ RFID ที่เรานำมาศึกษานั้นจะศึกษาในเรื่องของค่าการสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่น อัตราการขยายเชิงวิถี และอัตราบิตผิดพลาด ทั้งนี้จึงต้องพิจารณาและวิเคราะห์ตามหลักทฤษฎีจึงจะได้ทราบค่าที่ได้จริง และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบการสื่อสารแบบไร้สายนั้นต้องมีการพิจารณาระบบการส่งผ่านสัญญาณที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละสภาวะของช่องสัญญาณด้วยเช่นกัน

3.2 ช่องสัญญาณการสื่อสารไร้สายภายในอาคาร

การสื่อสารไร้สายโดยทั่วไปนั้นระบบจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบที่สำคัญๆ อยู่ทั้งหมด 3 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนของเครื่องส่ง (Transmitter) ช่องสัญญาณ (Channel) ส่วนของเครื่องรับ (Receiver) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งทั้ง 3 ส่วนนี้ล้วนมีความสำคัญทั้งสิ้น ในการวิเคราะห์และการออกแบบระบบการสื่อสารจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ทั้ง 3 ส่วน เพื่อความถูกต้องและประสิทธิภาพโดยรวมของระบบว่าระบบที่ได้ออกแบบนั้นมีประสิทธิภาพเป็นเช่นใด ในการใช้งานของระบบใดๆ การแพร่กระจายคลื่นจากภาคส่งก่อนจะมาถึงภาครับนั้นสัญญาณข้อมูลที่ต้องการต้องเดินทางผ่านช่องสัญญาณเสียก่อนซึ่งช่องสัญญาณในการสื่อสารนี้จะมีคุณสมบัติของช่องสัญญาณที่แตกต่างกันและเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่ได้นำเอาระบบการสื่อสารแบบไร้สายนั้นๆ ไปใช้งาน



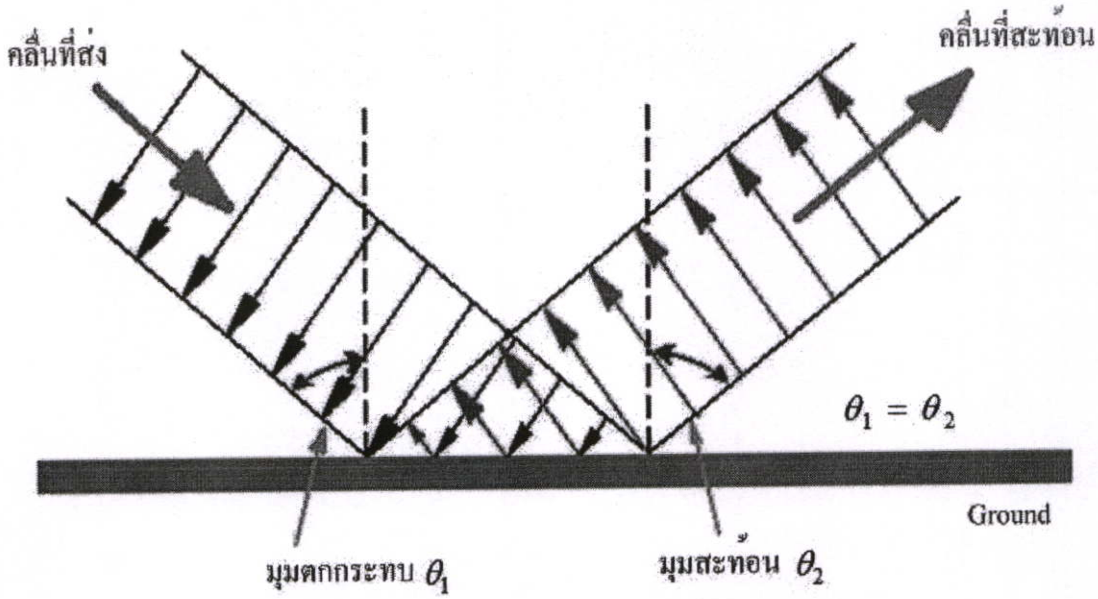
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบหลักของระบบการสื่อสารแบบไร้สาย

3.2.1 ลักษณะของคลื่นที่เกิดขึ้นภายในช่องสัญญาณ

ลักษณะของคลื่นที่เกิดขึ้นในช่องสัญญาณ โดยทั่วไปแล้วจะเกิดเนื่องจากคลื่นได้แพร่กระจายเข้ามายังช่องสัญญาณซึ่งเป็นอากาศและช่องสัญญาณนั้นๆ อาจมีวัตถุอยู่บริเวณที่ระบบนั้นใช้งานอยู่ และอาจถูกรบกวนด้วยสัญญาณในระบบการสื่อสารต่างๆ จึงอธิบายลักษณะของคลื่นที่ได้แพร่กระจายภายในช่องสัญญาณดังนี้

3.2.1.1 การสะท้อน (Reflection)

การสะท้อนคือ การที่คลื่นเคลื่อนที่ไปกระทบกับตัวกลางที่ต่างชนิดกันกับตัวกลางเดิมแล้วคลื่นมีการเคลื่อนที่สะท้อนกลับมายังตัวกลางเดิม ซึ่งคลื่นที่สะท้อนกลับและคลื่นที่ตกกระทบจะเรียกว่า คลื่นสะท้อนและคลื่นตกกระทบตามลำดับ ลักษณะการสะท้อนสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.2 จากรูปแสดงให้ทราบถึงลักษณะการสะท้อนของคลื่น ซึ่งจะแสดงในรูปของเส้นแสงหรือเปรียบเหมือนการเดินทางของคลื่น โดยรูปที่ 3.2 ส่วนของการสะท้อนประกอบด้วยคลื่นตกกระทบ (เส้นทางด้านซ้าย) คลื่นสะท้อน (เส้นทางด้านขวา) และเส้นตั้งฉาก (เส้นปะอ้างอิง) สำหรับมุม θ ทั้ง 2 มุมคือ θ_1 และ θ_2 จะเรียกว่ามุมตกกระทบและมุมสะท้อน ซึ่งจะมีค่าเท่ากันเสมอ



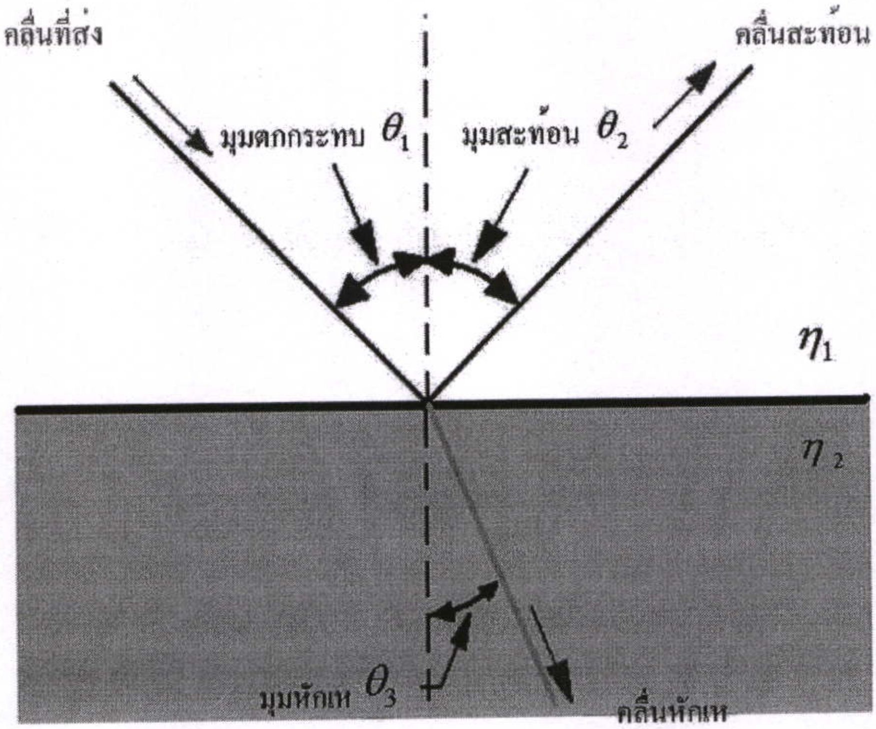
รูปที่ 3.2 ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นที่เกิดการสะท้อน

3.2.1.2 การหักเห (Refraction)

การหักเห คือการที่คลื่นเกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่เมื่อเคลื่อนผ่านตัวกลางที่ต่างกันตั้งแต่ 1 ตัวกลางขึ้นไป ซึ่งเป็นไปตามกฎของ Snell [9] โดยที่การเปลี่ยนแปลงทิศทางดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นหรือค่าดัชนีหักเหของตัวกลางทั้ง 2 และการหักเหจะเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณผิวของตัวกลางเท่านั้น การหักเหของคลื่นมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะด้วยกันคือ คลื่นหักเหเข้าหาเส้นตั้งฉากและคลื่นหักเหออกจากเส้นตั้งฉาก คลื่นจะหักเหออกจากเส้นตั้งฉากก็ต่อเมื่อคลื่นเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากไปยังตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย ในทางกลับกันถ้าคลื่นเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยไปยังตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก คลื่นจะหักเหเข้าหาเส้นตั้งฉาก สมการในการหักเหของคลื่นเป็นไปตามกฎของ Snell แสดงดังสมการที่ (3.1)

$$\eta_1 \sin\theta_1 = \eta_2 \sin\theta_3 \tag{3.1}$$

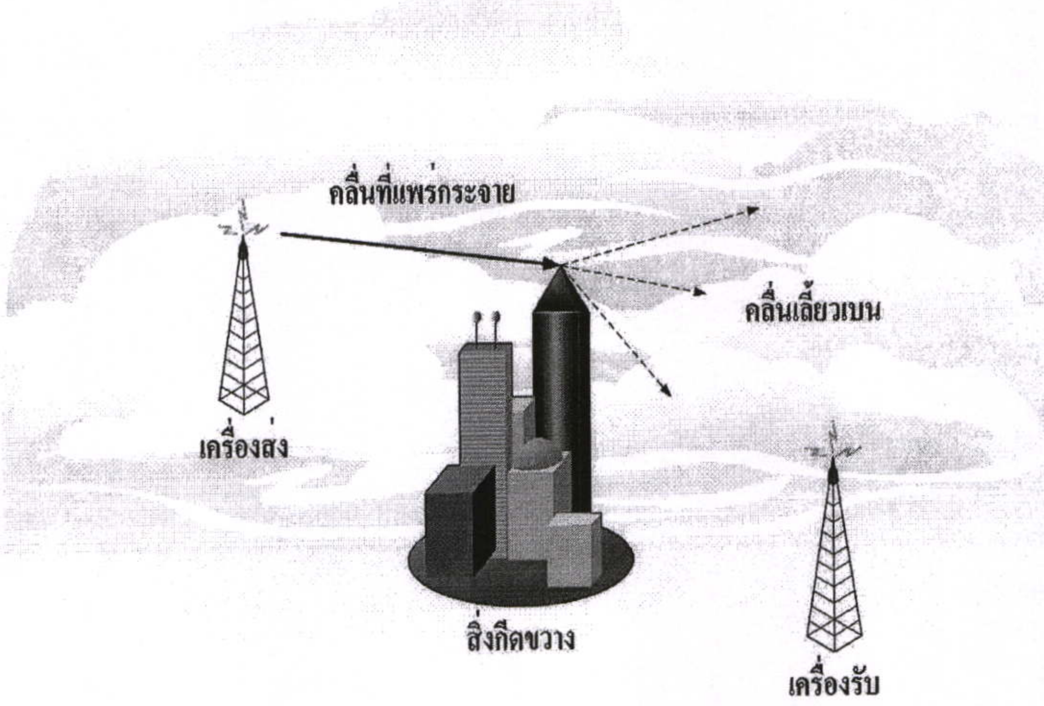
โดยที่ η_x คือดัชนีหักเหของตัวกลาง x ส่วน θ_1 และ θ_3 คือมุมตกกระทบและมุมหักเหตามลำดับ



รูปที่ 3.3 ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นสะท้อนและหักเห

3.2.1.3 การเลี้ยวเบน (diffraction)

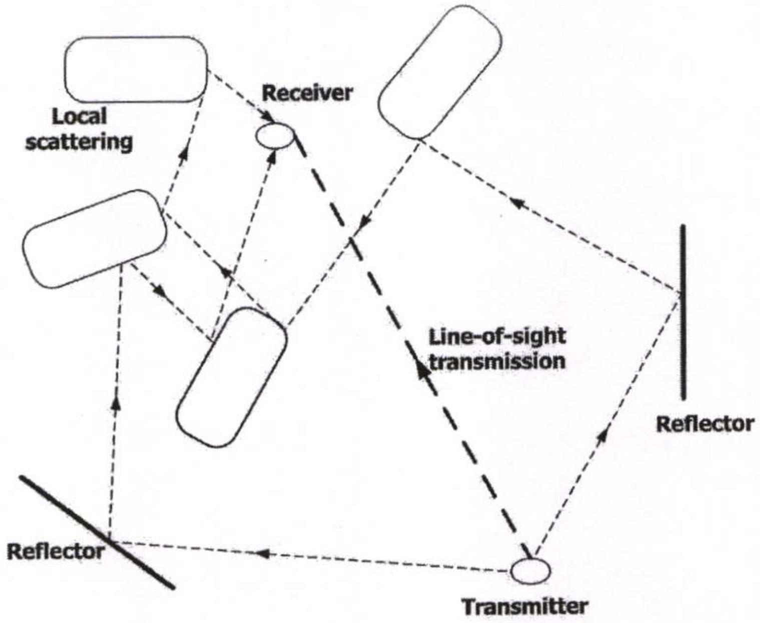
การเลี้ยวเบนของคลื่นเกิดขึ้นในกรณีที่มีวัตถุบางอย่างที่มีขอบกีดขวางทางอยู่ระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณ ทำให้ไม่เกิดเส้นทางตรง (line of sight: LOS) ในการเดินทางของคลื่นระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ แต่สัญญาณยังสามารถส่งผ่านไปยังเครื่องรับได้ โดยปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ คือการเลี้ยวเบน คลื่นจะเดินทางโดยการเลี้ยวอ้อมวัตถุนั้นๆ การเลี้ยวเบนของคลื่นนี้เองที่ทำให้เครื่องรับยังสามารถรับสัญญาณได้บางส่วนและบางส่วนก็ถูกลดทอนลงไปบ้างในขณะที่เครื่องรับถูกบดบังด้วยสิ่งกีดขวาง รูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว



รูปที่ 3.4 ลักษณะการเลี้ยวเบนของคลื่น

3.2.2 ช่องสัญญาณหลายวิถี

ในระบบการสื่อสารไร้สาย เมื่อเครื่องส่งได้ทำการส่งสัญญาณแพร่กระจายออกมาจากเครื่องส่ง สัญญาณได้เดินทางผ่านช่องสัญญาณ ซึ่งสัญญาณที่ได้เดินทางผ่านช่องสัญญาณมานี้ได้เดินทางมายังเครื่องรับในลักษณะหลายเส้นทาง อันเนื่องมาจากสัญญาณที่แพร่กระจายออกมานั้นได้เดินทางออกมาในลักษณะหลายทิศทางประกอบกับสภาวะแวดล้อมของช่องสัญญาณที่สัญญาณได้เดินทางผ่านมานั้นได้มีสิ่งกีดขวางต่างๆ ทำให้สัญญาณเดินทางได้ลักษณะขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่ระบบนั้นใช้งานอยู่ จึงขออธิบายไว้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เส้นทางการแพร่กระจายสัญญาณหลายวิถี [10]

จากรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าเส้นทางในการเดินทางของสัญญาณที่เดินทางผ่านช่องสัญญาณเมื่อเดินทางมาถึงเครื่องรับแล้วมีหลายเส้นทางมาก อันเนื่องมาจากปัจจัยหลายด้าน เช่น การหักเหของคลื่น การสะท้อนของคลื่น การเลี้ยวเบนของคลื่น ทำให้เกิดเป็นช่องสัญญาณหลายวิถีนั่นเอง ช่องสัญญาณหลายวิถีสามารถอธิบายโดยใช้ผลตอบสนองของช่องสัญญาณแสดงดังสมการที่ (3.2)

$$h(t) = \sum_{k} \beta_k e^{j\theta_k} \delta(t - \tau_k) \tag{3.2}$$

โดยที่

$\delta(x)$ คือฟังก์ชัน Dirac delta

β_k คือขนาดของสัญญาณ

τ_k คือ เวลาในการประวิงของสัญญาณ

θ_k คือมุมเฟสของสัญญาณ

k คือ ลำดับของสัญญาณมีค่าตั้งแต่ 0 จนถึง ∞

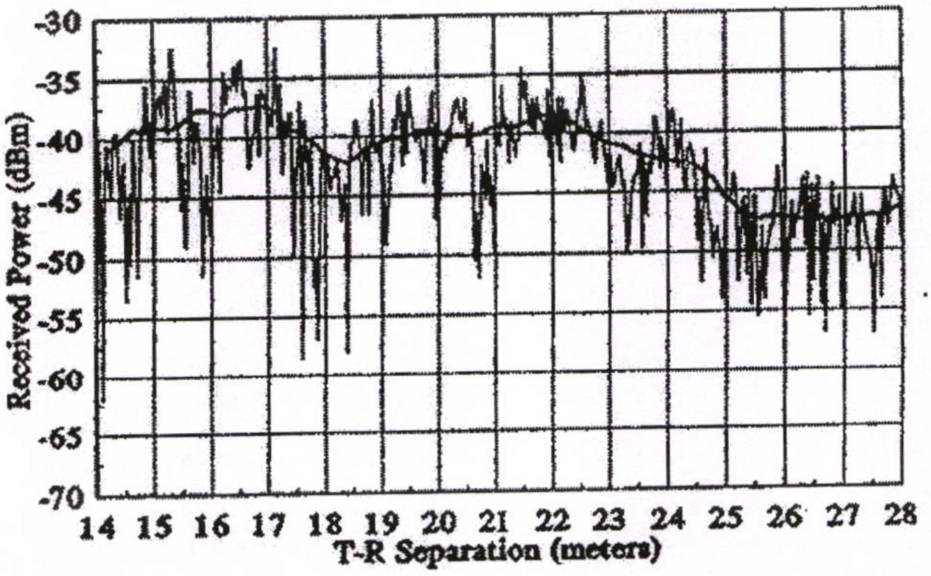
3.3 การแพร่กระจายคลื่น

โดยปกติเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางไปยังอวกาศว่าง (Free space) จะเกิดการแพร่กระจายคลื่น (Propagation) ที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจอยู่ในรูปของการสะท้อน (Reflection) การเลี้ยวเบน (Diffraction) และการกระจัดกระจาย (Scattering) ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาจึง

ถูกลดทอนและอาจถูกรบกวนด้วยสัญญาณในระบบการสื่อสารอื่น รวมถึงเกิดการเปลี่ยนแปลงบนวัตถุที่ล้อมรอบในบริเวณเหล่านั้นด้วยเช่นกัน และเนื่องจากระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับที่เพิ่มมากขึ้นยิ่งส่งผลทำให้ความแรงของสัญญาณมีค่าลดลง รวมทั้งอาจจะทำให้เกิดการจางหายหลายวิถีด้วย (Multipath fading)

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจะอยู่บนพื้นฐานของค่าความแรงเฉลี่ยของสัญญาณที่รับได้ตามระยะทางที่กำหนด โดยระยะทางระหว่างเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ (Transmitter-Receiver: T-R) จะถูกนำมาใช้ในการประมาณพื้นที่ระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่ง ถ้าระยะทางมีขนาดหลายร้อยเมตรขึ้นไปจะเรียกรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบนี้ว่า “การจางหายแบบสเกลกว้าง” (Large-scale fading) สำหรับในช่วงระยะทางสั้นๆ หรือระยะทางไม่ไกลมากนัก จะเรียกรูปแบบนี้ว่า “การจางหายแบบสเกลแคบ” (Small-scale fading)

ถ้าเครื่องรับเคลื่อนที่ด้วยระยะทางไม่ไกลมากนัก ความแรงของสัญญาณที่ได้รับนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจนทำให้เกิดการจางหายที่เป็นการจางหายแถบความถี่แคบ ซึ่งอาจทำให้สัญญาณมีขนาดลดลงเกือบ 3-4 ขั้น หรือประมาณ 30-40 dB แต่ถ้าเครื่องรับมีการเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการจางหายที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าเป็นการจางหายแบบสเกลกว้าง รูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างของระบบการสื่อสารภายในอาคารที่สัญญาณทางด้านรับมีการเปลี่ยนแปลงรูปของการจางหายแบบสเกลแคบและการจางหายแบบสเกลกว้าง จากรูปจะเห็นว่าการจางหายที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วนั้นจะเกิดขึ้นตามการเคลื่อนที่ของเครื่องรับ แต่ถ้าเป็นการจางหายแบบสเกลกว้างพบว่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 3.6 การจางหายในรูปของการจางหายแบบสเกลแคบและการจางหายแบบสเกลกว้าง [12]

3.4 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์สัญญาณการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่น

3.4.1 สมการฟรีสในรูปแบบเชิงซ้อนสำหรับช่องสัญญาณในอวกาศว่าง [11]

โดยปกติสูตรการส่งผ่านของฟรีสได้ถูกใช้อย่างกว้างขวาง และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณของช่องสัญญาณในระบบ RFID ดังนี้คือ

$$\mathrm{H}_{\mathrm{Friis}}(f) = \frac{V_{\mathrm{r}}(f)}{V_{\mathrm{t}}(f)} = \mathrm{H}_{\mathrm{f}} H_{\mathrm{r}} H_{\mathrm{t}} \tag{3.3}$$

สำหรับช่องสัญญาณอวกาศว่างแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ ได้วิเคราะห์การส่งผ่านจากทฤษฎีและหลักการส่งผ่านของฟรีสในรูปแบบเชิงซ้อนจากสมการ (3.3) ถึง (3.4) โดยพิจารณาให้สายอากาศส่ง (Tx) และสายอากาศรับ (Rx) มีอัตราขยายคงที่เป็นหนึ่ง ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณอวกาศว่าง H_f สามารถเขียนได้เป็น

$$\mathrm{H}_f(f) = \frac{\lambda}{4\pi \mathrm{d}} e^{(-jkd)} \tag{3.4}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \tag{3.5}$$

โดยที่

d คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ (T-R)

$\lambda = \frac{c}{f}$ คือ ความยาวคลื่น

c คือ ความเร็วของแสง = $3\times10^8\ m/s$

f คือ ความถี่ที่ทำการวัด

สำหรับฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ของช่องสัญญาณอวกาศว่าง $H_f(f)$ ในรูปแบบเชิงซ้อนของสมการฟรีสสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (3.6) ซึ่งสมการนี้ถูกทำให้มีคุณสมบัติของความถี่บวกและความถี่ลบเป็นไปตามคุณสมบัติของความเป็นสมเหตุสมผล

$$\begin{aligned} \mathrm{H}_a(f) &= \mathrm{H}_a(\theta_a, \varphi_a, f) \\ \text{โดยที่} \quad &= \hat{\theta}_a \mathrm{H}_{\mathrm{r}\theta}(\theta_a, \varphi_a, f) + \hat{\varphi}_a \mathrm{H}_{\mathrm{r}\varphi}(\theta_a, \varphi_a, f) \\ &= \mathrm{r}\ or\ \mathrm{t} \end{aligned} \tag{3.6}$$

โดยเวกเตอร์ และกำหนดให้มีขั้ว (Polarize) และสัมพันธ์ (Relate) กันตามสมการ (3.7) และ (3.8)

$$\hat{\theta}_{\mathrm{r}} = \hat{\theta}_{\mathrm{t}} \tag{3.7}$$

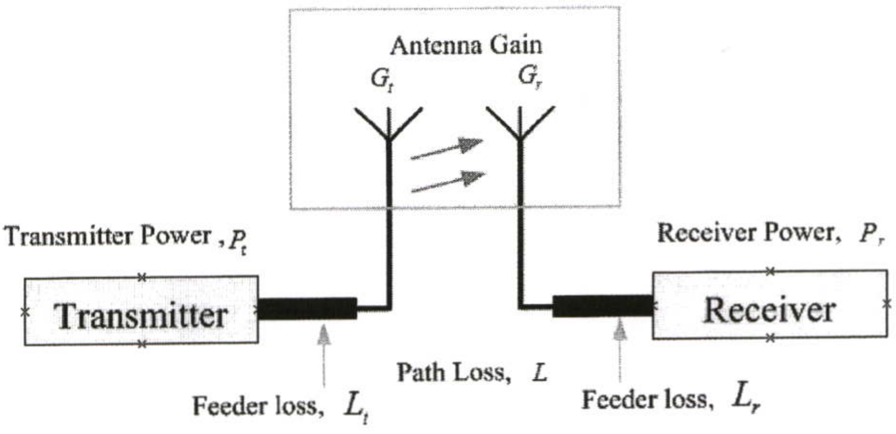
$$\hat{\varphi}_{\mathrm{r}} = -\hat{\varphi}_{\mathrm{t}} \tag{3.8}$$

สำหรับลักษณะของสัญญาณการส่งผ่านจะมีค่าดังสมการ (3.9) ความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณที่รับได้ V_r สามารถคำนวณได้โดยนำ H_f คูณกับ V_t โดยกำหนดให้ H_f คือสัญญาณที่วัดได้ในรูปของความถี่ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$V_{\mathrm{r}}(f,d) = H_{\mathrm{f}}(f,d)\cdot V_{\mathrm{t}}(f) = \begin{cases} \dfrac{cA}{8\pi f_b|f|d}e^{-j2\pi fd/c} & \left||f|-f_c\right| \le \dfrac{f_b}{2} \\ 0 & \left||f|-f_c\right| > \dfrac{f_b}{2} \end{cases} \tag{3.9}$$

ความหนาแน่นสเปกตรัมในรูปความถี่ของสัญญาณที่รับได้นี้พิจารณารวมความเพี้ยนที่เกิดจากช่องสัญญาณอวกาศว่างเข้าไปด้วย ซึ่งสามารถหาสัญญาณที่รับได้ในรูปของเวลาจากการแปลงฟูเรียร์ผกผัน (Inverse fourier transform) ของสมการ (3.10) สามารถเขียนได้เป็น

$$v_{\mathrm{r}}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_{\mathrm{r}}(f)e^{j2\pi ft}df \tag{3.10}$$



รูปที่ 3.7 ส่วนประกอบของระบบการสื่อสารแบบไร้สาย

3.4.2 สมการฟรีสสำหรับช่องสัญญาณอวกาศว่าง

ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการพิจารณาช่องสัญญาณการส่งผ่านในอวกาศว่าง โดยใช้สมการของฟรีสในการประมาณหาค่าแถบสัญญาณในช่องสัญญาณแคบที่อยู่ในระดับสายอากาศตัวส่งและตัวรับดังรูปที่ 3.11 โดยอัตราการขยายของสายอากาศในช่องสัญญาณอวกาศว่าง $G_{Friis}(f)$ [11] สามารถเขียนได้เป็น

$$G_{\mathrm{Friis}}(f)=\frac{P_{\mathrm{r}}(f)}{P_{\mathrm{t}}(f)}=G_{\mathrm{f}}(f)G_{\mathrm{r}}(f)G_{\mathrm{t}}(f) \tag{3.11}$$

จากสมการที่ 3.12 $G_f(f)$ คือ ตัวแปรที่ใช้อ้างอิงในตัวกลางอวกาศว่าง สามารถแสดงโดยสมการที่ 3.12 ดังนี้คือ

$$G_{\mathrm{f}}(f)=\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \tag{3.12}$$

โดยที่

G_t คือ กำลังขยายที่สายอากาศส่ง

G_r คือ กำลังขยายที่สายอากาศรับ

d คือระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ

$\lambda = \frac{c}{f}$ คือ ความยาวคลื่น

c คือ ความเร็วของแสง = $3\times10^8\ m/s$

f คือ ความถี่ที่ทำการวัด

สามารถสังเกตเห็นการเกิดจากจากการกระจายแบบทรงกลมของกำลังงานบนพื้นผิวของทรงกลมของรัศมี d ที่มีศูนย์กลางอยู่ที่สายอากาศ ตั้งแต่กำลังงานที่กระจายบนบริเวณพื้นผิวของทรงกลม ซึ่งมีมากที่ d^2 ค่ากำลังงานที่ปรากฏที่สายอากาศภาครับลดลง ตามส่วนกับ d^2

