การศึกษาของการสูญเสียในการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร

A STUDY OF RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION TRANSMISSION LOSS WITH HUMAN BODY IN AN INDOOR ENVIRONMENT

พิษณุ มะลิซ้อน

PHISSANU MALISON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-230-415

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาของการสูญเสียในการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร

A STUDY OF RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION TRANSMISSION LOSS WITH HUMAN BODY IN AN INDOOR ENVIRONMENT

T087067

พิษณุ มะลิซ้อน

PHISSANU MALISON

เลขหมู่..................

เลขทะเบียน 87067

วัน,เดือน,ปี 30 ม.ค. 2552

b. 12023186

i. ....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

KMITL-2008-EN-M-230-415

A STUDY OF RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION TRANSMISSION LOSS WITH HUMAN BODY IN AN INDOOR ENVIRONMENT

PHISSANU MALISON

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-230-415

หัวข้อวิทยานิพนธ์	**การศึกษาของการสูญเสียในการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร**
นักศึกษา	**นายพิษณุ มะลิซ้อน**
รหัสประจำตัว	**49061021**
ปริญญา	**วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**
สาขาวิชา	**วิศวกรรมสารสนเทศ**
พ.ศ.	**2551**
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	**รศ. นิกร สุขุตมตันติ**
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	**อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์**

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร โดยใช้ทฤษฎีและหลักการการส่งผ่านของฟรีส เนื่องจากสมการการส่งผ่านของฟรีสเป็นหลักการวิเคราะห์ที่ง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อนและเป็นที่ยอมรับในสาขาวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมวิทยุสื่อสาร และมีความเหมาะสมสำหรับนำมาวิเคราะห์ในการสื่อสารแบบแถบแคบ ซึ่งในการทดลองวิจัยของวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการวัดช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นของระบบสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ในการวัดทดสอบและบันทึกผล และได้พิจารณาใช้สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป ที่ย่านความถี่ไมโครเวฟเป็นสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับของแบบจำลองแต่ละแบบ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิจัยและออกแบบแบบจำลองการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีสายอากาศด้านรับประกอบเข้ากับร่างกายมนุษย์ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารที่สอดคล้องกับลักษณะการใช้งานจริง จากนั้นนำเอาข้อมูลที่ได้จากการวัดมาทำการวิเคราะห์ประเมินค่าการสูญเสียในการส่งผ่านของสัญญาณที่เกิดจากผลกระทบของร่างกายมนุษย์ ตลอดจนวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของการส่งผ่านในบางกรณีด้วย โดยพิจารณาจาก ขนาดกับเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอน การสูญเสียเชิงวิถี อัตราขยายเชิงวิถี การแผ่ประวิงเวลา สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และอัตราการผิดพลาดของบิตข้อมูล ซึ่งการศึกษาทดลองวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์พื้นฐานสำหรับการศึกษาวิจัยและพัฒนาออกแบบของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่นำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคตข้างหน้าได้เป็นอย่างดี

Thesis Title	A Study of Radio Frequency Identification Transmission Loss with Human Body in an Indoor Environment
Student	Mr. Phissanu Malison
Student ID.	49061021
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Asst. Prof. Nikorn Sukutamatanti
Thesis Co-Advisor	Mr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

This thesis studies the characteristics of transmission channel in radio frequency identification (RFID) with human body involved in an indoor environment. Friis' transmission formula is applied to analysis. The measured result evaluated by Friis' transmission formula is convenient and not complicated for use, which is approved in many fields such as science and radio communication engineering. Moreover, this formula is suitable for narrow band communications. This research measures the characteristic of transmission channel in RFID system with vector network analyzer (VNA) machine, which is used for measuring and recording data. The microstrip patch antenna that is operating in microwave band is implemented in transmitter and receiver sides in each model. Furthermore, this study designs the model which attaches the received antenna on human body and analyzes it in an indoor environment. After that the data from designed model will be considered to find magnitude and phase of transfer function, path loss (P_L), path gain (P_G), power delay profile (PDP), correlation coefficient (C_C), and bit error rate (BER). The result from several parameters, they can be used for evaluating the transmission loss from effect of human body and can estimating the performance of RFID system also. Beside the data from experiment can be useful for being reference in other researches and can be used to develop and improve this RFID communications in the future.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ นิกร สุขุตมตันติ และอาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศอย่างเป็นที่สุด ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และให้การอนุเคราะห์ อบรมสั่งสอน ดูแลลูกศิษย์ คอยแนะนำชี้แนะแนวทางเกี่ยวกับงานวิจัยอย่างดีเยี่ยม ตลอดจนความเป็นห่วงที่คอยสอบถามปัญหาของงานวิจัยมาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้ามีความรู้และสามารถ ผู้เขียนมีความซาบซึ้งใจต่อความเป็นอาจารย์ จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้าอย่างต่อเนื่อง

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการคุมสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะต่างๆ

ขอบคุณพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ที่คอยให้ข้อเสนอแนะ และคอยสอบถามถึงความคืบหน้าของงานวิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์และบัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ทุนการศึกษาและให้ความช่วยเหลือดำเนินการในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ มาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พิษณุ มะลิซ้อน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VIII

สารบัญรูป IX

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ XII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา 2

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย 2

1.5 การเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน 3

1.6 ขอบเขตการวิจัย 3

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา 4

บทที่ 2 เทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ 5

2.1 กล่าวนำ 5

2.2 ประเภทของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตน 5

2.2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนประเภทต่างๆ 5

2.2.2 คุณสมบัติของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตน 6

2.3 ประวัติความเป็นมาของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ 7

2.4 คุณลักษณะของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ 8

2.4.1 องค์ประกอบหลักที่สำคัญ 8

2.4.2 หลักการทำงานเบื้องต้น 10

2.4.3 การรับส่งข้อมูลระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ 10

2.4.3.1 วิธีการสื่อสารระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ 10

2.4.3.2 รูปแบบของสื่อสารระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ 10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.4 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง 11

2.4.5 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดธ์ 12

2.5 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ 12

2.5.1 ย่านความถี่ที่ใช้งาน 12

2.5.2 มาตรฐานในการใช้งาน 14

2.5.3 การอนุญาตใช้งานในประเทศไทย 15

2.6 การประยุกต์ใช้งานของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ 16

2.6.1 การใช้งานด้านการรักษาความปลอดภัย 16

2.6.2 การใช้งานภาคอุตสาหกรรม 16

2.6.3 การใช้งานด้านการปศุสัตว์ 17

2.6.4 การใช้งานสำหรับบรรจุภัณฑ์ 17

2.6.5 การใช้งานในวงการแพทย์ 18

2.6.6 การใช้งานด้านการคมนาคม 19

2.7 บทสรุป 19

บทที่ 3 ทฤษฎีและการวิเคราะห์การถ่ายโอนช่องสัญญาณของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ 20

3.1 กล่าวนำ 20

3.3 ทฤษฎีการส่งผ่านของฟรีสในช่องสัญญาณอวกาศว่างสำหรับการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ 20

3.4 วิเคราะห์การถ่ายโอนช่องสัญญาณของฟรีสในอวกาศว่างสำหรับการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ 21

3.4.1 การสูญเสียเชิงวิถี 23

3.4.2 อัตราการขยายเชิงวิถี 23

3.4.3 การกระจายทางเวลา 24

3.4.4 กำลังงานการแผ่ประวิงเวลา 25

3.4.5 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 25

3.4.6 อัตราความผิดพลาดของบิต 26

3.5 บทสรุป 27

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 แบบจำลองและขั้นตอนการทดลองวิจัย 28
4.1 กล่าวนำ 28
4.2 การเตรียมการทดลองวัดสัญญาณ 30
4.2.1 รูปแบบของการทดลองวัดสัญญาณ 30
4.2.2 ขั้นตอนในการเตรียมเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ 31
4.2.3 ลักษณะของสายอากาศที่ใช้ในการทดลองวัดสัญญาณ 32
4.3 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 1 36
4.3.1 ขั้นตอนการทดลองวัด 36
4.3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัด 37
4.4 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 2 37
4.4.1 ขั้นตอนการทดลองวัด 37
4.4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัด 39
4.5 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 3 39
4.5.1 ขั้นตอนการทดลองวัด 39
4.5.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัด 41
4.6 การจัดวางตำแหน่งของสายอากาศทางด้านรับบนร่างกายมนุษย์ 41
4.7 บทสรุป 44

บทที่ 5 ผลการทดลองวิจัยและวิเคราะห์ 45
5.1 กล่าวนำ 45
5.2 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 1 45
5.2.1 ผลการวัดขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอน 45
5.2.2 ผลการหาค่ากำลังงานการแผ่ประวิงเวลา 47
5.2.3 การสูญเสียเชิงวิถีและอัตราการขยายเชิงวิถี 49
5.3 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 2 52
5.3.1 ผลการวัดขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอน 52
5.3.2 ผลการหาค่ากำลังงานการแผ่ประวิงเวลา 53

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.3.3 การสูญเสียเชิงวิถีและอัตราการขยายเชิงวิถี 55

5.4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 3 58

5.4.1 ผลการวัดขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอน 58

5.4.2 การสูญเสียเชิงวิถีและอัตราการขยายเชิงวิถี 59

5.4.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 64

5.4.4 อัตราการผิดพลาดบิต 66

5.5 บทสรุป 70

บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 71

6.1 กล่าวนำ 71

6.2 สรุปผลการวิจัยของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 1 71

6.3 สรุปผลการวิจัยของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 2 72

6.4 สรุปผลการวิจัยของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 3 72

6.5 ข้อเสนอแนะ 74

เอกสารอ้างอิง 75

ภาคผนวก บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์ 77

ประวัติผู้เขียน 95

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 เปรียบเทียบเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนในแต่ละประเภท 6

2.2 ย่านความถี่ของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ใช้งาน 13

2.3 เปรียบเทียบย่านความถี่ต่างๆ ของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ 14

3.1 ค่าคงที่สภาวะแวดล้อมในแต่ละกรณี 23

4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดของแบบจำลองที่ 1 37

4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดของแบบจำลองที่ 2 39

4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดของแบบจำลองที่ 3 41

5.1 ค่ากำลังที่รับได้ของแต่ละตำแหน่งกรณีที่มีร่างกายมนุษย์สำหรับแบบจำลองที่ 1 49

5.2 ค่าที่วัดได้อย่างละเอียดของการสูญเสียเชิงวิถีของแบบจำลองที่ 1 50

5.3 ค่าที่วัดได้อย่างละเอียดของอัตราการขยายเชิงวิถีของแบบจำลองที่ 1 51

5.4 ค่ากำลังที่รับได้ของแต่ละตำแหน่งกรณีที่มีร่างกายมนุษย์สำหรับแบบจำลองที่ 2 55

5.5 ค่าที่วัดได้อย่างละเอียดของการสูญเสียเชิงวิถีของแบบจำลองที่ 2 56

5.6 ค่าที่วัดได้อย่างละเอียดของอัตราการขยายเชิงวิถีของแบบจำลองที่ 2 57

5.7 ค่าที่วัดได้อย่างละเอียดของการสูญเสียเชิงวิถีของแบบจำลองที่ 3 61

5.8 ค่าที่วัดได้อย่างละเอียดของอัตราการขยายเชิงวิถีของแบบจำลองที่ 3 63

5.9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างละเอียดในแต่ละตำแหน่งของแบบจำลองที่ 3 66

6.1 ค่าการสูญเสียเฉลี่ยในแต่ละแบบจำลอง 74

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 ระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ 1
1.2 แถบความถี่ที่ใช้งานของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ 3
2.1 องค์ประกอบหลักในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ 9
2.2 วิธีการสื่อสารระหว่างตัวรับสัญญาณกับตัวส่งสัญญาณ 11
2.3 บริเวณการแบ่งกลุ่มประเทศสำหรับการกำหนดย่านความถี่ที่ใช้งาน 13
2.4 เปรียบเทียบแถบความถี่ในการใช้งานระหว่างระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุกับระบบต่างๆ 13
2.5 การนำเอาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุไปใช้ในด้านการรักษาความปลอดภัย 16
2.6 การนำเอาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิต 17
2.7 การนำเอาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมาประยุกต์ใช้งานกับสัตว์เลี้ยง 17
2.8 การนำเอาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมาใช้กับผลิตภัณฑ์และสินค้า 18
2.9 การนำเอาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมาใช้กับอุปกรณ์การแพทย์และระบุฉลากยา 18
2.10 การนำเอาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุไปใช้ด้านการคมนาคม 19
3.1 บล็อกไดอะแกรมการส่งผ่านสำหรับการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ 20
3.2 บล็อกไดอะแกรมการถ่ายโอนสัญญาณของฟรีสในอวกาศว่าง 22
4.1 ขั้นตอนการศึกษาทดลองวิจัย 29
4.2 ชุดเครื่องมือวัดการวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ 30
4.3 อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองวิจัย 31
4.4 สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปและระบบพิกัด 32
4.5 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ 34
4.6 S_{11} คุณสมบัติของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ 34
4.7 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปย่านความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ 35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.8 S_{11} คุณสมบัติของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปย่านความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ 35
4.9 แบบจำลองและการจัดวางอุปกรณ์สำหรับการทดลองวัดแบบที่ 1 36
4.10 การจัดวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งแบบที่ 1 (พิจารณาจากด้านบน) 36
4.11 แบบจำลองและการจัดวางอุปกรณ์สำหรับการทดลองวัดแบบที่ 2 38
4.12 การจัดวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งแบบที่ 2 (พิจารณาจากด้านบน) 38
4.13 แบบจำลองและการจัดวางอุปกรณ์สำหรับการทดลองวัดแบบที่ 3 40
4.14 การจัดวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งแบบที่ 3 (พิจารณาจากด้านบน) 40
4.15 การจัดวางสายอากาศตัวรับที่ตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์ 42
4.16 การจัดวางอุปกรณ์ในการทดลองวิจัยจริง 43
4.17 ตัวอย่างการวางสายอากาศด้านรับบนร่างกายมนุษย์ในการทดลองวิจัยจริง 43
5.1 แบบแผนการวิเคราะห์ผลการทดลองในพารามิเตอร์ต่างๆ 45
5.2 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านช่องสัญญาณการวัดสำหรับแบบจำลองที่ 1 46
5.3 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านช่องสัญญาณการวัดสำหรับแบบจำลองที่ 1 47
5.4 กำลังงานการแผ่ประวิงเวลากรณีปราศจากร่างกายมนุษย์สำหรับแบบจำลองที่ 1 48
5.5 กำลังงานการแผ่ประวิงเวลากรณีที่มีร่างกายมนุษย์สำหรับแบบจำลองที่ 1 48
5.6 การสูญเสียเชิงวิถีของแบบจำลองที่ 1 50
5.7 อัตราการขยายเชิงวิถีของแบบจำลองที่ 1 51
5.8 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านช่องสัญญาณการวัดสำหรับแบบจำลองที่ 2 52
5.9 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านช่องสัญญาณการวัดสำหรับแบบจำลองที่ 2 53
5.10 กำลังงานการแผ่ประวิงเวลากรณีปราศจากร่างกายมนุษย์สำหรับแบบจำลองที่ 2 54
5.11 กำลังงานการแผ่ประวิงเวลากรณีที่มีร่างกายมนุษย์สำหรับแบบจำลองที่ 2 54
5.12 การสูญเสียเชิงวิถีของแบบจำลองที่ 2 56
5.13 อัตราการขยายเชิงวิถีของแบบจำลองที่ 2 57
5.14 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านช่องสัญญาณการวัดสำหรับแบบจำลองที่ 3 58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.15 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านช่องสัญญาณการวัดสำหรับแบบจำลองที่ 3 59

5.16 การสูญเสียเชิงวิถีกรณีปราศจากร่างกายมนุษย์ของแบบจำลองที่ 3 60

5.17 การสูญเสียเชิงวิถีกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ของแบบจำลองที่ 3 60

5.18 อัตราการขยายเชิงวิถีกรณีปราศจากร่างกายมนุษย์ของแบบจำลองที่ 3 62

5.19 อัตราการขยายเชิงวิถีกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ของแบบจำลองที่ 3 62

5.20 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีปราศจากร่างกายมนุษย์ของแบบจำลองที่ 3 65

5.21 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีที่มีร่างกายมนุษย์ของแบบจำลองที่ 3 65

5.22 อัตราการผิดพลาดบิตกรณีปราศจากร่างกายมนุษย์ที่ระยะทาง 1.50 เมตร 67

5.23 อัตราการผิดพลาดบิตกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ที่ระยะทาง 1.50 เมตร 67

5.24 อัตราการผิดพลาดบิตกรณีปราศจากร่างกายมนุษย์ที่ระยะทาง 3.00 เมตร 68

5.25 อัตราการผิดพลาดบิตกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ที่ระยะทาง 3.00 เมตร 68

5.26 อัตราการผิดพลาดบิตกรณีปราศจากร่างกายมนุษย์ที่ระยะทาง 5.00 เมตร 69

5.27 อัตราการผิดพลาดบิตกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ที่ระยะทาง 5.00 เมตร 69

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

การสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ (Radio frequency identification)	RFID
ตัวส่งสัญญาณ (Transmitter)	Tx
ตัวรับสัญญาณ (Receiver)	Rx
เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์ (Vector network analyzer)	VNA
ระบบแยกแยะระหว่างมิตรกับศัตรู (Identification friend or Foe)	IFF
การสื่อสารแบบทิศทางเดียว (Simplex)	SPX
การสื่อสารแบบกึ่งสองทาง (Half duplex)	HDX
การสื่อสารแบบสองทาง (Full duplex)	FDX
อัตราส่วนของสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio)	SNR
ย่านความถี่ต่ำ (Low frequency)	LF
ย่านความถี่สูง (High frequency)	HF
ย่านความถี่สูงมาก (Very high frequency)	VHF
ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra high frequency)	UHF
Industrial scientific medical	ISM
Electric article surveillance	EAS
Uniform code council	UCC
Automotive industry action group	AIAG
American society for testing and materials	ASTM
American national standards Institute	ANSI
European radio communications office	ERO
Electronic product code global	EPC
International Organization of standard	ISO
European article numbering association international, European telecommunications standards institute	ETSI
ศูนย์คอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (National electronics and computer technology center)	NECTEC
สำนักงานส่งเสริมอุตสาหกรรมซอฟต์แวร์แห่งชาติ (Software industry promotion agency)	SIPA

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

เดซิเบล (Decibel)	**dB**
ในระดับสายตา (Line of sight)	**LOS**
การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ทั่วไป (General Purpose Interface Bus)	**GPIB**
การจดจำสัญลักษณ์ด้วยสายตา (Optical character recognition)	**OCR**
เครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless personal area networks)	**WPAN**
คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)	**PC**
ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power delay profile)	**PDP**
อัตราความผิดพลาดของบิต (Bit error rate)	**BER**
โวลต์ของทางด้านส่ง (Voltage of transmitter)	V_t
โวลต์ของทางด้านรับ (Voltage of receiver)	V_r
ฟังก์ชันการถ่ายโอนในอวกาศว่าง (Transfer function in free space)	$H_f(f)$
ฟังก์ชันการถ่ายโอนทางด้านส่ง (Transfer function of transmitter antenna)	$\mathrm{H_t}(f)$
ฟังก์ชันการถ่ายโอนทางด้านรับ (Transfer function of receiver antenna)	$\mathrm{H_r}(f)$
กำลังงานทางด้านส่ง (Power of transmitter)	$\mathrm{P_t}(f)$
กำลังงานทางด้านรับ (Power of receiver)	$\mathrm{P_r}(f)$
อัตราการขยายในช่องสัญญาณอวกาศว่าง (Gain in free space)	$G_f(f)$
อัตราการขยายของสายอากาศทางด้านส่ง (Gain of transmitter antenna)	$G_t(f)$
อัตราการขยายของสายอากาศทางด้านรับ (Gain of receiver antenna)	$G_r(f)$
ความยาวคลื่น (Wavelength), *m*	λ
ความเร็วแสง (Velocity of light), m/s	c
ความถี่ (Frequency), *Hz*	f
ระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งกับตัวรับ (Distant), *m*	d
ระยะทางอ้างอิง (Distant reference) , *m*	d_0
ค่าคงที่สภาวะแวดล้อม (Path loss exponent)	n
แอมพลิจูด (Amplitude)	A
การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ (Path loss), dB	P_L
อัตราขยายเชิงวิถีของสัญญาณ (Path gain), dB	P_G
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient)	C_C

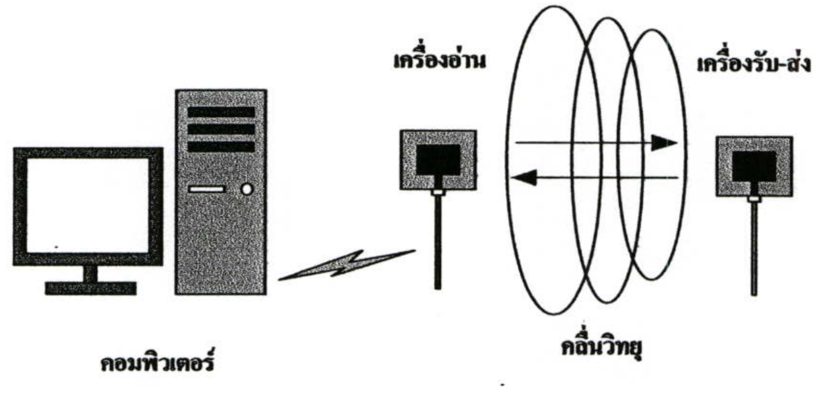
รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

ความน่าจะเป็นของความผิดพลาด (Probability of error)	Q
คาบเวลา (Period), s	T
กำลังงานของสัญญาณ (Power signal)	P
เวลา (Time), s	t
ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง (Mean excess delay) , s	$\bar{\tau}$
การแผ่ประวิงเวลา (Root mean square delay spread, RMS delay spread) , s	σ_τ
เมตร (Meter)	m
วินาที (Second)	s
อัตราการส่งข้อมูล (Bit rate)	b_r
พลังงานเฉลี่ยต่อบิต (Energy per bit)	E_b
กำลังของสัญญาณรบกวน (Power noise)	N_0
สภาพยอมสัมพัทธ์ (Relative permittivity)	ε_r
เฮิรตซ์ (Hertz)	Hz
กิโลเฮิรตซ์ (Kilohertz)	kHz
เมกะเฮิรตซ์ (Megahertz)	MHz
กิกะเฮิรตซ์ (Gigahertz)	GHz

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ (Radio frequency identification; RFID) ได้เข้ามามีบทบาทในระบบการสื่อสารแบบไร้สาย ซึ่งถูกพัฒนาให้เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในด้านการส่งข้อมูลและการเก็บข้อมูลควบคู่ไปกับการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ การแลกเปลี่ยนสินค้า และการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรทั่วโลก โดยเทคโนโลยีนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแยกแยะและระบุตำแหน่งของวัตถุ สัตว์ สิ่งของ หรือแม้กระทั่งมนุษย์ได้ เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุเหมาะสมและเป็นที่เชื่อถือได้ในการส่งข้อมูลในรูปของความถี่วิทยุหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [1] ซึ่งในอนาคตมีแนวโน้มที่จะมีการนำเอาเทคโนโลยีนี้มาใช้ร่วมกับมนุษย์กันอย่างแพร่หลายในการควบคุม ระบุรายละเอียด และตำแหน่งของแต่ละบุคคล เพราะในแต่ละวันจำนวนประชากรโลกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง



รูปที่ 1.1 ระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณและสัญญาณที่รับได้ในการสื่อสารแบบระบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ คือสภาวะแวดล้อมรอบข้างภายในอาคาร เช่น อุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ ผนัง กำแพง หน้าต่าง เป็นต้น นอกจากนี้ตัวมนุษย์ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อช่องสัญญาณและสัญญาณที่รับได้ โดยเฉพาะกรณีที่นำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมาใช้ร่วมกับมนุษย์ เพราะมีความเป็นไปได้ที่ร่างกายมนุษย์จะไปลดทอน หรือทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่รับได้ ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาและตรวจสอบว่าแต่ละตำแหน่งบนร่างกายมนุษย์ส่งผลช่องสัญญาณและสัญญาณที่รับได้อย่างไร

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุในย่านความถี่ไมโครเวฟเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่ใหม่ ทำให้มีงานวิจัยน้อยมาก ประกอบกับในอนาคตเทคโนโลยีนี้จะเป็นส่วนสำคัญในชีวิตประจำวันของมนุษย์ในการระบุรายละเอียดหรือระบุตำแหน่งของแต่ละบุคคลในแต่ละบริเวณแต่ละสถานที่ เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ย่านความถี่ไมโครเวฟสามารถรับส่งข้อมูลได้รวดเร็ว เก็บข้อมูลได้มาก มีขนาดเล็กกะทัดรัดสามารถพกพาได้ แข็งแรงทนทานและราคาถูก ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษาและพิจารณาผลกระทบจากตัวบุคคลที่ส่งผลต่อระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาหาการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่ตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์และพิจารณาถึงประสิทธิภาพของระบบสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุภายใต้สภาวะแวดล้อมภายในอาคารในแต่ละกรณี ตลอดจนได้พิจารณาศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศกรณีที่ใช้ติดกับร่างกายมนุษย์ด้วย เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิจัยหรือพัฒนาต่อไป

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การจะนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมาประยุกต์ใช้ร่วมกับมนุษย์นั้น ต้องคำนึงถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากร่างกายมนุษย์ที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณและคุณสมบัติของสายอากาศด้วย ซึ่งงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์คุณลักษณะของช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่น เพื่อหาค่าการสูญเสียของสัญญาณรวมทั้งประสิทธิภาพการส่งผ่านในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์ โดยได้ทำการวิจัยในย่านความถี่ไมโครเวฟ ซึ่งการสูญเสียของสัญญาณและประสิทธิภาพการส่งผ่านในแต่ละตำแหน่งของสายอากาศทางด้านรับจะแตกต่างกันในแต่ละแบบจำลอง ซึ่งผลการทดลองวิจัยนี้ทำให้เราทราบตำแหน่งที่ดีที่สุดบนร่างกายมนุษย์ในการนำไปใช้งานได้

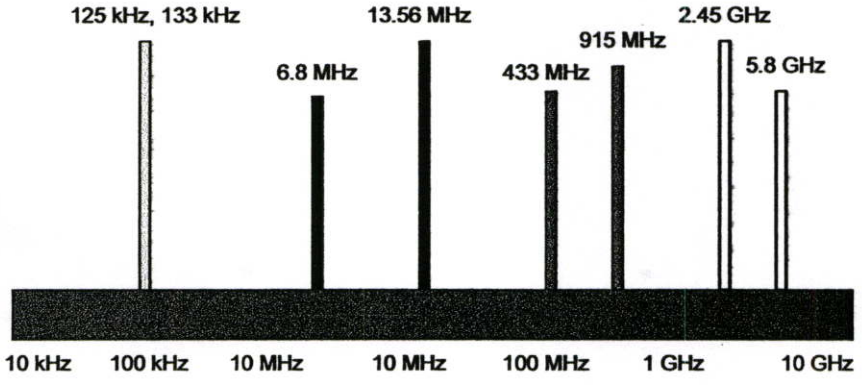
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาและวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดจากร่างกายมนุษย์ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของสายอากาศและช่องสัญญาณการสื่อสารของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุภายในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร โดยใช้สมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis transmission formula) ในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องการพิจารณา และใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector network analyzer; VNA) กับสายอากาศไมโครสตริปที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางตรง (Directional) ที่ย่านความถี่ไมโครเวฟที่ความถี่ 2.45

กิกะเฮิรตซ์ กับ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ ในการทดลองวัดช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่น โดยกำหนดให้สายอากาศทางด้านรับอยู่บนร่างกายมนุษย์จำนวนทั้งสิ้น 19 ตำแหน่งทั่วร่างกาย ซึ่งแบบจำลองการทดลองวัดที่ได้กล่าวมาจะสามารถพิจารณาการลดทอนและการผิดเพี้ยนของสัญญาณอันเนื่องมาจากร่างกายมนุษย์ได้ โดยแสดงให้เห็นถึงขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ อัตราการขยายเชิงวิถีของสัญญาณ กำลังการแผ่ประวิงเวลารวมถึงอัตราการผิดพลาดบิต จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบแต่ละกรณีของแบบจำลองการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ประกอบเข้าด้วยร่างกายมนุษย์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยไปพัฒนา ปรับปรุง หรือสร้างระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ใช้ร่วมกับมนุษย์ต่อไปในอนาคต

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่จะศึกษาทางด้านระบบสารสนเทศ วิธีการควบคุมและประสิทธิภาพแบบพื้นฐานของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุไม่ได้พิจารณาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่ส่งผลต่อการส่งผ่านช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ รวมทั้งไม่ได้พิจารณาในย่านความถี่ไมโครเวฟ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ใช้สัญญาณส่งที่มีคลื่นพาห์ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ กับ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ แทนที่จะใช้ในย่านความถี่ต่ำแบบเดิมๆ ที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป [2] เพื่อเพิ่มความจุข้อมูลให้มากขึ้น ส่งข้อมูลได้เร็วขึ้น ซึ่งโดยส่วนมากแล้วระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุจะใช้ติดกับวัตถุสิ่งของ แต่ในงานวิจัยนี้ได้นำเอามาใช้ร่วมกับมนุษย์ และหาการลดทอนและการผิดเพี้ยนของสัญญาณในแต่ละตำแหน่งบนร่างกายมนุษย์ เพื่อนำผลที่ได้หลังจากการทดลองไปประยุกต์ใช้ในการระบุตัวตนระบุตำแหน่งของแต่ละบุคคลในอนาคตภายภาคหน้า



รูปที่ 1.2 แถบความถี่ที่ใช้งานของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

1.6 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ย่านความถี่ไมโครเวฟ เพื่อพิจารณาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่ส่งผลต่อการส่งผ่านในช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นภายในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร โดยใช้สายอากาศแบบไมโครสตริปย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ และ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ ทำการทดลองวัดช่องสัญญาณจำนวนทั้งหมด 3 แบบจำลองในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารเดียวกัน จากนั้นได้พิจารณาถึงค่าสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่น และประสิทธิภาพสัญญาณการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (MATLAB program) เป็นตัวช่วยในการคำนวณ และประมวลผลออกมาในรูปของกราฟที่เราต้องการพิจารณา

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 6 บท ด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ ซึ่งประกอบไปด้วยความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน ขอบเขตการวิจัย และขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงเทคโนโลยีระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ ประเภทของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตน ประวัติความเป็นมาของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ลักษณะเฉพาะของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ การประยุกต์ใช้งานและบทสรุป

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีและการวิเคราะห์การสูญเสียในการส่งผ่านของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ ทฤษฎีการส่งผ่านในอวกาศว่างของฟรีส การวิเคราะห์การส่งผ่านของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ และบทสรุป

บทที่ 4 กล่าวถึงแบบจำลองและขั้นตอนการทดลองวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ การเตรียมการทดลองวัดสัญญาณ แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 1 แบบที่ 2 แบบที่ 3 การจัดวางตำแหน่งของสายอากาศทางด้านรับบนร่างกายมนุษย์ และบทสรุป

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดลองวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 1 แบบที่ 2 แบบที่ 3 และบทสรุป

บทที่ 6 กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

2.1 กล่าวนำ

การสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุเป็นเทคโนโลยีการระบุข้อมูล ระบุตำแหน่งที่แสดงเอกลักษณ์ของวัตถุ คน สัตว์ หรือสิ่งของด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่ได้ถูกพัฒนามาในยุค ค.ศ. 1970 เพื่อวัตถุประสงค์การนำไปใช้ในการบ่งชี้วัตถุในระยะไกลได้ โดยมีจุดเด่นคือสามารถอ่านข้อมูลจากตัวรับสัญญาณได้หลายตัวแบบไร้การสัมผัส อ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนะวิสัยไม่ดี มีความทนต่อแรงสั่นสะเทือนการตกกระทบ ทนต่อความเปียกชื้น และสามารถอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง [2] ซึ่งข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในไมโครชิปที่อยู่ภายในตัวรับสัญญาณ ในปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ นอกเหนือจากการนำมาใช้ทดแทนระบบรหัสแบบแท่งแบบเดิม โดยในบทนี้จะกล่าวถึง ประเภทของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตน ประวัติความเป็นมา ลักษณะเฉพาะ ข้อกำหนด และการประยุกต์ใช้งานของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

2.2 ประเภทของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตน

2.2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนประเภทต่างๆ

เทคโนโลยีรหัสแบบแท่ง (Barcode technology) เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนที่เก่าแก่มากที่สุด โดยใช้รหัสแถบสีดำเข้มเรียงตัวกันและมีช่องว่างแตกต่างกันเช่นเดียวกับแถบสี ซึ่งการอ่านรหัสแบบแท่งทำได้โดยใช้เครื่องอ่านรหัส

เทคโนโลยีการจดจำสัญลักษณ์ด้วยสายตา (Optical character recognition technology; OCR technology) เป็นการออกแบบตัวอักษร ตัวเลข หรือสัญลักษณ์ ให้มีรูปแบบเฉพาะตัวที่อ่านได้ด้วยสายตามนุษย์และเครื่องอ่าน โดยทั่วไปจะใช้งานในเชิงพาณิชย์และการธนาคาร

เทคโนโลยีการระบุตัวตนทางชีวภาพ (Biometric technology) เป็นเทคโนโลยีการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของสิ่งมีชีวิต โดยที่นำมาใช้งานคือการตรวจสอบลายนิ้วมือ (Fingerprint) และการตรวจสอบเสียงพูด (Voice recognition) ซึ่งเทคโนโลยีนี้จำกัดการใช้งานบางกลุ่มไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในแวดวงอื่นได้ จึงไม่เข้าข่ายเทคโนโลยีทางเลือกสำหรับการจัดการอุตสาหกรรมยุคใหม่

เทคโนโลยีระบุตัวตนด้วยบัตรอิเล็กทรอนิกส์ (Smartcard technology) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยจะการป้อนข้อมูลไว้ในบัตรอิเล็กทรอนิกส์ลักษณะคล้ายกับ

2.2.2 คุณสมบัติของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตน

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนในแต่ละประเภท [3]

ข้อพิจารณา	Barcode	OCR	Voice recognition	Fingerprint	Smartcard	RFID
ความจุข้อมูล	ต่ำ	ต่ำ	สูง	สูง	สูงมาก	สูงมาก
เครื่องอ่าน	เที่ยงตรง	เที่ยงตรง	แพง	แพง	เที่ยงตรง	เที่ยงตรง
การอ่านรหัสจากมนุษย์	ได้อย่างจำกัด	อ่านได้ง่ายมาก	ง่าย	ยากมาก	ไม่มีทางทำได้	ไม่มีโอกาสทำได้
ผลกระทบจากความสกปรก	มีผลต่อการอ่านมาก	มีผลต่อการอ่านมาก	-	-	มีผลถ้าอยู่บนหน้าสัมผัส	ไม่มีผล
ผลกระทบจากการอ่านผิดมุม	มีบ้างเล็กน้อย	มีบ้างเล็กน้อย	-	-	ต้องวางให้ถูกทิศทาง	ไม่มีผล
อายุการใช้งานการฉีกขาดหรือการเสื่อมสภาพ	จำกัด	จำกัด	-	-	ขึ้นกับสภาพหน้าสัมผัส	ไม่มีผล
มูลค่าเครื่องอ่าน	ต่ำ	ปานกลาง	สูงมาก	สูงมาก	ต่ำ	ปานกลาง
การลักลอบปลอมแปลง	ทำได้ง่าย	ทำได้ง่าย	ทำได้โดยการบันทึกเสียง	ไม่มีโอกาสทำได้	ไม่มีโอกาสทำได้	ไม่มีโอกาสทำได้
ความเร็วในการอ่านข้อมูล	ช้า	ช้า	ช้ามาก	ช้ามาก	ช้า	เร็วมาก
ระยะห่างสูงสุดระหว่างตัวส่งกับตัวรับ	0-50 เซนติเมตร	เป็นการสแกนน้อยกว่า1 เซนติเมตร	0-50 เซนติเมตร	ต้องสัมผัสโดยตรง	ต้องสัมผัสโดยตรง	0-5 เมตร โดยใช้คลื่นความถี่วิทยุย่านไมโครเวฟ

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ต่างกันตรงที่เทคโนโลยีนี้การรับส่งข้อมูลมีความจำเป็นที่ตัวรับและตัวส่งสัญญาณต้องสัมผัสกัน โดยมีผลทำให้อายุการใช้งานน้อยลง

เทคโนโลยีระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ (Radio frequency identification technology) เป็นระบบการสื่อสารแบบไร้สายที่นำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นพาหะเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิดที่ตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ โดยส่งข้อมูลออกผ่านทางสายอากาศ

จากตารางที่ 2.1 ระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมีจุดเด่น ที่สำคัญคือสามารถอ่านข้อมูลได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วแบบไร้การสัมผัสกับพื้นผิววัตถุ สามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายอย่าง สามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพทัศนะวิสัยไม่ดี รวมทั้งทนต่อความเปียกชื้นและทนต่อแรงกระแทก โดยรวมแล้วเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมีข้อดีมากกว่าการสื่อสารแบบระบุตัวตนประเภทอื่นๆ จึงทำให้เป็นที่น่าสนใจในการนำเอาเทคโนโลยีนี้มาประยุกต์ใช้ร่วมกับมนุษย์เพื่อระบุตัวตนระบุตำแหน่งของแต่ละบุคคล

2.3 ประวัติความเป็นมาของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

ประวัติการเริ่มต้นของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุนั้น ย้อนกลับไปถึงสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งประเทศกลุ่มพันธมิตร และกลุ่มอักษะได้มีการใช้เรดาร์ที่ถูกสร้างโดย เซอร์โรเบิร์ต อเล็กซานเดอร์ ในการตรวจจับและเตือนเครื่องบินที่กำลังเข้ามา แต่ปัญหาคือไม่สามารถแยกแยะระหว่างเครื่องบินรบได้ว่าเป็นของฝ่ายไหน โดยทางฝั่งเยอรมันค้นพบว่าเมื่อนักบินบินหมุนตัวแล้วจะทำให้มีการสะท้อนสัญญาณเรดาร์ที่เปลี่ยนไป ทำให้ทราบว่าเครื่องบินที่เข้ามาเป็นของฝ่ายเยอรมัน ซึ่งเป็นจุดกำเนิดของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุแบบที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการสะท้อนคลื่นวิทยุ (แบบถูกกระตุ้น)