รูปที่ 3.8 การกระจายแบบ Isotropic เป็นต้นเหตุของการสูญเสียในอากาศว่าง

3.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองช่องสัญญาณ

ในการสื่อสารแบบไร้สายนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณไม่ว่าจะเป็นระดับของกำลังงาน เวลาประวิงที่เกิดขึ้นปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อสัญญาณที่รับได้ทั้งสิ้น เมื่อทำการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยังภาครับ โดยผลที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะต้องทำการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยวิธีการทดสอบจากนั้นผลที่ได้จากการทดสอบนั้นจำเป็นต้องนำมาวิเคราะห์ตามขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบหรือการเปลี่ยนแปลงดังที่ได้กล่าวไปแล้ว โดยในขั้นตอนนี้มีความสำคัญพอๆ กับขั้นตอนการทดสอบซึ่งมีความจำเป็นต้องทำความเข้าใจในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ โดยในหัวข้อนี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะพารามิเตอร์ที่สำคัญๆ ดังนี้

3.5.1 กำลังการสูญเสียเชิงวิถี (Power loss)

เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดของการแพร่กระจายคลื่นวิทยุที่ถูกนำมาใช้ในการคาดหมายประสิทธิภาพของระบบการสื่อสาร ซึ่งการสูญเสียเชิงวิถีนี้จะแทนการลดทอนของสัญญาณ มีขนาดจำนวนเต็มบวกโดยมีการวัดค่าเป็น dB และถูกกำหนดตามค่าความแตกต่างระหว่างกำลังทางด้านส่งและทางด้านรับ ค่าการสูญเสียจะถูกเรียกว่า การสูญเสียในอากาศเปิด (Free space loss) ซึ่งทั้งหมดอยู่ในการส่งสัญญาณและรับสัญญาณ ในกรณีที่ช่องสัญญาณขนาดใหญ่ก็จะเกิดการจางหายของสัญญาณ หรือการเคลื่อนที่ของช่องสัญญาณ การสูญเสียเชิงวิถีจะมีมากขณะที่ทำการวัดโดยตรงจนถึงการสูญเสียแบบต่างๆ อัตราการขยายของระบบคลื่นวิทยุ ดังนั้นจึงมีการพิจารณาอย่างละเอียดซึ่งขั้นตอนแรกจะทำการวิเคราะห์ระบบการสื่อสารไร้สาย สำหรับในส่วนการสูญเสียเชิงวิถีจะดูคุณลักษณะและอัตราขยายในระบบเป็นส่วนที่สำคัญ โดยที่ค่า การสูญเสียเชิงวิธีสามารถเขียนเป็นสมการได้คือ [12]

$$P_L(dB) = P_L(d_0) + 10n\log\left(\frac{d}{d_0}\right); d \geq d_0 \qquad (3.13)$$

โดยที่

d_0 คือ ระยะทางที่อ้างอิง

n คือ ค่าสูญเสียเชิงวิถีที่ขึ้นอยู่กับชนิดของอาคารและบริเวณโดยรอบ

d คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งกับสายอากาศด้านรับ

3.5.2 อัตราการขยายเชิงวิถี (Power gain)

อัตราขยายเชิงวิถีมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบ โดยอัตราขยายเชิงวิถีเป็นส่วนกลับของการสูญเสียเชิงวิธี โดยที่ค่าของสัญญาณทางด้านรับต่อสัญญาณทางด้านส่งการสูญเสียเชิงวิถีสามารถเขียนเป็นสมการได้คือ [12]

$$P_G(dB) = -[P_L(d_0) + 10n\log\left(\frac{d}{d_0}\right)]; d \geq d_0 \quad (3.14)$$

โดยที่

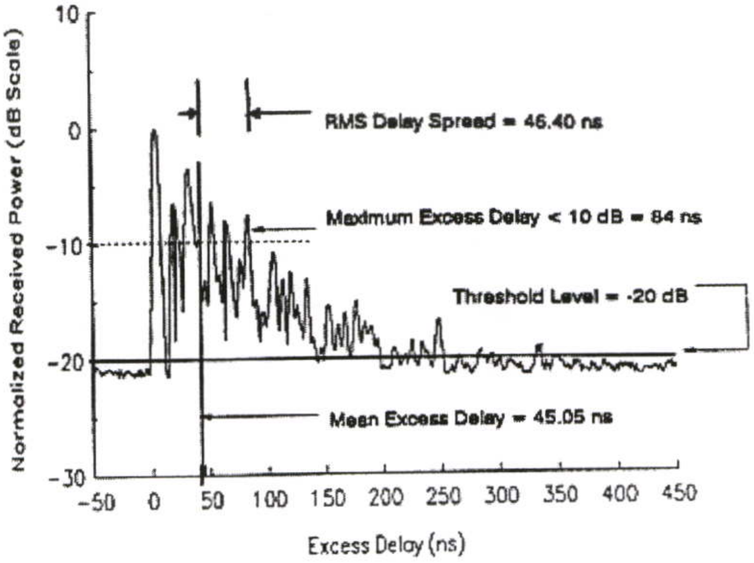
d_0 คือ ระยะทางที่อ้างอิง

n คือ ค่าสูญเสียเชิงวิถีที่ขึ้นอยู่กับชนิดของอาคารและบริเวณโดยรอบ

d คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งกับสายอากาศด้านรับ

3.5.3 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน

พารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งที่นิยมนำมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับที่เวลาต่าง ๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสัญญาณที่มีการสะท้อนในหลายทิศทางหรือที่เรียกว่าสัญญาณหลายวิถีโดยจะเรียกว่า ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power delay profile: PDP) ซึ่งตัวอย่างของ PDP ได้แสดงดังรูปที่ 3.9 โดยจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อเวลาที่เข้ามาถึงและนอกจากนั้นยังสามารถนำไปพิจารณาถึงผลการกระจายทางเวลา (Time dispersion) อันประกอบไปด้วยการประวิงเข้าถึงเฉลี่ย (Mean excess delay) และค่าการแผ่ประวิง RMS (RMS dealy spread) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน [13]

3.5.4 ค่าการกระจายทางเวลา

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าเส้นทางการแพร่กระจายของสัญญาณระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับมีได้หลายทิศทาง และสัญญาณแต่ละส่วนมักจะส่งผ่านในเส้นทางที่มีระยะทางไม่เท่ากัน สัญญาณบางส่วนอาจจะเดินทางในระดับเส้นสายตาระหว่างภาคส่งและภาครับ สัญญาณส่วนนี้มักจะเดินทางถึงภาครับได้เร็ว ในขณะที่สัญญาณส่วนอื่นที่มีการตกกระทบพื้นผิวของวัสดุและเกิดการสะท้อนหลายครั้งกว่าจะเดินทางถึงภาครับ สัญญาณมักจะใช้เวลาการแพร่กระจายที่ยาวนานกว่า ความล่าช้าในการเดินทางของสัญญาณแต่ละส่วนก่อให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า การแผ่ประวิง (Delay spread) ขึ้น นั่นคือสัญญาณแต่ละส่วนใช้เวลาเดินทางถึงจุดหมายไม่เท่ากัน ในวิทยานิพนธ์นี้ได้พิจารณาถึงเวลาที่ถูกประวิงออกไปของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับ ซึ่งในส่วนของการกระจายทางเวลา (Time dispersion) นั้นสามารถที่จะวิเคราะห์โดยใช้พารามิเตอร์ที่เรียกว่า ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ประวิงเกินออกไปจากค่าเวลาเดิมหรือค่าเฉลี่ยของเวลาประวิง (Mean excess delay: $\bar{\tau}$) และค่าการแผ่ประวิง RMS (RMS delay spread: σ_τ) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้ถูกนิยามไว้ดังสมการที่ (3.15) และสมการที่ (3.16) ตามลำดับ [12]

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i^2 \tau_i}{\sum_{i=1}^{n} a_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P(\tau_i)\tau_i}{\sum_{i=1}^{n} P(\tau_i)} \tag{3.15}$$

โดยที่

$\bar{\tau}$ คือ ค่าเฉลี่ยของเวลาประวิง

a_i คือ ระดับของสัญญาณเส้นทางที่ i

τ_i คือ เวลาประวิงที่เกิดขึ้นของสัญญาณเส้นทางที่ i

$P(\tau_i)$ คือ ระดับกำลังงานของสัญญาณเส้นทางที่ i

สำหรับค่าการแผ่ประวิง RMS นั้นจะมีนิยามคือ

$$\sigma_\tau = \sqrt{\overline{\tau^2} - \left(\bar{\tau}\right)^2} \tag{3.16}$$

โดยที่

$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i^2 \tau_i^2}{\sum_{i=1}^{n} a_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P(\tau_i)\tau_i^2}{\sum_{i=1}^{n} P(\tau_i)} \tag{3.17}$$

3.5.5 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio: SNR)

ในการสื่อสารไร้สายโดยทั่วไประดับของสัญญาณที่รับได้และระดับของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นสามารถแสดงออกมาในรูปของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน ซึ่งจะเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณที่ได้รับ กรณีของระบบดิจิตอลเราสนใจค่าอัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่นกำลังสเปกตรัมของสัญญาณรบกวน ค่าอัตราส่วนเรียกอีกชื่อว่า เอสเอนอาร์ดิจิทัล ซึ่งสามารถแสดงได้ในรูปของสมการที่ 3.18 [13]

$$SNR\,[dB] = \frac{E_b}{N_0} = \frac{S.T_b}{N/W} \tag{3.18}$$

$$SNR\,[dB] = \frac{S/R_b}{N/W} = \frac{S}{N}.\frac{W}{R_b}$$

โดยที่

E_b คือ พลังงานเฉลี่ยต่อบิต

N_o คือ ความหนาแน่นกำลังของสัญญาณรบกวน

T_b คือ เวลาของสัญญาณต่อบิต

W คือ แบนด์วิธของสัญญาณ

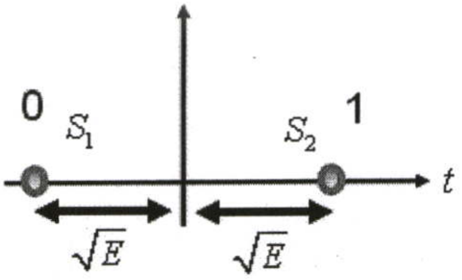
R_b คือ อัตราเร็วบิต

3.5.6 อัตราบิตผิดพลาด (Bite error rate: BER)

สัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารทำให้ประสิทธิภาพของการสื่อสารลดลงโดยสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุเช่นเกิดกระทำของมนุษย์ หรือโดยธรรมชาติในระบบ เราจะใช้อัตราบิตผิดพลาด เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของการสื่อสารแบบระบบ RFID โดยที่ค่าของอัตราบิตผิดพลาด ยิ่งมีค่ามากขึ้นเท่าใดจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ดังนั้นค่าอัตราบิตผิดพลาดที่มีการมอดูเลตแบบ BPSK (Binary phase shift keying) นั้นสามารถอธิบายได้ในรูปของเวกเตอร์เขียนได้ในสมการดังนี้ [13]

$$S_1(t) = \sqrt{E_b}\,\psi_1(t), 0 \le t \le T \tag{3.19}$$

$$S_2(t) = -\sqrt{E_b}\,\psi_2(t), 0 \le t \le T$$



รูปที่ 3.10 เวกเตอร์สัญญาณการมอดูเลตแบบ BPSK(Binary phase shift keying)

$$BER = Q\left(\frac{d_{12}}{2\sigma_0}C_c\right) \tag{3.20}$$

$$BER = Q\left(\frac{\sqrt{E_b - (-E_b)}}{2\sqrt{N_0/2}}C_c\right) = Q\left[\sqrt{2(E_b/N_o)C_c}\right] \tag{3.21}$$

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_x^{\infty} e^{-t^2/2}dt \tag{3.22}$$

$$C_c = \frac{\int_0^{\infty} |V_c(f,d)|\, df}{\int_0^{\infty} |V_c(f,d)|^2\, df . \int_0^{\infty} |H_c(f,d)|^2\, df} \tag{3.23}$$

โดยที่

d_{12} คือ ระยะห่างระหว่างเวกเตอร์ที่แทนทั้งสองบิต

σ_0 คือ ความแปรปรวนของสัญญาณรบกวน

E_b คือ พลังงานเฉลี่ยต่อบิต

N_o คือ ความหนาแน่นกำลังของสัญญาณรบกวน

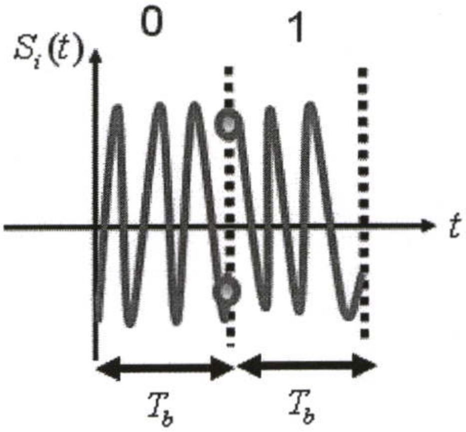
C_c คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

Q คือ ความน่าจะเป็นของความผิดพลาด

3.6 แบบจำลองเครื่องส่ง RFID

ระบบการสื่อสารแบบ RFID มีหลักในการมอดูเลตสัญญาณที่ใช้ส่งสัญญาณที่หลากหลาย ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้เทคนิควิธีการมอดูเลตแบบ BPSK (Binary phase shift keying) คือ เมื่อ

มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของบิตจาก 1 ไปเป็น 0 หรือเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 เฟสของคลื่นจะเปลี่ยน(Shift) ไป 180 องศาด้วย จัดเป็นสัญญาณประเภท antipodal เนื่องจากสัญญาณที่ใช้ส่งมีเครื่องหมายตรงข้ามกันดังรูปที่ 3.11 สัญญาณพีเอสเคแบบไบนารีในโดเมนเวลา



รูปที่ 3.11 สัญญาณการมอดูเลตแบบ BPSK(Binary phase shift keying) ในโดเมนเวลา

หลักการทั่วไปของการมอดูเลตสัญญาณแบบ BPSK จะเป็นไปดังสมการ

$$s_{BPSK}(t) = m(t)\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}}\cos(2\pi f_c t + \theta_c) \quad (3.24)$$

โดยที่

$\cos(2\pi f_c t)$ คือ ความถี่ของคลื่นพาห์

$m(t)$ คือ สัญญาณข้อมูลที่มีการมอดูเลต(Modulating waveform)

3.7 แบบจำลองเครื่องรับ RFID

เมื่อสัญญาณที่ส่งได้ผ่านช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน สมการของสัญญาณที่รับได้จะเป็นไปดังสมการ [13]

$$r_{BPSK}(t) = m(t)\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}}\cos(2\pi f_c t + \theta_c) + n(t) \quad (3.25)$$

โดยที่

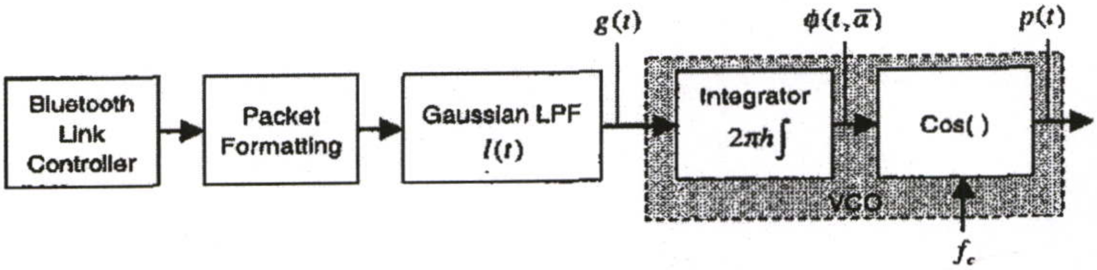
$\cos(2\pi f_c t)$ คือ ความถี่ของคลื่นพาห์

$m(t)$ คือ สัญญาณข้อมูลที่มีการมอดูเลต(Modulating waveform)

$n(t)$ คือ สัญญาณรบกวน (Additive white Gaussian noise)

3.8 สัญญาณส่งของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1

ระบบการสื่อสารแบบบลูทูธมีหลักในการมอดูเลตสัญญาณที่ใช้ส่งสัญญาณ โดยใช้เทคนิควิธีการมอดูเลตแบบ GFSK (Gaussian frequency shift keying) ซึ่งคล้ายกับการมอดูเลตแบบ FSK (Frequency shift keying) สิ่งที่แตกต่างกันของการมอดูเลตนั้นคือ ก่อนที่ พัลส์ของ baseband จะเข้าสู่เครื่องมอดูเลต FSK นั้นมันจะผ่านเครื่องกรองแบบ Gaussian ก่อนและเครื่องกรองแบบ Gaussian จะทำให้รูปร่างของพัลส์ถูกจำกัดในส่วนของความกว้างสเปกตรัม โดยที่พัลส์ shaping filter ควรจะมีการแก้ไขคุณสมบัติต่างๆ คือ ทำให้ผลตอบสนองของความถี่มีแบนด์วิธที่แคบ และคุณลักษณะของ sharp cutoff มีการตัดส่วนที่มีความถี่สูง (High-frequency) ของสัญญาณที่จะทำการส่งออกไป ซึ่งจะทำให้ผลตอบสนองอิมพัลส์ สามารถหลีกเลี่ยง low overshoot ที่จะเกิดขึ้นในความถี่ของสัญญาณแบบ FM ดังนั้นผลตอบสนอง g(t) ของฟิลเตอร์จะถูกกำหนดโดยฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของ Gaussian ซึ่งหลักการทั่วไปของการมอดูเลตสัญญาณจะเป็นไปดังสมการ [17]



รูปที่ 3.12 การมอดูเลตแบบ GFSK (Gaussian frequency shift keying) ในโดเมนเวลา

$$p(t) = \mathrm{Re}\{\sqrt{\frac{2E}{T}} e^{j2\pi f_c t + h\int_{-\infty}^{t} g(t)dt}\} \tag{3.26}$$

โดยที่

E คือ พลังงานต่อบิต

T คือ เวลาที่ใช้ในการส่ง

f_c คือ ความถี่ของคลื่นพาห์ที่ใช้

จากสมการที่ (3.26) $g(t)$ คือ Gaussian low pass filter (GLPF) สามารถแสดงโดยสมการดังนี้คือ

$$g(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k v(t-kT), a_k = \pm 1 \tag{3.27}$$

จากสมการที่ (3.27) $v(t)$ สามารถแสดงโดยสมการดังนี้ คือ

$$v(t) = \frac{1}{2}\{erf(-\lambda B_p T) + erf(\lambda B_p (t+T))\} \tag{3.28}$$

จากสมการที่ (3.28) ฟังก์ชั่นความผิดพลาด $erf(t)$ สามารถแสดงโดยสมการดังนี้ คือ

$$erf(t) = \int_0^t \frac{\sqrt{2}}{\pi} e^{-t^2} \tag{3.29}$$

โดยที่ $\lambda = \sqrt{2} / \ln 2\pi, B_p = 3dB$ เป็นแบนด์วิธของ Gaussian low pass filter

3.9 แบบจำลองเครื่องรับ RFID ที่มีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ

เมื่อสัญญาณที่ส่งได้ผ่านช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน และสัญญาณแทรกสอดของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ สมการของสัญญาณที่รับได้จะเป็นไปดังสมการ

$$r_{BPSK}(t) = m(t)\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}}\cos(2\pi f_c t + \theta_c) + p(t) + n(t) \tag{3.30}$$

โดยที่

$p(t)$ คือ สัญญาณแทรกสอดของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ

$\cos(2\pi f_c t)$ คือ ความถี่ของคลื่นพาห์

$m(t)$ คือ สัญญาณข้อมูลที่มีการมอดูเลต(Modulating waveform)

$n(t)$ คือ สัญญาณรบกวน (Additive white gaussian noise)

3.10 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นและผลกระทบการแทรกสอดจากสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อันประกอบด้วยรายละเอียดของการแพร่กระจายคลื่น ช่องสัญญาณการสื่อสารไร้สายภายในอาคาร ทฤษฎีหลักการส่งผ่านของฟรีสสำหรับช่องสัญญาณอวกาศว่าง พารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการทดลอง รวมถึงระบบจำลองส่วนของเครื่องส่งและเครื่องรับของระบบ RFID ในสภาพแวดล้อมที่มีการใช้งานของระบบการสื่อสารของบลูทูธ ซึ่งในบทต่อไปจะได้กล่าวถึงการวัดและการทดลองวิจัยระบบ RFID

บทที่ 4
การวัดและการทดลองวิจัยระบบ RFID

4.1 กล่าวนำ

บทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของขั้นตอนในการทดลองวัดช่องสัญญาณการสื่อสาร (Measurement) ซึ่งเป็นการตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารไร้สายแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ โดยใช้เครื่องมือในการทดสอบที่เรียกว่า เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector network analyzer) ซึ่งเป็นการตรวจสอบบนโดเมนความถี่ โดยวิทยานิพนธ์นี้ทำการทดลองวัดช่องสัญญาณอยู่ 2 ลักษณะ เพื่อใช้ในการจำลองช่องสัญญาณในการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ สำหรับขั้นตอนในการทดลองวัด การจัดสภาวะแวดล้อมของระบบ และรายละเอียดของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดนั้นจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

จากที่ได้ทำการทดลองวัดของช่องสัญญาณทั้ง 2 ลักษณะโดยทั่วไปแล้วการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือ ลักษณะสภาพแวดล้อมต่าง ๆ รวมทั้งสภาวะแวดล้อมที่มีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1 ที่ส่งผลกระทบต่อระดับของสัญญาณบนช่องสัญญาณแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor) นี้ ผลที่ได้จากการทดลองวัดช่องสัญญาณมาทำการวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติทางด้านเวลา ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ เพื่อใช้ในการหาค่าสูญเสียการแพร่กระจายคลื่น และประสิทธิภาพการส่งผ่านของช่องสัญญาณ รายละเอียดของขั้นตอนในการทดลองวัดนั้นจะแสดงในหัวข้อต่อไป

4.2 การทดลองวัดช่องสัญญาณ

การทดลองวัดช่องสัญญาณแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุนั้นเทคนิคที่ใช้ในการทดลองวัดสามารถทำการทดสอบโดยใช้เทคนิคการกวาดด้านความถี่ (Frequency sweeping technique) ซึ่งสามารถทำการทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่ (Frequency domain : FD) ซึ่งการใช้วิธีนี้ผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณนั้นสามารถทดสอบได้จากการทดสอบพารามิเตอร์ S_{21} หรือสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Transmission coefficient) ซึ่งจะใช้เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector network analyzer : VNA) เป็นอุปกรณ์ในการกวาดความถี่

4.2.1 การทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่

อุปกรณ์หลักในการสร้างและรับสัญญาณเพื่อทำการทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่นั้นคือ เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่จัดการเกี่ยวกับการทดสอบทั้งหมด โดยสัญญาณที่ใช้ตรวจสอบนั้นจะเป็นกลุ่มของสัญญาณแถบแคบรูปไซด์ (Sinusoid) ซึ่งทำการ

กวาดตลอดแถบความถี่ที่ต้องการพิจารณาประกอบกับการใช้สายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบแถบแคบ โดยในการจำลองช่องสัญญาณแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุนั้นสามารถที่จะทำได้ในส่วนของการประมวลผลข้อมูล และเมื่อใช้วิธีการทดสอบสัญญาณในโดเมนความถี่ช่วงเวลาของช่องสัญญาณที่ทำการทดสอบต้องถูกกำหนดให้คงที่ เพื่อรักษาเงื่อนไขของช่องสัญญาณในช่วงการกวาดความถี่โดยที่ค่าสูงสุดของเวลาการกวาดความถี่ถูกจำกัดโดยเวลาร่วมนัย (Coherence time) ของช่องสัญญาณ ถ้าเวลาการกวาดนานกว่าเวลาร่วมนัยของช่องสัญญาณแล้วช่องสัญญาณอาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาในการกวาดความถี่สำหรับการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วนั้นจำต้องใช้เทคนิควิธีการอื่นเข้ามาทำการตรวจสอบแทน ซึ่งประสิทธิภาพของการทดสอบในโดเมนความถี่นั้นจะถูกกำหนดโดยค่าสูงสุดของเวลาประวิงของช่องสัญญาณ ซึ่งขอบเขตด้านบนของเวลาประวิงที่ตรวจพบ $\tau_{\max}$ สามารถกำหนดโดยจำนวนจุดของความถี่ที่ใช้ในการกวาดแต่ละครั้งและแบนด์วิธ B ซึ่งนิยามตามสมการที่ (4.1)

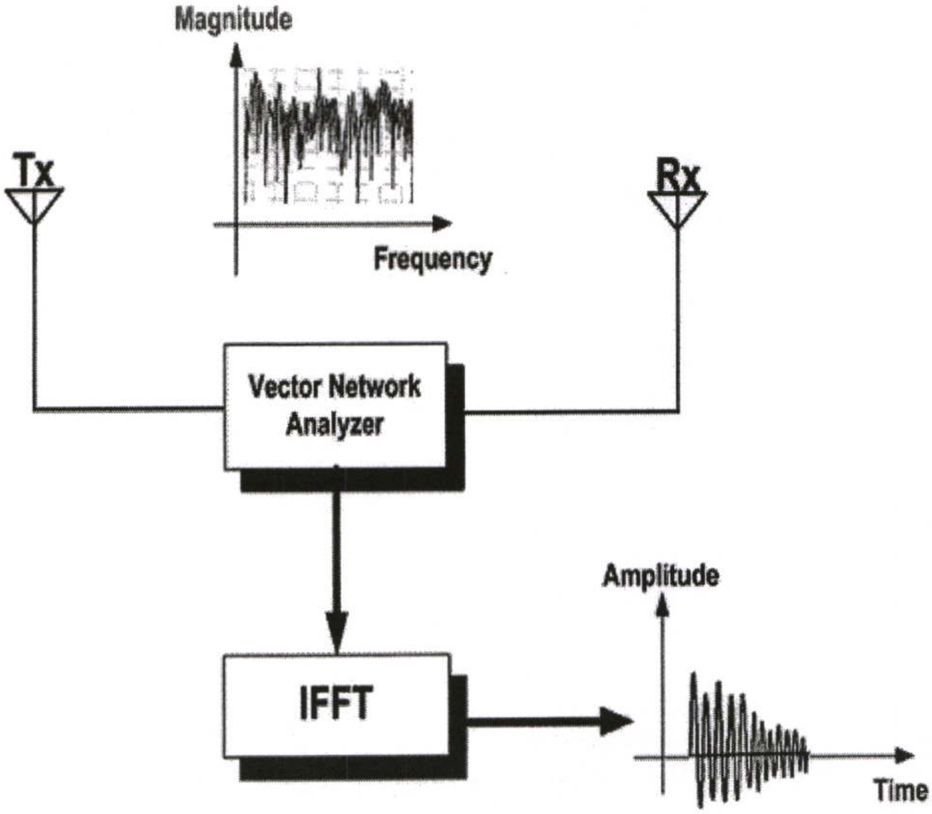
$$\tau_{\max} = \left(N_{smp} - 1\right) / B \tag{4.1}$$

โดยที่

N_{smp} คือ จำนวนจุดความถี่

B คือ แบนด์วิธ

ในการที่จะทำการทดสอบสัญญาณโดยใช้เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวกเตอร์นั้นผลที่ได้จากการทดสอบคือ ผลตอบสนองทางความถี่ของช่องสัญญาณที่ทำการทดสอบจากนั้นจะใช้ฟูเรียร์ผกผันแบบเร็ว (Inverse fast fourier transform : IFFT) การแปลงข้อมูลจากการทดสอบในโดเมนความถี่ให้อยู่ในรูปแบบผลตอบสนองอิมพัลส์ของโดเมนเวลาดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ระบบการทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่โดยเครื่อง VNA และการแปลงสู่โดเมนเวลาโดยใช้ IFFT [20]

4.2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการสื่อสารแบบไร้สายนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณไม่ว่าจะเป็นระดับของกำลังงาน เวลาประวิงที่เกิดขึ้นปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อสัญญาณที่รับได้ทั้งสิ้นเมื่อทำการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยังภาครับโดยผลที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะต้องทำการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยวิธีการทดสอบจากนั้นผลที่ได้จากการทดสอบ นั้นจำเป็นต้องนำมาวิเคราะห์ตามขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบหรือการเปลี่ยนแปลงดังที่ได้กล่าวไปแล้วโดยในขั้นตอนนี้มีความสำคัญเท่ากับขั้นตอนการทดสอบ ซึ่งมีความจำเป็นต้องทำความเข้าใจในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะพารามิเตอร์ที่สำคัญ ๆ ดังนี้

4.2.2.1 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านช่องสัญญาณ

ในขั้นตอนของการทดสอบนั้นจะเป็นลักษณะการหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Transmission coefficeint : S_{21}) สัญญาณจากพอร์ตที่หนึ่งไปยังพอร์ตที่สองของเครื่อง VNA โดย

การหาค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวนั้นสามารถหาได้จากหลักการของพารามิเตอร์การกระจัดกระจาย (Scattering parameter) หรือเรียกว่า S-parameter ซึ่งมีนิยามตามเมตริกซ์การกระจัดกระจาย (Scattering matrix) ของโครงข่ายแบบ 2 พอร์ตดังสมการที่ (4.2) และแสดงในรูปที่ 4.2

$$\bar{b} = \overline{S}\,\overline{a} \tag{4.2}$$

โดยที่

$\bar{a}$ คือ เวกเตอร์การส่งผ่าน

$\bar{b}$ คือ เวกเตอร์การสะท้อน

$\bar{S}$ คือ เวกเตอร์การกระจาย

รูปที่ 4.2 ไดอะแกรมโครงข่ายแบบ 2 พอร์ต [21]

ซึ่งสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ดังสมการที่ (4.3) และสมการที่ (4.4)

$$\bar{a} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \tag{4.3}$$

$$\bar{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \tag{4.4}$$

โดยที่

a_1 คือ สัญญาณที่ส่งผ่านเข้าไปยังพอร์ตหนึ่ง

b_1 คือ สัญญาณที่สะท้อนกลับมายังพอร์ตหนึ่ง

a_2 คือ สัญญาณที่ส่งผ่านเข้าไปยังพอร์ตสอง

b_2 คือ สัญญาณที่สะท้อนกลับมายังพอร์ตสอง

ซึ่งสัมประสิทธิ์ดังกล่าวนี้สามารถหาได้จาก

$$a_1 = \frac{1}{2}\left(\frac{V_1}{\sqrt{Z_0}} + \sqrt{Z_0}I_1\right) \tag{4.5a}$$

$$b_1 = \frac{1}{2}\left(\frac{V_1}{\sqrt{Z_0}} - \sqrt{Z_0}I_1\right) \tag{4.5b}$$

$$a_2 = \frac{1}{2}\left(\frac{V_2}{\sqrt{Z_0}} + \sqrt{Z_0}I_2\right) \tag{4.5c}$$

$$b_2 = \frac{1}{2}\left(\frac{V_2}{\sqrt{Z_0}} - \sqrt{Z_0}I_2\right) \tag{4.5d}$$

$$\overline{S} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \tag{4.6}$$

จากสมการที่ (4.2), (4.3), (4.4) และ (4.6) สามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปสมการกระจัดกระจายดังสมการที่ (4.7) และ (4.8)

$$b_1 = a_1S_{11} + a_2S_{12} \tag{4.7}$$

$$b_2 = a_1S_{21} + a_2S_{22} \tag{4.8}$$

โดยที่

S_{11} คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พอร์ตหนึ่ง

S_{22} คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พอร์ตสอง

S_{21} คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (forward)

S_{12} คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านผกผัน (reverse)

พารามิเตอร์ของการกระจัดกระจายของโครงข่ายแบบสองพอร์ตนั้นยังสามารถที่จะกำหนดในเทอมของคลื่นส่งผ่านและคลื่นสะท้อนได้ดังนี้

$$S_{11} = \left.\frac{b_1}{a_1}\right|_{a_2=0} \tag{4.9a}$$

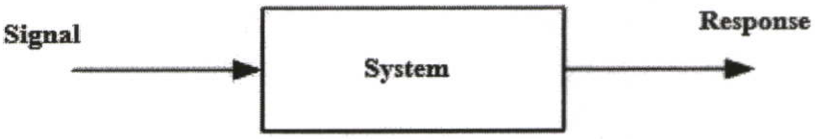
$$S_{21} = \left.\frac{b_2}{a_1}\right|_{a_2=0} \tag{4.9b}$$

$$S_{12} = \left.\frac{b_1}{a_2}\right|_{a_1=0} \tag{4.9c}$$

$$S_{22} = \left.\frac{b_2}{a_2}\right|_{a_1=0} \tag{4.9d}$$

4.2.2.2 ผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณ

เมื่อทดสอบช่องสัญญาณโดยใช้เครื่อง VNA สิ่งที่ต้องทำความเข้าใจคือ ระบบและสัญญาณ โดยระบบคือ กลุ่มที่อยู่รวมกัน ซึ่งสามารถทำงานร่วมกันเพื่อให้สำเร็จตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการและสัญญาณคือ ปริมาณทางกายภาพบางอย่างที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบเรียกว่า สัญญาณเข้าหรือสัญญาณอินพุต (Input signal) ของระบบ และจะมีสัญญาณออกหรือสัญญาณเอาต์พุต (Output signal) ซึ่งเป็นปริมาณทางกายภาพที่ออกมาจากระบบ หรือเรียกว่าผลตอบสนอง (response) ของระบบ โดยสามารถแสดงบล็อคไดอะแกรมของระบบดังรูปที่ 4.3 ซึ่งผลตอบสนองดังกล่าวนั้นจะเป็นสิ่งที่ใช้แสดงถึงคุณสมบัติของระบบ และจากการทดสอบผลที่ได้คือ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสัญญาณซึ่งแปรผันตรงกับฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ (Frequency transfer function : $H(\omega)$) ของช่องสัญญาณ โดยฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ดังกล่าวนั้นจะแสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณที่ทำการพิจารณาอยู่ซึ่งประกอบด้วยขนาดสัญญาณที่ส่งผ่าน (magnitude) และผลตอบสนองทางเฟส (Phase response) ของสัญญาณ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสัญญาณกับฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณนั้นกำหนดตามสมการที่ (4.10) และแสดงดังรูปที่ 4.4



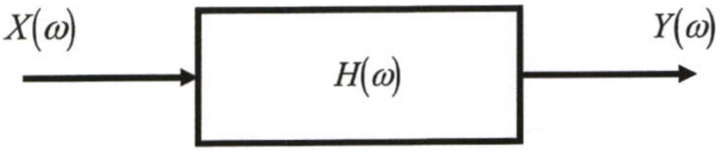
รูปที่ 4.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบ [12]

$$S_{21}(\omega) \propto H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} \tag{4.10}$$

โดยที่

$Y(\omega)$ คือ เอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่

$X(\omega)$ คือ อินพุตของระบบในโดเมนความถี่



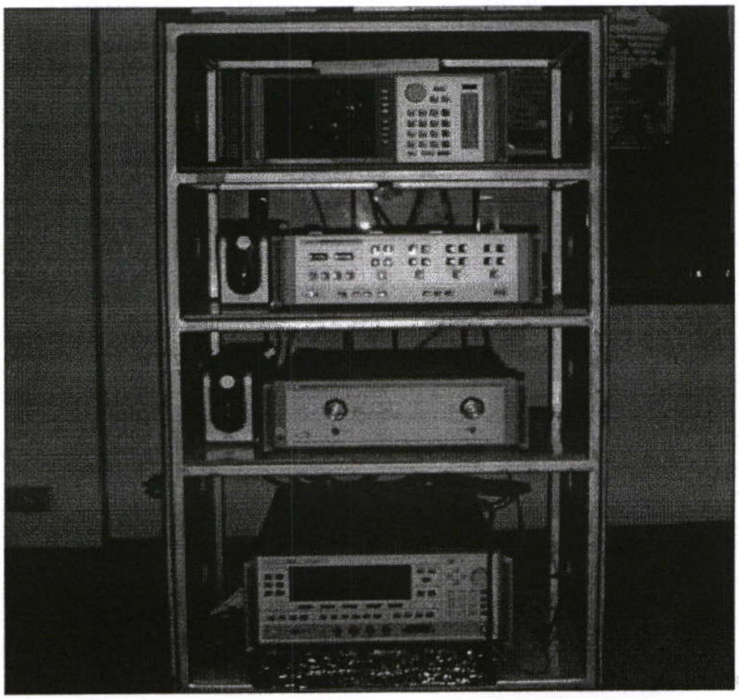
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่ [12]

4.3 อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดลองวิจัย

4.3.1 เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวกเตอร์

ระบบของการทดสอบเป็นองค์ประกอบสำคัญในการทดสอบช่องสัญญาณแบบระบุตัวตนนั้นจะใช้เครื่องทดสอบเฉพาะทางซึ่งประกอบไปด้วย เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ยี่ห้อ HP รุ่น HP-8510C ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจัดกระจาย (S-parameter test set) ยี่ห้อ HP รุ่น HP-8514B และเครื่องสังเคราะห์ความถี่(Frequency synthesized sweeper) ยี่ห้อ HP รุ่น HP-83620A เป็นอุปกรณ์หลักในการทดสอบช่องสัญญาณดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.5 ซึ่งจำเป็นต้องควบคุมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ซึ่งเชื่อมต่อผ่านช่องสื่อสารแบบ GPIB (General purpose interface bus) เพื่อทำการควบคุมเครื่องพร้อมกับทำการบันทึกผลการตอบสนองของช่องสัญญาณที่ได้ทำการทดสอบ เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายนี้มีพอร์ตใช้งานในการทดสอบอยู่สองพอร์ตด้วยกัน คือ สามารถใช้ในการทดสอบสัญญาณได้ทีละพอร์ตและพร้อมกันทั้งสองพอร์ต ในการทดสอบ

ช่องสัญญาณนี้จะทำการทดสอบแบบสองพอร์ตโดยพอร์ตที่หนึ่งคือ พอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณที่กำหนดตามพารามิเตอร์ที่ต้องการ ส่วนพอร์ตที่สองจะใช้ในการรับสัญญาณ โดยที่ปลายของพอร์ตทั้งสองจะถูกต่อด้วยสายอากาศแบบไมโครสตริป (Microstrip antenna) และทำการทดสอบบนโดเมนความถี่ก่อนที่จะถูกนำผลการทดสอบไปวิเคราะห์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป



รูปที่ 4.5 เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวกเตอร์

4.3.2 สายอากาศที่ใช้ในการทดลองวิจัย

ในการส่งสัญญาณแบบไร้สายนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่เรียกว่า สายอากาศ (Antenna) ซึ่งจะอยู่กับเครื่องส่งและเครื่องรับเพื่อช่วยในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องส่งให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วแพร่กระจายสัญญาณผ่านอากาศออกไปยังสายอากาศทางด้านรับที่อยู่กับเครื่องรับแล้วเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่รับนี้กลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม โดยในการทดลองวัดนี้ได้ใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปทั้งสายอากาศทางด้านส่ง (Tx) และสายอากาศทางด้านรับ (Rx) ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern) แบบทิศทางตรง (Directional) และเป็นสายอากาศที่นิยมมาใช้งานในเทคโนโลยีของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุในฉลากอิเล็กทรอนิกส์แบบ Active tags และสามารถรองรับการใช้งานในความถี่ย่านตั้งแต่ 2.3 GHz ถึง 2.6 GHz ตามข้อกำหนดย่านความถี่การใช้งานของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุของทาง ISO 18000-4 wherenet (ANSI 371.1) โดยสายอากาศที่ถูกนำมาใช้ในการทดลองวัดมีรายละเอียดดังนี้

4.3.2.1 สายอากาศแบบไมโครสตริป

สายอากาศแบบไมโครสตริปเป็นสายอากาศที่ถูกนำมาใช้ในการทดลองวัดโดยมีคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางตรงเพียงครึ่งระนาบ และมีอัตราการขยาย (Gain) สูงสุดที่ประมาณ 20 dB ซึ่งมีข้อดี คือ น้ำหนักเบา ขนาดเล็ก ราคาถูก โครงสร้างเป็นระนาบ โดยที่ได้เปรียบเทียบคุณลักษณะสมบัติของสายอากาศชนิดต่างๆไว้ในตารางที่ 4.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปจะมีคุณสมบัติโดยรวมดีกว่าสายอากาศชนิดอื่น รูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 จะแสดงให้เห็นถึงขนาดของสายอากาศชนิดนี้

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบสายอากาศที่มีโครงสร้างเป็นระนาบเรียบชนิดต่างๆ

คุณสมบัติ	สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป	สายอากาศแบบร่องสายส่งสตริป	สายอากาศแผ่นแบบโพรงด้านหลัง	สายอากาศแบบไดโพล
ความหนา	บาง	ไม่บางมาก	หนา	บาง
การสร้าง	ง่ายมาก	ง่าย	ยาก	ง่าย
การโพลาไรซ์	เชิงเส้นและวงกลม	เชิงเส้น	เชิงเส้นและวงกลม	เชิงเส้น
การทำงานสองความถี่	เป็นไปได้	เป็นไปไม่ได้	เป็นไปไม่ได้	เป็นไปไม่ได้
รูปร่าง	มีหลายแบบ	สี่เหลี่ยม	มีหลายแบบ	มีหลายแบบ
แบนด์วิธ	1-5 %	1-2 %	~10 %	~10 %

4.3.2.2 ข้อดีและข้อเสียของสายอากาศแบบไมโครสตริป

ข้อดีของสายอากาศแบบไมโครสตริปเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศชนิดอื่นที่ใช้ย่านความถี่ไมโครเวฟ โดยมีความถี่ใช้งานอยู่ที่ช่วง 100 MHz – 50 GHz

- น้ำหนักเบา ขนาดเล็ก โครงสร้างเป็นแบบราบ ซึ่งสามารถทำเป็นรูปต่างๆ ได้ง่าย
- ราคาถูก กระบวนการสร้างไม่ยุ่งยาก
- มีลักษณะบาง ทำให้ติดตั้งเข้ากับวัตถุได้ง่าย
- ง่ายต่อการติดตั้งบนจรวดและดาวเทียม
- สายอากาศมีการแผ่กระจายตามแนวภาคตัดขวางน้อย
- สามารถทำให้มีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นหรือวงกลมได้ง่ายเพียงแค่เปลี่ยนตำแหน่งของจุดป้อน
- สามารถทำเป็นสายอากาศสองความถี่ได้ง่าย
- ไม่ต้องใช้โพรงด้านหลัง

- ไมโครสตริปสามารถเชื่อมต่อเข้ากับการออกแบบที่ประกอบด้วยอุปกรณ์โซลิด สเตท (Solid state) เช่น วงจรออสซิลเลเตอร์ วงจรขยาย สวิตซ์ตัวเลื่อนเฟสได้ง่าย
- สามารถสร้างให้มีการป้อนและการแมทช์อิมพิแดนซ์ได้พร้อมๆกัน

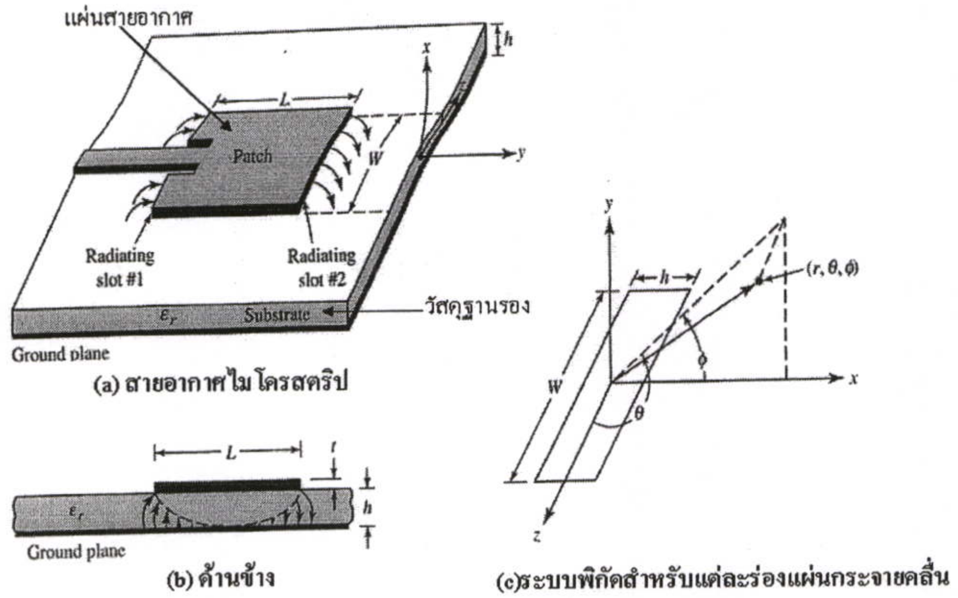
ข้อเสียของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศชนิดอื่นที่ใช้ย่านความถี่ไมโครเวฟดังนี้คือ

- แบนด์วิธแคบ
- ประสิทธิภาพต่ำ
- การแผ่กระจายคลื่นมีได้เพียงครึ่งระนาบ
- ในทางปฏิบัติจำกัดอัตราขยายสูงสุดที่ประมาณ 20 dB
- ประสิทธิภาพของโลบหลักในการแผ่กระจายไม่ดี
- การแยกกันระหว่างจุดป้อนและองค์ประกอบการแผ่กระจายไม่ดี
- สามารถกระตุ้นทำให้เกิดคลื่นผิวได้
- ให้กำลังงานต่ำ

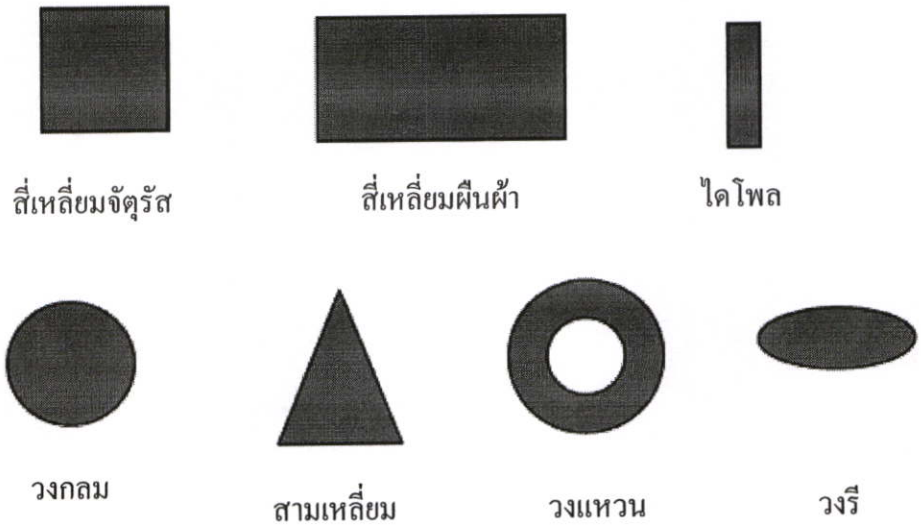
4.3.2.3 คุณสมบัติพื้นฐานของสายอากาศแบบไมโครสตริป

ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแสดงในรูปที่ 4.6(a) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นตัวนำที่บางมากวางอยู่บนวัสดุฐานรอง ส่วนอีกด้านหนึ่งของวัสดุฐานรองจะเป็นระนาบเงาวัสดุฐานรองสำหรับนำมาสร้างสายอากาศไมโครสตริปนั้นมีด้วยกันหลายชนิด โดยปกติแล้วสภาพยอมสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกนั้นอยู่ในช่วง $2.2 \leq \varepsilon_r \leq 12$ และสิ่งที่สำคัญในการออกแบบสายอากาศแผ่นไมโครสตริป คือ ความหนาของวัสดุฐานรอง การออกแบบโดยใช้สภาพยอมสัมพัทธ์ในช่วงต่ำๆจะทำให้สายอากาศมีประสิทธิภาพสูง และมีแบนด์วิธกว้างขึ้น แต่ข้อเสียสายอากาศจะมีขนาดใหญ่ตามขึ้นไปด้วย สำหรับวัสดุฐานรองที่บางและมีสภาพยอมสัมพัทธ์สูงนั้นการแผ่กระจายคลื่นน้อยที่สุดและยังทำให้วงจรมีขนาดเล็กลงด้วยแต่จะทำให้เกิดการสูญเสียมากขึ้น ซึ่งให้ประสิทธิภาพและแบนด์วิธลดลง ดังนั้นสายอากาศไมโครสตริปและวงจรไมโครเวฟจึงสามารถนำมาใช้ร่วมกันได้อย่างมีประสิทุธิภาพบ่อยครั้งที่เรามักเรียกสายอากาศไมโครสตริปว่าสายอากาศแผ่น (Patch antenna) โดยส่วนที่ทำหน้าที่แผ่กระจายคลื่นและส่วนที่ใช้ในการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศจะอยู่บนวัสดุฐานรองเดียวกันส่วนที่ใช้ในการแผ่กระจายคลื่นนี้อาจมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นแผ่นบางๆหรือไดโพล วงกลม วงรี สามเหลี่ยม และรูปร่างอื่นๆ โดยในรูปที่ 4.7 ได้แสดงลักษณะของแผ่นไมโครสตริปรูปร่างต่างๆไว้ ซึ่งลักษณะของแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้าไดโพล และวงกลมเป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากง่ายต่อการวิเคราะห์และการสร้าง รวมทั้งยังมีคุณสมบัติในการแผ่กระจายคลื่นที่ดี แผ่นสายอากาศแบบไดโพลเป็นแบบที่มีโพลาไรซ์ไขว้ (Cross polarization) น้อยที่สุด เนื่องจากธรรมชาติแล้วจะมีแบนด์วิธที่กว้างและใช้

พื้นที่ในการสร้างน้อย และเหมาะสมกับการสร้างเป็นแถวลำดับ(Array) โดยทั้งสายอากาศองค์ประกอบเดี่ยว (Single element) และแบบลำดับแถวนั้น สามารถทำให้มีลักษณะการโพลาไรซ์ได้ทั้งแบบเชิงเส้น (Linear) และแบบวงกลม (Circular)



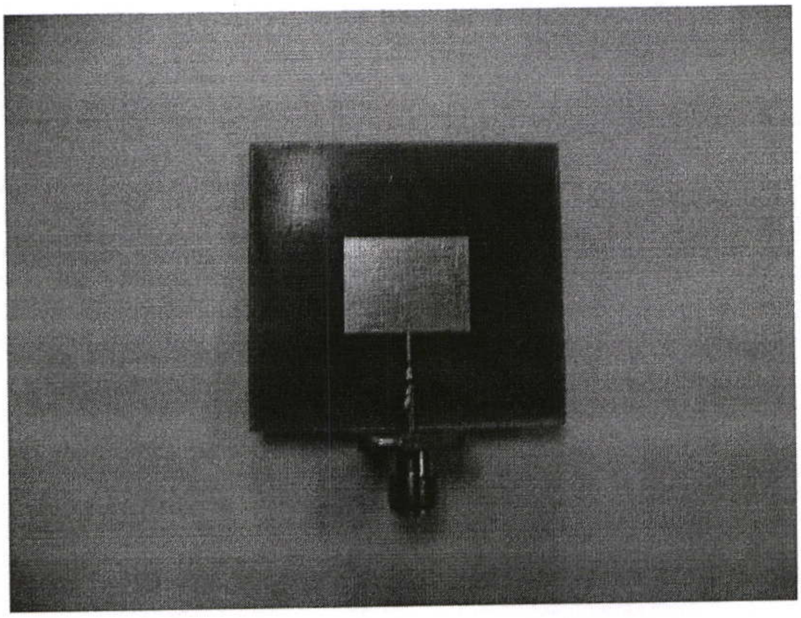
รูปที่ 4.6 สายอากาศไมโครสตริปและระบบพิกัด



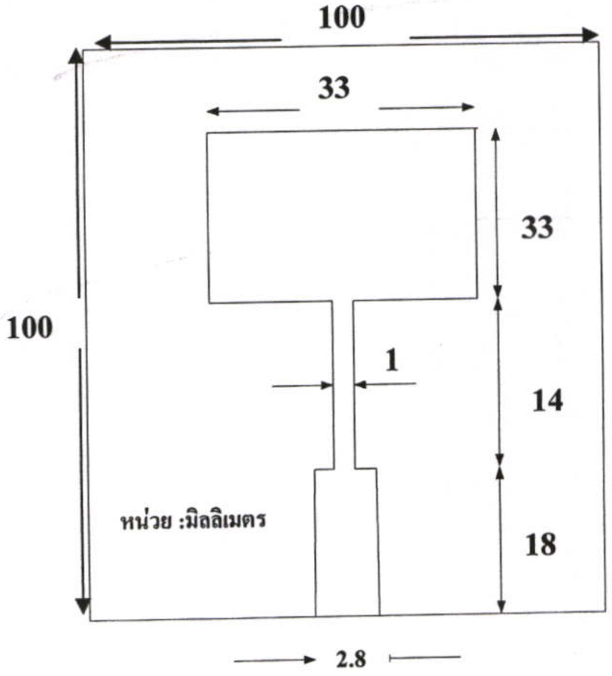
รูปที่ 4.7 รูปร่างของแผ่นตัวนำสายอากาศไมโครสตริปแบบต่างๆ

4.3.3 ลักษณะและขนาดของสายอากาศแบบไมโครสติปที่ใช้ในการทดลองวิจัย

โดยในรูปที่ 4.8 และ 4.9ได้แสดงลักษณะและขนาดของสายอากาศแบบไมโครสตริปที่นำมาใช้ในการทดลองวิจัย ซึ่งมีย่านความถี่ 2.45 GHz

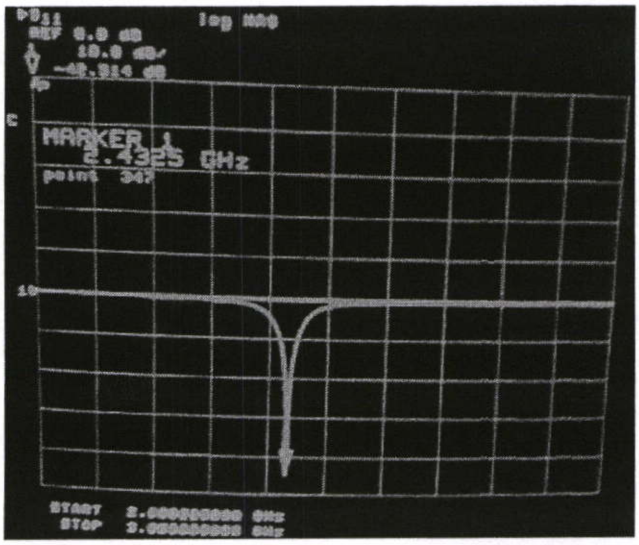


รูปที่ 4.8 สายอากาศแบบไมโครสตริปที่สร้างขึ้นสำหรับย่านความถี่ 2.45 GHz



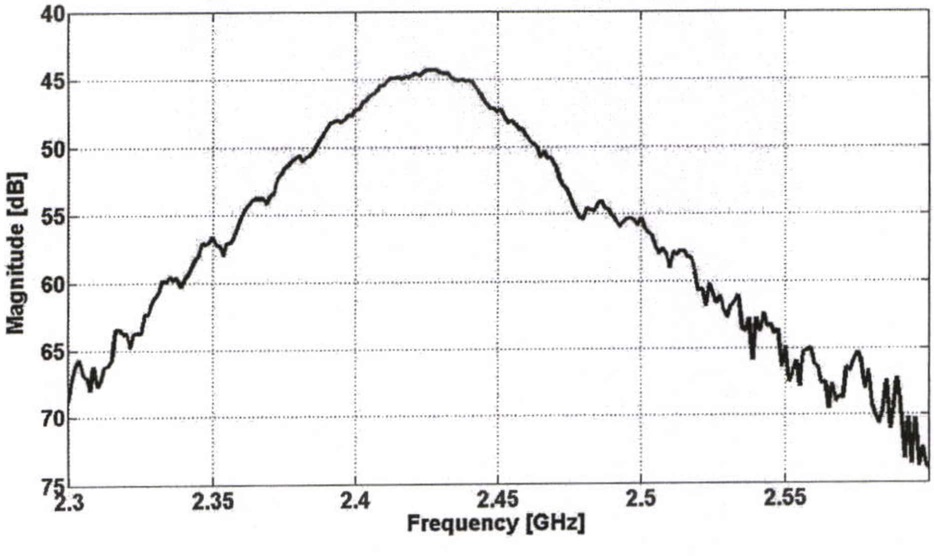
รูปที่ 4.9 ขนาดของสายอากาศแบบไมโครสตริปที่สร้างขึ้นสำหรับย่านความถี่ 2.45 GHz

ส่วนในรูปที่ 4.10 แสดงค่าประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Reflection coefficient : S_{11}) ของสายอากาศแบบไมโครสตริป โดยจะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับนั้นมีค่าต่ำกว่า -10 dB ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.3 ถึง 2.6 GHz แสดงให้เห็นว่าสายอากาศนี้เหมาะกับการนำมาใช้ในการทดลองวัดของช่องสัญญาณนี้