เมื่อเทคโนโลยีเรดาร์มีการพัฒนาขึ้น นักบินสามารถที่จะสื่อสารระหว่างเครื่องบินกับสถานีภาคพื้นดินหรือระหว่างนักบินด้วยกัน ที่เราเรียกว่าระบบแยกแยะระหว่างมิตรกับศัตรู (Identification friend or Foe; IFF) โดยเมื่อเครื่องบินได้รับสัญญาณเรดาร์จากภาคพื้นดินหรือระหว่างนักบิน ตัวเครื่องบินจะส่งสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ตอบกลับไปทำให้ทราบว่าเป็นเครื่องบินของฝ่ายไหน ซึ่งถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุแบบวัตถุส่งสัญญาณจากตัวเอง (แบบกระตุ้นเอง)

ยุคเริ่มแรกของการใช้ระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุในเชิงพาณิชย์ได้แก่ระบบกันขโมย (Electric article surveillance; EAS) ในห้างสรรพสินค้า ซึ่งตัวสินค้าจะมีการติดระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุแบบ 1 บิต โดยจะมีค่าเป็น 0 หรือ 1 เมื่อสินค้ามีการชำระเงินตัวบิตจะถูกตั้งค่า เป็น 0 ทำให้สามารถนำออกร้านได้ แต่ในกรณีไม่มีการชำระเงินเมื่อสินค้าผ่านประตูเครื่องตรวจ บิตจะเป็น 1 ทำให้สัญญาณเตือนดังขึ้นมา

ทางด้านการพัฒนาได้มีการให้สิทธิบัตรของอเมริกาเกี่ยวกับการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุอันแรกให้กับ มาริโอ วอ คาร์ดูโล เป็นสิทธิบัตรเกี่ยวกับตัวส่งสัญญาณแบบกระตุ้นเอง เมื่อวันที่ 23 มกราคม ค.ศ. 1973 ในช่วงปี ค.ศ. 1970 รัฐบาลอเมริกาได้มีการพัฒนาใช้สำหรับการติดตามวัตถุนิวเคลียร์ให้กับกระทรวงพลังงาน ต่อมาทีมนักวิทยาศาสตร์นี้ได้ออกมาตั้งบริษัทและพัฒนาเป็นระบบเก็บค่าทางด่วนอัตโนมัติ ในขณะเดียวกันกระทรวงเกษตรของสหรัฐก็ได้พัฒนามาใช้ในเชิงพาณิชย์เพื่อแยกแยะวัว

ในช่วงต้นปี ค.ศ. 1990 บริษัทไอบีเอ็มได้พัฒนาและจดสิทธิบัตรการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุในย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra high frequency; UHF) คือย่านความถี่ตั้งแต่ 300 เมกกะเฮิรตซ์ ถึง 3 กิกะเฮิรตซ์ แต่เมื่อบริษัทไอบีเอ็มมีปัญหาด้านการเงินได้ขายสิทธิบัตรให้กับบริษัทอินเตอร์เมค ซึ่งช่วงนั้นการใช้งานยังไม่แพร่หลายนักเนื่องจากอุปกรณ์ยังมีราคาแพงมาก

การสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุในย่านความถี่สูงยิ่งได้รับความสนใจอีกครั้งในปี ค.ศ. 1999 เมื่อองค์กร Uniform code council (UCC) บริษัทโปรเคอร์ แกมเบอร์ และบริษัทจีลเลท ได้ร่วมกันก่อตั้งศูนย์การสื่อสารแบบระบุตัวตนแบบอัตโนมัติ (Auto ID) ขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1999 – 2003 ทำให้การสื่อสารแบบระบุตัวตนแบบอัตโนมัติได้รับการสนับสนุนจากบริษัทเอกชนจำนวนมาก และได้มีการขยายตลาดไปยังประเทศออสเตรเลีย อังกฤษ สวิตเซอร์แลนด์ ญี่ปุ่นและจีน จึงมีการพัฒนามาตรฐานใหม่ที่เรียกว่ารหัสสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ [4]-[5]

2.4 คุณลักษณะของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

2.4.1 องค์ประกอบหลักที่สำคัญ

ระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุเป็นเทคโนโลยีการส่งข้อมูลแบบอัตโนมัติ ซึ่งสามารถใช้ในการระบุ ค้นหา และเก็บข้อมูลของกลุ่มของผลิตภัณฑ์ คน สัตว์ สิ่งของ หรือส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ โดยระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ ดังนี้

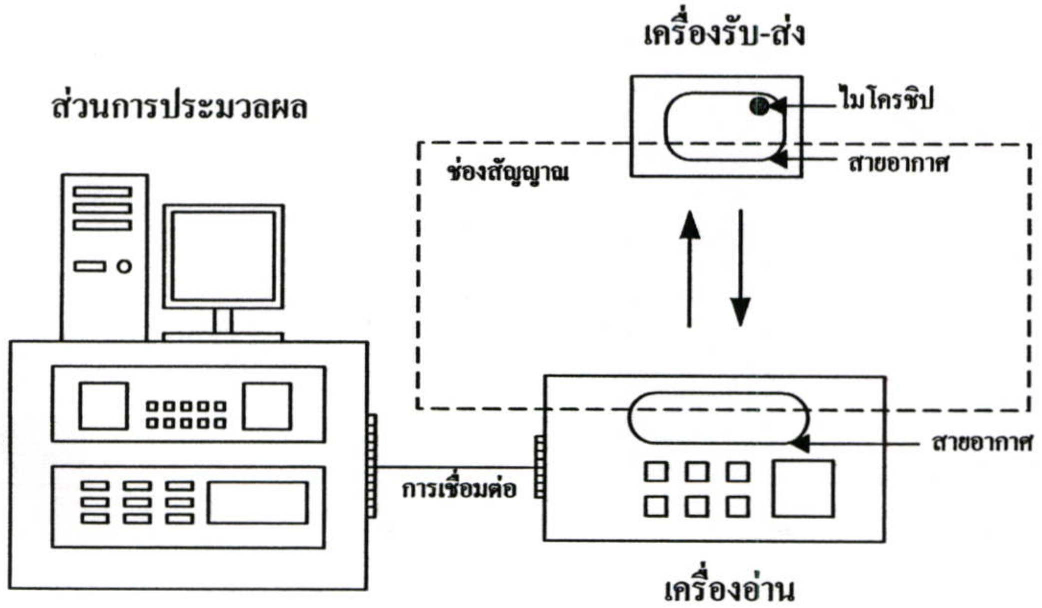
เครื่องอ่าน ทำหน้าที่ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุไปยังสายอากาศทางด้านรับ และอ่านข้อมูลของวัตถุที่ส่งกลับมาพร้อมด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ผลที่ได้ของสัญญาณจะเก็บไว้ในเครื่องอ่าน เพื่อที่จะถ่ายโอนข้อมูลไปในระบบฐานข้อมูลในภายหลังหรือส่งไปในเวลานั้นเลยก็ได้

เครื่องรับ-ส่ง ซึ่งจะประกอบไปด้วย ไมโครชิปทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุในรูปสัญญาณดิจิตอล และสายอากาศทำหน้าที่เป็นตัวรับและส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุกลับไปยังเครื่องอ่านพร้อมทั้งข้อมูลของวัตถุภายในไมโครชิป โดยไมโครชิปขนาดเล็กจะบรรจุโปรแกรมที่มีข้อมูลหรือตัวเลขของผลิตภัณฑ์ คน สัตว์ สิ่งของ ไว้ในฐานข้อมูล ซึ่งสามารถวางไว้ภายในหรือบนพื้นผิวของ

ผลิตภัณฑ์หรือในภาชนะบรรจุเพื่อทำหน้าที่บันทึกข้อมูลของวัตถุที่ต้องการระบุตัวตน โดยเราสามารถแบ่งชนิดของเครื่องรับออกเป็น 2 แบบคือ

- เครื่องรับ-ส่งแบบกระตุ้นเอง (Active transporter) เครื่องรับ-ส่งสัญญาณชนิดนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายใน เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้ทำงาน โดยเราจะสามารถอ่านและเขียนข้อมูลลงได้ และการที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้เครื่องรับแบบกระตุ้นเองมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าเราสามารถออกแบบวงจรให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี
- เครื่องรับ-ส่งแบบถูกกระตุ้น (Passive transporter) จะไม่มีแบตเตอรี่อยู่ภายใน แต่จะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน จึงทำให้เครื่องรับ-ส่งแบบถูกกระตุ้นมีน้ำหนักเบากว่าเครื่องรับ-ส่งแบบกระตุ้นเอง ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ และตัวอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวสูง นอกจากนี้มักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาและอายุการใช้งานทำให้เครื่องรับ-ส่งแบบถูกกระตุ้นเป็นที่นิยมมากกว่า

ส่วนสุดท้ายคือการเชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูล ประกอบด้วยซอฟต์แวร์โปรแกรมดำเนินการเกี่ยวกับข้อมูลระบบคอมพิวเตอร์ต่าง ๆ เพื่อทำการบ่งชี้ข้อมูล ประมวลผล และแสดงข้อมูลตามต้องการ [6]



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบหลักในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

2.4.2 หลักการทำงานเบื้องต้น

เริ่มแรกเครื่องอ่านจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลาและคอยตรวจจับว่ามีเครื่องรับเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่

เมื่อมีเครื่องรับ-ส่งเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เครื่องรับ-ส่งจะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน จากนั้นเครื่องรับ-ส่งก็จะเริ่มทำงาน และส่งข้อมูลในหน่วยความจำของไมโครชิปออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในเครื่องรับ-ส่งสัญญาณไปกับคลื่นพาหะ

สุดท้ายเครื่องอ่านจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

2.4.3 การรับส่งข้อมูลระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ

2.4.3.1 วิธีการสื่อสารระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ

ในการสื่อสารข้อมูลของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุนั้นจะสื่อสารกันแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะส่งข้อมูลพร้อมกับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุ โดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในเครื่องส่งสัญญาณเป็นตัวรับและส่งคลื่นซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive coupling) กับ วิธีการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic propagation coupling) แสดงดังรูปที่ 2.2 [6]-[7]

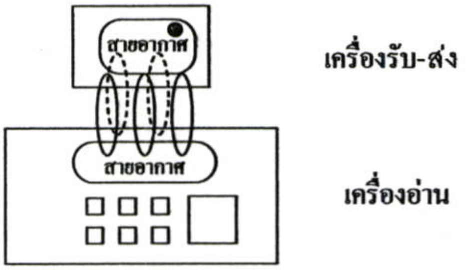
2.4.3.2 รูปแบบของสื่อสารระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ

เราแบ่งรูปแบบของการสื่อสารตามทิศทางของการสื่อสารหรือจำนวนของช่องสื่อสารได้ 3 แบบ [3] คือ

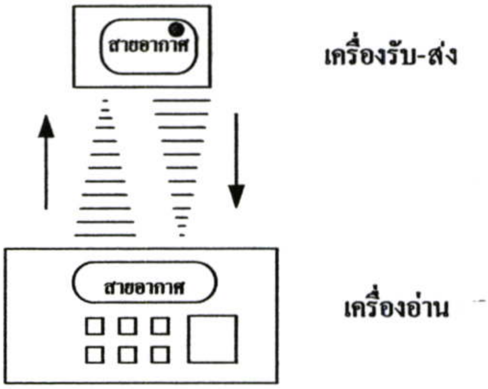
แบบทิศทางเดียว (Simplex; SPX) คือ ฝ่ายหนึ่งจะส่งเพียงอย่างเดียวและอีกฝ่ายหนึ่งจะเป็นฝ่ายรับเพียงอย่างเดียว การสื่อสารแบบทิศทางเดียวนี้ต้องการช่องสื่อสารเพียง 1 ช่อง ตัวอย่าง เช่น การส่งวิทยุกระจายเสียง (Broad casting)

แบบกึ่งสองทาง (Half duplex; HDX) เป็นการสื่อสารแบบ 2 ทางแต่สลับเวลากัน ในขณะที่ฝ่ายหนึ่งเป็นฝ่ายส่ง อีกฝ่ายหนึ่งจะเป็นฝ่ายรับ การสื่อสารแบบกึ่งสองทางนี้ต้องการช่องสื่อสารเพียงช่องเดียว ตัวอย่าง เช่น วิทยุโทรคมนาคม

แบบสองทาง (Full duplex; FDX) เป็นการสื่อสารแบบ 2 ทิศทาง โดยที่ทั้ง 2 ฝ่ายสามารถรับและส่งได้พร้อมกันในเวลาเดียวกัน การสื่อสารแบบ 2 ทิศทางนี้ ต้องการช่องสื่อสาร 2 ช่อง ตัวอย่างเช่น โทรศัพท์ และ โทรศัพท์เคลื่อนที่



วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

รูปที่ 2.2 วิธีการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องรับ-ส่ง สัญญาณ

2.4.4 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง

ระยะการถ่ายโอนข้อมูลในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือ กำลังส่งของเครื่องอ่าน กำลังส่งของเครื่องรับ-ส่ง และสภาพแวดล้อม สำหรับการออกแบบสายอากาศของตัวส่งสัญญาณจะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะการรับส่งข้อมูล บางทีอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างเครื่องอ่านกับเครื่องรับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญ

ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทางโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆรอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำเอาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุไปใช้งานก็ควรมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบกับระยะการรับส่งข้อมูล และพยายามติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

กำลังส่งของเครื่องรับ-ส่งที่จะส่งกลับมายังเครื่องอ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของเครื่องอ่าน ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของเครื่องอ่านก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา ถึงแม้ในทางเทคนิคเราจะสามารถทำให้เครื่องอ่านข้อมูลมีกำลังส่งมากแค่ไหนก็ได้ แต่จะถูกจำกัดโดยกฎหมายของแต่ละประเทศ เช่นเดียวกับความถี่ [6]-[7]

2.4.5 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์

อัตราการถ่ายโอนข้อมูล (Data transfer rate) จะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นพาหะ โดยปกติถ้าความถี่ของคลื่นพาหะยิ่งสูง อัตราการรับส่งข้อมูลก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ส่วนการเลือกแบนด์วิดท์หรือย่านความถี่นั้นก็จะมีผลต่ออัตราการรับส่งข้อมูลเช่นกัน โดยมีหลักว่า แบนด์วิดท์ควรจะมีค่ามากกว่าอัตราการรับส่งข้อมูลที่ต้องการอย่างน้อยสองเท่า ยกตัวอย่างเช่น ถ้าใช้แบนด์วิดท์ ในช่วง 2.4 ถึง 2.5 กิกะเฮิรตซ์ ก็จะสามารถรองรับอัตราการรับส่งข้อมูลได้ถึงประมาณ 2 เมกกะบิตต่อวินาที เป็นต้น แต่การใช้แบนด์วิดท์ที่กว้างเกินไปก็อาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนมาก หรือทำให้ อัตราส่วนของสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน ต่ำลงนั่นเอง ดังนั้นการเลือกใช้แบนด์วิดท์ให้ถูกต้องก็เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณา

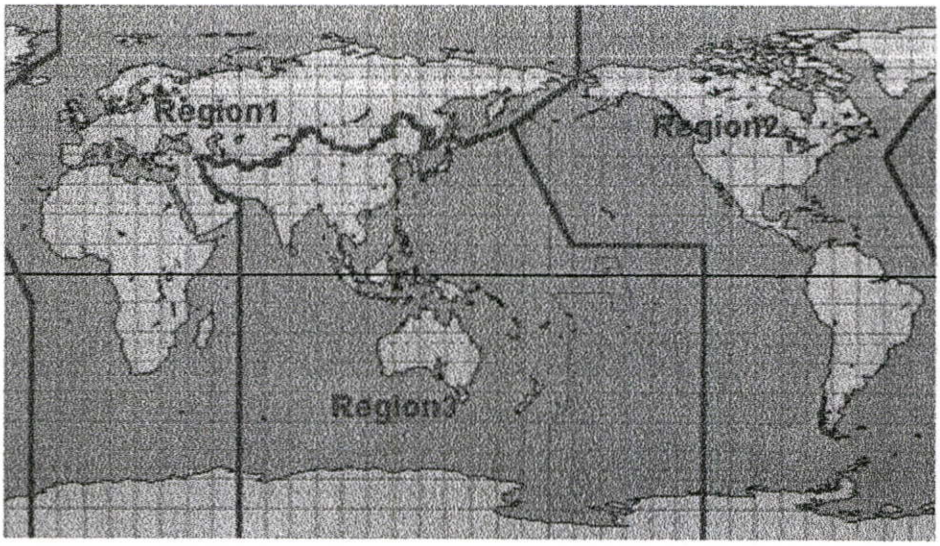
2.5 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

2.5.1 ย่านความถี่ที่ใช้งาน

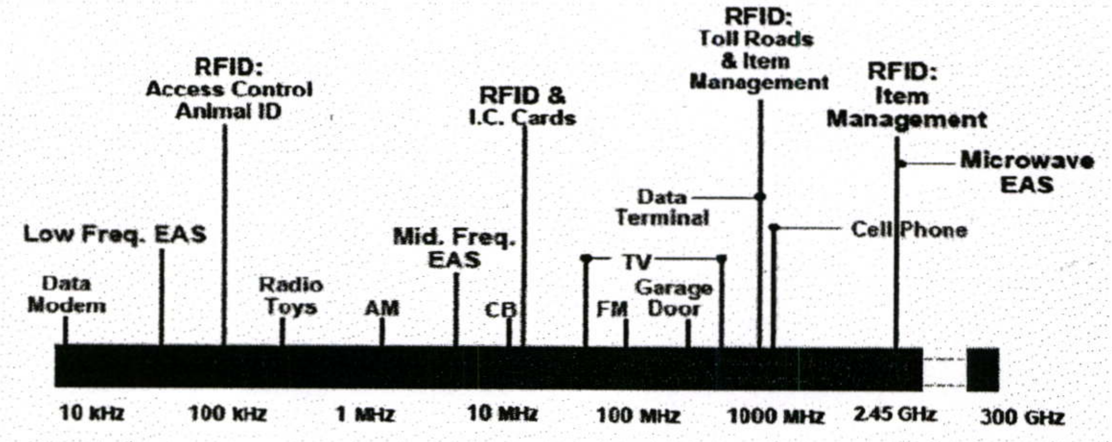
ในปัจจุบันได้มีการรวมกลุ่มระหว่างแต่ละประเทศ เพื่อทำการกำหนดมาตรฐานความถี่คลื่นพาหะของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ โดยมีสามกลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มประเทศในยุโรปและแอฟริกา (Region-1), กลุ่มประเทศอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ (Region-2) และสุดท้ายคือกลุ่มประเทศตะวันออกไกลและออสเตรเลีย (Region-3) ซึ่งแต่ละกลุ่มประเทศจะกำหนดแนวทางในการเลือกใช้ความถี่ต่างๆให้แก่บรรดาประเทศสมาชิก

อย่างไรก็ตามความถี่ของคลื่นพาหะส่วนมากนิยมใช้งานกันในแถบความถี่ ISM (Industrial scientific medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่หลายประเทศกำหนดไว้สอดคล้องกันในการอนุญาตให้ใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ สำหรับแถบความคลื่น ISM ที่กำหนดให้ใช้สำหรับระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมีด้วยกัน 4 ย่านความถี่คือ

- ย่านความถี่ต่ำ (Low frequency; LF) ต่ำกว่า 150 กิโลเฮิรตซ์
- ย่านความถี่สูง (High frequency; HF) 13.56/27.125 เมกกะเฮิรตซ์
- ย่านความถี่สูงมาก (Very high frequency; VHF) 433/868/915 เมกกะเฮิรตซ์
- ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave frequency) 2.45/5.8 กิกะเฮิรตซ์



รูปที่ 2.3 บริเวณการแบ่งกลุ่มประเทศสำหรับการกำหนดย่านความถี่ที่ใช้งาน [8]



รูปที่ 2.4 เปรียบเทียบแถบความถี่ในการใช้งานระหว่างระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุกับระบบต่างๆ [8]

ตารางที่ 2.2 ย่านความถี่ของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ใช้งาน [9]

ย่านความถี่	คุณลักษณะ	การใช้งาน
ย่านความถี่ต่ำ 100-500 kHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไปคือ 125 kHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ -ต้นทุนไม่สูง -ความเร็วในการอ่านข้อมูลต่ำ -ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	-ควบคุมการเข้าออก -ปศุสัตว์ -ระบบคงคลัง

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ย่านความถี่กลาง 10-15 MHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไปคือ 13.56 MHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลปานกลาง -ราคามีแนวโน้มถูกลงในอนาคต -ความเร็วในการอ่านข้อมูลปานกลาง -ความถี่ในย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก	-ควบคุมการเข้าออก -สมาร์ทการ์ด -ห้องสมุด
ย่านความถี่สูง 433/868/915 MHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลไกล -ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง -ราคาแพง	-รถไฟฟ้า -ระบบเก็บค่าผ่านทาง
ย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.4-5.8 GHz	-ระยะการรับส่งข้อมูลไกลมาก -ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูงมาก -ราคาแพง	-รถยนต์ รถไฟฟ้า -ระบบเก็บค่าผ่านทาง

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบย่านความถี่ต่างๆ ของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ [6]

ย่านความถี่	< 135 kHz	13.56 MHz	868/915 MHz, 2.45/5.8 GHz
ชนิดของเครื่องรับ	ถูกกระตุ้น (ไม่มีแบตเตอรี่)		กระตุ้นเอง (มีแบตเตอรี่)
วิธีการสื่อสาร	การเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า		การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
กำลังส่ง	72 *dB*μA/m	42 *dB*μA/m	10 ถึง 100 mW, 500 mW, 4W
ระยะอ่าน	0.5 – 1 เมตร		3-15 เมตร
อัตรารับส่งข้อมูล	ต่ำ →		สูง
ขนาดสายอากาศ	ใหญ่ ←		เล็ก
กำลังทะลุทะลวงวัตถุ	ดี ←		ไม่ดี
สามารถผ่านความชื้น	ต่ำ →		สูง

2.5.2 มาตรฐานในการใช้งาน

มาตรฐานของการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมีหลายมาตรฐานได้แก่ American national standards Institute (ANSI), Automotive industry action group (AIAG), European article numbering association international, European telecommunications standards institute (ETSI), European radio communications office (ERO), American society for testing and materials (ASTM) และ Electronic product code global (EPCglobal) เป็นต้น โดยมาตรฐานหลักที่นิยมใช้กันคือ International Organization of standard (ISO) [5], [9]

โดยได้กำหนดมาตรฐานไว้ 4 ด้านดังนี้

- มาตรฐานด้านเทคโนโลยี (Technology standard)

ISO/IEC 18001-6 เทคโนโลยีด้านข่าวสารสำหรับการจัดการในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ แบ่งออกเป็น 6 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 พารามิเตอร์สำหรับการสื่อสารในอากาศสำหรับความถี่ที่ยอมรับกันโดยทั่วไป

ส่วนที่ 2 พารามิเตอร์สำหรับการสื่อสารในอากาศย่านความถี่ที่ต่ำกว่า 135 กิโลเฮิรตซ์

ส่วนที่ 3 พารามิเตอร์สำหรับการสื่อสารในอากาศย่านความถี่ 13.56 เมกกะเฮิรตซ์

ส่วนที่ 4 พารามิเตอร์สำหรับการสื่อสารในอากาศย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์

ส่วนที่ 5 พารามิเตอร์สำหรับการสื่อสารในอากาศย่านความถี่ 5.80 กิกะเฮิรตซ์

ส่วนที่ 6 พารามิเตอร์สำหรับการสื่อสารในอากาศย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra high frequency; UHF)

- มาตรฐานด้านรูปแบบข้อมูล (Data format standard)

ISO/IEC 15418 การเจาะจงชุดของข้อมูลและแอปพลิเคชั่นสำหรับจุดประสงค์การเข้ารหัสข้อมูล รวมถึงการระบุองค์กรการรับผิดชอบสำหรับการผู้ดูแลรักษา

ISO/IEC 15434 เทคโนโลยีด้านข่าวสารแบบเฉพาะเจาะจงในการส่งผ่านสำหรับการสื่อสารที่มีความจุสูง

ISO/IEC 15459 ว่าด้วยมาตรฐานเกี่ยวกับเทคนิค ทฤษฎี และมาตรฐานเกี่ยวกับขั้นตอนกระบวนการส่งข้อมูล

- มาตรฐานด้านการทดสอบ (Conformance standard)

ISO/IEC 18047 โครงสร้างของอุปกรณ์การสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุสำหรับการทดสอบ

- มาตรฐานด้านการใช้งาน (Application standard) ปัจจุบันมีด้วยกันหลายมาตรฐาน ได้แก่

ISO 10374 มาตรฐานการขนส่งสินค้าแบบระบุตัวตนอัตโนมัติ

ISO 11785 มาตรฐานการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ใช้กับสัตว์

ISO 18185 มาตรฐานการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

2.5.3 การอนุญาตใช้งานในประเทศไทย

ประกาศคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) ลงในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 123 ตอนพิเศษ 10 ง ลงวันที่ 24 มกราคม 2549 ว่าหากผู้ผลิต ผลิตตัวส่งและตัวรับสัญญาณ ที่ใช้กำลังส่งต่ำกว่า 1 วัตต์ ถือว่าไม่ต้องขออนุญาต แต่ถ้าอยู่ระหว่าง 1-4 วัตต์ต้องขออนุญาต และถ้ากำลังส่งสูงกว่า 4 วัตต์ คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติต้องพิจารณาอีกครั้งว่าจะเกิดการรบกวนคลื่นอื่น ๆ หรือไม่ การใช้อุปกรณ์ในการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ไม่ได้รับ

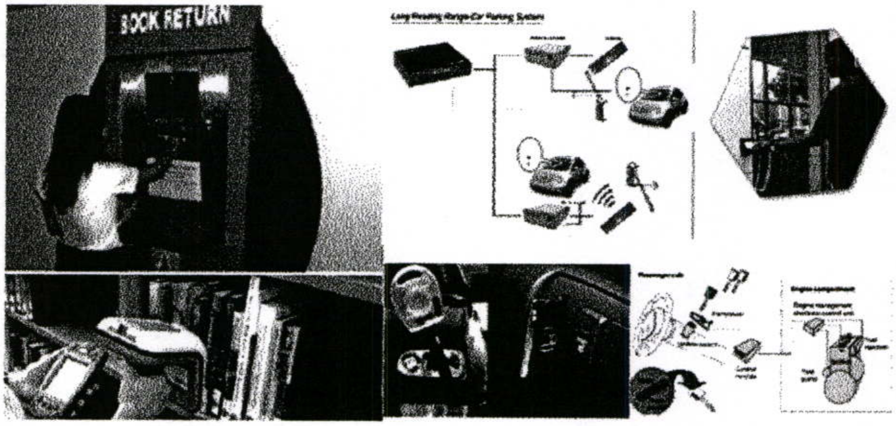
สิทธิคุ้มครองการรบกวน หากก่อให้เกิดการรบกวนระดับรุนแรง ต่อการใช้ความถี่วิทยุของข่ายสื่อสารวิทยุคมนาคมอื่นในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ผู้ใช้ต้องระงับการใช้อุปกรณ์ในการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ก่อให้เกิดการรบกวนในบริเวณนั้นทันที

ส่วนใบอนุญาตจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ใบอนุญาตนำเข้าเพื่อใช้งานในประเทศไทย และใบอนุญาตเพื่อผลิตและส่งออก ซึ่งได้ให้ศูนย์คอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (National electronics and computer technology center; NECTEC) ไปศึกษาถึงการสนับสนุนเอกชนเพื่อผลิตตัวส่งและตัวรับสัญญาณ ส่วนสำนักงานส่งเสริมอุตสาหกรรมซอฟต์แวร์แห่งชาติ (Software industry promotion agency; SIPA) จะศึกษาแนวทางสนับสนุนการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุนี้ [10]

2.6 การประยุกต์ใช้งานของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

2.6.1 การใช้งานด้านการรักษาความปลอดภัย

เนื่องจากการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมีความเที่ยงตรง มีขนาดเล็กราคาถูก และยังสื่อสารได้ไกลพอสมควร จึงได้มีการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบรักษาความปลอดภัย ตัวอย่างเช่น ระบบการจัดการหนังสือภายในห้องสมุด กุญแจอัจฉริยะ ตลอดจนระบบการจัดการการเข้า ออกสถานที่ของรถยนต์และพนักงาน เป็นต้น



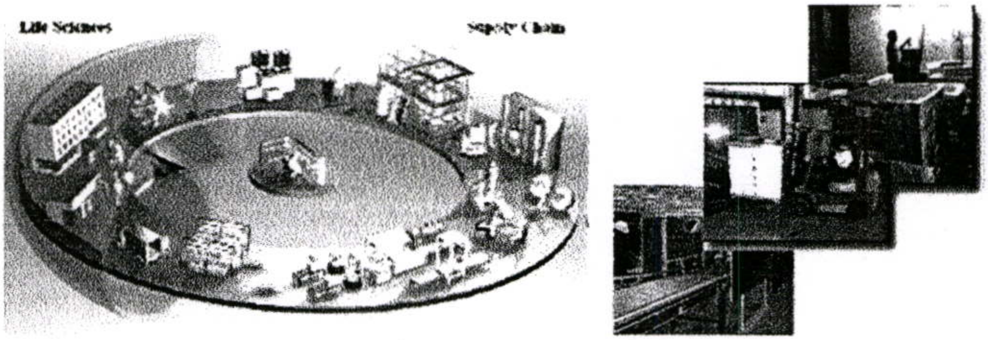
รูปที่ 2.5 การนำเอาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนไปใช้ด้านการรักษาความปลอดภัย [8]

2.6.2 การใช้งานภาคอุตสาหกรรม

วงการอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในโรงงานหรือสายงานการผลิตต่างๆ เป็นอีกกลุ่มเป้าหมายหนึ่งที่เทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุเข้าไปมีบทบาทเพิ่มประสิทธิผลให้เป็นอย่างมาก โดยจะมีความเที่ยงตรงและลดความคลาดเคลื่อนของสินค้าในสายงาน

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

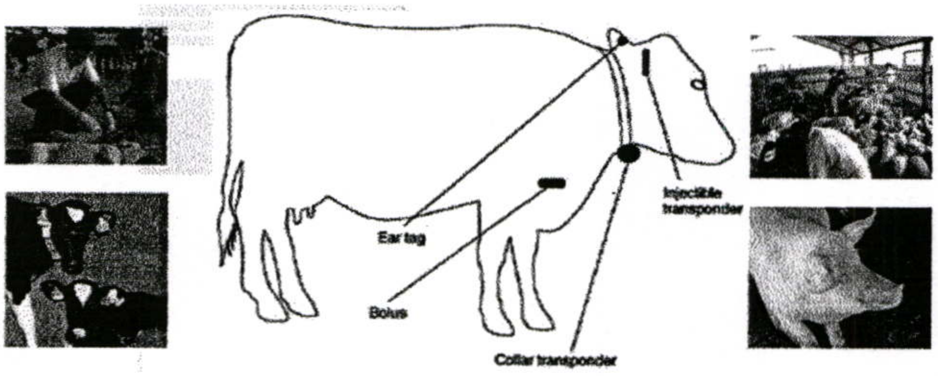
การผลิตให้มีความแตกต่างระหว่างชิ้นงานน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังช่วยในการระบุรายละเอียด และประวัติของสินค้าในแต่ละครั้งที่ผลิตด้วย



รูปที่ 2.6 การนำเอาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิต [8]

2.6.3 การใช้งานด้านการปศุสัตว์

ปัจจุบันมีการนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมาพัฒนาเป็นอุปกรณ์ชิ้นเล็กๆ สำหรับติดหรือฝังไว้กับตัวสัตว์เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบข้อมูลต่างๆ โดยทั่วไปแล้วจะใช้ตรวจสอบแหล่งที่มาและแสดงสายพันธุ์ของสัตว์ ทั้งนี้มีการกำหนดมาตรฐานการรับส่งข้อมูลระหว่างตัวส่งและตัวรับสัญญาณตามข้อกำหนด ISO 11785 โดยลักษณะการติดตั้งตัวรับสัญญาณไว้กับสัตว์แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การนำเอาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมาประยุกต์ใช้งานกับสัตว์เลี้ยง [3]

2.6.4 การใช้งานสำหรับบรรจุภัณฑ์

ในกิจการที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งบรรจุภัณฑ์จำนวนมากๆ การนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมาประยุกต์ใช้จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจาก

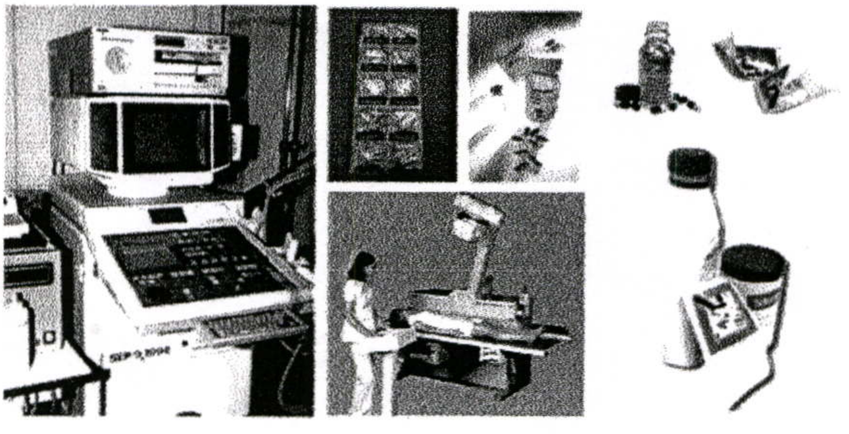
87067

สามารถเก็บรวบรวมข้อมูล เปลี่ยนแปลงรายละเอียด และประวัติของบรรจุภัณฑ์ได้ดีกว่าเทคโนโลยีรหัสแบบแท่ง ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มาตั้งแต่ดั้งเดิม ดังนั้นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูลและบริหารจัดการระบบฐานข้อมูลให้กับกิจการได้เป็นอย่างดี

รูปที่ 2.8 การนำเอาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมาใช้กับผลิตภัณฑ์และสินค้า [6]

2.6.5 การใช้งานในวงการแพทย์

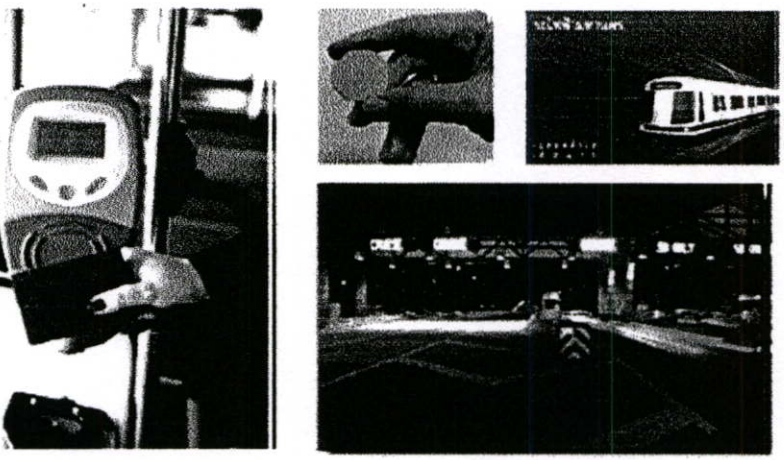
มีการใช้งานสำหรับทำทะเบียนเครื่องมือแพทย์ที่มีราคาแพง ทำให้สามารถตรวจสอบการเก็บรักษาเครื่องมือแพทย์ได้สะดวกรวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีการนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมาใช้ในการผลิตสุขภัณฑ์ยาเพื่อตรวจสอบยาปลอมได้ เป็นการป้องกันความสูญเสียของผู้ผลิตจากสินค้าเลียนแบบ และป้องกันไม่ให้ผู้ป่วยได้รับยาที่ไม่มีคุณภาพหรือยาปลอมได้



รูปที่ 2.9 การนำเอาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมาใช้กับอุปกรณ์การแพทย์และระบุฉลากยา [7]

2.6.6 การใช้งานด้านการคมนาคม

ระบบบริหารจัดการการจราจรและขนส่งได้มีการนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุไปใช้งาน ซึ่งมีทั้งแบบตัวรับถูกกระตุ้นและตัวรับกระตุ้นเองจะสามารถอ่านเขียนข้อมูลได้ในระยะไกล ช่วยให้การจัดการเรื่องระบบจราจรและการขนส่งได้ข้อมูลที่รวดเร็วทันต่อเหตุการณ์สามารถวิเคราะห์สภาพปัญหาระบบการจราจรได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ยังมีการนำไปติดไว้บนแผ่นป้ายทะเบียน เพื่อระบุหมายเลขทะเบียนรถยนต์ในระยะไกล ทำให้สามรถระบุข้อมูลจากรถยนต์แต่ละคันรวมทั้งยังสามารถจ่ายค่าผ่านทางได้ โดยระบบนี้มีต้นแบบจากบริษัทสิริท (Sirit Inc.) สหรัฐเอมริกา ส่วนในประเทศไทยได้มีการนำมาใช้ร่วมกับรถไฟฟ้ามหานคร



รูปที่ 2.10 การนำเอาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุไปใช้ด้านการคมนาคม [8]

2.7 บทสรุป

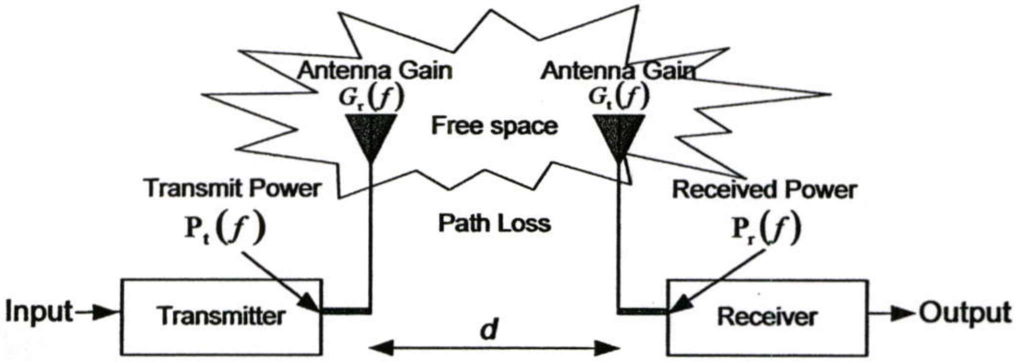
ในยุคของเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเช่นในปัจจุบัน ทำให้หลายองค์กรพยายามที่จะนำเอาระบบการสื่อสารที่สะดวก รวดเร็ว และทันสมัยมาประยุกต์ใช้กับองค์กรของตนเอง ตลอดจนการพยายามที่จะลดต้นทุนการซื้อเทคโนโลยีต่างๆ จึงทำให้เทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่กำลังมีบทบาทและความสำคัญเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยการประยุกต์เทคโนโลยีนี้มาใช้งานมีรูปแบบหลากหลายด้วยจุดประสงค์ที่แตกต่างกันแต่อยู่บนหลักการพื้นฐานเดียวกัน นั่นคือการใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อการระบุเอกลักษณ์ระบุตัวตนของคน สัตว์ และสิ่งของแทนการระบุด้วยวิธีการอื่น ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยอำนวยความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีกว่าเทคโนโลยีอื่น ซึ่งในบทนี้ได้กล่าวถึงเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตน องค์ประกอบ หลักการทำงาน รวมทั้งการนำไปประยุกต์ใช้งานไว้พอสังเขป เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาต่อไป