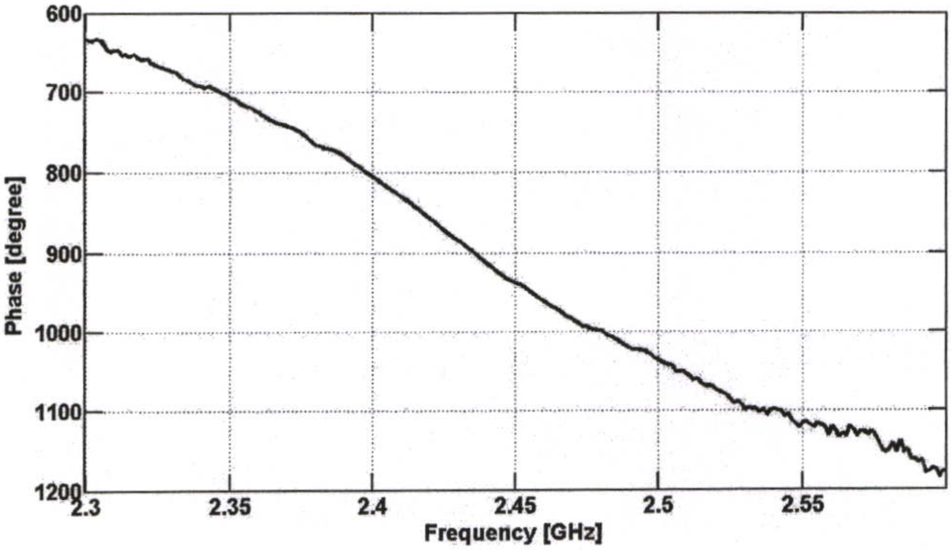
รูปที่ 4.10 S_{11} ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแบบไมโครสตริป

ขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านของสายอากาศแบบไมโครสตริปดังรูปที่ 4.11 ซึ่งสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่าขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านของสายอากาศที่ความถี่ 2.45 GHz มีค่ามากที่สุด



รูปที่ 4.11 ขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านของสายอากาศ

ส่วนในรูปที่ 4.12 แสดงถึงเฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านของสายอากาศซึ่งเป็นคุณลักษณะของสายอากาศแบบไมโครสตริปที่ใช้ในการทดลองวัดครั้งนี้ สังเกตได้ว่าค่อนข้างมีสัญญาณรบกวนน้อยที่ความถี่ 2.45 GHz



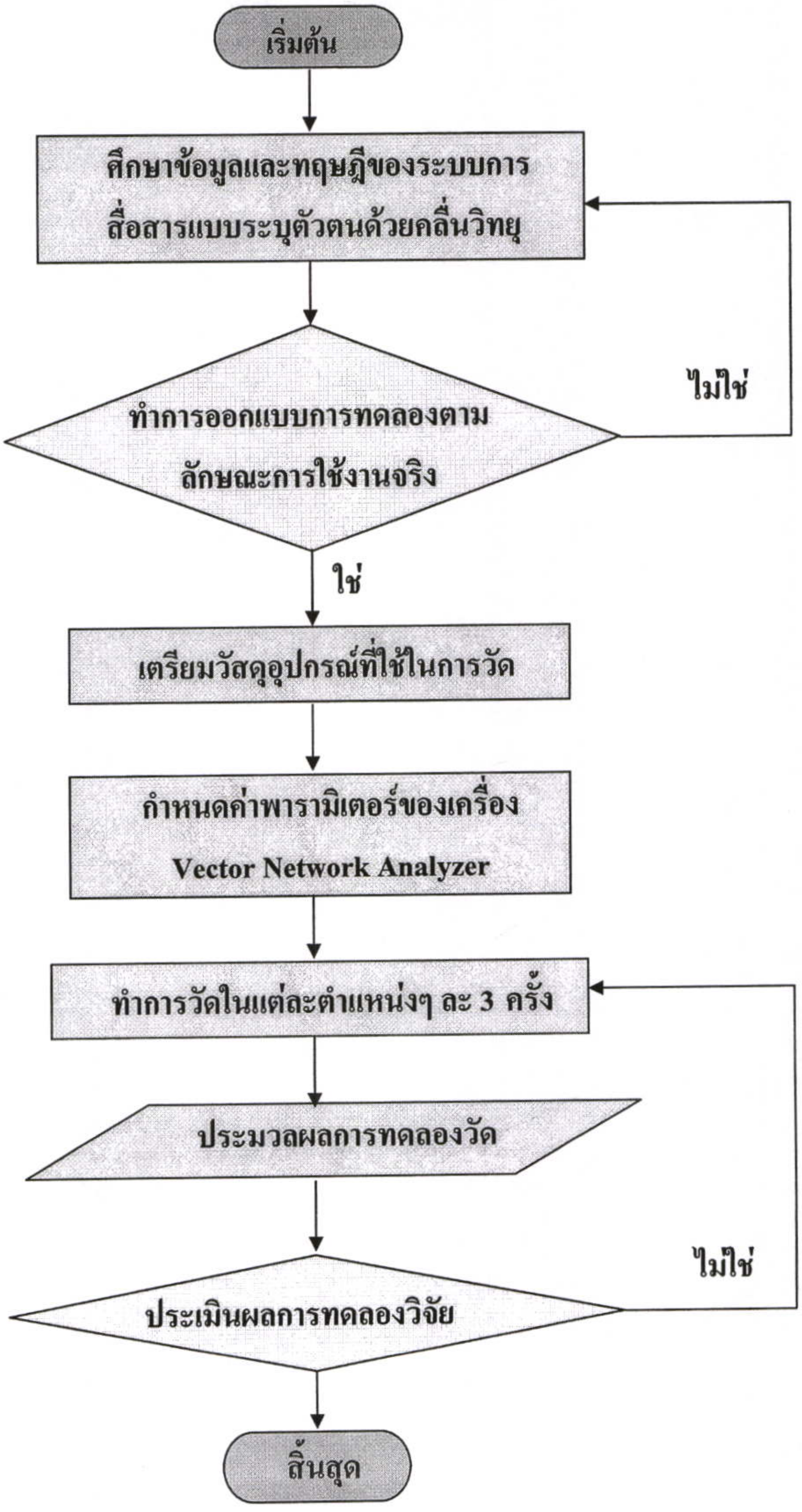
รูปที่ 4.12 เฟสของฟังก์ชั่นการส่งผ่านของสายอากาศ

4.4 การทดลองวัดช่องสัญญาณของระบบ RFID

โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 รูปแบบในการทดลองวิจัย

ในการทดสอบช่องสัญญาณเพื่อหาค่าการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่น และประสิทธิภาพของสัญญาณการส่งผ่านเป็นการตรวจสอบหาค่าคุณสมบัติทางเวลาของช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งรูปแบบในการทดลองวัดช่องสัญญาณเพื่อหาการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุนั้นมี 2 รูปแบบด้วยกัน คือ ส่วนแรกเป็นรูปแบบการทดลองวัดของช่องสัญญาณภายใต้สภาวะแวดล้อมจริงภายในอาคาร โดยตำแหน่งสายอากาศด้านรับวางในตำแหน่งมุมและระยะทางที่แตกต่างกันแสดงดังรูปที่ 4.15 และส่วนที่สองเป็นรูปแบบการทดลองวัดของช่องสัญญาณในสภาวะที่มีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1 แสดงดังรูปที่ 4.20 โดยทั้งสองแบบดังกล่าวใช้ห้องที่มีขนาดความกว้าง 6 เมตร ความยาว 10 เมตร สูง 2.5 เมตร ผนังของห้องเป็นผนังที่ทำด้วยอิฐ เพดานห้องจะเป็นแผ่นยิปซัม พื้นห้องทำด้วยไม้ ซึ่งเป็นลักษณะสภาวะแวดล้อทของห้องทั่วๆ ไป โดยกำหนดให้สายอากาศทางด้านส่งนั้นอยู่กับที่ ส่วนสายอากาศทางด้านรับจะมีการเคลื่อนที่ไปตามมุมและระยะทางที่ได้กำหนดไว้ ขั้นตอนและวิธีการทดลองวัดจะกล่าวในหัวข้อต่อไป



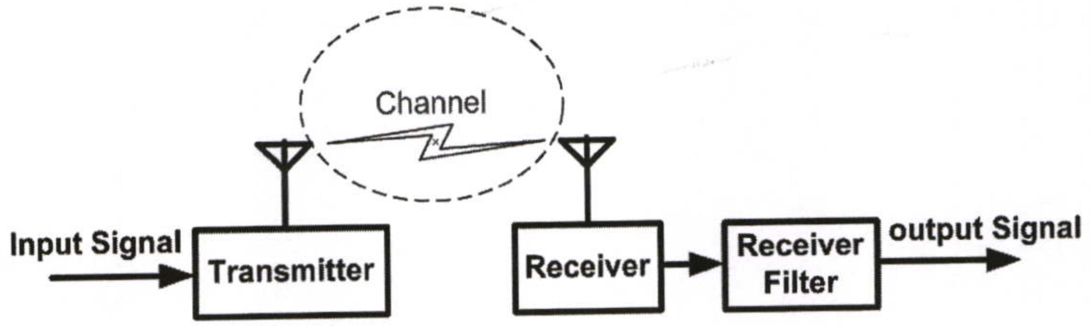
รูปที่ 4.13 ขั้นตอนในการทดลองวัดช่องสัญญาณของระบบแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ

4.4.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1

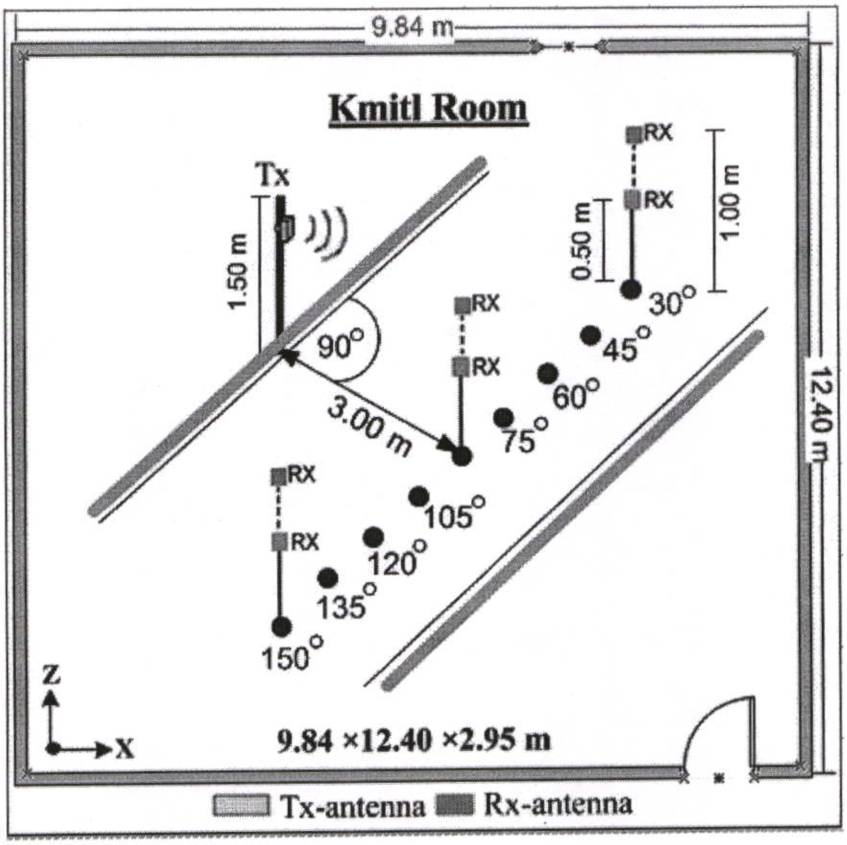
ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้นจากการนำเครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวกเตอร์มาปรับเทียบด้วยตัวปรับเทียบแบบ full two port (Full two port-Type Calibration Kits) โดยได้ทำการแบ่งความถี่เป็น 2 ช่วงได้แก่ความถี่ 2.3 GHz ถึง 2.6 GHz ซึ่งแต่ละช่วงความถี่มีจำนวนจุดของความถี่ คือ 801 จุด

ขั้นตอนที่ 2 ทดลองวัดช่องสัญญาณเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ โดยกำหนดให้สายอากาศอยู่ในตำแหน่งที่ได้ออกแบบไว้ สายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับเป็นสายอากาศชนิดไมโครสตริป โดยทิศทางของสายอากาศมีการโพลาไรซ์แบบแนวตั้ง

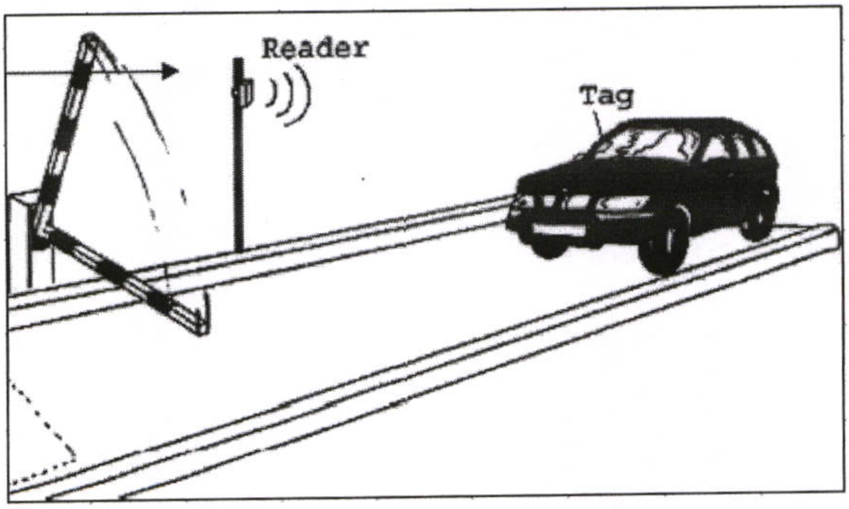
ขั้นตอนที่ 3 เป็นลักษณะการวัดแบบเส้นตรงในตำแหน่งมุมที่แตกต่างกัน โดยเพิ่มมุมทีละ 15° ระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ โดยกำหนดตำแหน่งที่มุม 90° สายอากาศทั้งสองวางห่างกัน 3.00 เมตร สายอากาศภาคส่งสูงจากพื้นเป็นระยะ 1.50 เมตร สายอากาศภาครับสูงจากพื้นเป็นระยะ 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร การทดลองวัดจะถูกทำซ้ำ โดยที่การย้ายสายอากาศภาครับไปยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ตามลำดับทั้งหมด 9 ตำแหน่ง จนครบทุกตำแหน่ง ซึ่งบล๊อกไดอะแกรมสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณการส่งผ่านของระบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุของแบบการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.14 และแบบจำลองการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.15 รูปแบบการใช้งานจริงของแบบจำลองการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.16 การจัดวางอุปกรณ์ในการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.17 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองวัดสามารถนำไปคำนวณเพื่อหาค่าการสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่น และประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการส่งผ่านต่อไป



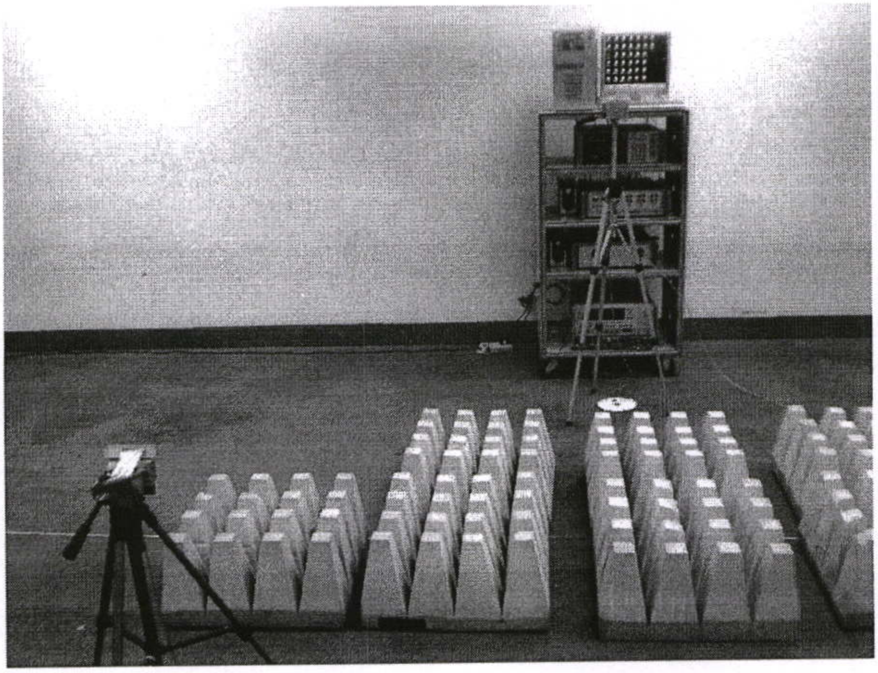
รูปที่ 4.14 บล๊อกไดอะแกรมสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณการส่งผ่านของระบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุในการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1



รูปที่ 4.15 แบบจำลองการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1



รูปที่ 4.16 รูปแบบการใช้งานจริงของแบบจำลองการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1



รูปที่ 4.17 การจัดวางอุปกรณ์ในการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1

4.4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการทดลองวัดแสดงให้เห็นในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ของการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1

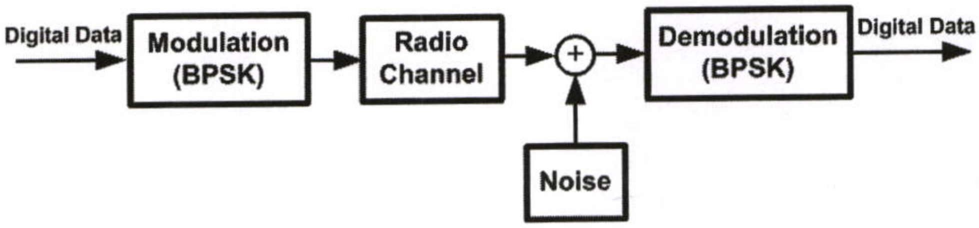
พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	2.3 GHz ถึง 2.6 GHz
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
พิสัยพลวัตของกำลังงาน	80 dB
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.50 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	0.50 ,1.00 เมตร
ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับ	3.00 เมตร ที่มุม 90°
มุมระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับ	30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150 องศา
การวางตัวของสายอากาศ	แนวตั้ง
ชนิดของสายอากาศ	ไมโครสตริป

4.4.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 2

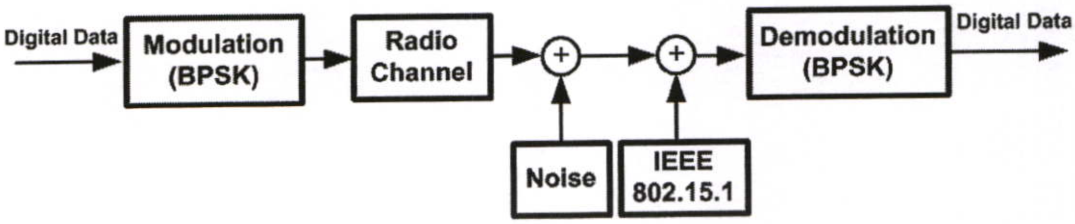
ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้นจากการนำเครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวกเตอร์มาปรับเทียบด้วยตัวปรับเทียบแบบ full two port (Full two port-Type Calibration Kits) โดยได้ทำการวัดในช่วงความถี่ 2.3 GHz ถึง 2.6 GHz ซึ่งแต่ละช่วงความถี่มีจำนวนจุดของความถี่ คือ 801 จุด

ขั้นตอนที่ 2 ทดลองวัดช่องสัญญาณเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ โดยกำหนดให้สายอากาศอยู่ในตำแหน่งที่ได้ออกแบบไว้ สายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับเป็นสายอากาศแบบไมโครสตริป โดยทิศทางของสายอากาศมีการโพลาไรซ์แบบแนวตั้ง

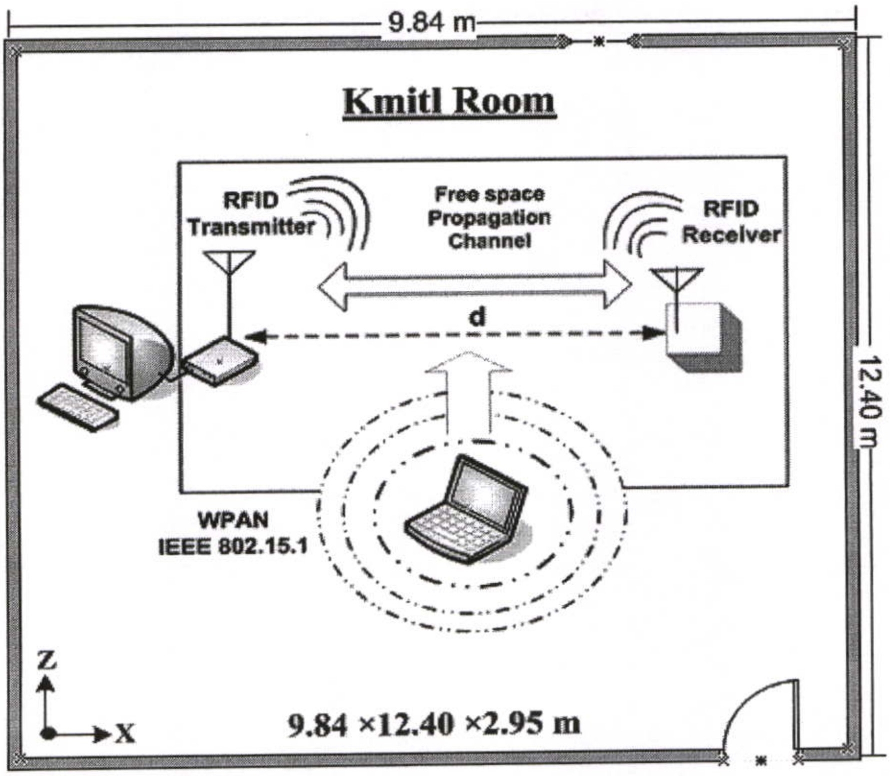
ขั้นตอนที่ 3 เป็นลักษณะการวัดแบบเส้นตรง และระหว่างการวัดสัญญาณมีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1 โดยใช้สายอากาศด้านส่งสูงจากพื้นเป็นระยะ 1.50 เมตร และสายอากาศด้านรับสูงจากพื้นเป็นระยะ 1.00 เมตร การทดลองวัดจะถูกทำซ้ำโดยที่การย้ายสายอากาศภาครับไปยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ตามลำดับทั้งหมด 5 ตำแหน่ง จนครบทุกตำแหน่ง บล็อกไดอะแกรมการวิเคราะห์สัญญาณสำหรับการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุของรูปแบบการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.18 และ 4.19 แบบจำลองการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.20 การจัดวางอุปกรณ์ในการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.21



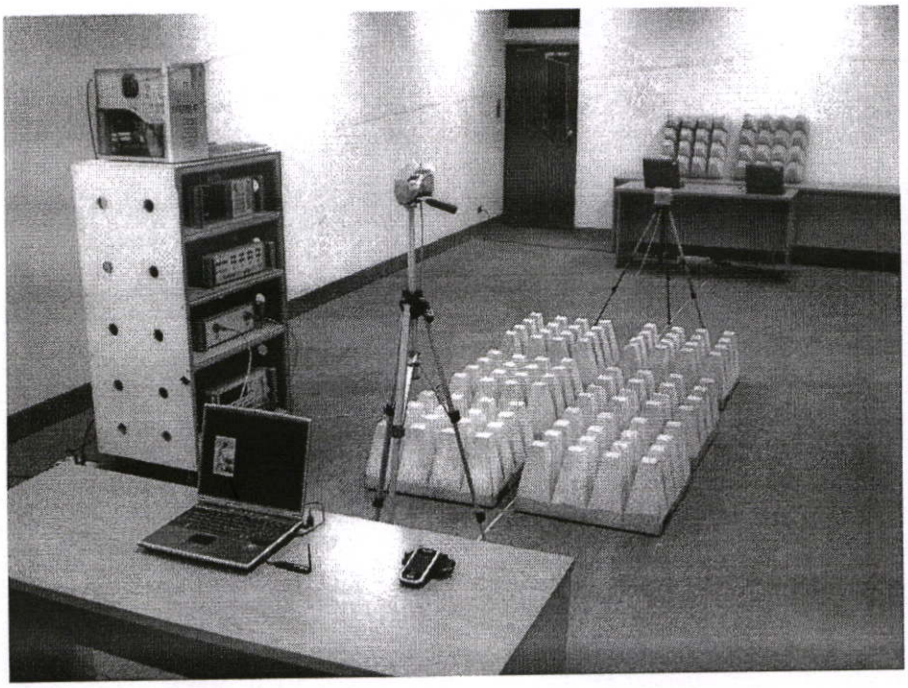
รูปที่ 4.18 บล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์สัญญาณสำหรับการส่งผ่านของระบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุโดยไม่มีสัญญาณแทรกสอดของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ



รูปที่ 4.19 บล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์สัญญาณสำหรับการส่งผ่านของระบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุโดยมีสัญญาณแทรกสอดของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ



รูปที่ 4.20 แบบจำลองการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 2



รูปที่ 4.21 การจัดวางอุปกรณ์ในการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 2

4.4.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 2

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการทดลองวัดแสดงให้เห็นในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ของการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบที่ 2

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	2.3 GHz ถึง 2.6 GHz
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.50 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.00 เมตร
พิสัยพลวัตของกำลังงาน	80 dB
ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับ	2 , 4 , 6 , 8 , 10 เมตร
การวางตัวของสายอากาศ	แนวตั้ง
ชนิดของสายอากาศ	ไมโครสตริป
อัตราการส่งข้อมูลต่อบิต	1 Mbps
การมอดูเลตของข้อมูล	BPSK

4.5 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการทดลองวัดช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร โดยในรูปแบบจำลองแรกคือ แบบจำลองช่องสัญญาณที่ใช้เพื่อหาการสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่น และประสิทธิภาพของสัญญาณการส่งผ่านในตัวกลางอวกาศว่างของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ โดยมีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศด้านรับเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศด้านรับในแต่ละมุมและระยะทางที่แตกต่างกัน และรูปแบบจำลองที่สองจะเป็นแบบจำลองเพื่อหาการสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่น และประสิทธิภาพของสัญญาณการส่งผ่านในตัวกลางอวกาศว่างของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุในสภาวะแวดล้อมที่มีการใช้ของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ IEEE 802.15.1 ซึ่งในการทดลองวัดช่องสัญญาณได้ใช้อุปกรณ์ของบลูทูธทำการส่งสัญญาณรบกวนการแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศทั้ง 2 ด้าน ในการทดลองวัดช่องสัญญาณได้ใช้เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวคเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการทดสอบซึ่งทำการทดสอบในโดเมนความถี่ เพื่อวิเคราะห์หาผลกระทบต่างๆที่เกิดจากสภาวะแวดล้อมดังกล่าว โดยใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปเป็นสายอากาศด้านส่งและด้านรับ สามารถตอบสนองต่อความถี่ในช่วง 2.3 GHz ถึง 2.6 GHz ซึ่งครอบคลุมตลอดช่วงความถี่ของระบบการสื่อสารแบบ

ระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ โดยข้อมูลการวัดที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์และแสดงผลของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ ดังจะแสดงในบทต่อไป

บทที่ 5

ผลการทดลองวิจัยระบบ RFID

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองวัดช่องสัญญาณในสภาวะแวดล้อมจริงภายในอาคาร รวมถึงสภาวะแวดล้อมที่มีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธมาตรฐาน IEEE 802.15.1 ซึ่งทั้งสองแบบจำลองได้อธิบายไปแล้วในบทที่ 4 จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากผลของการทดลองวัดช่องสัญญาณ เพื่อหาผลการวิเคราะห์ของค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชั่นการส่งผ่านความถี่ รูปสัญญาณทางด้านรับของสายอากาศ กำลังและอัตราการขยายเชิงวิถีของการแพร่กระจายคลื่น การแผ่ประวิงเวลา สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ อัตราบิตผิดพลาด ซึ่งรายละเอียดของผลการวิเคราะห์จะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

5.2 ผลการทดลองวิจัย

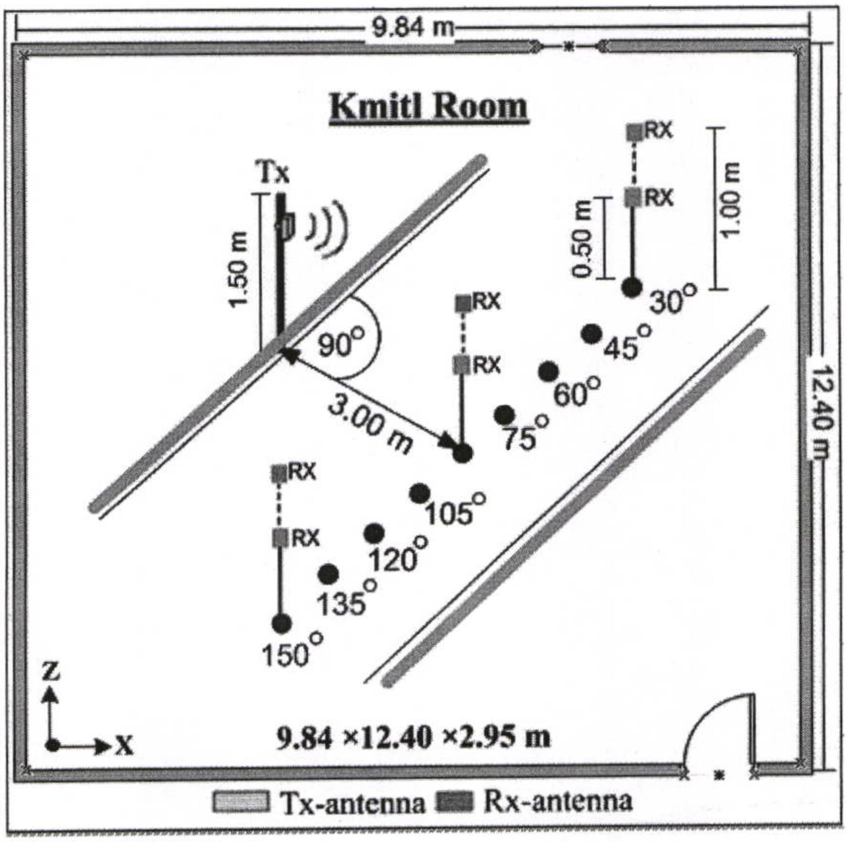
5.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองการทดลองวิจัยที่ 1

ในรูปแบบจำลองการทดลองวิจัยนี้ได้ทำการทดลองวัดช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุในสภาวะแวดล้อมจริงภายในอาคาร โดยทำการจัดวางตำแหน่งของสายอากาศทางด้านส่งไม่มีการเปลี่ยนตำแหน่ง ส่วนสายอากาศทางด้านรับจะมีการเปลี่ยนตำแหน่งไปทั้งหมด 9 ตำแหน่ง โดยจะเป็นลักษณะการวัดแบบเส้นตรงในตำแหน่งมุมที่แตกต่างกัน โดยเพิ่มมุมทีละ 15° ระหว่างสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับ โดยกำหนดตำแหน่งที่มุม 90° สายอากาศทั้งสองวางห่างกัน 3.00 เมตร ส่วนสายอากาศด้านส่งสูงจากพื้นเป็นระยะ 1.50 เมตร สายอากาศด้านรับสูงจากพื้นเป็นระยะ 0.50 เมตร และ 1.00 เมตร โดยสายอากาศทั้งสองเป็นสายอากาศแบบไมโครสตริปแสดงดังรูปที่ 5.1 เป็นการแสดงสภาวะแวดล้อมจำลองของช่องสัญญาณที่ใช้ในการทดลองวัด ซึ่งจะเห็นตำแหน่งของสายอากาศทั้งด้านส่งและด้านรับที่ใช้ในการทดลองวัดช่องสัญญาณในครั้งนี้

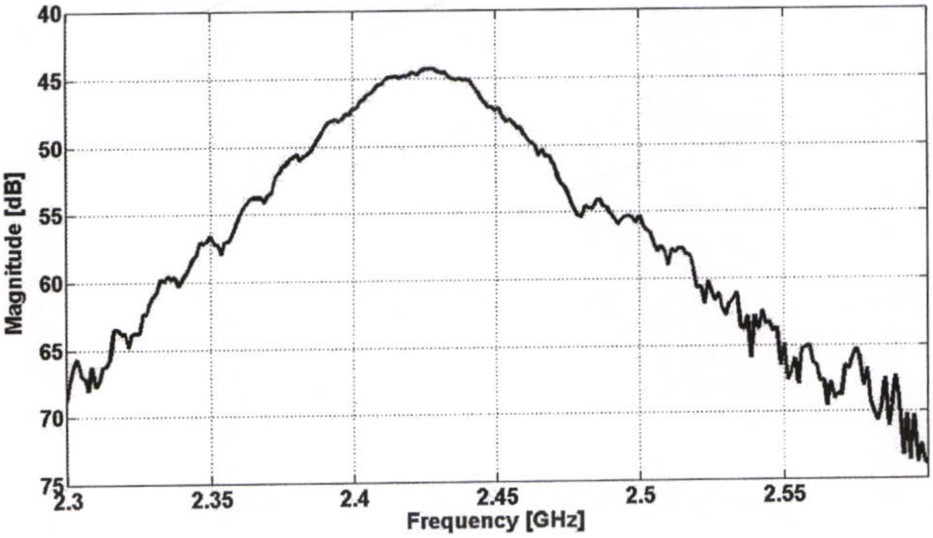
5.2.1.1 ผลการวิเคราะห์ขนาดและเฟสของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของสายอากาศ

สำหรับผลจากการวัดขนาดและเฟสของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของสายอากาศ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของสายอากาศแบบไมโครสตริปที่ใช้สำหรับการทดลองวัดของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่งสังเกตได้ว่าขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสายอากาศแบบไมโครสตริปที่ย่านความถี่ 2.45 GHz มีค่ามากที่สุด และมีสัญญาณรบกวนน้อย ส่วนเฟสของฟังก์ชั่นการถ่ายโอน

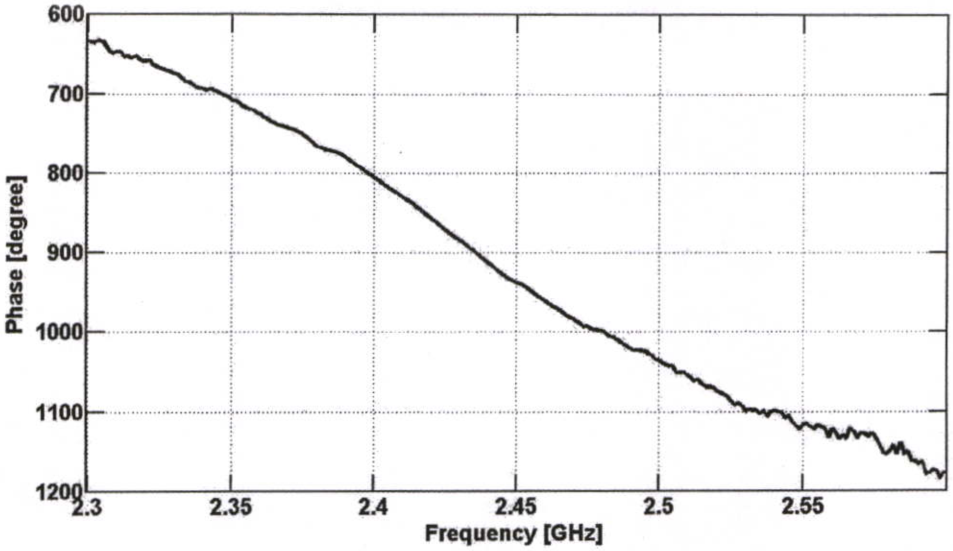
ของสายอากาศเป็นลักษณะเส้นตรง และมีสัญญาณรบกวนน้อยเช่นเดียวกัน และผลการวิเคราะห์ขนาดและเฟสของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของสายอากาศแสดงดังรูปที่ 5.2 และ 5.3



รูปที่ 5.1 แบบจำลองช่องสัญญาณในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารและตำแหน่งของสายอากาศ



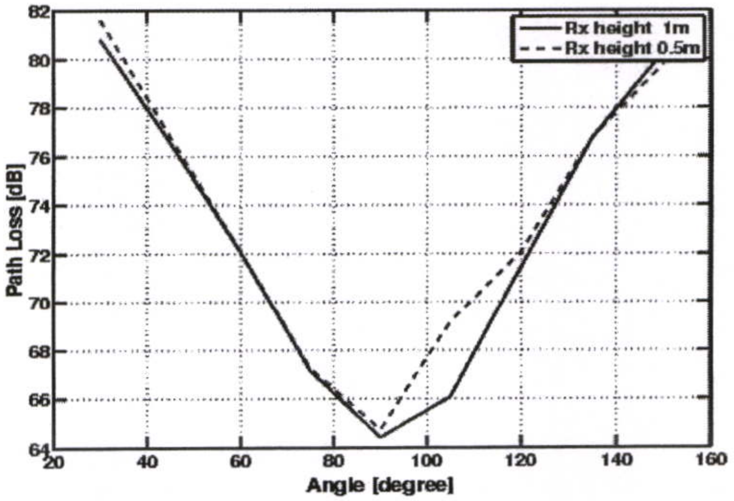
รูปที่ 5.2 ขนาดของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของสายอากาศที่ได้จากการวัด



รูปที่ 5.3 เฟสของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของสายอากาศที่ได้จากการวัด

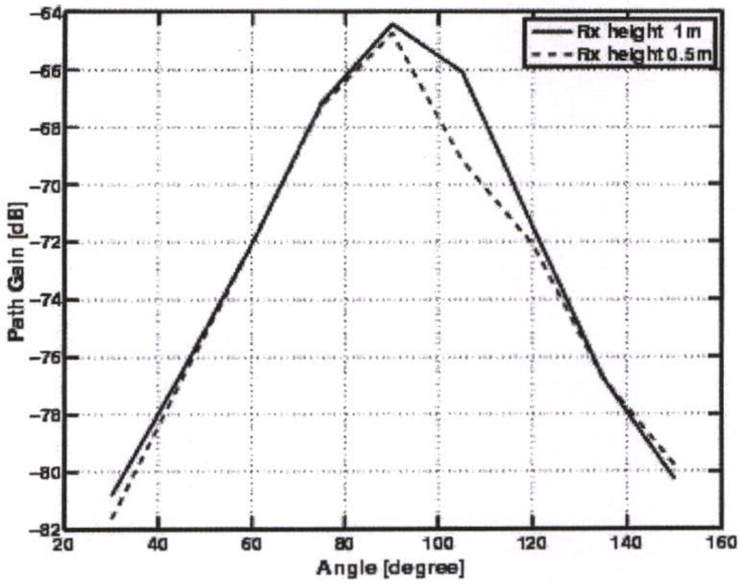
5.2.1.2 ผลการวิเคราะห์กำลังการสูญเสียเชิงวิถีและอัตราการขยายเชิงวิถี

เมื่อทำการเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศด้านรับ จะทำให้ผลของกำลังการสูญเสียเชิงวิถีและอัตราการขยายเชิงวิถีของช่องสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะแวดล้อมที่ได้เปลี่ยนแปลงไป สำหรับผลการวิเคราะห์ของกำลังการสูญเสียเชิงวิถีและอัตราการขยายเชิงวิถีของช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงแสดงดังรูปที่ 5.4 และ 5.5 ตามลำดับ ซึ่งกำลังการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณการส่งผ่านในการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุตำแหน่งมุมที่ 90° มีการสูญเสียเชิงวิถีน้อยที่สุดและ 30° กับ 150° มีค่ามากที่สุด



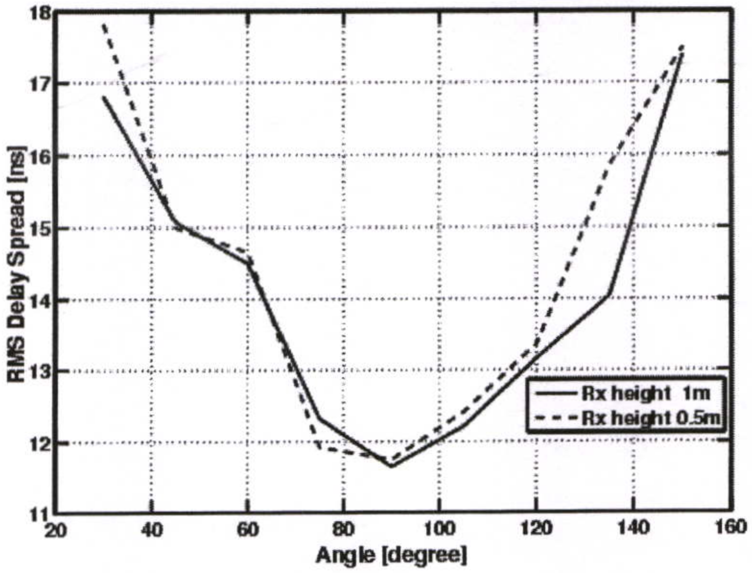
รูปที่ 5.4 กำลังการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่สายอากาศด้านรับความสูง 0.50 และ 1.00 เมตร

ส่วนอัตราการขยายเชิงวิถีจะมีค่าตรงข้ามกับกำลังการสูญเสียเชิงวิถี ส่วนความสูงของสายอากาศด้านรับระหว่าง 0.50 กับ 1.00 เมตรนั้นมีผลกระทบน้อย



รูปที่ 5.5 อัตราการขยายเชิงวิถีที่สายอากาศด้านรับความสูง 0.50 และ 1.00 เมตร

5.2.1.3 ผลการวิเคราะห์การแผ่ประวิงเวลา



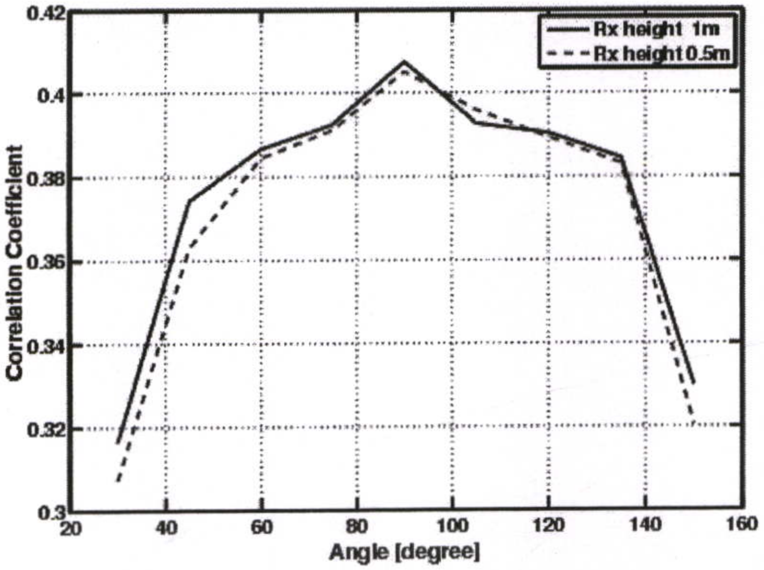
รูปที่ 5.6 การแผ่ประวิงเวลาที่สายอากาศด้านรับความสูง 0.50 และ 1.00 เมตร

จากรูปที่ 5.6 เป็นผลการวิเคราะห์ของการแผ่ประวิงเวลาจากการทดลองวัดในช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงได้ ซึ่งสังเกตได้อย่างชัดเจนว่าการแผ่ประวิงเวลาของสัญญาณการส่งผ่านในการ

แพร่กระจายคลื่นวิทยุตำแหน่งมุมที่ 90° มีค่าน้อยที่สุด และตำแหน่งมุมที่ 30° กับ 150° มีค่ามากที่สุด ส่วนความสูงของสายอากาศด้านรับระหว่าง 0.5 กับ 1.00 เมตร นั้นมีผลกระทบน้อย

5.2.1.4 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

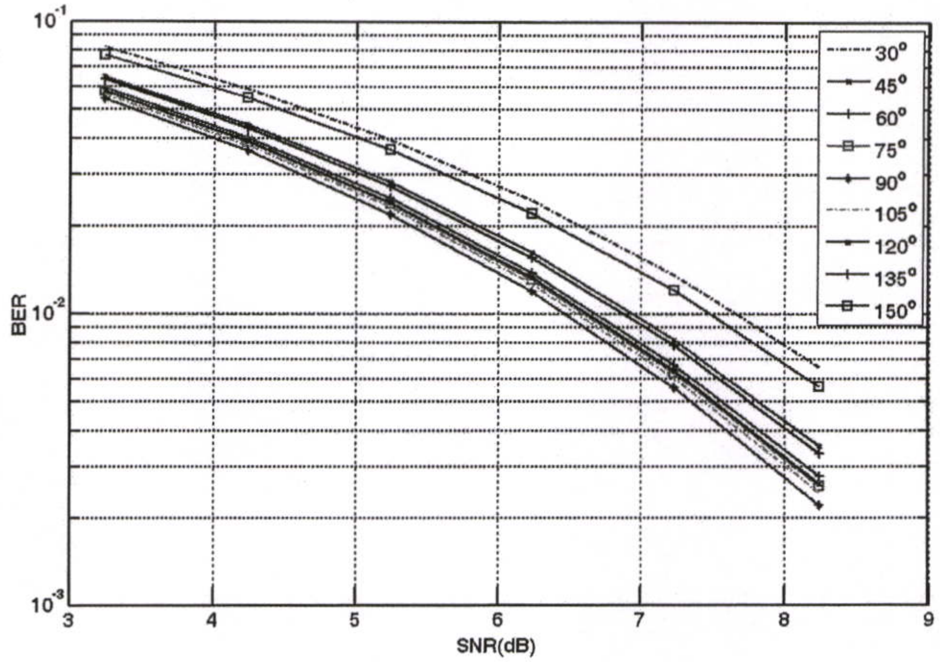
สำหรับผลการวิเคราะห์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากการทดลองวัดในช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงได้แสดงดังรูปที่ 5.7 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสัญญาณการส่งผ่านในการแพร่กระจายคลื่นแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ จะสังเกตได้อย่างชัดเจนว่าตำแหน่งมุมที่ 90° มีค่ามากที่สุด และตำแหน่งมุมที่ 30° กับ 150° มีค่าน้อยที่สุด แต่ขนาดความสูงของสายอากาศด้านรับระหว่าง 0.5 เมตร กับ 1.00 เมตร นั้นมีผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้อยมาก



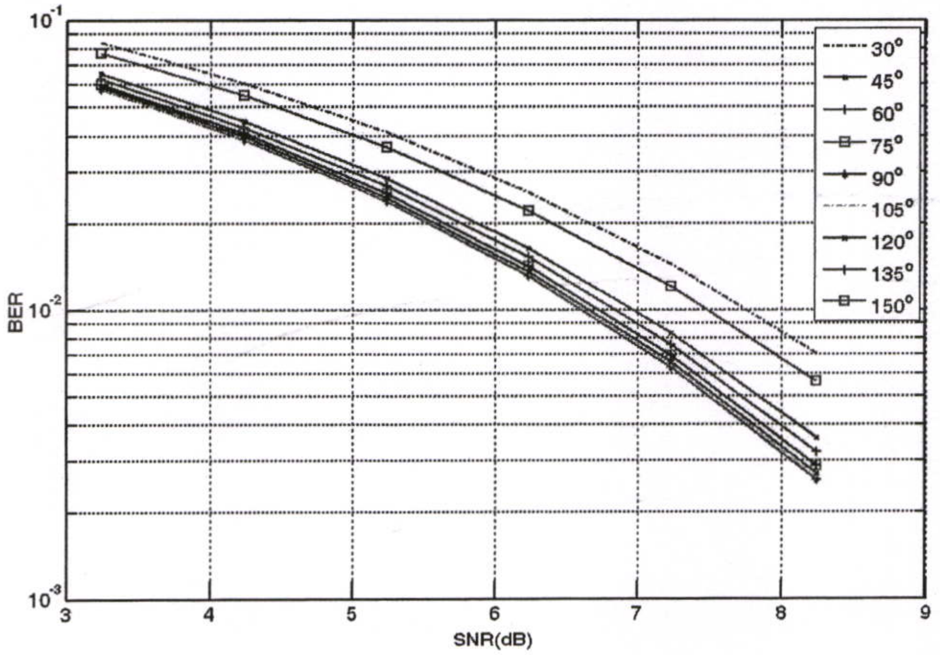
รูปที่ 5.7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่สายอากาศด้านรับความสูง 0.50 และ 1.00 เมตร

5.2.1.5 ผลการวิเคราะห์อัตราบิตผิดพลาด

ส่วนการวิเคราะห์ของค่าอัตราบิตผิดพลาดจากการทดลองวัดในช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงด้วยสายอากาศด้านรับความสูงที่ 0.5 เมตร กับ 1.00 เมตร แสดงดังรูปที่ 5.8 และ5.9 ตามลำดับ ซึ่งค่าอัตราบิตผิดพลาดสามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสัญญาณการส่งผ่านในการแพร่กระจายคลื่นแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่งสังเกตได้อย่างชัดเจนว่าตำแหน่งมุมที่ 90° มีค่าน้อยที่สุด และตำแหน่งมุมที่ 30° กับ 150° มีค่ามากที่สุด แต่ขนาดความสูงของสายอากาศด้านรับระหว่าง 0.5 เมตร กับ 1.00 เมตร นั้นมีผลกระทบต่อค่าอัตราบิตผิดพลาดน้อยมาก



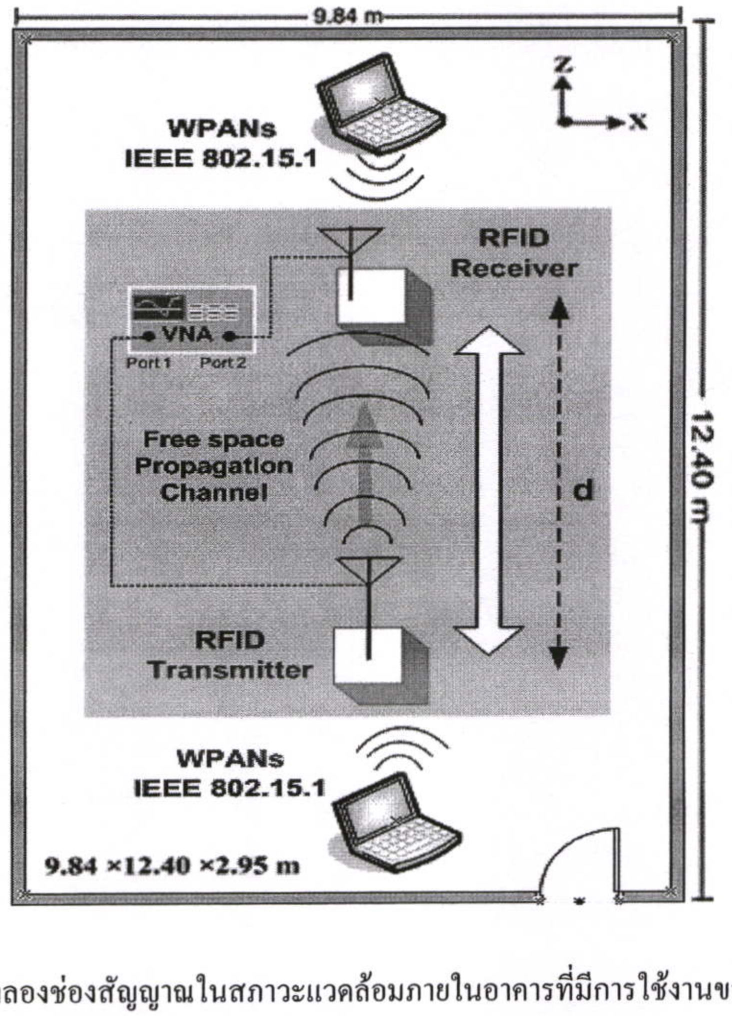
รูปที่ 5.8 อัตราบิตผิดพลาดที่สายอากาศด้านรับความสูง 0.50 เมตร



รูปที่ 5.9 อัตราบิตผิดพลาดที่สายอากาศด้านรับความสูง 1.00 เมตร

5.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองการทดลองวิจัยที่ 2

ในรูปแบบจำลองการทดลองวิจัยนี้เป็นการจำลองช่องสัญญาณจริงภายในอาคารที่มีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.10 โดยทำการจัดวางตำแหน่งของสายอากาศให้สายอากาศทางด้านส่งไม่มีการเปลี่ยนตำแหน่ง ส่วนสายอากาศทางด้านรับจะมีการเปลี่ยนตำแหน่งไปทั้งหมด 5 ตำแหน่ง ซึ่งเป็นลักษณะการวัดแบบเส้นตรงโดยเพิ่มระยะทางทีละ 2 เมตรระหว่างสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับ ส่วนสายอากาศด้านส่งสูงจากพื้นเป็นระยะ 1.50 เมตร สายอากาศด้านรับสูงจากพื้นเป็นระยะ 1.00 เมตร โดยสายอากาศทั้งด้านส่งและรับใช้สายอากาศแบบไมโครสตริป

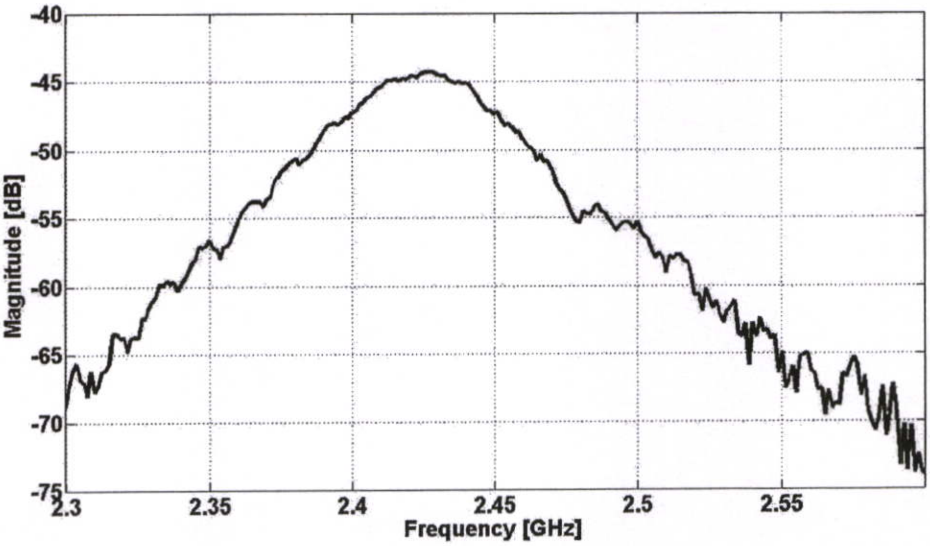


รูปที่ 5.10 แบบจำลองช่องสัญญาณในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารที่มีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1

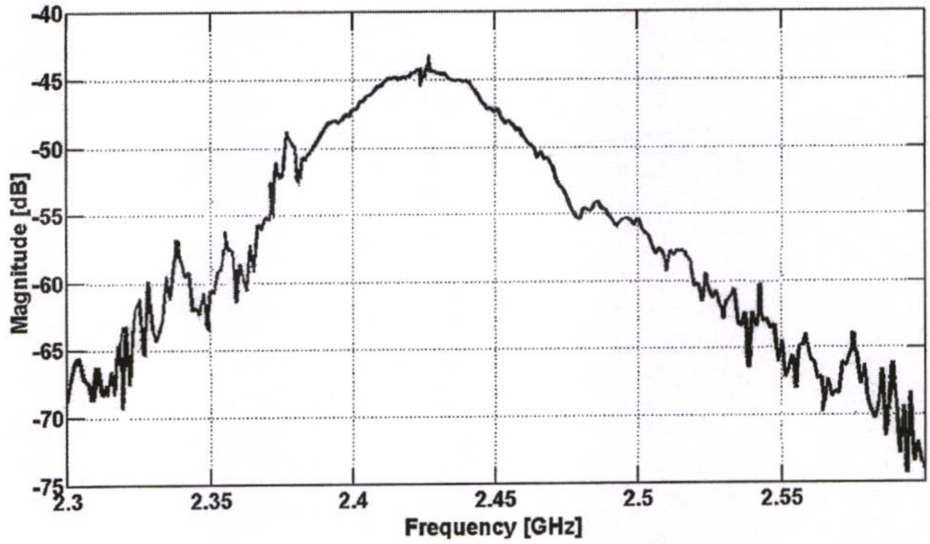
5.2.2.1 ผลการวิเคราะห์ขนาดและเฟสของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ

สำหรับผลจากการวัดขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสัญญาณการส่งผ่านระหว่างไม่มีการใช้งานกับมีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธแสดงดังรูปที่ 5.11 ถึง 5.14

ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้อย่างชัดเจนว่าขนาดของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของสัญญาณเมื่อมีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ สัญญาณการส่งผ่านในการแพร่กระจายคลื่นของระบบแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุเกิดสัญญาณรบกวนจากระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1