บทที่ 3
ทฤษฎีและการวิเคราะห์การถ่ายโอนช่องสัญญาณของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

3.1 กล่าวนำ

ในการสื่อสารแบบไร้สายนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณไม่ว่าจะเป็นระดับของกำลังงาน เวลาประวิงที่เกิดขึ้นหรือความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่รับได้ เมื่อมีการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยังภาครับ โดยผลที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะต้องทำการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยวิธีการวัด จากนั้นนำผลที่ได้จากการวัดหรือที่เรียกว่าข้อมูลดิบมาทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนต่างๆ เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบหรือการเปลี่ยนแปลง โดยขั้นตอนการนี้สำคัญพอๆ กับขั้นตอนการทดลองวิจัยวัด จึงจำเป็นต้องศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้ผลการทดลองวิจัยที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ ซึ่งจะกล่าวถึงพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

3.2 ทฤษฎีการส่งผ่านของฟรีสในช่องสัญญาณอวกาศว่างสำหรับการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการส่งผ่านสำหรับการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาช่องสัญญาณการส่งผ่านในอวกาศว่างภายในอาคาร เพื่อหาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่ส่งผลต่อการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ซึ่งพิจารณาได้จากการลดทอนและการผิดเพี้ยนของสัญญาณที่รับได้ในแต่ละตำแหน่งบนร่างกายมนุษย์ โดยใช้หลักการ

ของฟรีสในการประมาณหาค่าแถบสัญญาณในช่องสัญญาณแคบ (Narrow band) ที่อยู่ในระดับสายตา (Line of sight; LOS) เนื่องจากสมการของฟรีสเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายในการสื่อสารแบบไร้สาย โดยอัตราการขยายของฟรีสในช่องสัญญาณอวกาศว่าง $G_{\mathrm{Friis}}(f)$ ที่เราพิจารณาในงานวิจัยนี้สามารถเขียนสมการได้เป็น [13]

$$G_{\mathrm{Friis}}(f)=\frac{\mathrm{P_r}(f)}{\mathrm{P_t}(f)}=G_{\mathrm{f}}(f)G_{\mathrm{r}}(f)G_{\mathrm{t}}(f) \tag{3.1}$$

ซึ่ง $\mathrm{P_r}(f)$ และ $\mathrm{P_t}(f)$ เป็นกำลังงานทางด้านรับและด้านส่งตามลำดับ โดยที่ $G_{\mathrm{f}}(f)$ สามารถหาได้จากสมการที่ 3.2

$$G_{\mathrm{f}}(f)=\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \tag{3.2}$$

กำหนดให้ $G_{\mathrm{r}}(f)$ คือ อัตราการขยายของสายอากาศทางด้านรับ

$G_{\mathrm{t}}(f)$ คือ อัตราการขยายของสายอากาศทางด้านส่ง

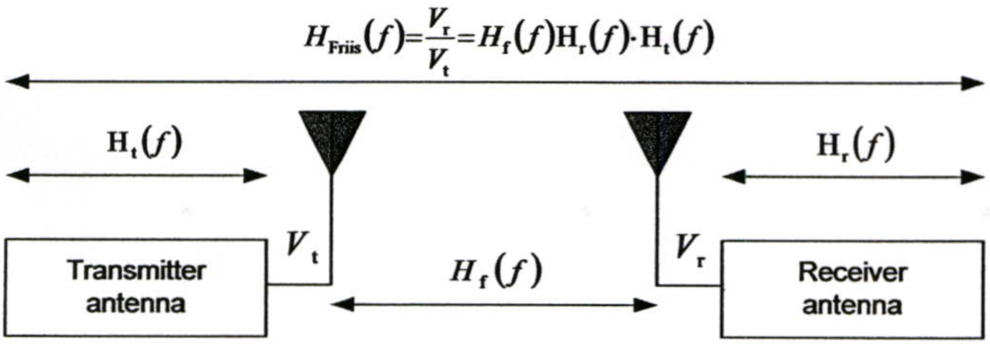
λ คือ ความยาวคลื่นมีค่า $\lambda=c/f$ เมตร

c คือ ความเร็วแสงมีค่า 3×10^8 เมตรต่อวินาที

f คือ ความถี่ที่ใช้ทดลอง

d คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งกับตัวรับ

3.3 วิเคราะห์การถ่ายโอนช่องสัญญาณของฟรีสในอวกาศว่างสำหรับการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมการถ่ายโอนสัญญาณของฟรีสในอวกาศว่าง

ฟังก์ชันการถ่ายโอนในรูปแบบเชิงซ้อนสำหรับช่องสัญญาณอวกาศว่างของฟรีส แสดงดังสมการที่ 3.3 ซึ่ง V_t และ V_r คือโวลต์ของทางด้านส่งและด้านรับตามลำดับ [13]

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

โดยที่

$$\begin{aligned} \mathrm{H}_{\mathrm{a}}(f) &= \mathrm{H}_{\mathrm{a}}(\theta_{\mathrm{a}},\varphi_{\mathrm{a}},f) \\ &= \hat{\theta}_{\mathrm{a}}\mathrm{H}_{\mathrm{a}\theta}(\theta_{\mathrm{a}},\varphi_{\mathrm{a}},f)+\hat{\varphi}_{\mathrm{a}}\mathrm{H}_{\mathrm{a}\varphi}(\theta_{\mathrm{a}},\varphi_{\mathrm{a}},f) \\ \mathrm{a} &= \mathrm{r}\, or\, \mathrm{t} \end{aligned} \tag{3.4}$$

สำหรับฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณอวกาศว่าง $H_{\mathrm{f}}(f)$ ในรูปแบบเชิงซ้อนสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 3.5 ซึ่งสมการนี้ถูกทำให้มีคุณสมบัติของความถี่บวกและความถี่ลบเป็นไปตามคุณสมบัติของความเป็นสมเหตุสมผล

$$H_{\mathrm{f}}(f)=\frac{\lambda}{4\pi d}\exp(-jkd) \tag{3.5}$$

โดยกำหนดให้เวกเตอร์มีขั้ว (Polarize) และสัมพันธ์ (Relate) กันตามสมการที่ 3.6 และสมการที่ 3.7

$$\hat{\theta}_{\mathrm{r}}=\hat{\theta}_{\mathrm{t}} \tag{3.6}$$

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

กำหนดให้ $\mathrm{H}_{\mathrm{r}}(f)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณทางด้านรับ

$\mathrm{H}_{\mathrm{t}}(f)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณทางด้านส่ง

λ คือ ความยาวคลื่นมีค่า $\lambda=c/f$ เมตร

c คือ ความเร็วแสงมีค่า 3×10^{8} เมตรต่อวินาที

f คือ ความถี่ที่ใช้ทดลอง

d คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งกับตัวรับ

3.3.1 การสูญเสียเชิงวิถี

ในระบบการสื่อสารแบบไร้สายนั้นเป้าหมายหลักของแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นคือการคาดการณ์ถึงค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ (P_L) เนื่องจากการแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณมีปัจจัยหลายอย่างที่สงผลกระทบ โดยตัวแปรที่สำคัญคือระยะทางระหว่างตัวรับกับตัวส่ง สมการค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณแสดงดังสมการที่ 3.8 ส่วนกรณีพิจารณาค่าคงที่สภาวะแวดล้อมสามารถหาได้จากสมการที่ 3.9 ซึ่งโดยทั่วไปมักจะอยู่ในหน่วยของ เดซิเบล (dB) [14]

$$P_L(\mathrm{dB}) = 10\log\left(\frac{P_t}{P_r}\right) \tag{3.8}$$

$$P_L(\mathrm{dB}) = P_L(d_0) + 10n\log\left(\frac{d}{d_0}\right); \quad d \geq d_0. \tag{3.9}$$

3.3.2 อัตราขยายเชิงวิถี

สำหรับอัตราขยายเชิงวิถีของสัญญาณ (P_G) จะเป็นส่วนกลับของการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณสามารถหาได้จากสมการ 3.10 และกรณีพิจารณาค่าคงที่สภาวะแวดล้อมสามารถหาได้จากสมการที่ 3.11

$$P_G(\mathrm{dB}) = 10\log\left(\frac{P_r}{P_t}\right) \tag{3.10}$$

$$P_G(\mathrm{dB}) = -\left[P_L(d_0) + 10n\log\left(\frac{d}{d_0}\right)\right]; \quad d \geq d_0 \tag{3.11}$$

โดยที่ P_t คือกำลังงานทางด้านส่ง

P_r คือกำลังงานทางด้านรับ

d_0 คือระยะทางอ้างอิง

d คือระยะทางระหว่างตัวส่งกับตัวรับสัญญาณ

n คือค่าคงที่สภาวะแวดล้อม

ตารางที่ 3.1 ค่าคงที่สภาวะแวดล้อมในแต่ละกรณี

สภาวะแวดล้อม	ค่าคงที่
อวกาศว่าง	2
ภายในอาคาร ในระดับสายตา	1.6 - 1.8
ถูกกีดขวางภายในอาคาร	4 - 6
บริเวณในเมือง (ภายนอกอาคาร)	2.7 - 3.5
ถูกบดบังในเมือง (ภายนอกอาคาร)	3 - 5

3.3.3 การกระจายทางเวลา

เส้นทางการแพร่กระจายของสัญญาณระหว่างตัวส่งกับตัวรับมีได้หลายทิศทาง และสัญญาณแต่ละส่วนมักจะส่งผ่านในเส้นทางที่มีระยะทางไม่เท่ากัน สัญญาณบางส่วนอาจเดินทางเป็นเส้นตรงระหว่างตัวรับกับตัวส่ง สัญญาณส่วนนี้มักจะเดินทางมาถึงภาครับเร็ว ในขณะที่สัญญาณส่วนอื่นมีการสูญเสียอันเนื่องมาจากการสะท้อนหลายทิศทางกว่าจะมาถึงภาครับ สัญญาณมักจะใช้เวลาการแพร่กระจายที่นานกว่า ซึ่งความล่าช้าของสัญญาณในแต่ละส่วนก่อให้เกิดปัญญาที่เรียกว่า การแผ่ประวิง (Delay spread) ขึ้น นั่นคือสัญญาณแต่ละส่วนใช้เวลาเดินทางไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงเวลาที่ถูกเลื่อนออกไปของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับ โดยในส่วนของการกระจายทางเวลา (Time dispersion) นั้น สามารถวิเคราะห์จากพารามิเตอร์ที่เรียกว่า ค่าเฉลี่ยเวลาที่เลื่อนเกินออกไปจากค่าเวลาเดิมหรือค่าเฉลี่ยเวลาประวิง (Mean excess delay; $\bar{\tau}$) และค่าการแผ่ประวิงเวลา (Root mean square delay spread, RMS delay spread; σ_τ) ซึ่งถูกนิยามไว้ดังสมการที่ 3.12 และสมการที่ 3.14 ตามลำดับ [14]-[15]

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{k=1}^{n} a_k^2 \tau_k}{\sum_{k=1}^{n} a_k^2} = \frac{\sum_{k=1}^{n} P(\tau_k)\tau_k}{\sum_{k=1}^{n} P(\tau_k)} \tag{3.12}$$

โดยที่

$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_{k=1}^{n} a_k^2 \tau_k^2}{\sum_{k=1}^{n} a_k^2} = \frac{\sum_{k=1}^{n} P(\tau_k)\tau^2{}_k}{\sum_{k=1}^{n} P(\tau_k)} \tag{3.13}$$

สำหรับค่าการแผ่ประวิงเวลาสามารถเขียนดังสมการ (3.12)

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

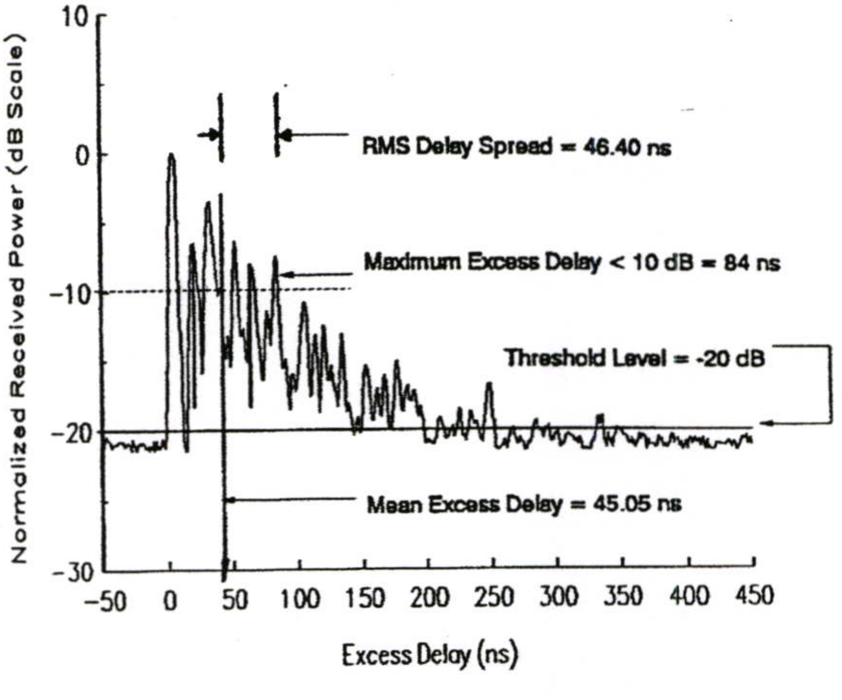
กำหนดให้ a_k คือ ขนาดของสัญญาณเส้นทางที่ k

τ_k คือ เวลาประวิงที่เกิดขึ้นของสัญญาณเส้นทางที่ k

$P(\tau_k)$ คือ กำลังงานของสัญญาณเส้นทางที่ k

3.3.4 กำลังงานการแผ่ประวิงเวลา

พารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งที่นิยมนำมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับที่เวลาต่าง ๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสัญญาณที่มีการสะท้อนในหลายทิศทางหรือที่เรียกว่าสัญญาณหลายวิถีโดยจะเรียกว่า ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power delay profile; PDP) ซึ่งตัวอย่างของ PDP ได้แสดงดังรูปที่ 3.3 โดยจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อเวลาที่เข้ามาถึงและนอกจากนั้นยังสามารถนำไปพิจารณาถึงผลการกระจายทางเวลา (Time dispersion) อันประกอบไปด้วยการประวิงเข้าถึงเฉลี่ย (Mean excess delay) และค่าการแผ่ประวิง RMS (rms delay spread) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป [14]-[15]



รูปที่ 3.3 ภาพหน้าตัดข้างของกำลังงานการแผ่ประวิงเวลา [15]

3.3.5 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ว่ามีความสัมพันธ์ต่อกันหรือไม่ มากน้อยเพียงใด โดยนำข้อมูลของตัวแปรทั้ง 2 ตัวนั้นมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งบอกถึงทิศทางและระดับของความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปร 2 ตัว (สัญญาณทางด้านรับและสัญญาณทางด้านส่ง) ใช้สัญลักษณ์ C_c จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 เครื่องหมายของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะบอกทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ถ้าเป็นลบแสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในทางตรงข้าม ถ้าเป็นบวกแสดงว่าตัวแปรทั้งสองมี

ความสัมพันธ์ในทางตามกัน ส่วนระดับความสัมพันธ์ถ้ามีค่าเท่ากับ 1 ไม่ว่าจะ + หรือ - แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ แต่ถ้ามีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกันเลย ซึ่งแสดงดังสมการที่ 3.15 [14]-[15]

$$C_c = \frac{\int_0^\infty v_t(\tau) v_r(t+\tau) dt}{\sqrt{\int_0^\infty v_t(\tau) v_t(t+\tau) dt \cdot \int_0^\infty v_r(\tau) v_r(t+\tau) dt}} \quad (3.15)$$

3.3.6 อัตราความผิดพลาดของบิต

ประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุนั้น จะขึ้นอยู่กับความถูกต้องของข้อมูลที่รับได้ที่ภาครับซึ่งจะสัมพันธ์กับสัญญาณรบกวน ซึ่งในระบบจะแสดงความผิดพลาดของข้อมูลในรูปของอัตราความผิดพลาดของบิต (Bit error rate; BER) ซึ่งเป็นค่าทางสถิติที่นิยามมาจากค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดของข้อมูลที่รับได้ ตัวอย่างเช่น ในการส่งข้อมูล 1000 บิต ปรากฏว่าข้อมูลที่รับได้มีข้อมูลที่ผิด 1 บิต ดังนั้นค่าอัตราความผิดพลาดของบิตจะมีค่าเท่ากับ 1/1000 หรือ 10^{-3} เป็นต้น ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio; SNR) และอัตราความผิดพลาดของบิต สามารถหาได้จากสมการที่ 3.16 [14]

$$BER = Q\left[\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right] \quad (3.16)$$

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

โดยที่ $Q(x)$ คือ ความน่าจะเป็นของความผิดพลาด

C_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

E_b คือ พลังงานเฉลี่ยต่อบิต

N_0 คือ ความหนาแน่นของสัญญาณรบกวน

3.4 บทสรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ที่จำเป็นสำคัญสำหรับการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้ได้ใช้หลักการของฟรีสในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เราต้องการพิจารณา ทั้งการสูญเสียในการส่งผ่านและประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ เนื่องจากสมการการส่งผ่านของฟรีสเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันในระบบการสื่อสารแบบไร้สาย นอกจากนี้เราได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (MATLAB program) เป็นตัวช่วยในการคำนวณ และประมวลผลออกมาในรูปของกราฟที่เราต้องการพิจารณา จากที่กล่าวมาทั้งหมดในบทนี้ล้วนแล้วแต่เป็นความรู้พื้นฐานที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าและวิเคราะห์การสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