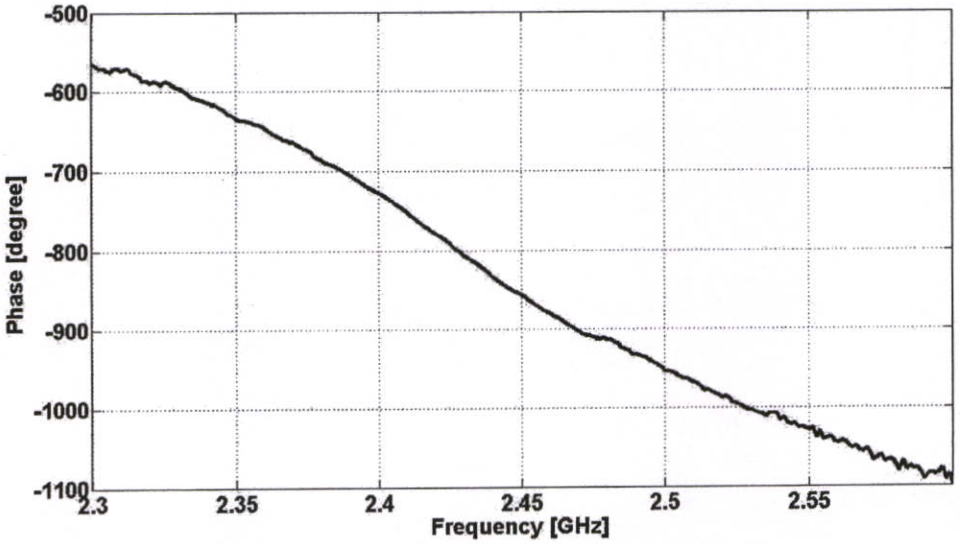


รูปที่ 5.11 ขนาดของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่ไม่มีการใช้งานระบบบลูทูธ

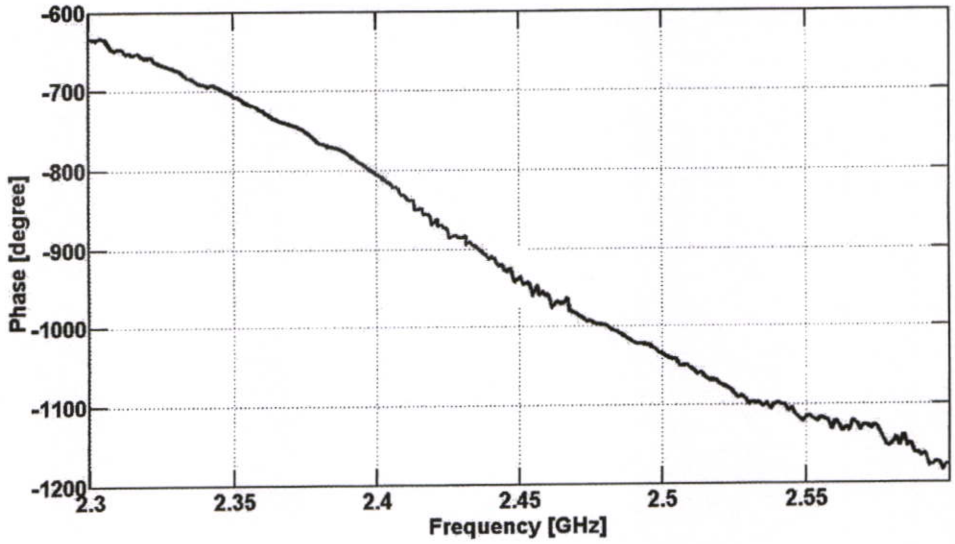


รูปที่ 5.12 ขนาดของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่มีการใช้งานระบบบลูทูธ

ส่วนเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสัญญาณการส่งผ่านในการแพร่กระจายคลื่นของระบบแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่งสังเกตได้อย่างชัดเจนว่าเฟสเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณและมีสัญญาณรบกวนจากระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1



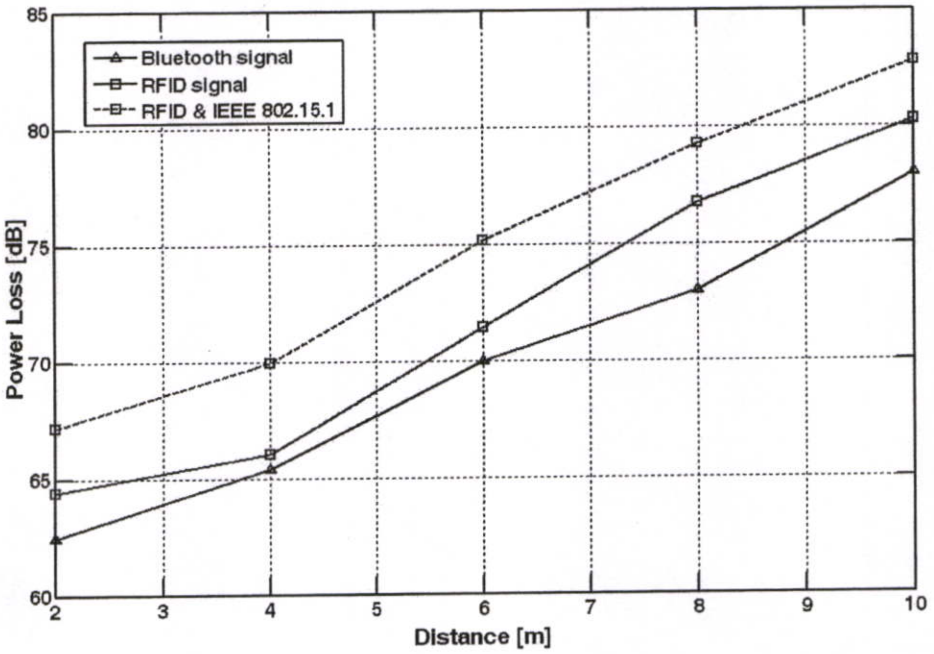
รูปที่ 5.13 เฟสของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่ไม่มีการใช้งานระบบบลูทูธ



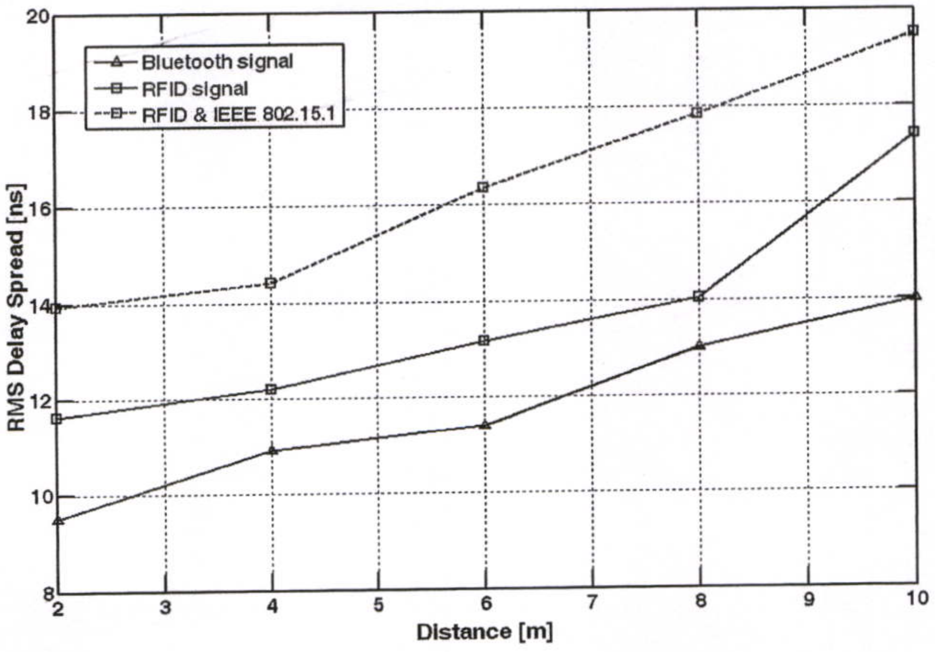
รูปที่ 5.14 เฟสของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่มีการใช้งานระบบบลูทูธ

5.2.2.2 ผลการวิเคราะห์กำลังการสูญเสียเชิงวิถีและการแผ่ประวิงเวลา

เมื่อทำการเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศด้านรับตามตำแหน่งต่างๆ ทำให้ผลของกำลังการสูญเสียเชิงวิถีและการแผ่ประวิงเวลาของช่องสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะแวดล้อมที่ได้เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 5.15 กำลังการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณตั้งแต่ระยะทางที่ 2 เมตร ถึง 10 เมตร

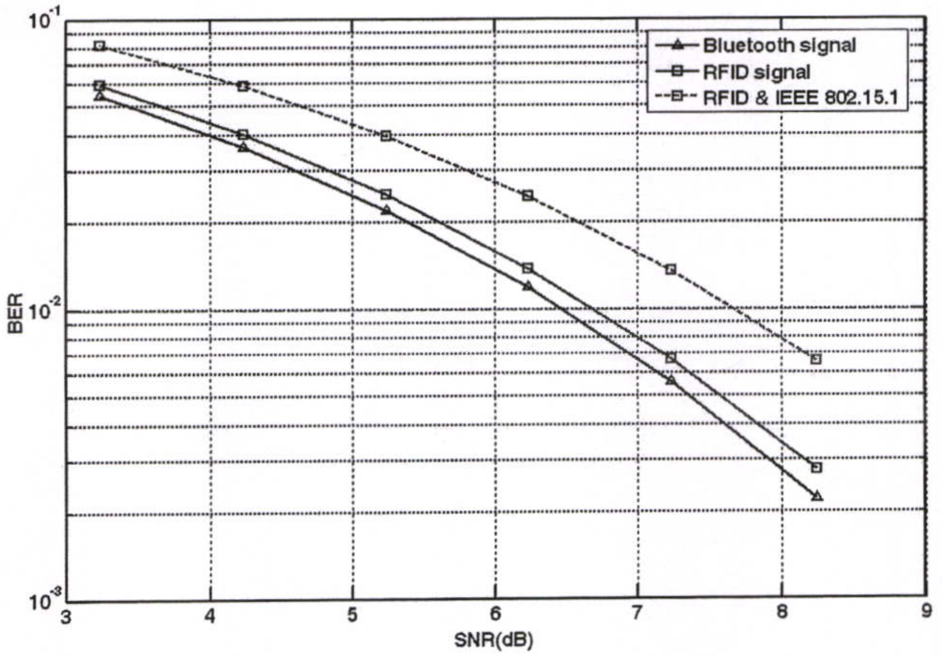


รูปที่ 5.16 การแผ่ประวิงเวลาของสัญญาณตั้งแต่ระยะทางที่ 2 เมตร ถึง 10 เมตร

จากรูปที่ 5.15 และ 5.16 แสดงผลการวิเคราะห์ของกำลังการสูญเสียเชิงวิถีและการแผ่ประวิงเวลาของช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงตามลำดับ ในกรณีที่มีการใช้งานและไม่มีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1 ซึ่งสังเกตได้อย่างชัดเจนว่าระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ นั้นมีผลกระทบต่อการส่งผ่านในการแพร่กระจายคลื่นของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุตั้งแต่ระยะทาง 2 เมตร ถึง 10 เมตร

5.2.2.3 ผลการวิเคราะห์อัตราบิตผิดพลาด

สำหรับการวิเคราะห์ของค่าอัตราบิตผิดพลาดจากการทดลองวัดในช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงตั้งแต่ระยะทางที่ 2 เมตร ถึง 10 เมตรได้แสดงดังรูปที่ 5.17 ซึ่งค่าอัตราบิตผิดพลาดสามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสัญญาณการส่งผ่านในการแพร่กระจายคลื่นแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่งสังเกตได้อย่างชัดเจนว่ากรณีที่มีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1 นั้นมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสัญญาณการส่งผ่านในการแพร่กระจายคลื่นแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ



รูปที่ 5.17 อัตราบิตผิดพลาดตั้งแต่ระยะทางที่ 2 เมตร ถึง 10 เมตร

5.3 บทสรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองในสภาวะแวดล้อมจริงภายในอาคาร รวมถึงในสภาวะที่มีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ เพื่อใช้ในการหาการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่น และผลกระทบการแทรกสอดจากสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ โดยได้แสดงผลการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่น ผลของการวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติของช่องสัญญาณ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุที่ย่านความถี่ 2.45 GHz ซึ่งบทสรุปและข้อเสนอแนะของวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงในบทต่อไป

บทที่ 6
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกิดจากแนวความคิดที่ว่าระบบการสื่อสารไร้สายปัจจุบันนั้นต้องการประสิทธิภาพในการส่งผ่านข้อมูลสูง และสามารถใช้งานในทุกพื้นที่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบให้สามารถใช้งานได้ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอการศึกษาการสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่น และประสิทธิภาพการส่งผ่านของช่องสัญญาณระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio frequency identification: RFID) ที่ย่านความถี่ 2.45 GHz ผ่านตัวกลางอวกาศว่างในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร รวมทั้งสภาวะแวดล้อมที่มีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1โดยใช้สายอากาศแบบไมโครสติปที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางตรง (Directional) รวมทั้งรูปแบบของการมอดูเลตแบบดิจิตอลถูกกำหนดให้เป็นแบบ BPSK (Binary phase shift keying) ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ และในการหาคุณสมบัติต่างๆของช่องสัญญาณนี้ได้วิเคราะห์บนพื้นฐานทฤษฎีและหลักการส่งผ่านของฟรีส (Friis transmission) และพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการหาค่าการสูญเสียของสัญญาณการส่งผ่านในการแพร่กระจายคลื่นและผลกระทบการแทรกสอดจากสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ ซึ่งได้มีการทดลองวัดช่องสัญญาณในสภาวะแวดล้อมจริงแบบภายในอาคารทั้งสิ้น

6.2 สรุปผลการทดลองวัดของการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารของระบบการสื่อสาร RFID ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมและระยะทางที่แตกต่างกัน

ในการหาค่าการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่น และประสิทธิภาพของสัญญาณการส่งผ่านในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ โดยใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปที่คลื่นความถี่วิทยุ 2.45 GHz ทั้งสายอากาศด้านส่งและรับ และกำหนดตำแหน่งของสายอากาศด้านรับตามมุมและระยะทางที่แตกต่างกันภายในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารผ่านตัวกลางอวกาศว่าง จากผลการศึกษาวิจัยการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นโดยใช้สัญญาณแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุในสภาวะแวดล้อมจริงแบบภายในอาคาร ที่สำคัญสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นนั้นเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งระยะทางนั้นมีผลกระทบเป็นอย่างมากต่อคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของช่องสัญญาณ และประสิทธิภาพการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุในตัวกลางอวกาศว่าง แต่ตำแหน่งมุมนั้นไม่มีผลกระทบแต่อย่างใด ซึ่งทำให้ทราบถึงการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นแบบต่างๆ

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้เกิดขึ้นกับผลการทดลองวัดช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุภายใต้สภาวะแวดล้อมดังกล่าว ซึ่งข้อมูลและกระบวนการเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการออกแบบระบบการสื่อสารไร้สายแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณได้

6.3 สรุปผลกระทบการแทรกสอดจากสัญญาณบลูทูธที่มีต่อระบบการสื่อสาร RFID

ส่วนผลกระทบการแทรกสอดจากสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธที่มีต่อระบบการสื่อสารของ RFID เนื่องจากการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธในปัจจุบันนั้นมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และระบบดังกล่าวได้ทำงานที่ย่านความถี่ 2.45 GHz ซึ่งเป็นคลื่นความถี่วิทยุเดียวกันกับระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ และระยะทางในการรับส่งข้อมูลใกล้เคียงกันคือประมาณ 10 เมตร ดังนั้นจึงต้องศึกษาการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่น และประสิทธิภาพของสัญญาณการส่งผ่านในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุในขณะที่มีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธภายในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารผ่านตัวกลางอวกาศว่าง ซึ่งจำเป็นต้องทำการทดลองวัดช่องสัญญาณจริง เพื่อนำเอาคุณสมบัติของช่องสัญญาณนั้นนำไปวิเคราะห์ระบบ เมื่อต้องการออกแบบระบบใหม่ก็จำเป็นต้องใช้แบบจำลองช่องสัญญาณที่มีสภาวะแวดล้อมที่มีความแตกต่างกันเพื่อให้สามารถทราบได้ถึงความสามารถในการทนต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ ของระบบว่าเป็นเช่นใด แบบจำลองช่องสัญญาณที่เกิดจากสภาวะแวดล้อมที่หลากหลายจึงช่วยในการออกแบบระบบการสื่อสารได้ และในปัจจุบันยังคงต้องการแบบจำลองช่องสัญญาณที่เกิดจากสภาวะแวดล้อมอื่นๆ อีกมากมายซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอแบบจำลองช่องสัญญาณที่มีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ ซึ่งทำให้ทราบถึงการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นแบบต่างๆ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องนั้นเกิดขึ้นกับผลการทดลองวัดช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุภายใต้สภาวะแวดล้อมดังกล่าว

จากผลการทดลองวิจัยที่ได้วิเคราะห์มานั้นได้แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะของช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุที่ย่านความถี่ 2.45 GHz ซึ่งสังเกตได้อย่างชัดเจนว่าเมื่อระยะทางเปลี่ยนแปลงไปคุณลักษณะของช่องสัญญาณมีการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่น และประสิทธิภาพของการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุเมื่อมีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ ซึ่งข้อมูลและกระบวนการเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการออกแบบระบบการสื่อสารไร้สายแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณได้ในกรณีมีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธ มาตรฐาน IEEE 802.15.1

6.4 ข้อเสนอแนะ

จากแนวคิดที่ได้ทำการศึกษาการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่น และผลกระทบการแทรกสอดจากสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธที่มีต่อระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุนั้น โดยพยายามเลือกสภาวะแวดล้อมทั้งหมดที่ระบบดังกล่าวใช้งานจริง ดังนั้นในการใช้งานของระบบใดๆ ความต้องการในประสิทธิภาพของการใช้งานจะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายๆ ด้าน เช่น ราคา สภาวะแวดล้อมที่ระบบแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุนั้นนำไปใช้งาน จึงสามารถปรับเปลี่ยนกระบวนการ เทคนิคและวิธีการต่างๆเพื่อให้สอดคล้องกับระบบที่ต้องการได้เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดที่ควรได้รับ

ในการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณที่มีการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบบลูทูธได้ทำการทดลองวัดช่องสัญญาณเพื่อหาค่าคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุในสภาวะแวดล้อมแบบภายในอาคารนั้น เป็นเพียงแบบจำลองช่องสัญญาณที่พยายามสร้างขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับการออกแบบระบบการสื่อสารและการวิเคราะห์ปัญหาให้กับระบบการสื่อสารภายใต้สภาวะแวดล้อมหนึ่งเท่านั้น ยังมีสภาวะแวดล้อมต่างๆ อีกมากมายที่สามารถนำเอาระบบการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพสูงอย่างเช่นระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุนี้ไปใช้งานได้ จึงจำเป็นต้องทำการจำลองช่องสัญญาณในสภาวะอื่นๆ อีกเพื่อศึกษาถึงลักษณะเส้นทางการเดินทางของคลื่น คุณสมบัติของช่องสัญญาณที่เกิดจากสภาวะแวดล้อมที่ได้เปลี่ยนแปลงไป เพื่อจะได้ทำการสร้างเป็นแบบจำลองช่องสัญญาณภายใต้เงื่อนไขหรือสภาวะที่แตกต่างออกไป และในการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณยังมีเทคนิคและวิธีการในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของการสร้างแบบจำลองที่ซับซ้อนและยังอาศัยผลจากการทดลองวัดช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงและหลีกเลี่ยงผลกระทบจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นไม่ได้ ซึ่งในอนาคตอาจมีวิธีการที่สามารถลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับการทดสอบช่องสัญญาณได้

ในลำดับสุดท้ายผู้เขียนหวังว่าแนวความคิด วิธีการศึกษาวิเคราะห์ การออกแบบ การทำแบบจำลอง และผลการจำลองจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางที่ดีให้แก่ผู้ที่สนใจในการศึกษาค้นคว้าในเรื่องของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ และหากมีผู้สนใจต้องการจะศึกษาวิจัยต่อไปจริง ผู้เขียนยินดีจะมอบความรู้และเทคนิคต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ด้วยความยินดี เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารของประเทศต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] **RFID security** 4 free booklets Apr 2006 eBook-DDU www.syngress.com

[2] Michael L. Davis, **"RFID: Definitions"**, Slide presentation, Oct 1997

[3] สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติในงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ http://www.nstda.or.th/sciencetech/documents/salekit-th.pdf

[4] **RFID Sourcebook** By Sandip Lahiri Prentice Hall PTR ISB: 0-13-185137-3

[5] **RFID Handbook** : Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification. Klaus Finkenzeller John Wiley and Sons Ltd 2003

[6] วัชรากร หนูทอง อนุกูล น้อยไม้ และ ปรินันท์ วรรณสว่าง,**"RFID เทคโนโลยีสารพัดประโยชน์"** , สาร NECTEC กันยายน และตุลาคม พ.ศ.2547

[7] Craig K. Harmon, **"An RFID Primer"** Mississippi Valley State University Slide presentation

[8] **"Bluetooth Terminology"** http://ntrg.cs.tcd.ie/undergrad/4ba2.01/group3/terminology.html

[9] Robert W. Wood, **Physical Optics**, Optical Society, 1988.

[10] M. Ghavami, L.B. Michael and R. Kohno, **Ultra Wideband Signal and Systems in Communication Engineering**, John Wiley & Sons, LTD, pp.99, May 2004

[11] S. Promwong and W. Hachitani, and J. Takada, **Free Space Link Budget Evaluation of UWB-IR Systems**, Joint UWBST and IWUWBS2004, pp.312-316, May 18-21, 2004.

[12] Theodore S. Rappaport, **Wireless Communications Principles And Practice**, United States of America : Prentice-Hall PTR, 2002.

[13] Leon W.Couch 2, **"Digital and Analog Communication Systems"** , Sixth Edition, 2002.

[14] RFID Explained A Primer on Radio Frequency Identification Technologies Roy Want www.morganclaypool.com A Publication in the Morgan and Claypool Publishers

[15] Dynamic Retargettable **Multi-Protocol RFID Reader/Writer** Shinsuke Kobayashi, Ken Sakamura Interfaculty Initiative in Information Studies, The University of Tokyo, Japan Tatsushi Morokuma YRP Ubiquitous Networking Laboratory Tokyo, Japan

[16] Time-synchronised **multi-piconet Bluetooth environments** I.Ashraf, A.Gkelias, M. Dohler and A.H. Aghvami

[17] Techniques For Channel Estimation, Dc-Offset Compensation, **And Link Quality Control In Bluetooth System**, Cheol-Hee Park, Jong-Ho Paik, Young-Hwan You, Min-Chul Ju and Jin-Woong Cho, Korea Electronics Technology Institute (KETI), Korea

[18] Robert W. Wood, **Physical Optics**, Optical Society, 1988.

[19] M. Ghavami, L.B. Michael and R. Kohno, **Ultra Wideband Signal and Systems in Communication Engineering**, John Wiley & Sons, LTD, pp.99, May 2004.

[20] Ian O., Matti H. and Jari I, **UWB Theory and Applications**, John Wiley & Sons Ltd. 2004.

[21] Ralph S. Carson, **High-Frequency Amplifiers Second edition**, New york : John Wiley & Sons Ltd. 1982.

[22] U. R-yohsae, N. Sukutamtanti and S. Promwong, "A Study on Free Space Propagation Loss For 2.45 GHz Radio Frequency Identification Band", **The 1st Joint International Conference on Information and Communication Technology (JICT-2007)**, pp. 314-318, 19-22 December 2007.

[23] U. R-yohsae, N. Sukutamtanti and S. Promwong, "Interference Signal Analysis of IEEE 802.15.1 to RFID Communication System at 2.45 GHz", **International Conference on Computer and Communication Engineering(ICCCE-2008)**, pp. 1000-1004, Malaysia, 13-15 May 2008.

[24] U. R-yohsae, N. Sukutamtanti and S. Promwong, "Effects of IEEE 802.15.1 Interference on A RFID Communication System at 2.45 GHz", **The fifth International Conference in Electrical Engineering/Electronics, Computer ,Telecommunication and Information Technology (ECTI-CON 2008)**, pp. 417-420, 14-17 May 2008.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

งานประชุมในระดับนานาชาติ

[1] **U. R-yohsae**, N. Sukutamtanti and S. Promwong, "A Study on Free Space Propagation Loss For 2.45 GHz Radio Frequency Identification Band", 1st Joint International Conference onInformation and Communication Technology (JICT-2007), Loa, Vol. 1, pp. 314-318, 19-22 Dec 2007.

งานประชุมในระดับนานาชาติ

[2] **U. R-yohsae**, N. Sukutamtanti and S. Promwong, "Interference Signal Analysis of IEEE 802.15.1 to RFID Communication System at 2.45 GHz", International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE-2008), pp. 1000-1004, Malaysia, Vol.2, 13-15 May 2008.

งานประชุมในระดับนานาชาติ

[3] **U. R-yohsae**, N. Sukutamtanti and S. Promwong, "Effects of IEEE 802.15.1 Interference on A RFID Communication System at 2.45 GHz", The fifth International Conference in Electrical Engineering/Electronics, Computer ,Telecommunication and Information Technology (ECTI-CON 2008), pp. 417-420, Vol. 5 Thailand, 14-17 May 2008.

JICT 2007

Proceedings

Joint International Conference on Information Communication Technology

JICA | TOKAI UNIVERSITY | MEIJI UNIVERSITY | ECTI Association | 日本シミュレーション学会 JSST Japan Society for Simulation Technology

19-22 December 2007

Donchan Palace Hotel, Vientiane, Lao PDR

A STUDY ON FREE SPACE PROPAGATION LOSS FOR 2.45 GHZ RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION BAND

Usman R-yohsae, Sathaporn Promwong and Nikorn Sukutamatanti

Department of Information Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
E-mail: {s9061015, kpsathap, ksnikorn}@kmitl.ac.th

ABSTRACT

A part of important consideration in wireless communication systems is the free space propagation loss. In this paper, we focus on the characteristic of radio propagation channel and the performance of Radio Frequency Identification (RFID) systems at frequency range 2.45 GHz which depend on different the angle in an indoor environment. The Friis' transmission formula [1] is considered. We will show in magnitude and phase antenna transfer function, bit error rate (BER), power loss, power gain, correlation coefficient and rms delay spread that can analyze the radio propagation loss and the performance of RFID transmission signal. We believe our study would give a good guideline for further researches and design on RFID systems.

1. INTRODUCTION

Radio Frequency Identification (RFID) is used in short and long range communication technology. It has several important advantages over the traditional barcode. RFID is used in radio waves for automatic identification about people or objects and also could improve business processes such as inventory management and efficiency in supply chain management, manufacture and transport goods.

RFID operates in different frequency bands (e.g.,125 kHz, 13.56 MHz, 868/915 MHz, 2.45 GHz, and 5.8 GHz). RFID systems in which the gap between the reader and the transponder is greater than 1m are called long-range systems and could accept transfer large packets of data quickly. These systems are operated at the microwave frequencies 2.45 GHz and 5.8 GHz. The short wavelengths of these frequency ranges facilitate the construction of antennas with far smaller dimensions and greater efficiency than would be possible using frequency ranges below 30 MHz [4].

The communication of RFID systems between the reader and the tag is divided into 2 methods that are inductive coupling and electromagnetic wave propagation coupling. In case of Low frequency (LF, 125-134 KHz) and high frequency (HF, 13.56 MHz) RFID systems are the near-field based on inductive coupling between the reader and the tag antennas through a magnetic field. The Tag for near-field coupling send data back to the reader using load modulation. Ultra-high frequency (UHF, 860-960 MHz) and microwave (2.4 GHz and 5.8 GHz) RFID systems are the far-field which use electromagnetic waves propagating between the reader and tag antennas. The technique used by commercial far-field RFID tag designs is back-

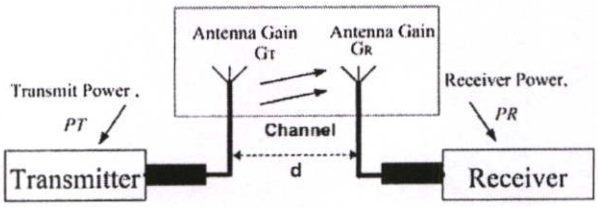


Figure 1. *Free space propagation channel.*

scattering. RFID systems track based on data communication between the reader (RFID reader) and the transponder (RFID tag) [6].

For antennas whose size is comparable to wavelength (used in UHF, microwave RFID), the approximate boundary between the far field and the near field region is commonly given as $r = 2D^2/\lambda$ where D is the maximum antenna dimension and λ is the wavelength. For electrically small antennas (used in LF/HF RFID), the radiating near field region is small and the boundary between the far field and the near field regions is commonly given as $r = \lambda/2\pi$ [8]

Modulation: ASK (Amplifier Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying) or PSK (Phase Shift Keying) are used in RFID. As for PSK, BPSK (Binary Phase Shift Keying) is mostly used [7].

This paper analyzes the part of the radio propagation loss and performance of RFID systems in frequency range 2.45 GHz. This scheme is based on the Friis transmission formula. The intensive simulations were carried out the experiment with the microstip antenna at transmitter side and receiver side and fix distance by d in different angle for indoor environment. We hope that this paper can provide sufficient and useful guideline for the development of RFID systems with optimized the performance.

2. TRANSMISSION ANALYSIS

The spectral density of the received spectrum $V_r(f)$ is the multiplication between the spectral density of the transmitted spectrum and the channel frequency transfer function $H_c(f)$, which obtained from the measurement. Therefore, the spectral density of the received spectrum can be written as

$$V_r(f) = H_c(f) \cdot V_t(f) \quad (1)$$

In Eq.(1) the received waveform $v_r(t)$ is calculated by using the inverse Fourier transform, which is

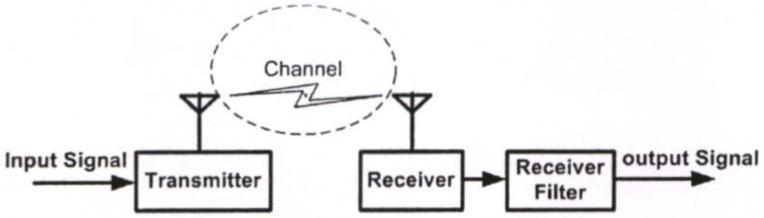


Figure 2. *Block diagram of transmission signal analysis for RFID systems.*

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_r(f) e^{j2\pi ft} d_f \quad (2)$$

The Friis transmission formula is extended taking into account the transmission waveform as [1]

$$H_{\text{Friis}}(f) = \frac{V_{rf}}{E_t} = H_f H_t H_r, \quad (3)$$

where is a complex transfer function vector of the antenna relative to the isotropic antenna,

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

is the free space transfer function where

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (5)$$

is the propagation constant.

The power transfer ratio for a pair of lossless antennas in free space with optimum orientation is given by [5]:

$$G_{\text{Friis}}(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_f(f) G_t(f) G_r(f), \quad (6)$$

where λ = wavelengh; P_t = transmitted power; P_t = received power; G_t = transmitter antenna gain; G_r = receiver antenna gain; d = separation distance between antennas. The factor $G_f(f) = (\frac{\lambda}{4\pi d})^2$ in Eq.(6) is separated from the effects of the transmitter and receiver antenna gain and will be referred as the free space path loss. An in-building path loss that is occurs in a physical building, and take in consideration of reflection, absorption and other attenuation effects introduced by the presence of objects inside a building. The in-building path loss model chosen for the purpose of simulation is given in Eq.(7)[2]

$$PL(d) = PL(d0) + 10n log(\frac{d}{d_0}); d \geq d0 \quad (7)$$

where d_0 = arbitrary reference distance; n = a value that depends on the surroundings and building types; d = the separation distance between two antennas. For wireless systems which grossly quantify the multipath channel are used. The mean excess delay, rms delay spread, and excess delay spread are multipath channel parameters that can be determined from a power delay profile is given in Eq.(8-10) and is explained by [3]

$$\overline{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k)\tau_k}{\sum_k P(\tau_k)}, \quad (8)$$

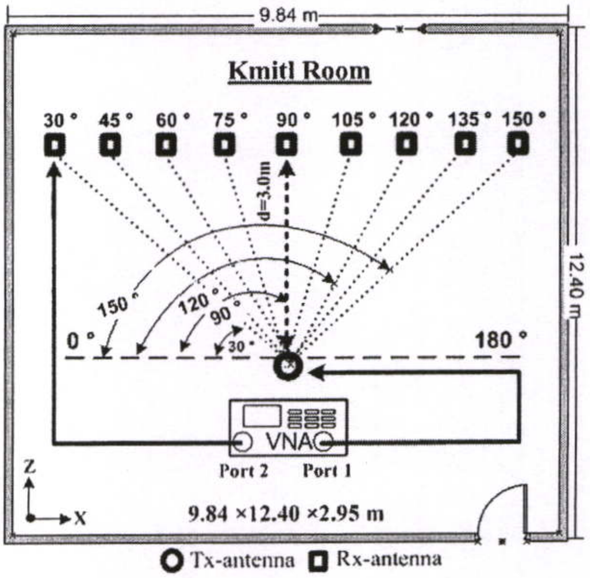


Figure 3. *The measurement system model.*

$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k)\tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)}, \quad (9)$$

$$\sigma_\tau = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\overline{\tau})^2}, \quad (10)$$

where $\overline{\tau}$ is mean excess delay, σ_τ is rms delay spread and $P(\tau_k)$ is power delay profile

Bit error rate (BER) is given in Eq.(11-12) and can also be defined in terms of the probability of error

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\alpha e^{-t^2/2} dt, \quad (11)$$

E_b is the energy in one bit and N_0 is the noise power spectral density, so $\frac{E_b}{N_0}$ is a form of signal to noise ratio. b_r is rate of transfer(bps) and C_c is correlation coefficient

$$BER = Q[\sqrt{2(E_b/N_0)C_c}] \quad (12)$$

3. MEASUREMENT SETUP

By using the vector network analyzer (VNA), the measure frequency transfer function with the number of frequency point of 801 are taken in the indoor environment at the room of Department of information engineering (KMITL). The transfer functions were measured as S_{21} in the frequency domain. The VNA was operated in the response measurement mode, where port-1 was used as the transmitter port (Tx) and port-2 was used as the receiver

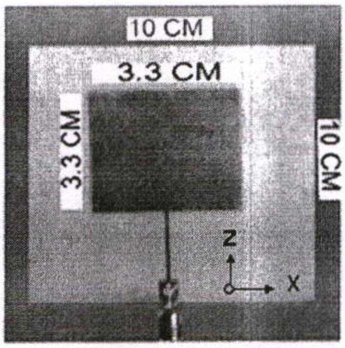


Figure 4. *The Microstrip antenna structure.*

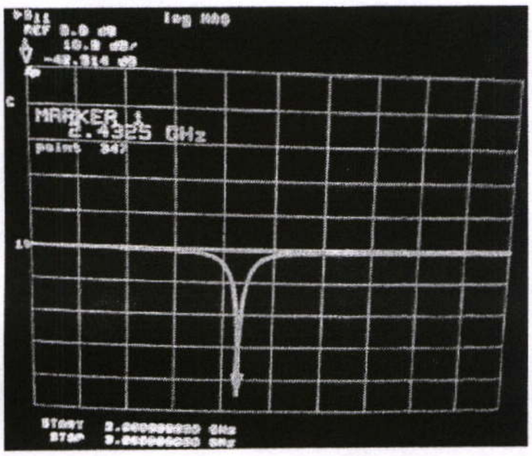


Figure 5. S_{11} *characteristics of microstrip antenna.*

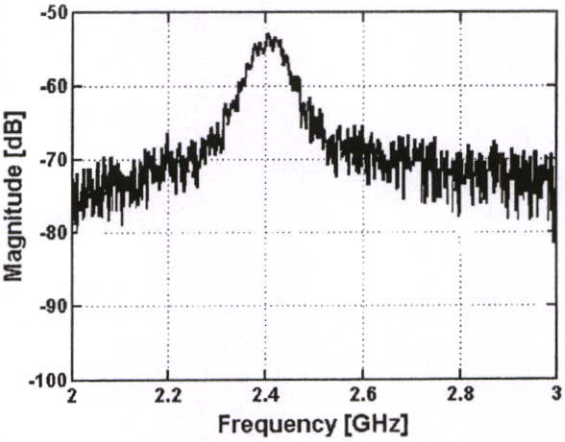


Figure 6. *Antenna transfer function for the RFID channel at angle 90° magnitude.*

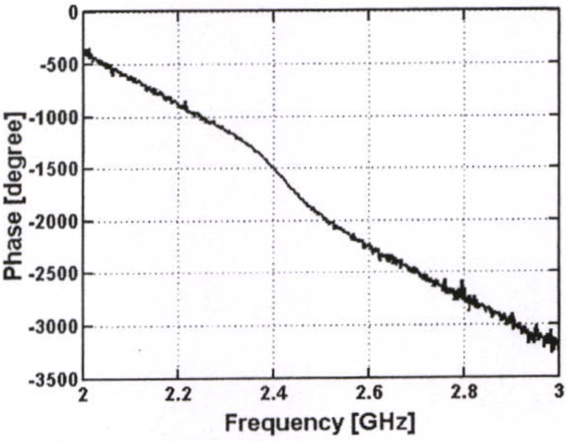


Figure 7. *Antenna transfer function for the RFID channel at angle 90° phase.*

port (Rx). The Tx antenna was fixed at height of 1.50m and The Rx antennas were fixed at height of 0.50m and 1.00m from ground. The Tx and Rx antennas were separated by d at angle 90° and both of them were separated by angle 30°, 45°, 60°, 75°, 90°, 105°, 120°, 135° and 150° respectively. The free space propagation channel are illustrated at Fig.1. The RFID transmission signal, as shown in Fig.2. The setup are illustrated at Fig.3. We have chosen the microstrip antenna for Tx and Rx antennas show in Fig.4. S_{11} is shown in Fig.5. The important parameters for the experiments are listed in Table1.

Table 1. *Experimental Setup Parameters.*

Parameter	Value
Frequency range	2 GHz to 3 GHz
Number of frequency points	801
Tx antenna height	1.50 m
Rx antenna height	0.50, 1.00 m
Distance between Tx ant. and Rx	3.00 m at 90°
Angle between Tx ant. and Rx	30°,45°,60°,75°,90°
105°,120°,135°,150°	
Antenna type	Microstrip

4. RESULTS

The data measured shows that radio propagation characteristic of RFID transmission signal in frequency range at 2.45 GHz in different angle between Tx and Rx. In Figs.6 and 7 show the magnitude and phase of the antenna transfer function for RFID channel at 90° respectively. The magnitude has maximum power value at 2.45 GHz which agree characteristic of antenna under test. While the phase is linear, it can indicate trust about antenna.

In Figs.8 and 9 show the path loss and the rms delay spread at angle 90° which have value lower than any other angle respectively. In Figs.10 and 11 show the bit error rate (BER) of RFID systems at 90° that is lower than other angle. While the path loss, the rms delay spread and BER is low value, its can indicate high performance of transmission signal as well.

In Figs.12 and 13 show the correlation coefficient and the path gain at angle 90° which have value higher than any other angle respectively. So that, the correlation coefficient and path gain has high value, the performance of transmission signal is also high.

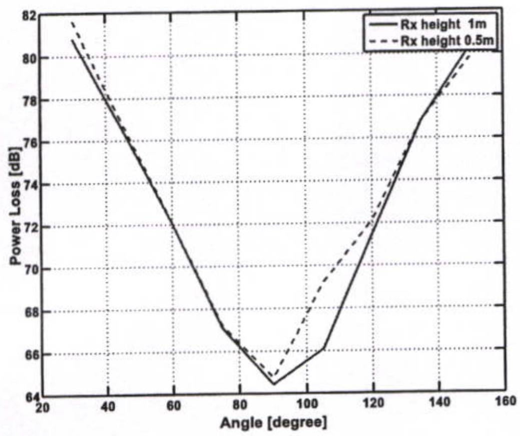


Figure 8. *Path loss for the RFID system at separate angle* 30° *to* 150°.

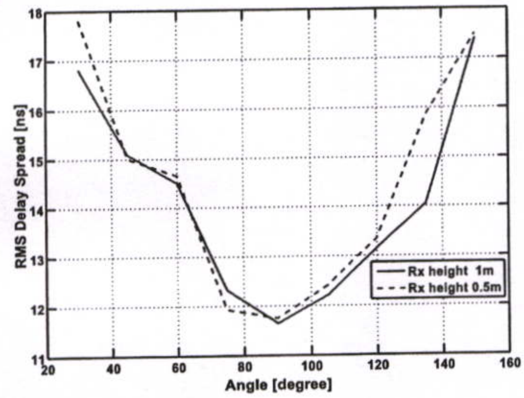


Figure 9. *RMS Delay Spread for the RFID at separate angle 30 to 150 degree.*

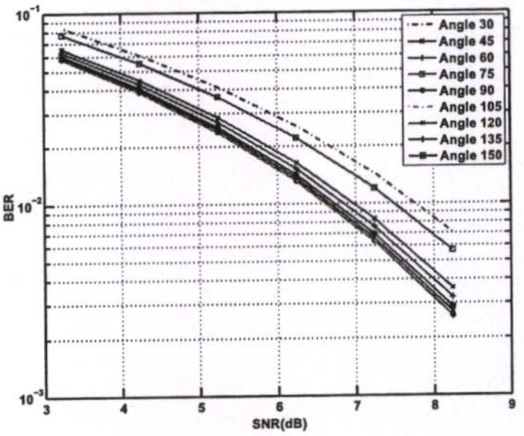


Figure 10. *BER for the RFID system at Rx height 1.00 m and separate angle* 30° *to* 150°.

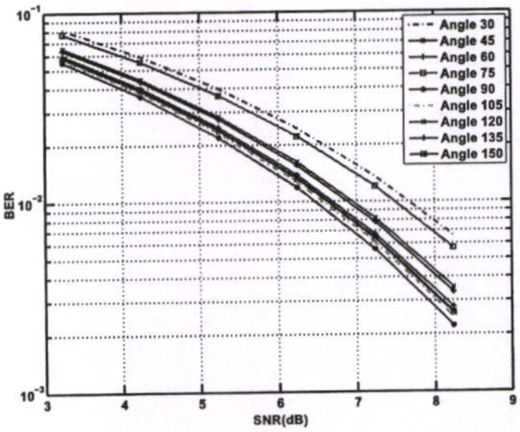


Figure 11. *BER for the RFID system at Rx height 0.50 m and separate angle* 30° *to* 150°.

The height of Rx antenna at 0.5 m and 1.0 m have less an effect to the performance of the RFID systems.

5. CONCLUSION

In this paper, we study the characteristic of radio propagation channel and the performance of RFID transmission signal in an indoor environment and using an extension of Friis' transmission formula. From the result of experimental can be know about radio propagation loss and performance of RFID systems. Then we can conclude that RFID transmission signal in all every angles. The path loss, the rms delay spread, the bit error rate, the correlation coefficient and the path gain at angle 90° are greatest value due to the distance from Tx antenna to Rx antenna that have lower than any angle from system model.

We hope that this paper can provide sufficient and useful guideline for the development of RFID systems with optimized the performance, especially in outdoor environment and design properly antenna for RFID application.

6. REFERENCES

[1] H.T. Friis, "A Note on a Simple Transmission Formula,"Proc. IRE, vol. 34, pp. 254-, May 1946.

[2] T.S Rappaport,Wireless Communication - Principles and Practice,Practice Hall,Second Edition,2002.

[3] Leon W.Couch 2,Digital and Analog Communication Systems,Sixth Edition,2002.

[4] RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification. Klaus Finkenzeller 2003 John Wiley and Sons, Ltd ISBN: 0-470-84402-7.

[5] S. Promwong and W. Hachitani, and J. Takada,Free Space Link Budget Evaluation of UWB-IR Systems, Joint UWBST and IWUWBS2004, pp.312-316, May 18-21, 2004.

[6] RFID Explained A Primer on Radio Frequency Identification Technologies Roy Want www.morganclaypool.com A Publication in the Morgan and Claypool Publishers series.

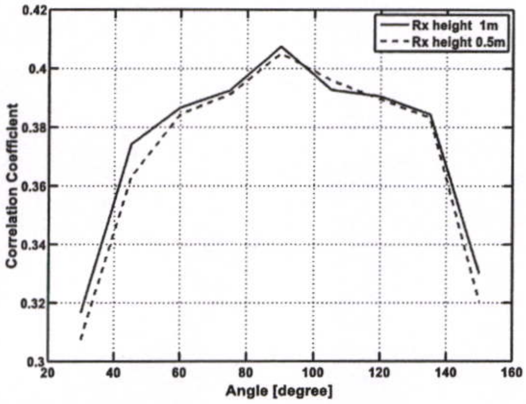


Figure 12. *Correlation Coefficient for RFID system at separate angle* 30° *to* 150°.

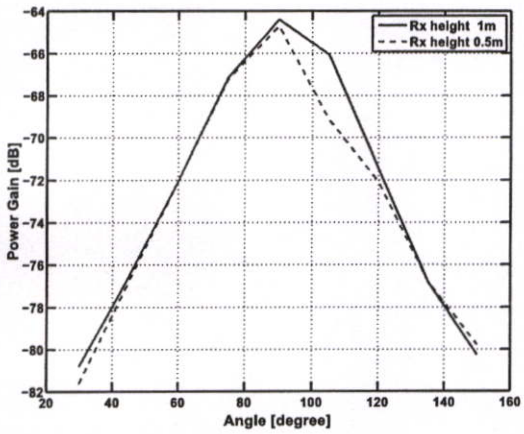


Figure 13. *Path gain for the RFID system at separate angle* 30° *to* 150°.

[7] Dynamic Retargettable Multi-Protocol RFID Reader/Writer Shinsuke Kobayashi, Ken Sakamura Interfaculty Initiative in Information Studies, The University of Tokyo, Tokyo, Japan Tatsushi Morokuma YRP Ubiquitous Networking Laboratory Tokyo, Japan

[8] An Overview of Near Field UHF RFID Pavel V. Nikitin, Member, IEEE, K. V. S. Rao, Senior Member, IEEE, and Steve Lazar, Member, IEEE

PROCEEDINGS OF THE
INTERNATIONAL CONFERENCE ON
COMPUTER AND COMMUNICATION ENGINEERING
ICCCE'08
ICCCE '08
Global Links for Human Development
ORGANISED BY:
CO-TECHNICAL SPONSORED BY:
Istana Hotel
Kuala Lumpur, MALAYSIA
13 - 15 May 2008
IEEE
Faculty of Engineering
International Islamic University Malaysia
Volume II

Proceedings of the International Conference on Computer and Communication Engineering 2008 May 13-15, 2008 Kuala Lumpur, Malaysia

Interference Signal Analysis of IEEE 802.15.1 to RFID Communication System at 2.45 GHz

Usman R-yohsae, Sathaporn Promwong and Nikorn Sukutamatanti
Department of Information Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
Email (s9061015@kmitl.ac.th, kpsathap@kmitl.ac.th and ksnikorng@kmitl.ac.th)

Abstract

Radio Frequency Identification (RFID) operates in different frequency bands (e.g., 125 kHz, 13.56 MHz, 868/915 MHz, 2.45 GHz and 5.8 GHz). Nowadays, indoor environment communications at frequency range 2.45 GHz have bluetooth (IEEE 802.15.1) of wireless personal area networks (WPANs) and RFID systems working altogether which occur interference signals mainly by IEEE 802.15.1 of WPANs. This paper analyzes about interference effect from IEEE 802.15.1 to performance of RFID system at 2.45 GHz. From our study, it indicates that IEEE 802.15.1 interference can cause a significant increase in the bit error rate (BER) and the radio propagation loss of RFID system.

I. Introduction

RFID is a wireless communication technology that works with radio waves to automatically identify items. RFID is used in short and also long range communication technology. It has several important advantages over the traditional barcode. It is used in radio waves for automatic identification about people or objects and also could improve business processes such as inventory management and efficiency in supply chain management, manufacture and transport goods.

These systems have the gap between the reader (RFID reader) and the transponder (RFID tag) when distances are greater than 1m. It is called long-range systems and also can be operated at the microwave frequencies 2.45 GHz and 5.8 GHz. So it could accept transfer large packets of data quickly. The short wavelengths of these frequency ranges facilitate the construction of antennas with far smaller dimensions and greater efficiency than would be possible using frequency ranges below 30 MHz [3].

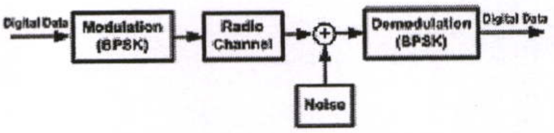


Figure 1. Block diagram of RFID transmission signal.

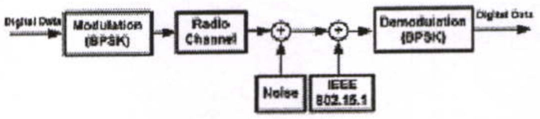


Figure 2. Block diagram of RFID transmission signal with the IEEE 802.15.1 transmission signal.

RFID communication systems between the reader and the tag is divided into 2 methods that are inductive coupling and electromagnetic wave propagation coupling. In case of Ultrahigh frequency (UHF, 860-960 MHz) and microwave (2.45 GHz and 5.8 GHz) which use electromagnetic waves propagating between the reader and tag antennas[5]. ASK (Amplifier Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying) or PSK (Phase Shift Keying) are used in RFID system. As for PSK, BPSK (Binary Phase Shift Keying) is mostly used [6].

Bluetooth is used for communication among devices such as mobile phones, computer and its accessories as well as personal digital assistants, within a short range RF-based connectivity. In general, the reach of Bluetooth is approximate within 10 meters. It uses frequency hopping spread spectrum (FHSS) to transmit data packets and frequency hop range in most countries covers 79 carriers of 1MHz bandwidth each. Binary baseband data is modulated using Gaussian frequency shift keying (GFSK) and the frequency synthesiser transmits each packet on a newly chosen

978-1-4244-1692-9/08/$25.00 ©2008 IEEE

frequency. The maximum hopping rate in a piconet is 1600 hops per second [7].

A part of important consideration in wireless communication systems is the free space propagation loss. The Friis' transmission formula is considered. We focus on the characteristic of radio propagation channel and the performance of RFID transmission signal. System model has purpose to investigate that the distance can increase the bit error rate of RFID system when it operates simultaneously with IEEE 802.15.1. We will show magnitude and phase channel transfer function, bit error rate (BER), power loss and rms delay spread that can analyze about the effect of RFID interference occurring while it works with IEEE 802.15.1 system at 2.45 GHz. We believe our study would give a good guideline for further researches and design on RFID systems.

II. Transmission Signal Analysis

A. The RFID Transmitter and Path Loss Model

The RFID signal used to transmit can be represented as

$$s_{BPSK(t)}=m(t)\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}}\cos(2\pi f_c t+\theta_c) \qquad (1)$$

where $\cos(2\pi f_c t)$ is applied as the carrier, and the data signal $m(t)$ is applied as the modulating waveform.

An in-building path loss is a path loss that occurs in a physical building, and take in consideration of reflection, absorption and other attenuation effects introduced by the presence of objects inside a building. The in-building path loss model chosen for the purpose of simulation is given in eq.(2) [1]

$$P_L(\text{dB}) = P_L(d_0) + 10n\log\left(\frac{d}{d_0}\right); d \ge d_0 \qquad (2)$$

where d_0 = arbitrary reference distance, n = a value that depends on the surroundings and building types, d = the separation distance between two antennas.

B. The IEEE 802.15.1 (Bluetooth) Transmitter Model

A Gaussian-shaped FSF (GFSK) modulation is applied to minimize the transceiver complexity. The nominal and supported rang of Bluetooth is from 10 cm to 10 m. A transmitted GFSK signal can be written as [8]

$$p(t)=\text{Re}\{\sqrt{\frac{2E}{T}}e^{j2\pi f_c t+h\int_{-\infty}^{t} g(t)dt}\} \qquad (3)$$

where E is the energy per symbol, T is the symbol period, f_c is the carrier frequency , h is the modulation index, and $g(t)$ is the output of Gaussian low pass filter (GLPF) for a NRZ data signal. The output of GLPF can be express as [8]

$$g(t)=\sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k v(t-kT), a_k=\pm 1 \qquad (4)$$

In eq.(4)

$$v(t)=\frac{1}{2}\{erf(-\lambda B_p T)+erf(\lambda B_p (t+T))\} \qquad (5)$$

In eq.(5)

$$\lambda=\sqrt{2}/\ln 2\pi, B_p T=0.5, B_p=3dB$$

$$erf(t)=\int_0^t \frac{\sqrt{2}}{\pi}e^{-t^2}$$

C. The RFID Receiver Model

A transmitted signal pass through the RFID channel including the transmitter and receiver antennas. Therefore, the total received signal for can be expressed as

$$r_{BPSK(t)}=m(t)\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}}\cos(2\pi f_c t+\theta_c)+p(t)+n(t) \qquad (6)$$

where $p(t)$ represents IEEE 802.15.1 (Bluetooth) interference and $n(t)$ is additive white Gaussian noise.

The power transfer ratio for a pair of lossless antennas in free space with optimum orientation is given by [4]:

$$G_{Friis}(f)=\frac{P_r(f)}{P_t(f)}=G_t(f)G_r(f)\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \qquad (7)$$

where λ = wavelength, P_t = transmitted power, P_r = received power, G_t = transmitter antenna gain, G_r = receiver antenna gain, d = separation distance between antennas.

For wireless systems which grossly quantify the multipath channel are used. The mean excess delay, rms delay spread, and excess delay spread are multipath channel parameters that can be determined from a power delay profile is given in eq.(8- 10) and is explained by [2]

$$\bar{\tau}=\frac{\sum_k a_k^2\tau_k}{\sum_k a_k^2}=\frac{\sum_k P(\tau_k)\tau_k}{\sum_k P(\tau_k)} \qquad (8)$$

$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k)\tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (9)$$

$$\sigma_\tau = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\bar{\tau})^2} \quad (10)$$

where $\bar{\tau}$ is mean excess delay, σ_τ is rms delay spread and $P(\tau_k)$ is power delay profile

Bit error rate (BER) is given in eq.(11-12) and can also be defined in terms of the probability of error

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt \quad (11)$$

$$BER = Q\left[\sqrt{2(E_b/N_o)C_c}\right] \quad (12)$$

where E_b is the energy in one bit and N_o is the noise power spectral density, so E_b/N_o is a form of signal to noise ratio and C_c is correlation coefficient

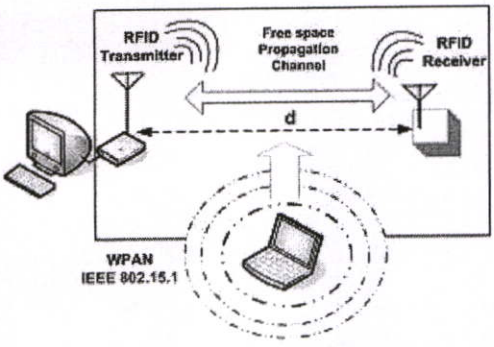


Figure 3. RFID transmission signal with IEEE 802.15.1 (Bluetooth) transmission signal.

III. MEASUREMENT DISCRIPTION

In our analysis of interference of IEEE 802.15.1 (Bluetooth) working together with RFID system, we propose system models to notice the characteristics of IEEE 802.15.1 interference which affect to RFID system. Simulating a RFID signal at a frequency range of 2.0-3.0 GHz and IEEE 802.15.1 signal at 2.45 GHz that is performed in an indoor environment at the room of Department of information engineering in king mongkut's institute of technology ladkrabang.

The Vector Network Analyzer (VNA) was operated in the response measurement mode and generates transmitted signal and translates received signal, where port-1 was used as the transmitter port (Tx) and port-2 was used as the receiver port (Rx). The Tx antennas were fixed at the height of 1.50 m and Rx antennas were fixed at the height of 1.00 m from ground. Both Tx and Rx antennas were separated by d. About transmitted bit rate, we define at 1 Mbps.

The RFID transmission signal and RFID transmission signal with IEEE 802.15.1 transmission signal show in Figs.1 and 2 respectively. The propose system model of RFID transmission signal with the IEEE 802.15.1 transmission signal in Fig.3. We have chosen the microstrip antenna for Tx and Rx antennas show in Fig.4. The important parameters for the experiments are listed in Table1. S_{11} is shown in Fig.5.

TABLE 1: EXPERIMENTAL SETUP PARAMETERS

Parameters	Value
Frequency range	2 GHz to 3 GHz
Number of frequency points	801
Tx antenna height	1.50 m
Rx antenna height	1.00 m
Distance between Tx antenna and Rx	2,4,6,8,10 m
Antenna type	Microstrip

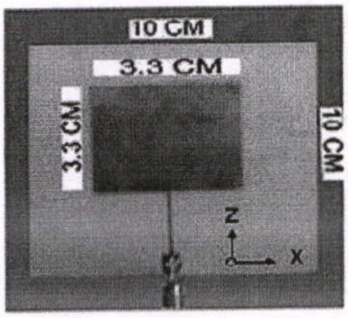


Figure 4. The Microstrip antenna structure.