บทที่ 4
แบบจำลองและขั้นตอนการทดลองวิจัย

4.1 กล่าวนำ

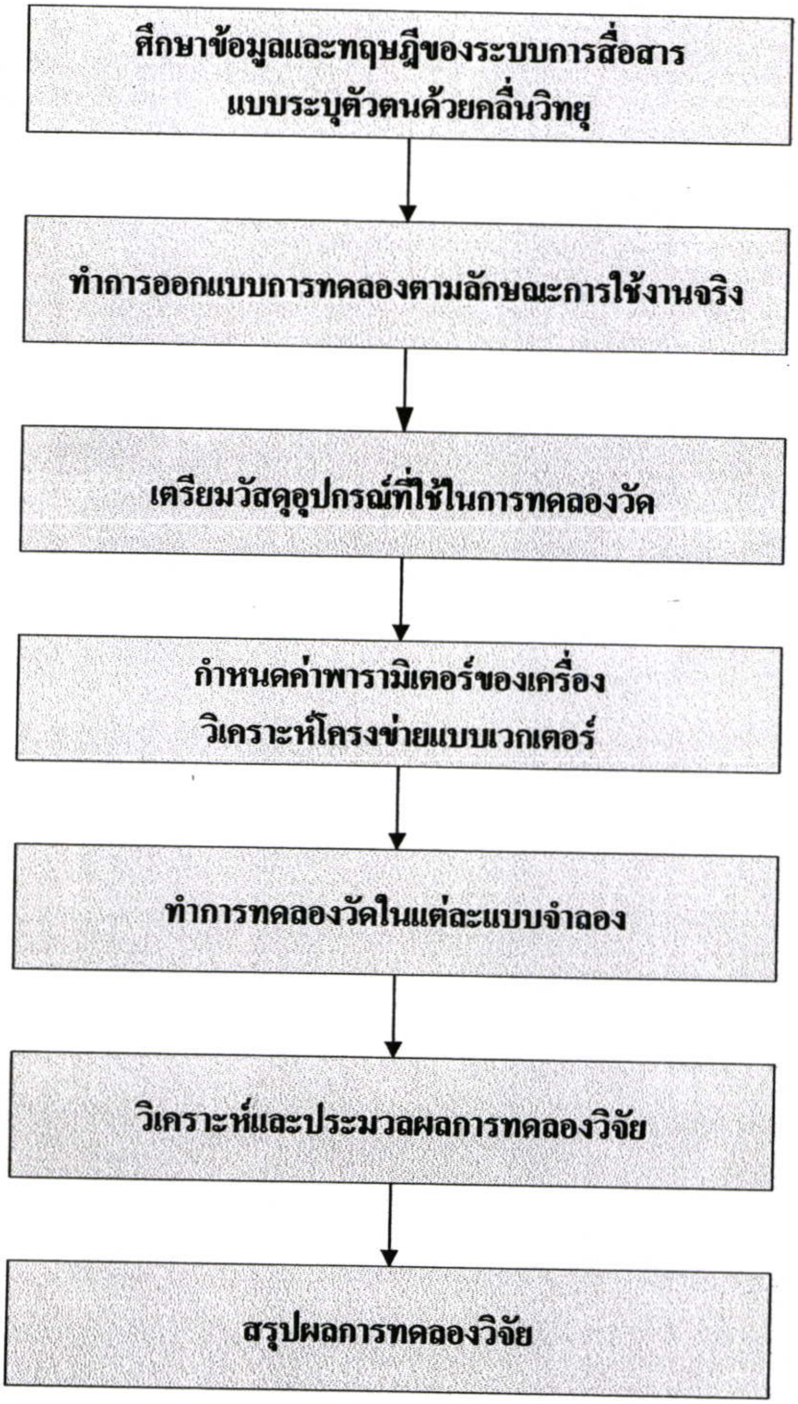
ในบทนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองขั้นตอนการทดลอง รวมทั้งวัสดุอุปกรณ์และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองวัดช่องสัญญาณของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ซึ่งเป็นการตรวจสอบผลการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณในช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารไร้สาย โดยสามารถกำหนดได้ดังนี้

- กำหนดแบบจำลองการทดลองวัดสัญญาณ ในห้องประชุมภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ชั้น 12 โดยในการเลือกสถานที่ที่ใช้วัดสัญญาณเราจะต้องคำนึงถึงผลกระทบของสัญญาณที่จะสามารถแสดงได้ในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง ซึ่งห้องประชุมเป็นที่เหมาะสมในแบบจำลองนี้

- กำหนดตำแหน่งของสายอากาศสำหรับการวัดสัญญาณ ให้เหมาะสมกับแบบจำลองที่ต้องการศึกษาวิจัย ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาหาการสูญเสียของสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์ ซึ่งเราได้กำหนดให้สายอากาศทางด้านส่งติดตั้งอยู่บนเสา ส่วนสายอากาศทางด้านรับกำหนดให้ติดทั่วบริเวณร่างกายมนุษย์ โดยได้คำนึงถึงการแพร่กระจายของสัญญาณในแต่ละตำแหน่ง เพื่อนำผลที่ได้จากการวัดสัญญาณมาวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง

- กำหนดแบบจำลองการทดลองวัดช่องสัญญาณในกรณีต่างๆ สำหรับการนำเอาไปประยุกต์ใช้งานจริงต่อไป ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบไว้ทั้งหมด 3 แบบจำลองเพื่อนำค่าสัญญาณที่วัดได้มาเปรียบเทียบในแต่ละกรณี โดยในการทดลองวิจัยวัดสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์นั้นจะแสดงให้เห็นถึงการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณในแต่ละตำแหน่งที่ติดบนร่างกายมนุษย์ของแต่ละกรณี เพื่อนำมาเปรียบเทียบให้เห็นถึงความเหมาะสมในการกำหนดตำแหน่งของสายอากาศตัวรับและตัวส่งสัญญาณ

โดยในการทดลองวิจัยวัดสัญญาณในแต่ละกรณีนี้ได้มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์และวิธีการวัดไว้อย่างเหมาะสมกับแบบจำลอง ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณในช่องสัญญาณการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์ได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังได้ทำการตรวจสอบถึงผลการกระจายทางเวลาของช่องสัญญาณเพื่อนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาประกอบการตัดสินใจในการออกแบบการสื่อสารที่คล้ายกันต่อไป

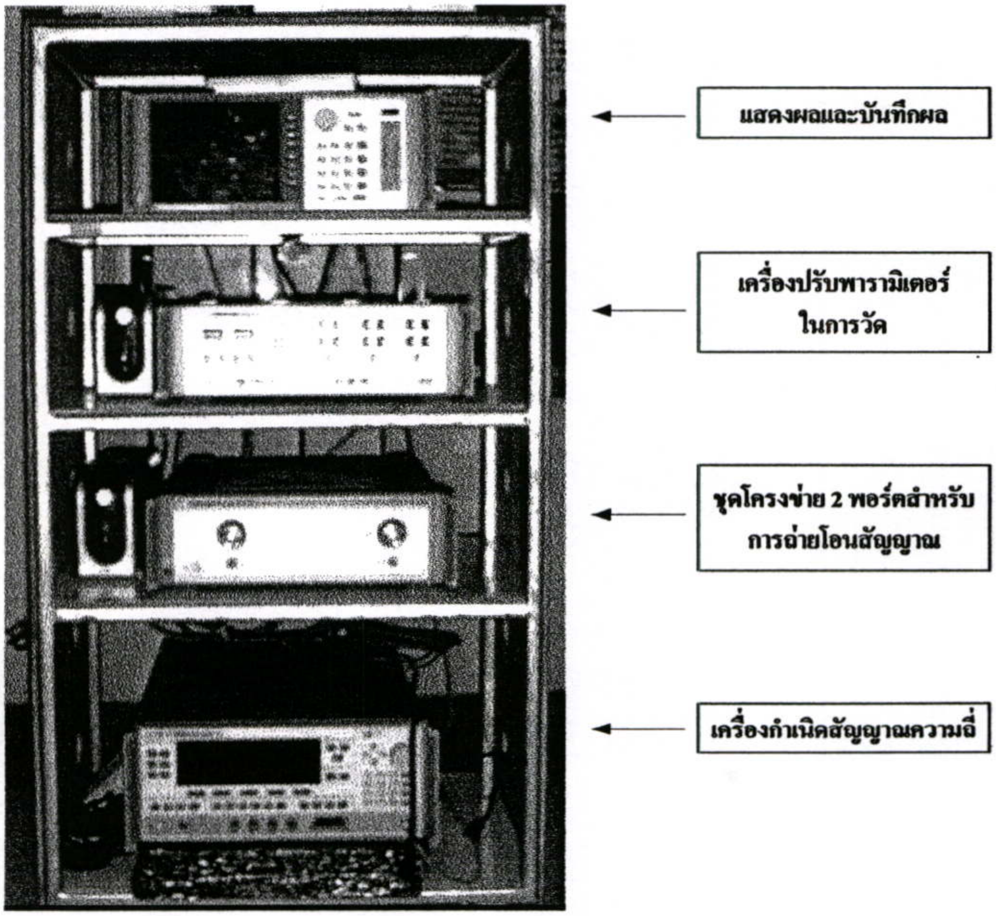


รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการศึกษาทดลองวิจัย

4.2 การเตรียมการทดลองวัดสัญญาณ

4.2.1 รูปแบบของการทดลองวัดสัญญาณ

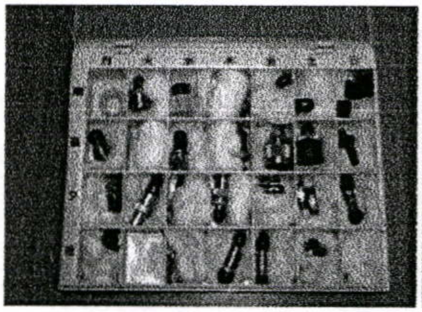
ในการวัดช่องสัญญาณนั้นจะใช้เครื่องวัดเฉพาะทางอันประกอบไปด้วย เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector network analyzer; VNA) รุ่น HP-8510C เครื่องปรับพารามิเตอร์ (S-parameter test set) รุ่น HP-83620B และเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-83620A เป็นอุปกรณ์หลักในวัดและทดสอบช่องสัญญาณ ซึ่งจะถูกควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer; PC) ที่เชื่อมต่อผ่านช่องสื่อสารแบบการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ทั่วไป (General Purpose Interface Bus; GPIB) โดยอุปกรณ์ชิ้นนี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถตรวจวัดสัญญาณในโครงข่ายหนึ่งพอร์ตและสองพอร์ตได้ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้แบบ 2 พอร์ต โดยให้พอร์ตหนึ่งใช้สำหรับส่งสัญญาณ (Tx) ส่วนพอร์ตสองใช้สำหรับรับสัญญาณ (Rx) โดยปลายทั้งสองพอร์ตจะถูกต่อเข้ากับสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป แล้วทำการวัดในรูปของความถี่จากนั้นจะนำเอาข้อมูลที่ได้จากการวัดไปวิเคราะห์ต่อไป



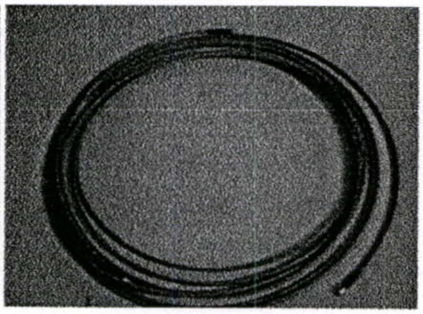
รูปที่ 4.2 ชุดเครื่องมือวัดการวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

4.2.2 ขั้นตอนในการเตรียมเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

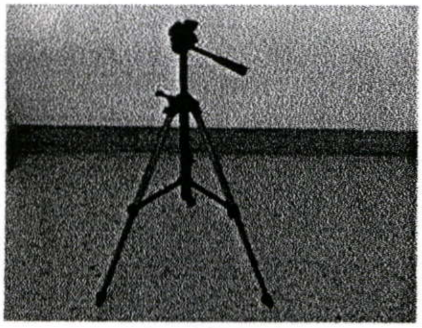
- ทำความสะอาดอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องใช้งาน
- จัดอุปกรณ์ต่างๆ ตามแบบจำลองที่ออกแบบไว้
- กำหนดความถี่ใช้งานของเครื่อง ให้ครอบคลุมความถี่ที่เราจะทำการทดลองวัด
- กำหนดความละเอียดของเครื่องไว้ที่ 801 จุด (ความละเอียดสูงสุดของเครื่องวัด)
- นำปลายสายนำสัญญาณเซมิลิจิต (Semiligit cable) ของพอร์ตหนึ่ง (Tx) ต่อเข้ากับตัวเชื่อมต่อแบบเปิดวงจร (Open circuit), ตัวเชื่อมต่อแบบลัดวงจร (Short circuit) และตัวเชื่อมต่อแบบความต้านทานรวม (Load circuit) แล้วทำการปรับเทียบทีละตัวตามลำดับ สำหรับปลายสายเซมิลิจิตของพอร์ตสอง (Rx) ก็ทำเช่นเดียวกัน จากนั้นนำปลายสายเซมิลิจิตทั้งสองเส้นมาเชื่อมต่อกันด้วยตัวเชื่อมต่อแบบ SN เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนออกทั้งหมด
- นำสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปมาต่อเข้ากับปลายสายนำสัญญาณเซมิลิจิตทั้งสอง แล้วทำการทดลองวัดต่อไป โดยอุปกรณ์ต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.3



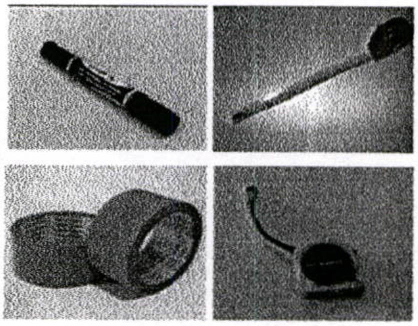
(ก) ตัวเชื่อมต่อรูปแบบต่างๆ



(ข) สายนำสัญญาณเซมิลิจิต



(ค) ขาตั้งที่ใช้ติดตั้งเข้ากับสายอากาศ

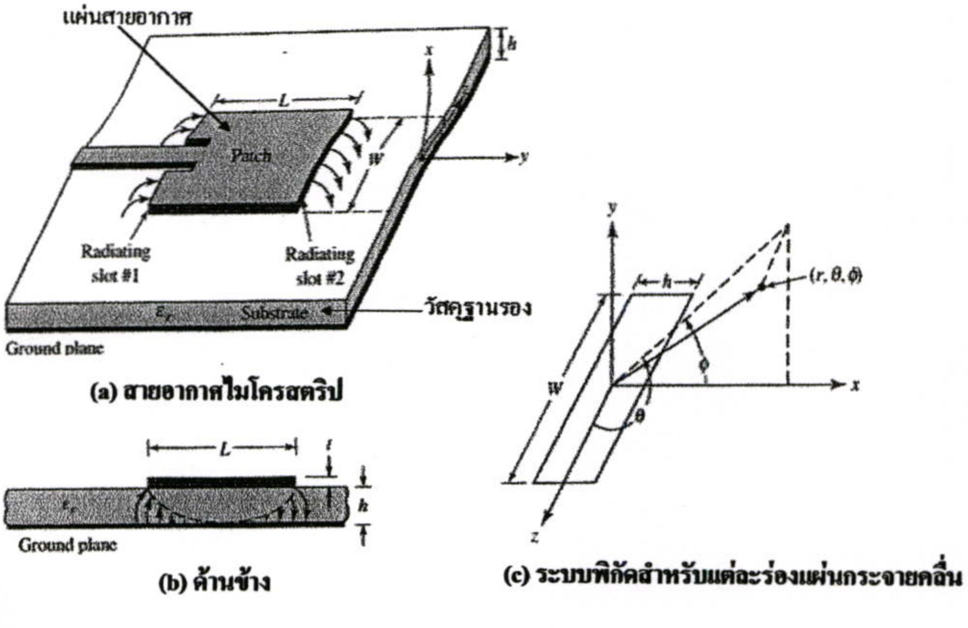


(ง) อุปกรณ์ที่ใช้ในเตรียมการทดลอง

รูปที่ 4.3 อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองวิจัย

4.2.3 ลักษณะของสายอากาศที่ใช้ในการทดลองวัดสัญญาณ

ในการวัดช่องสัญญาณแบบไร้สายนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ สายอากาศ ซึ่งช่วยในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากตัวส่งสัญญาณให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แพร่กระจายผ่านอากาศไปยังสายอากาศตัวรับสัญญาณแล้วเปลี่ยนกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า ตามเดิม โดยลักษณะของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปแสดงในรูปที่ 4.4 (a) ซึ่งประกอบแผ่น ตัวนำที่บางมากวางอยู่บนวัสดุฐานรอง ส่วนอีกด้านหนึ่งของวัสดุฐานรองจะเป็นระนาบเงา วัสดุฐานรองสำหรับนำมาสร้างสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปนั้นมีด้วยกันหลายชนิด โดยปกติแล้ว สภาพยอมสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกนั้นอยู่ในช่วง $2.2 \leq \varepsilon_r \leq 12$ สำหรับวัสดุฐานรองที่บางและมีสภาพ ยอมสัมพัทธ์สูงนั้น ส่วนใหญ่จะนำมาใช้ร่วมกับวงจรทางไมโครเวฟ เนื่องจากจะทำให้วงจรมีขนาดเล็กลงแต่จะทำให้เกิดการสูญเสียมากขึ้น ดังนั้นสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปและวงจรไมโครเวฟจึงสามารถนำมาใช้ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยส่วนที่ทำหน้าที่แผ่กระจายคลื่นและส่วนที่ใช้ในการป้อนสัญญาณให้กันสายอากาศจะอยู่บนวัสดุฐานรองเดียวกันส่วนที่ใช้ในการแผ่กระจายคลื่นนี้อาจมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นแผ่นบางๆหรือไดโพล วงกลม วงรี สามเหลี่ยม หรือรูปร่างอื่นๆ อีกก็ได้



รูปที่ 4.4 สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปและระบบพิกัด [16]

ซึ่งในการทดลองนี้ได้ใช้สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป ย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ที่มีขนาดกว้าง 10.00 เซนติเมตร ยาว 10.00 เซนติเมตร และสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริป ย่านความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ ที่มีขนาดกว้าว 2.50 เซนติเมตร ยาว 2.80 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.7 ตามลำดับ โดยสายอากาศทั้งสองถูกสร้างและพัฒนาโดยภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นตัวส่งสัญญาณและรับสัญญาณในแต่ละแบบจำลองที่ต้องการศึกษา เนื่องจากเป็นสายอากาศที่แผ่กระจายคลื่นในแนวตรง สร้างได้ง่ายและมีขนาดเหมาะสมสำหรับการทดลอง โดยกำหนดให้สายอากาศตัวส่งอยู่กับที่แต่ให้สายอากาศตัวรับติดกับร่างกายมนุษย์และเปลี่ยนตำแหน่ง ทั้งหมด 19 ตำแหน่งบนร่างกายมนุษย์ สำหรับรูปที่ 4.6 แสดงคุณสมบัติของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปที่ย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่าสายอากาศตอบสนองดีที่สุดที่ 2.43 กิกะเฮิรตซ์ และมีค่า S_{11} ประมาณ -42.51 เดซิเบล ส่วนรูปที่ 4.8 แสดงคุณสมบัติของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปที่ย่านความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ โดยสายอากาศตอบสนองดีที่สุดที่ 5.81 กิกะเฮิรตซ์ และมีค่า S_{11} ประมาณ -22.49 เดซิเบล

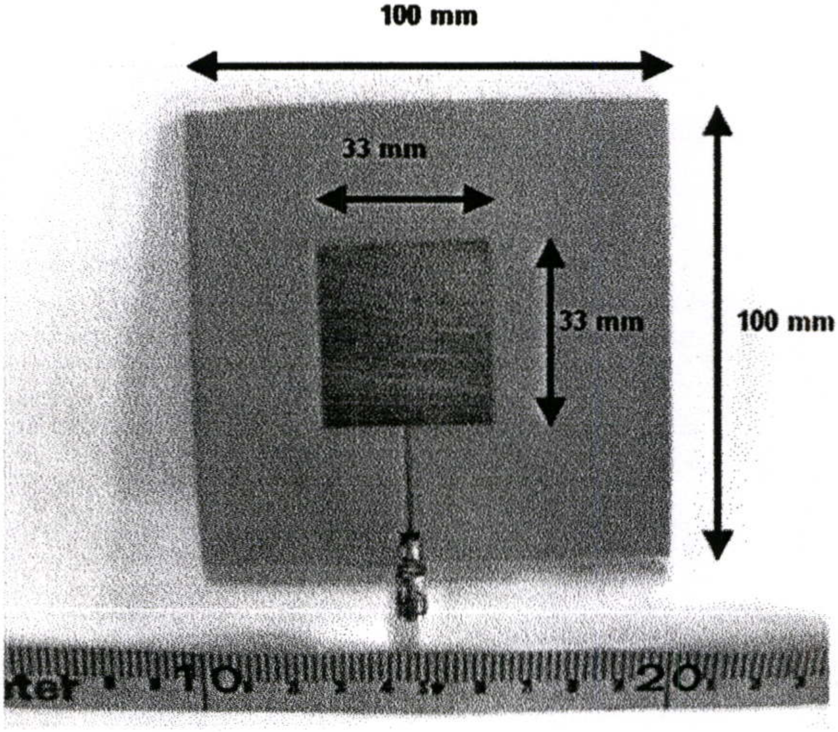
ข้อดีของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศชนิดอื่นที่ใช้ย่านความถี่ไมโครเวฟ คือ

- น้ำหนักเบา ขนาดเล็ก โครงสร้างเป็นแบบราบ ซึ่งสามารถทำเป็นรูปต่างๆ ได้ง่าย
- ราคาถูก กระบวนการสร้างไม่ยุ่งยาก
- มีลักษณะบาง สามารถใช้งานร่วมกับร่างกายมนุษย์ได้
- สามารถทำให้มีการโพราไรซ์แบบเชิงเส้นได้ง่ายเพียงแค่เปลี่ยนตำแหน่งของจุดป้อน
- สามารถทำเป็นสายอากาศสองความถี่ได้ง่าย
- ไม่ต้องใช้โพรงด้านหลัง
- ไมโครสตริปสามารถเชื่อมต่อเข้ากับการออกแบบที่ประกอบด้วยอุปกรณ์โซลิดสเตท (Solid state) เช่น วงจรออสซิลเลเตอร์ วงจรขยาย สวิตซ์ ตัวเลื่อนเฟสได้ง่าย
- สามารถสร้างให้มีการป้อนและการแมทช์อิมพิแดนซ์ได้พร้อมๆกัน ในโครงสร้างสายอากาศ

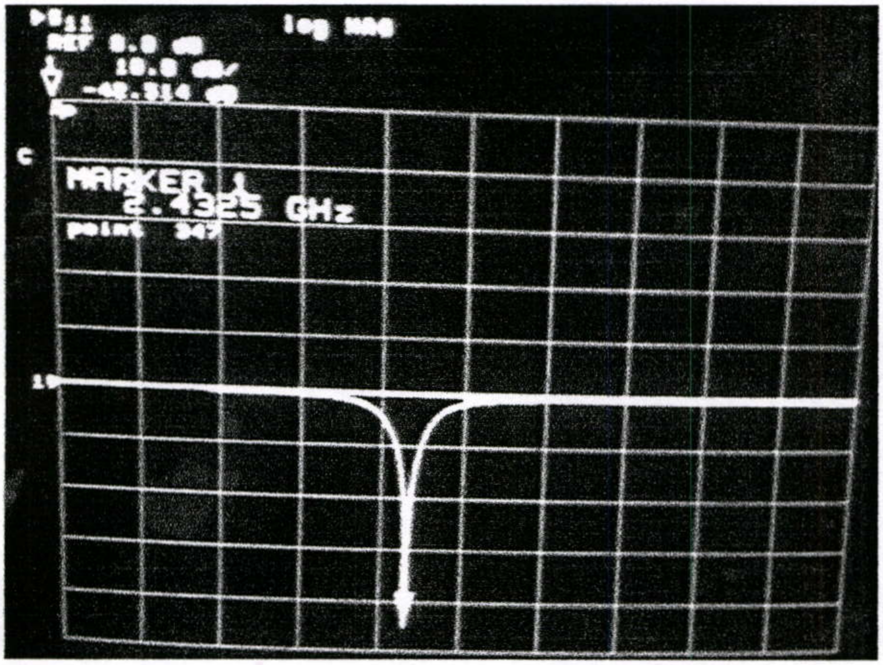
อย่างไรก็ตามสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปยังมีข้อเสียอยู่ด้วย คือ

- แบนด์วิดท์แคบ
- ประสิทธิภาพต่ำ
- การแยกกันระหว่างจุดป้อนและองค์ประกอบการแผ่กระจายไม่ดี
- สามารถกระตุ้นทำให้เกิดคลื่นผิวได้
- ให้กำลังงานต่ำ

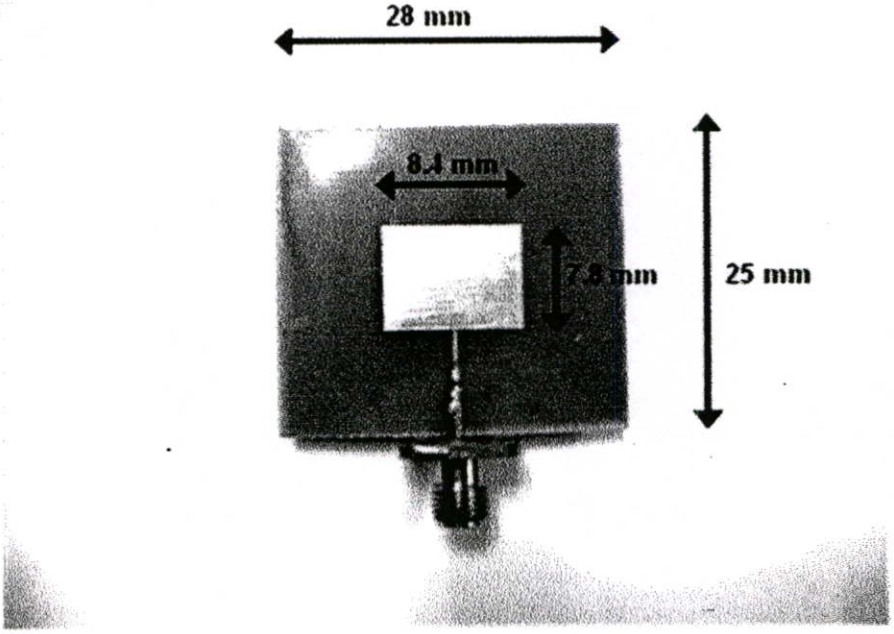
หมายเหตุ ปัจจุบันสายอากาศถูกพัฒนาเรื่อยๆจนจะแก้ข้อเสียได้หมดแล้ว



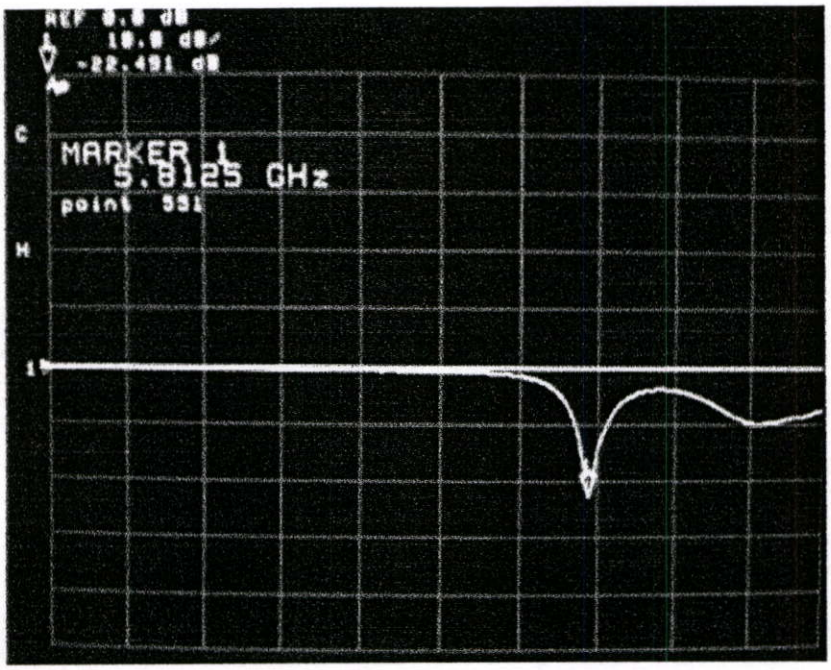
รูปที่ 4.5 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์



รูปที่ 4.6 S_{11} คุณสมบัติของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์



รูปที่ 4.7 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปย่านความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์

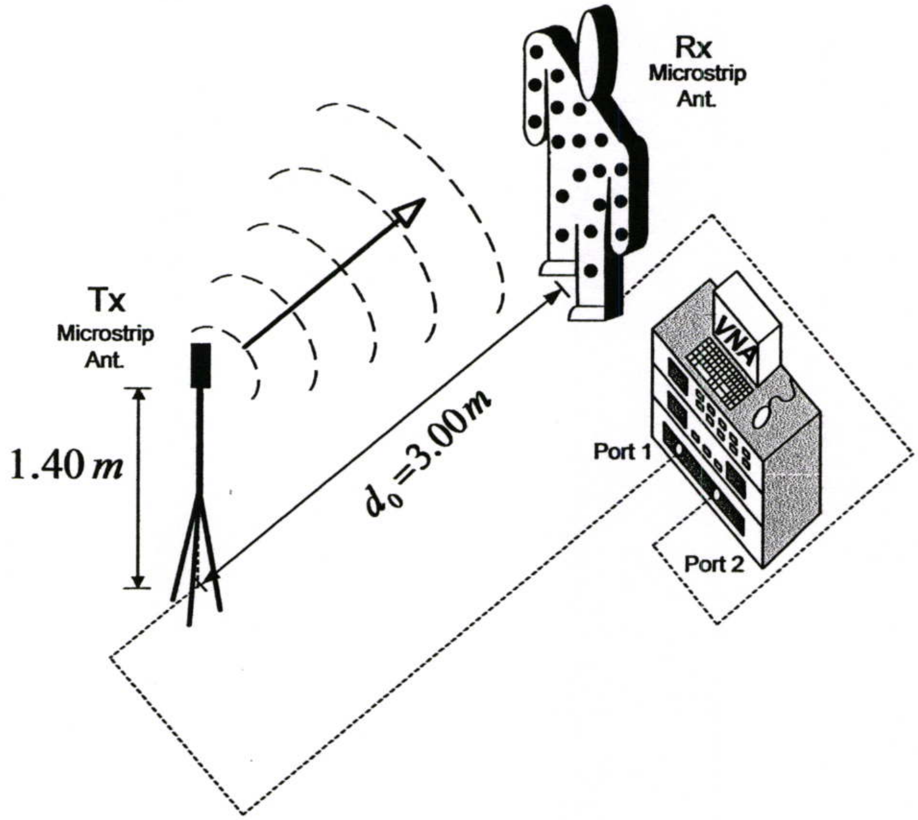


รูปที่ 4.8 S_{11} คุณสมบัติของสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปย่านความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์

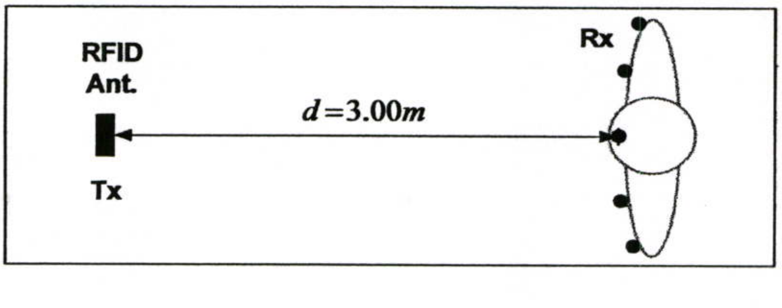
4.3 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 1

วัดสัญญาณการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ โดยทำการทดลองวัดในรูปแบบภายในอาคาร ไม่มีวัตถุใดขวางกั้น ไม่มีสัญญาณอื่นรบกวน และพิจารณาในสัญญาณวิถีแรกที่รับได้เท่านั้น [17]

4.3.1 ขั้นตอนการทดลองวัด



รูปที่ 4.9 แบบจำลองและการจัดวางอุปกรณ์สำหรับการทดลองวัดแบบที่ 1



รูปที่ 4.10 การจัดวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งแบบที่ 1 (พิจารณาจากด้านบน)

แบบจำลองในการทดลองวัดแสดงดังรูปที่ 4.9 ซึ่งในการทดลองวัดนี้ได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ในการวิเคราะห์สัญญาณ โดยให้พอร์ตหนึ่งต่อเข้ากับสายอากาศตัวส่ง พอร์ตสองต่อเข้ากับสายอากาศตัวรับ จากนั้นติดตั้งสายอากาศตัวส่งให้อยู่สูงจากพื้นเป็นระยะ 1.40 เมตร และกำหนดให้สายอากาศตัวส่งห่างจากร่างกายมนุษย์เป็นระยะทาง 3.00 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.10 โดยบนร่างกายมนุษย์จะเป็นที่ติดสายอากาศตัวรับจำนวน 19 ตำแหน่งทั่วร่างกายและทำการวัดในแต่ละตำแหน่งๆ ละ 3 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ได้ข้อมูลการวัดที่ถูกต้องแม่นยำที่สุด

4.3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัด

พารามิเตอร์ต่างๆ ที่สำคัญสำหรับการทดลองวัดจะถูกกำหนดตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดของแบบจำลองที่ 1

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่า
ย่านความถี่	2.3 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 2.6 กิกะเฮิรตซ์
จำนวนจุดในการวัด	801
ค่ากำลังพลวัตรของเครื่อง	80 เดซิเบล
ความสูงของสายอากาศตัวส่ง	1.40 เมตร
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	19 ตำแหน่ง
ระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งกับร่างกายมนุษย์	3.00 เมตร

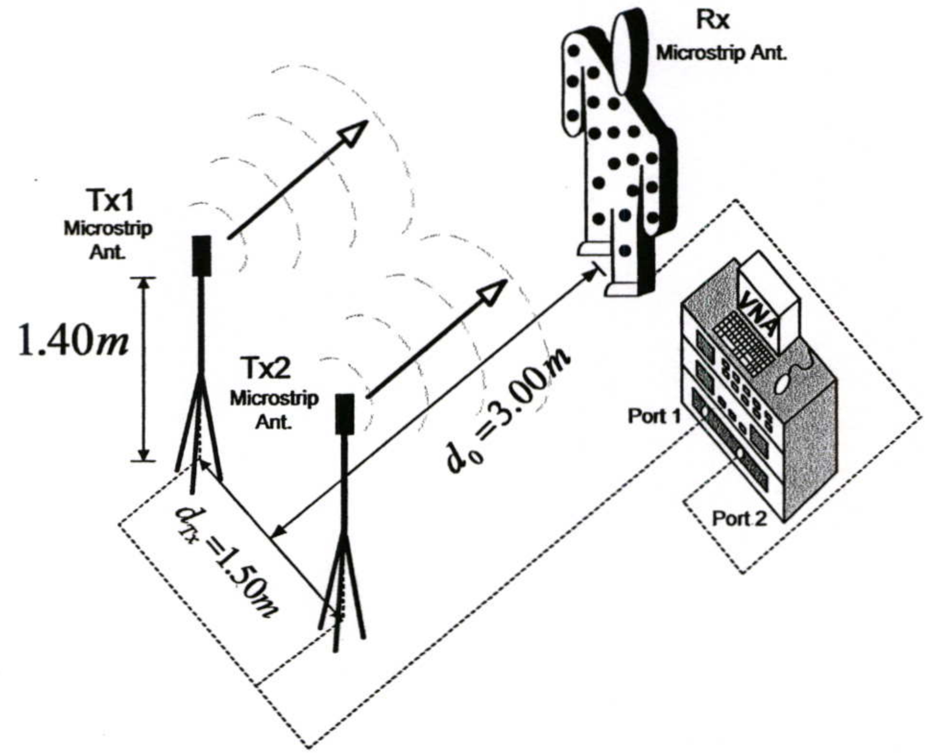
4.4 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 2

วัดสัญญาณการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ โดยทำการทดลองวัดในรูปแบบภายในอาคาร ไม่มีวัตถุใดขวางกั้น ไม่มีสัญญาณอื่นรบกวน และพิจารณาในสัญญาณวิถีแรกที่รับได้เท่านั้นโดยใช้สายอากาศส่งสองตัว [18]

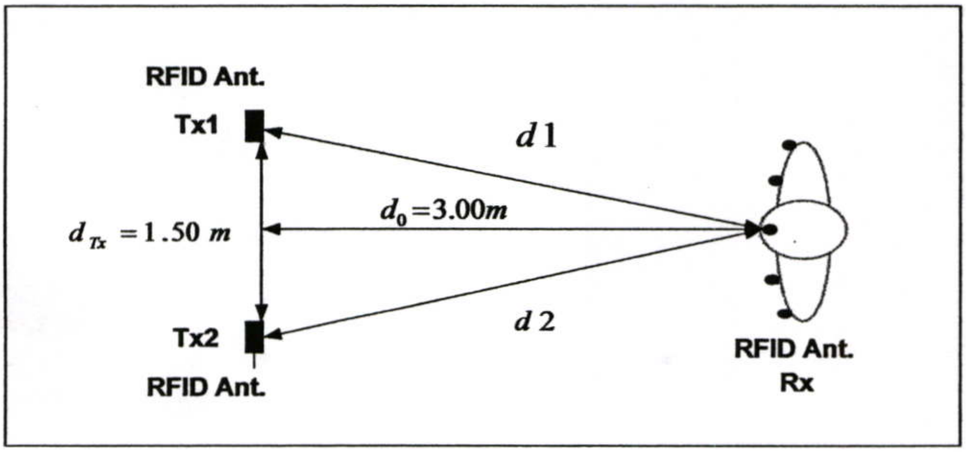
4.4.1 ขั้นตอนการทดลองวัด

แบบจำลองในการทดลองวัดแสดงดังรูปที่ 4.11 ซึ่งในการทดลองวัดนี้ได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ในการวิเคราะห์สัญญาณ โดยให้พอร์ตหนึ่งต่อเข้ากับสายอากาศตัวส่ง พอร์ตสองต่อเข้ากับสายอากาศตัวรับ และกำหนดให้สายอากาศตัวส่งห่างจากร่างกายมนุษย์เป็นระยะทาง 3.00 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.12 เช่นเดียวกับแบบจำลองในการทดลองวัดแบบที่ 1 แต่กำหนดให้มีสายอากาศตัวส่งสองตัว โดยให้สายอากาศตัวส่งทั้งสองอยู่สูงจากพื้นเป็นระยะ 1.40 เมตรและห่างกันเป็นระยะทาง 1.50 เมตร สำหรับการทดลองวัดได้ใช้สายอากาศตัวส่งที่ 1 (Tx1) ทำการทดลอง

วัดก่อนจะได้ข้อมูลชุดแรก จากนั้นจึงใช้สายอากาศตัวส่งที่ 2 (Tx2) ทำการทดลองวัดได้ข้อมูลชุดที่ 2 ซึ่งในการทดลองจะทำการวัดตำแหน่งละ 3 ครั้ง ส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลนั้น จะนำเอาข้อมูลที่ได้ทั้งสองชุดมารวมกันเพื่อพิจารณาหาการลดทอนและการผิดเพี้ยนของสัญญาณที่รับได้



รูปที่ 4.11 แบบจำลองและการจัดวางอุปกรณ์สำหรับการทดลองวัดแบบที่ 2



รูปที่ 4.12 การจัดวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งแบบที่ 2 (พิจารณาจากด้านบน)

4.4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัด

พารามิเตอร์ต่างๆ ที่สำคัญสำหรับการทดลองวัดจะถูกกำหนดตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดของแบบจำลองที่ 2