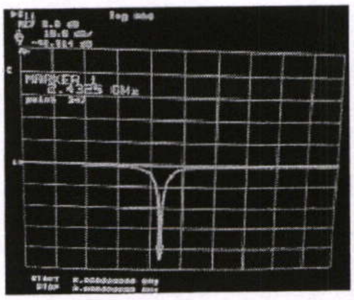


Figure 5. S_{11} **Characteristics of microstrip antenna.**

IV. Results

The data from measured we consider the IEEE 802.15.1 interference can cause a significant increase in the radio propagation loss and the performance of RFID system in frequency range at 2.45 GHz in different distance between Tx and Rx in an indoor environment.

From result of experiment in Figs.6 and 7 show magnitude of the measured channel transfer function for RFID channel between only the RFID signal and the RFID with IEEE 802.15.1 signal perform at the same time in an indoor environment respectively. So that, only the RFID signal and RFID with IEEE 802.15.1 signal perform at the same time have maximum power value about 2.45 GHz. But only the RFID signal has noise lower than RFID and IEEE 802.15.1 signal perform at the same time.

In Figs.8 and 9 show phase of the measured channel transfer function for RFID channel between only the RFID signal and the RFID with IEEE 802.15.1 signal perform at the same time in an indoor environment respectively. The phase in only the RFID signal is linear and low noise.

In Figs.10 and 11 show the path loss and the rms delay spread at separate distance, its result show that the path loss and the rms delay spread increase if the RFID and IEEE 802.15.1 signal perform at the same time. Moreover, when RFID and IEEE 802.15.1 signal perform at the same time, the BER will be raisen more than only RFID transmission signal illustrated in Fig.12.

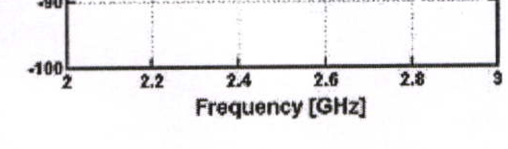


Figure 6. Channel transfer function for only RFID transmission signal : magnitude.

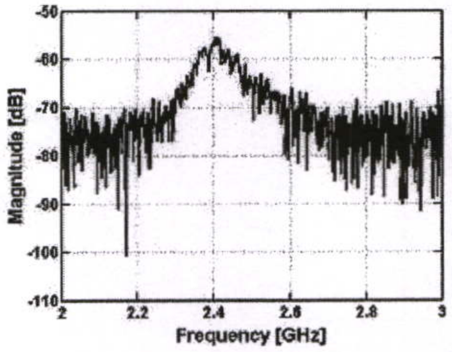


Figure 7. Channel transfer function for RFID with IEEE 802.15.1 (Bluetooth) transmission signal : magnitude.

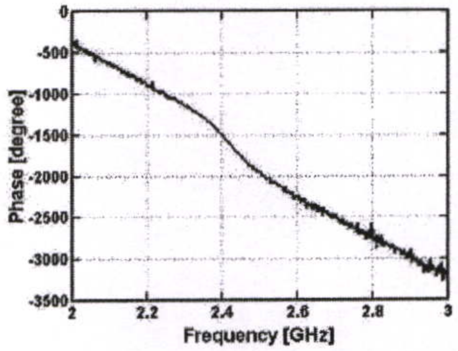


Figure 8. Channel transfer function for only RFID transmission signal : phase.

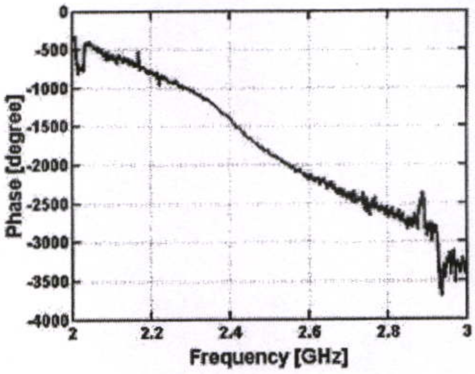


Figure 9. Channel transfer function for RFID with IEEE 802.15.1 (Bluetooth) transmission signal : phase.

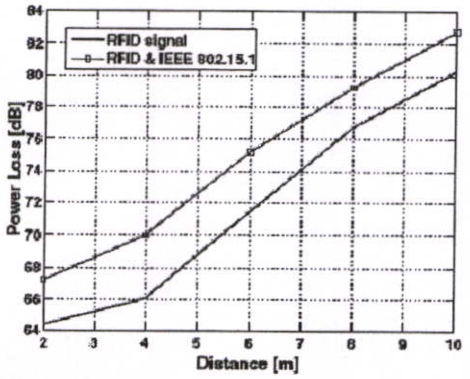


Figure 10. Path loss between only RFID transmission signal and RFID with IEEE 802.15.1 (Bluetooth) transmission signal.

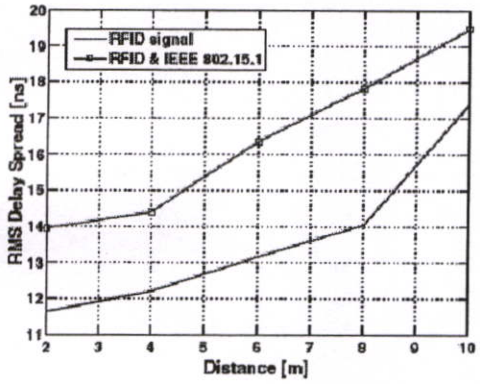


Figure 11. RMS Delay Spread between only RFID transmission signal and RFID with IEEE 802.15.1 (Bluetooth) transmission signal.

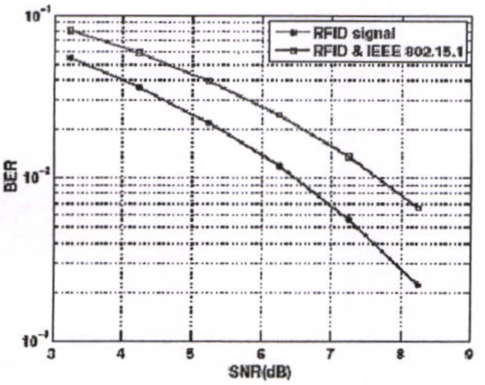


Figure 12. BER between only RFID transmission signal and RFID with IEEE 802.15.1 (Bluetooth) transmission signal.

V. CONCLUSION

In this paper, we focus on the characteristic of radio propagation channel and the performance of RFID transmission signal, it indicates that IEEE 802.15.1 (Bluetooth) interference can cause a significant increase in the bit error rate (BER) and the radio propagation loss of RFID system. The result from transmission can be know about radio propagation characteristic and performance of RFID systems. Especially, RFID transmission with the coexistence of IEEE 802.15.1 has high the bit error rate (BER), the path loss and the rms delay spread more than only RFID transmission signal. Then we can conclude that IEEE 802.15.1 transmission makes interference signal to RFID transmission in all every bit rates and distances. We hope that this paper can provide sufficient and useful guideline for the development of RFID systems with optimized the performance, especially in outdoor environment and design properly antenna for RFID application.

REFERENCES

[1] T.S Rappaport,Wireless Communication - Principles and Practice,Practice Hall,Second Edition,2002.

[2] Leon W.Couch 2,Digital and Analog Communication Systems,Sixth Edition, 2002.

[3] RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification. Klaus Finkenzeller 2003 John Wiley and Sons, Ltd ISBN: 0-470-84402-7.

[4] S. Promwong and W. Hachitani, and J. Takada,Free Space Link Budget Evaluation of UWB-IR Systems,Joint UWBST and IWUWBS2004, pp.312-316, May 18-21, 2004.

[5] RFID Explained A Primer on Radio Frequency Identification Technologies Roy Want www.morganclaypool.com A Publication in the Morgan and Claypool Publishers series.

[6] Dynamic Retargettable Multi-Protocol RFID Reader/Writer Shinsuke Kobayashi, Ken Sakamura Interfaculty Initiative in Information Studies, The University of Tokyo, Tokyo, Japan Tatsushi Morokuma YRP Ubiquitous Networking Laboratory Tokyo, Japan

[7] Time-synchronised multi-piconet Bluetooth environments I. Ashraf, A. Gkelias, M. Dohler and A.H. Aghvami

[8] Techniques for channel estimation, DC-offset compensation and link quality control in bluetooth system Cheol-Hee Park, Jong-Ho Paik, Young-Hwan You, Min-Chul Ju and Jin-Woong Cho System IC Research Center, Korea Electronics Technology Institute (KETI), Korea

ECTI Association

TRIDI
Telecommunications Research and Industrial Development Institute

NECTEC
a member of NSTDA

Seagate

TNGC
Thai National Grid Center

IEEE
THAILAND SECTION

Coca-Cola

nokair.com

© 2008 IEEE. Personal use of this material is permitted. However, permission to reprint/republish this material for advertising or promotional purposes or for creating new collective works for resale or redistribution to servers or lists, or to reuse any copyrighted component of this work in other works must be obtained from the IEEE.

IEEE Catalog Number: CFP0806E
ISBN: 978-1-4244-2101-5
Library of Congress: 2008900560

Effects of IEEE 802.15.1 Interference on RFID Communication System at 2.45 GHz

Usman R-yohsae, Sathaporn Promwong and Nikorn Sukutamatanti
Department of Information Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
Email: {s9061015,kpsathap,ksnikorn}@kmitl.ac.th

***Abstract*—RFID and IEEE 802.15.1(Bluetooth) technology are used the same 2.45 GHz Industrial Scientific and Medical (ISM) frequency band. This paper analyzes about interference effect from bluetooth to performance of RFID system at 2.45 GHz. From our study, it indicates that IEEE 802.15.1 interference can cause a significant increase in the bit error rate (BER) and the radio propagation loss of RFID system due to bluetooth interference.**

Keywords : RFID, Propagation Channel, Wireless Systems.

I. INTRODUCTION

RFID is a wireless communication technology that works with radio waves to automatically identify items. RFID is used in short and also long range communication technology. It has several important advantages over the traditional barcode. It is used in radio waves for automatic identification about people or objects and also could improve business processes such as inventory management and efficiency in supply chain management, manufacture and transport goods.

RFID systems have the gap between the reader (RFID reader) and the transponder (RFID tag) when distances are greater than 1m. It is called long-range systems. These systems are operated at the microwave frequencies 2.45 GHz and 5.8 GHz which could accept transfer large packets of data quickly. The short wavelengths of these frequency ranges facilitate the construction of antennas with far smaller dimensions and greater efficiency than would be possible using frequency ranges below 30 MHz [3].

RFID communication systems between the reader and the tag is divided into 2 methods that are inductive coupling and electromagnetic wave propagation coupling. In case of Ultrahigh frequency (UHF, 860-960 MHz) and microwave (2.4 GHz and 5.8 GHz) RFID systems are the far-field which use electromagnetic waves propagating between the reader and tag antennas[5]. ASK (Amplifier Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying) or PSK (Phase Shift Keying) are used in RFID system. As for PSK, BPSK (Binary Phase Shift Keying) is mostly used [6].

Bluetooth is used for communication among devices such as mobile phones, computer and its accessories as well as personal digital assistants, within a short range RF-based connectivity. In general, the reach of Bluetooth is approximate within 10 meters. It uses frequency hopping spread spectrum (FHSS) to transmit data packets and frequency hop range in most countries covers 79 carriers of 1MHz bandwidth each.

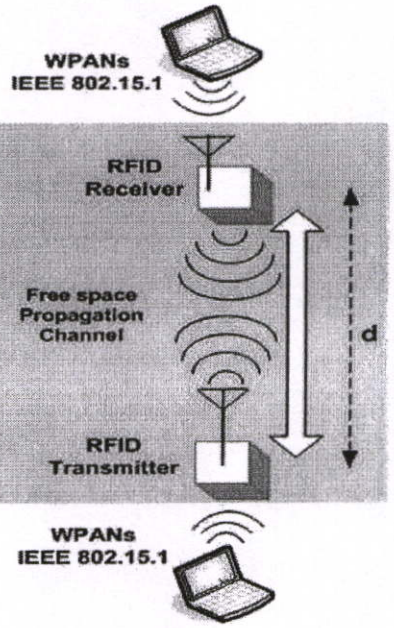


Fig. 1. RFID transmission signal with the IEEE 802.15.1 (Bluetooth) transmission signal.

Binary baseband data is modulated using Gaussian frequency shift keying (GFSK) and the frequency synthesiser transmits each packet on a newly chosen frequency. The maximum hopping rate in a piconet is 1600 hops per second [7].

A part of important consideration in wireless communication systems is the free space propagation loss. The Friis' transmission formula is considered. We focus on the characteristic of radio propagation channel and the performance of RFID transmission signal. System model has purpose to investigate that the distance can increase the bit error rate of RFID system when it operates simultaneously with IEEE 802.15.1. We will show magnitude and phase channel transfer function, bit error rate (BER), power loss and rms delay spread that can analyze about the effect of RFID interference occurring while it works with IEEE 802.15.1 system at 2.45 GHz. We believe our study would give a good guideline for further researches and design on RFID systems.

978-1-4244-2101-5/08/$25.00 ©2008 IEEE

II. Transmission Signal Analysis

A. The RFID Transmission Signal and Path Loss Model

The RFID signal used to transmit can be represented as

$$s_{BPSK}(t) = m(t)\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}}cos(2\pi_{fc}t + \theta_c) \quad (1)$$

where $cos(2\pi_{fc}t)$ is applied as the carrier, and the data signal $m(t)$ is applied as the modulating waveform.

An in-building path loss is a path loss that occurs in a physical building, and take in consideration of reflection, absorption and other attenuation effects introduced by the presence of objects inside a building. The in-building path loss model chosen for the purpose of simulation is given in eq.(2)[1]

$$PL(dB) = PL(d_0) + 10nlog(\frac{d}{d_0}); d \geq d_0 \quad (2)$$

where d_0 = arbitrary reference distance; n = a value that depends on the surroundings and building types; d = the separation distance between two antennas.

B. The IEEE 802.15.1 (Bluetooth) Transmission Signal Model

A Gaussian-shaped FSF (GFSK) modulation is applied to minimize the transceiver complexity. The nominal and supported rang of Bluetooth is from 10 cm to 10 m. A transmitted GFSK signal can be written as [8]

$$p(t) = Re\{\sqrt{\frac{2E}{T}}e^{j2\pi f_c t + h\int_{-\infty}^{t} g(t)dt}\} \quad (3)$$

where E is the energy per symbol, T is the symbol period, f_c is the carrier frequency , h is the modulation index, and $g(t)$ is the output of Gaussian low pass filter (GLPF) for a NRZ data signal. The output of GLPF can be express as [8]

$$g(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k v(t - kT) \quad (4)$$

where $a_k = \pm 1$ and

$$v(t) = \frac{1}{2}\{erf(-\lambda B_b T) + erf(\lambda B_b(t + T))\} \quad (5)$$

In eqn. (5), $\lambda = \sqrt{2/\ln 2\pi}$, $B_b T = 0.5$, B_b = 3 dB bandwidth of GLPF, and $erf(t) = \int_0^t \frac{\sqrt{2}}{\pi}e^{-t^2}$

C. The RFID Receiver Signal Model

A transmitted signal pass through the RFID channel including the transmitter and receiver antennas. Therefore, the total received signal for can be expressed as

$$r_{BPSK}(t) = m(t)\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}}cos(2\pi_{fc}t + \theta_c) + p(t) + n(t) \quad (6)$$

where $p(t)$ represents IEEE 802.15.1 (Bluetooth) interference and $n(t)$ is additive white Gaussian noise.

The power transfer ratio for a pair of lossless antennas in free space with optimum orientation is given by [4]:

$$G_{Friis}(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_t(f)G_r(f)(\frac{\lambda}{4\pi d})^2 \quad (7)$$

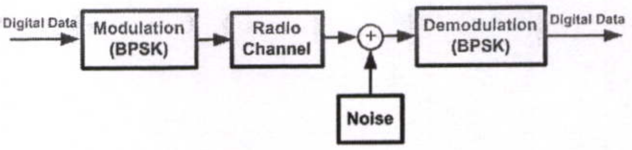


Fig. 2. Block diagram of only RFID transmission signal.

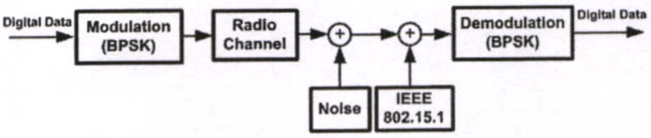


Fig. 3. Block diagram of transmission system analysis for RFID transmission signal with IEEE 802.15.1 transmission signal interference.

where λ = wavelengh, P_t = transmitted power, P_r = received power, G_t = transmitter antenna gain, G_r = receiver antenna gain, d = separation distance between antennas.

For wireless systems which grossly quantify the multipath channel are used. The mean excess delay, rms delay spread, and excess delay spread are multipath channel parameters that can be determined from a power delay profile is given in eq.(8-10) and is explained by [2]

$$\overline{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k)\tau_k}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (8)$$

$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k)\tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (9)$$

$$\sigma_\tau = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\overline{\tau})^2} \quad (10)$$

where $\overline{\tau}$ is mean excess delay, σ_τ is rms delay spread and $P(\tau_k)$ is power delay profile

Bit error rate (BER) is given in eq.(11-13) and can also be defined in terms of the probability of error

$$BER = Q[\sqrt{2(E_b/N_0)C_c}] \quad (11)$$

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_x^\alpha e^{-t^2/2}dt \quad (12)$$

E_b is the energy in one bit and N_0 is the noise power spectral density, so $\frac{E_b}{N_0}$ is a form of signal to noise ratio.and C_c is correlation coefficient which ratio between receive correlation and transmit correlation and the channel frequency transfer function $Hc(f, d)$, which obtained from the measurement.

$$C_c = \frac{\int_0^\infty |V_c(f,d)|df}{\int_0^\infty |V_c(f,d)|^2 df . \int_0^\infty |H_c(f,d)|^2 df} \quad (13)$$

III. Measurement Discription

Using the VNA(Vector network analyzer) was operated in the response measurement mode and generates transmitted signal and translates received signal, where port-1 was used as the transmitter port (Tx) and port-2 was used as the receiver port (Rx). The Tx antennas were fixed at the height of 1.50

TABLE I
EXPERIMENTAL SETUP PARAMETERS.

Parameter	Value
Frequency range	2 GHz to 3 GHz
Number of frequency points	801
Tx antenna height	1.50 m
Rx antenna height	1.00 m
Distance between Tx antenna and Rx	2,4,6,8,10 m
Antenna type	Microstrip
Power of Tx	1 W
Modulation	BPSK
Bit rate	1 Mbps

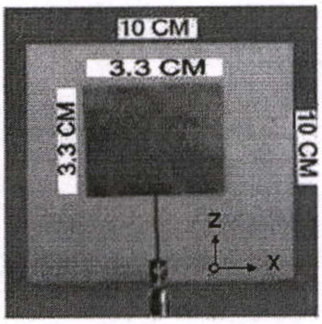


Fig. 4. The Microstrip antenna structure.

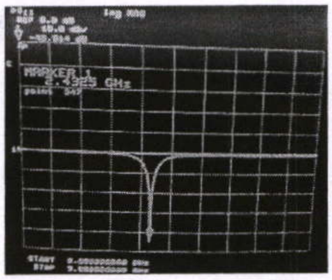


Fig. 5. S_{11} characteristics of microstrip antenna.

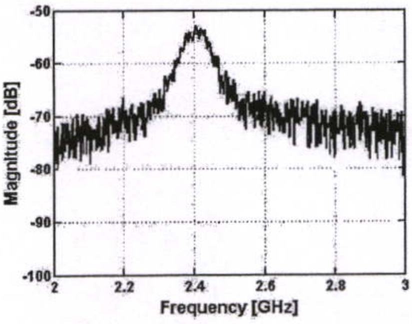


Fig. 6. Channel transfer function for only RFID transmission signal : magnitude.

m and Rx antennas were fixed at the height of 1.00 m from ground. Both Tx and Rx antennas were separated by d.

In our analysis of interference of IEEE 802.15.1 (Bluetooth) working together with RFID system, we propose system models to notice the characteristics of IEEE 802.15.1 interference which affect to RFID system. Simulating a RFID signal at a frequency range of 2.0-3.0 GHz and IEEE 802.15.1 signal at 2.45 GHz that is performed in an indoor environment at the room of Department of information engineering in King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

The RFID transmission signal and RFID transmission signal with IEEE 802.15.1 transmission signal show in Figs.2 and 3 respectively. The propose system model of RFID transmission signal in the presence of the IEEE 802.15.1 interference in Fig.1. We have chosen the microstrip antenna for Tx and Rx antennas show in Fig.4. The important parameters for the experiments are listed in Table1. S_{11} is shown in Fig.5.

IV. RESULTS

The measured data of the interference signal on RFID transmission are show about In the radio propagation channel and performance of RFID system is frequency band $2.45GHz$ in different distance between Tx and Rx in an indoor environment. From result of experiment in Figs.6 and 7 show magnitude of the measured channel transfer function for RFID channel between only the RFID signal and the RFID with IEEE 802.15.1 signal perform at the same time in an indoor environment respectively. So that, only the RFID signal and RFID with IEEE 802.15.1 signal perform at the same time have maximum power value about 2.45 GHz. But only the RFID signal has noise lower than RFID and IEEE 802.15.1 signal perform at the same time.

In Figs.8 and 9 show phase of the measured channel transfer function for RFID channel between only the RFID signal and the RFID with IEEE 802.15.1 signal perform at the same time in an indoor environment respectively. The phase in only the RFID signal is linear and low noise.

In Figs.10 and 11 show the path loss and the rms delay spread at separate distance, its result show that the path loss and the rms delay spread increase if the RFID and IEEE 802.15.1 signal perform at the same time. Moreover, when RFID and IEEE 802.15.1 signal perform at the same time, the BER will be raisen more than only RFID transmission signal illustrated in Fig.12.

V. CONCLUSION

In this paper, we discuss the characteristic of radio propagation channel and the performance of RFID transmission signal, it indicates that IEEE 802.15.1 (Bluetooth) interference can cause a significant increase in the bit error rate (BER) and the radio propagation loss of RFID system. The result from transmission can be know about radio propagation characteristic and performance of RFID systems. Especially, RFID transmission with the coexistence of IEEE 802.15.1 has high the bit error rate (BER), the path loss and the rms delay spread more than only RFID transmission signal. Then we can conclude that IEEE 802.15.1 transmission makes interference signal to RFID transmission in all every bit rates and distances. We hope that this paper can provide sufficient and useful

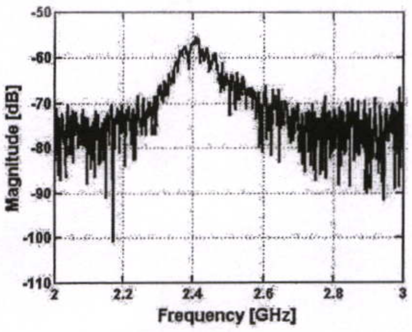


Fig. 7. Channel transfer function for RFID with IEEE 802.15.1 (Bluetooth) transmission signal : magnitude.

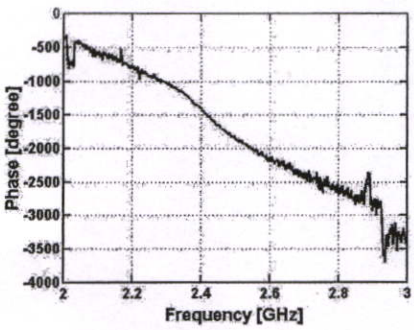


Fig. 9. Channel transfer function for RFID with IEEE 802.15.1 (Bluetooth) transmission signal : phase.

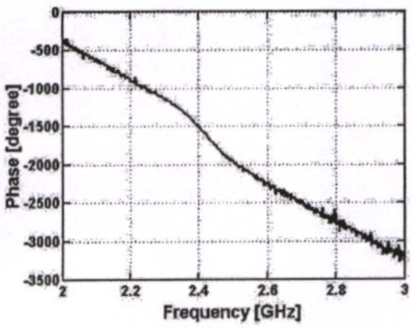


Fig. 8. Channel transfer function for only RFID transmission signal : phase.

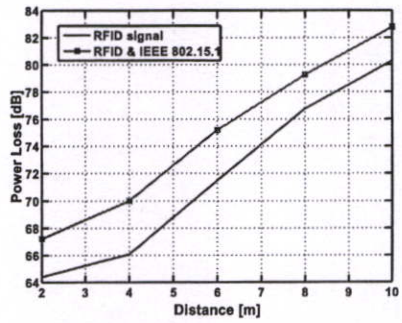


Fig. 10. Path loss between only RFID transmission signal and RFID with IEEE 802.15.1 (Bluetooth) transmission signal.

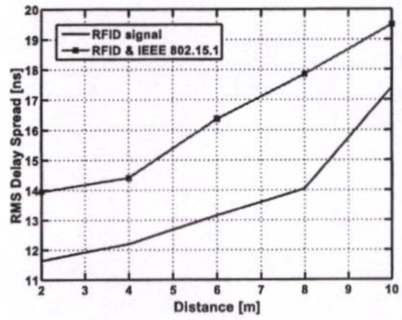


Fig. 11. RMS Delay Spread between only RFID transmission signal and RFID with IEEE 802.15.1 (Bluetooth) transmission signal.

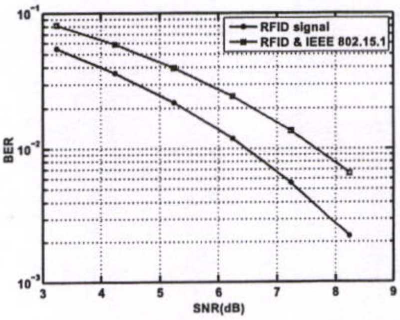


Fig. 12. BER between only RFID transmission signal and RFID with IEEE 802.15.1 (Bluetooth) transmission signal.

guideline for the development of RFID systems with optimized the performance, especially in outdoor environment and design properly antenna for RFID application.

REFERENCES

[1] T.S Rappaport,Wireless Communication - Principles and Practice,Practice Hall,Second Edition,2002.

[2] Leon W.Couch 2,Digital and Analog Communication Systems,Sixth Edition,2002.

[3] RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification. Klaus Finkenzeller 2003 John Wiley and Sons, Ltd ISBN: 0-470-84402-7.

[4] S. Promwong and W. Hachitani, and J. Takada,Free Space Link Budget Evaluation of UWB-IR Systems,Joint UWBST and IWUWBS2004, pp.312-316, May 18-21, 2004.

[5] RFID Explained A Primer on Radio Frequency Identification Technologies Roy Want www.morganclaypool.com A Publication in the Morgan and Claypool Publishers series.

[6] Dynamic Retargettable Multi-Protocol RFID Reader/Writer Shinsuke Kobayashi, Ken Sakamura Interfaculty Initiative in Information Studies, The University of Tokyo, Tokyo, Japan Tatsushi Morokuma YRP Ubiquitous Networking Laboratory Tokyo, Japan

[7] Time-synchronised multi-piconet Bluetooth environments I. Ashraf, A. Gkelias, M. Dohler and A.H. Aghvami

[8] Techniques for channel estimation, DC-offset compensation and link quality control in bluetooth system Cheol-Hee Park, Jong-Ho Paik, Young-Hwan You, Min-Chul Ju and Jin-Woong Cho System IC Research Center, Korea Electronics Technology Institute (KETI), Korea

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายอุสมาน อาเย๊าะแซ
วัน เดือน ปีเกิด	23 พฤศจิกายน 2520
ที่อยู่	340 ซ.ลาดพร้าว 112 เขตวังทองหลาง แขวงวังทองหลาง กรุงเทพมหานคร 10310
ประวัติการศึกษา	2545 วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
ประวัติการทำงาน	2545 ตำแหน่ง วิศวกรระบบโครงข่าย บริษัท CS Internet company limited 2546 – ปัจจุบัน ตำแหน่ง วิศวกรระบบโครงข่าย บริษัท TOT Corporation public company limited

ผลงานวิจัย

พ.ศ.2550	**U. R-yohsae**, N. Sukutamtanti and S. Promwong, "A Study on Free Space Propagation Loss For 2.45 GHz Radio Frequency Identification Band", The 1st Joint International Conference on Information and Communication Technology (JICT-2007), pp. 314-318, 19-22 December 2007.
พ.ศ.2551	**U. R-yohsae**, N. Sukutamtanti and S. Promwong, "Interference Signal Analysis of IEEE 802.15.1 to RFID Communication System at 2.45 GHz", International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE-2008), pp. 1000-1004, 13-15 May 2008.
พ.ศ.2551	**U. R-yohsae**, N. Sukutamtanti and S. Promwong, "Effects of IEEE 802.15.1 Interference on A RFID Communication System at 2.45 GHz", The fifth International Conference in Electrical Engineering/Electronics, Computer , Telecommunication and Information Technology (ECTI-CON 2008), pp. 417-420, 14-17 May 2008.