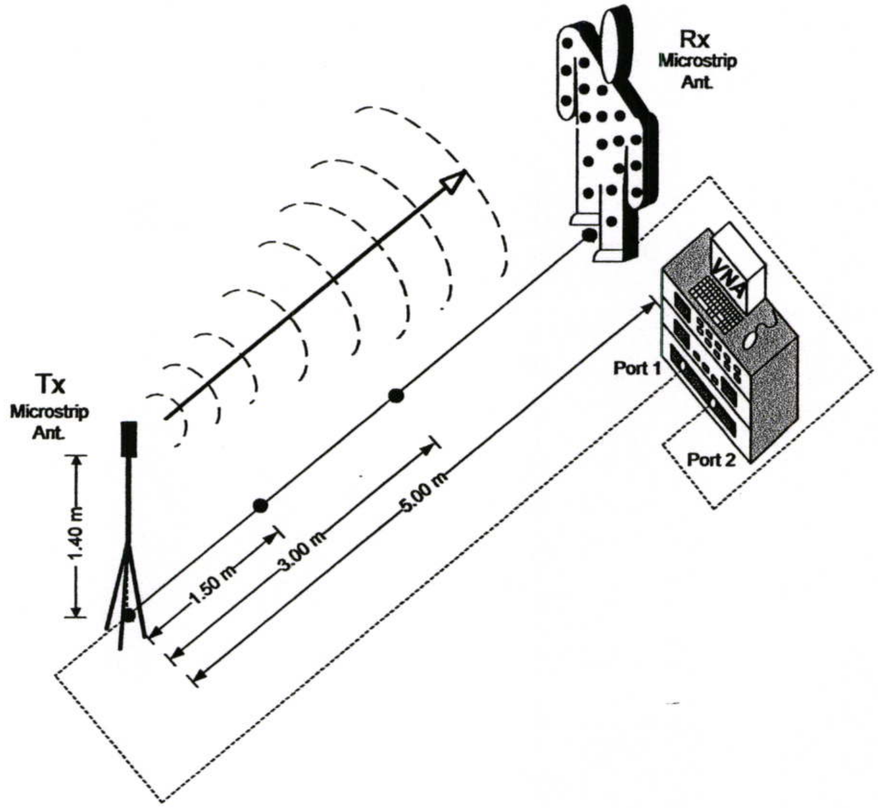
ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่า
ย่านความถี่	2.3 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 2.6 กิกะเฮิรตซ์
จำนวนจุดในการวัด	801
ค่ากำลังพลวัตรของเครื่อง	80 เดซิเบล
ความสูงของสายอากาศตัวส่งทั้งสอง	1.40 เมตร
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	19 ตำแหน่ง
ระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งที่ 1 กับตัวส่งที่ 2	1.50 เมตร

4.5 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 3

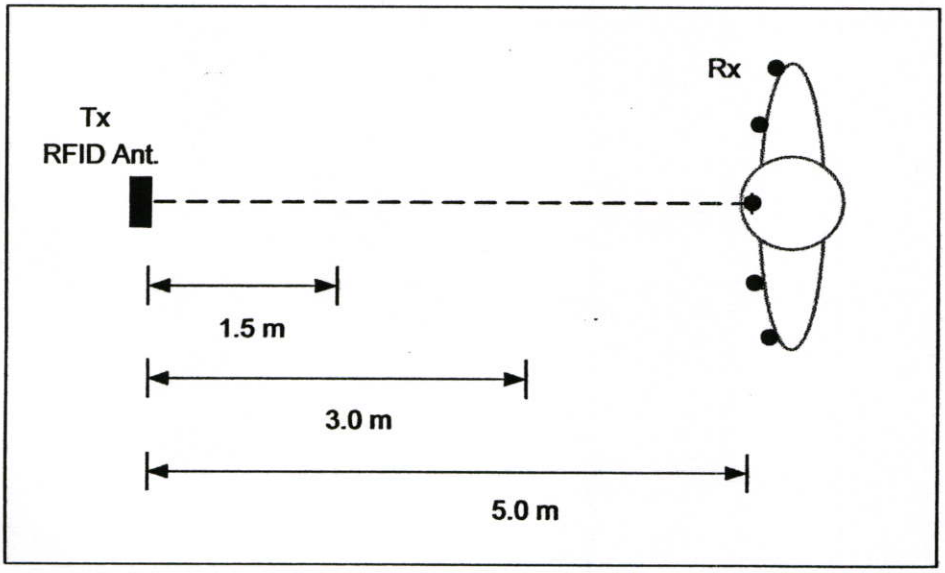
วัดสัญญาณการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ย่านความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ โดยทำการทดลองวัดในรูปแบบภายในอาคาร ไม่มีวัตถุใดขวางกั้น ไม่มีสัญญาณอื่นรบกวน และพิจารณาในสัญญาณวิถีแรกที่รับได้เท่านั้นโดยทำการเปลี่ยนตำแหน่งของระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวรับกับตัวส่งทั้งหมด 3 ระยะด้วยกัน [19]

4.5.1 ขั้นตอนการทดลองวัด

แบบจำลองการทดลองวัดสัญญาณแบบที่ 3 จะทำการกำหนดและติดตั้งอุปกรณ์คล้ายกับแบบจำลองที่ 1 แต่ต่างกันตรงความถี่ใช้งานจะใช้ความถี่และสายอากาศ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ เนื่องจากในระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุในย่านความถี่ไมโครเวฟที่ใช้กันนั้นนอกจากจะใช้ที่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ แล้วยังมีที่ความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์อีก ด้วยเหตุนี้เราจึงสนใจที่จะทดลองวิจัยให้ครอบคลุมย่านความถี่ไมโครเวฟทั้งหมด นอกจากนี้เรายังกำหนดระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวรับและตัวส่งต่างกันเพื่อพิจารณาผลที่เกิดขึ้น ซึ่งแบบจำลองการทดลองวัดสัญญาณแบบที่ 3 นี้แสดงดังรูปที่ 4.13 โดยเราได้ทำการวัดสัญญาณที่ตำแน่ง 1.50 เมตร 3.00 เมตร และ5.0เมตร ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 4.14 เพื่อหาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อสัญญาณที่รับได้ในแต่ละตำแหน่งรวมทั้งหมด 19 ตำแหน่ง เช่นเดียวกับแบบจำลองที่ 1 และแบบจำลองที่ 2 และในแบบจำลองนี้เราได้ทำการหาประสิทธิภาพของระบบที่ตำแหน่งต่างๆ ในแต่ละระยะด้วย



รูปที่ 4.13 แบบจำลองและการจัดวางอุปกรณ์สำหรับการทดลองวัดแบบที่ 3



รูปที่ 4.14 การจัดวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งแบบที่ 3 (พิจารณาจากด้านบน)

4.5.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัด

พารามิเตอร์ต่างๆ ที่สำคัญสำหรับการทดลองวัดจะถูกกำหนดตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดของแบบจำลองที่ 3

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่า
ย่านความถี่	5.3 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 6.3 กิกะเฮิรตซ์
จำนวนจุดในการวัด	801
ค่ากำลังพลวัตรของเครื่อง	80 เดซิเบล
ความสูงของสายอากาศตัวส่ง	1.40 เมตร
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	19 ตำแหน่ง
ระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งกับร่างกายมนุษย์	1.50, 3.00 และ 5.00 เมตร

4.6 การจัดวางตำแหน่งของสายอากาศทางด้านรับบนร่างกายมนุษย์

สำหรับการทำการ ทดลองวัดสัญญาณจริงนั้นได้ใช้คนทั้งหมดสองคนโดยคนแรกจะเป็นคนวัดสัญญาณและควบคุมเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ซึ่งจะยืนอยู่บริเวณหลังเครื่องวัด ส่วนอีกคนจะเป็นคนถูกทำการวัดสัญญาณ โดยจะกำหนดให้สายอากาศตัวรับติดอยู่ที่ตำแหน่งต่างๆ บนร่างกาย ซึ่งตำแหน่งของสายอากาศทางด้านรับที่มีร่างกายมนุษย์ กำหนดบริเวณต่างๆ ได้ดังนี้

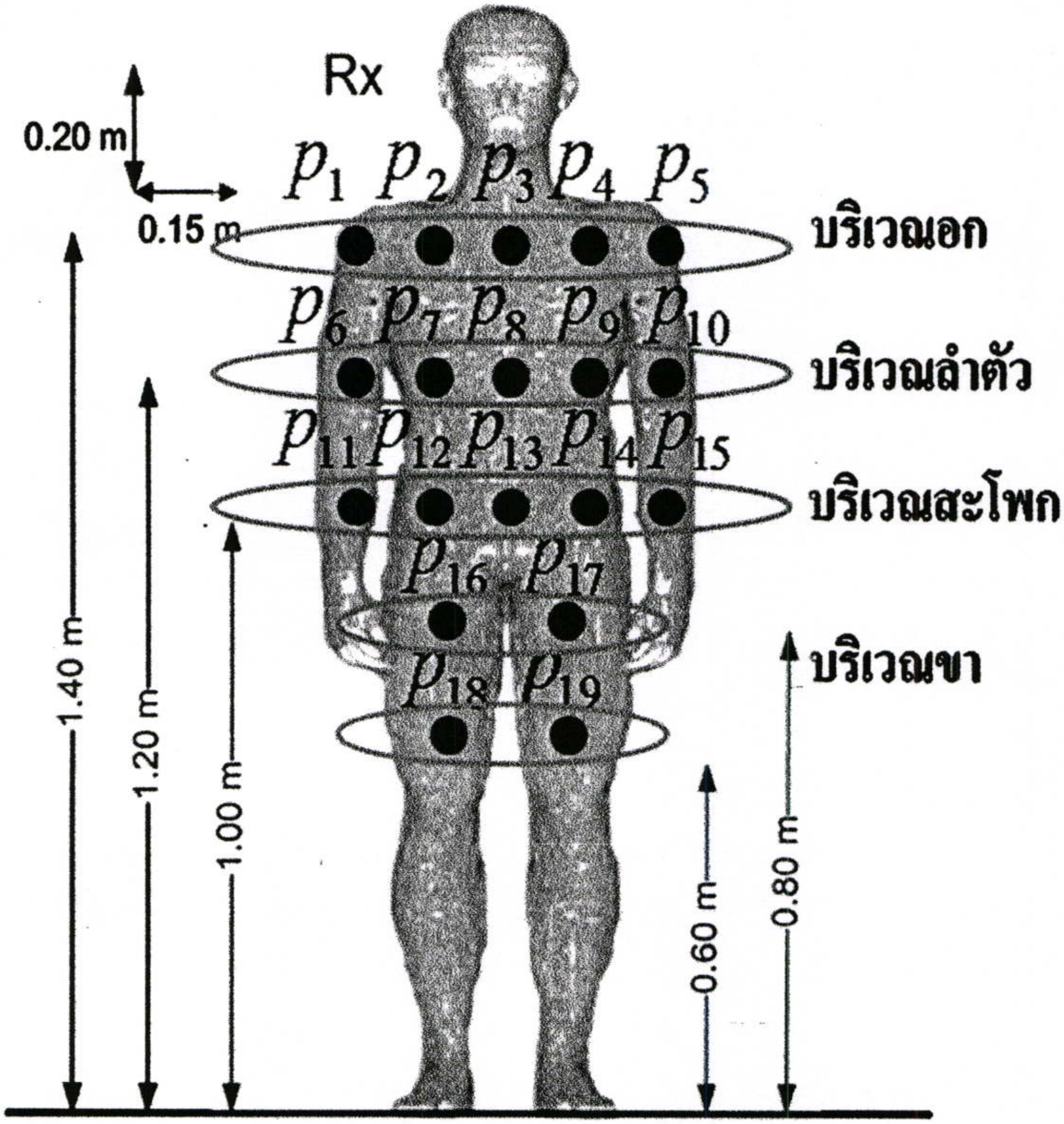
บริเวณอก คือตำแหน่ง $p_1 - p_5$

บริเวณลำตัว คือตำแหน่ง $p_6 - p_{10}$

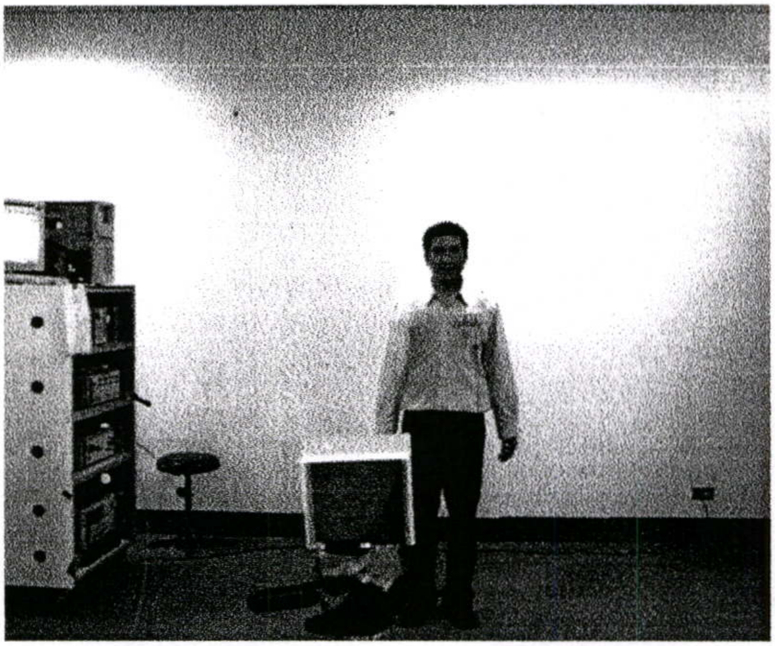
บริเวณสะโพก คือตำแหน่ง $p_{11} - p_{15}$

บริเวณขา คือตำแหน่ง $p_{16} - p_{19}$

ระยะห่างระหว่างตำแหน่งแนวนอนจะห่างกัน 0.15 เมตร แนวตั้งจะห่างกัน 0.20 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.15

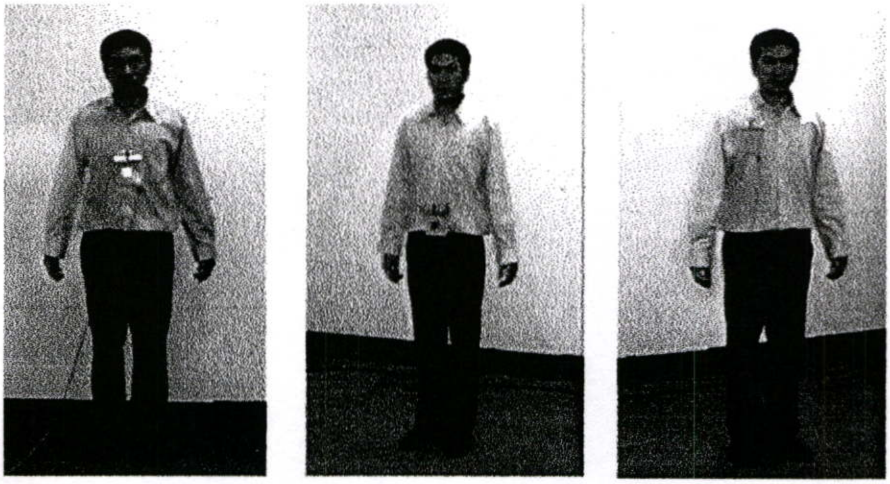


รูปที่ 4.15 การจัดวางสายอากาศตัวรับที่ตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์



รูปที่ 4.16 การจัดวางอุปกรณ์ในการทดลองวิจัยจริง

ลักษณะการทดลองวัดจริงนั้นจะแสดงดังรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 ซึ่งได้ทำการทดลองวัดภายในห้องประชุมภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ อุณหภูมิภายในห้องประมาณ 25 องศา ควบคุมอุณหภูมิโดยเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 4.17 ตัวอย่างการวางสายอากาศด้านรับบนร่างกายมนุษย์ในการทดลองวิจัยจริง

การทดลองวัดจริงในบางตำแหน่งของสายอากาศตัวรับที่ถูกกำหนดไว้บนร่างกายมนุษย์ โดยผู้วิจัยได้ทำการทดลองกับตัวเองดังที่แสดงในรูปที่ 4.17

4.7 บทสรุป

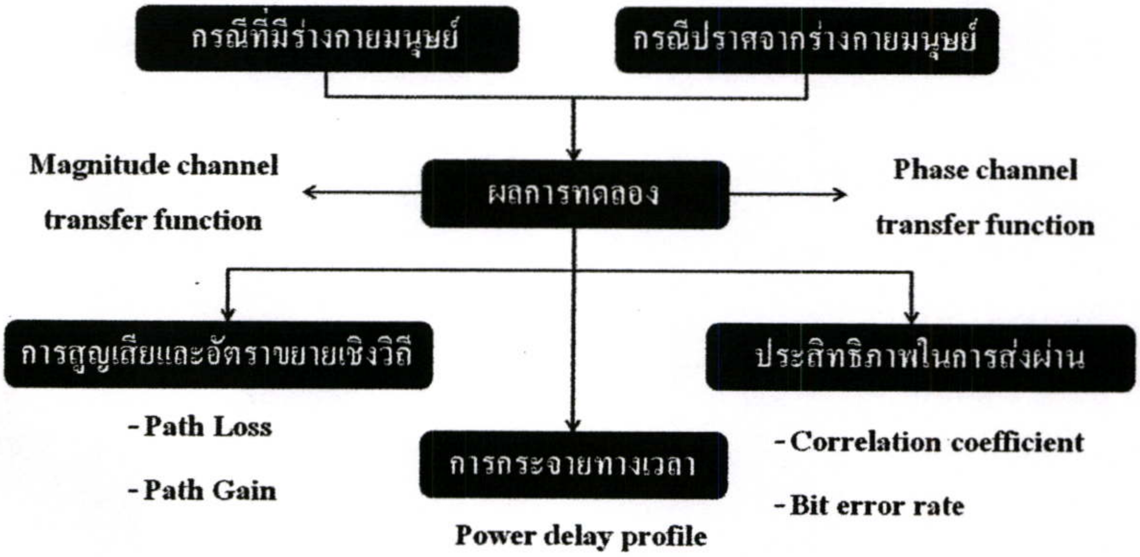
ในการทดลองวัดช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุภายในอาคารมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำหนดแบบแผนการวัด โดยจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ อันได้แก่ สถานที่ที่ทำการวัด ลักษณะและการติดตั้งสายอากาศ สภาวะแวดล้อมรอบข้าง พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงความถูกต้องและความแม่นยำในการใช้เครื่องมือวัดด้วยเหตุนี้เราจึงได้แสดงอย่างละเอียดไว้ในบทนี้ เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุด หลังจากทำการทดลองเสร็จสิ้นข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อพิจารณาหาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่ส่งผลต่อระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ หาการลดทอนและการผิดเพี้ยนของสัญญาณในแต่ละตำแหน่งบนร่างกายมนุษย์ โดยจะแสดงออกในรูปของพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทที่ 5 โดยเราสามารถนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาประกอบกับการตัดสินใจในการออกแบบระบบสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์หรือแบบจำลองที่มีลักษณะคล้ายกันต่อไปในอนาคตได้

บทที่ 5

ผลการทดลองวิจัยและวิเคราะห์

5.1 กล่าวนำ

เมื่อเราทำแบบจำลองและขั้นตอนการวิจัยของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์ทั้ง 3 แบบไปในบทที่ผ่านมาแล้วนั้น ต่อมาในส่วนของบทนี้เราจะเอาข้อมูลที่ได้จากการทดลองวัดสัญญาณมาทำการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แล้วนำค่าเหล่านั้นมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกันในแต่ละแบบจำลอง เพื่อศึกษาการสูญเสียของสัญญาณเมื่อนำเอาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมาใช้งานร่วมกับมนุษย์ โดยการประกอบสายอากาศทางด้านรับเข้ากับร่างกายมนุษย์ ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อสัญญาณที่รับได้ โดยในบทนี้เราจะหาค่าขนาดกับเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณการวัดการสูญเสียของสัญญาณที่รับได้ อัตราการขยายของสัญญาณ และภาพตัดข้างการประวิงกำลังงาน นอกจากนี้ยังได้หาประสิทธิภาพของระบบจากค่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และอัตราการผิดพลาดของบิตไว้ด้วยดังจะแสดงต่อไปนี้



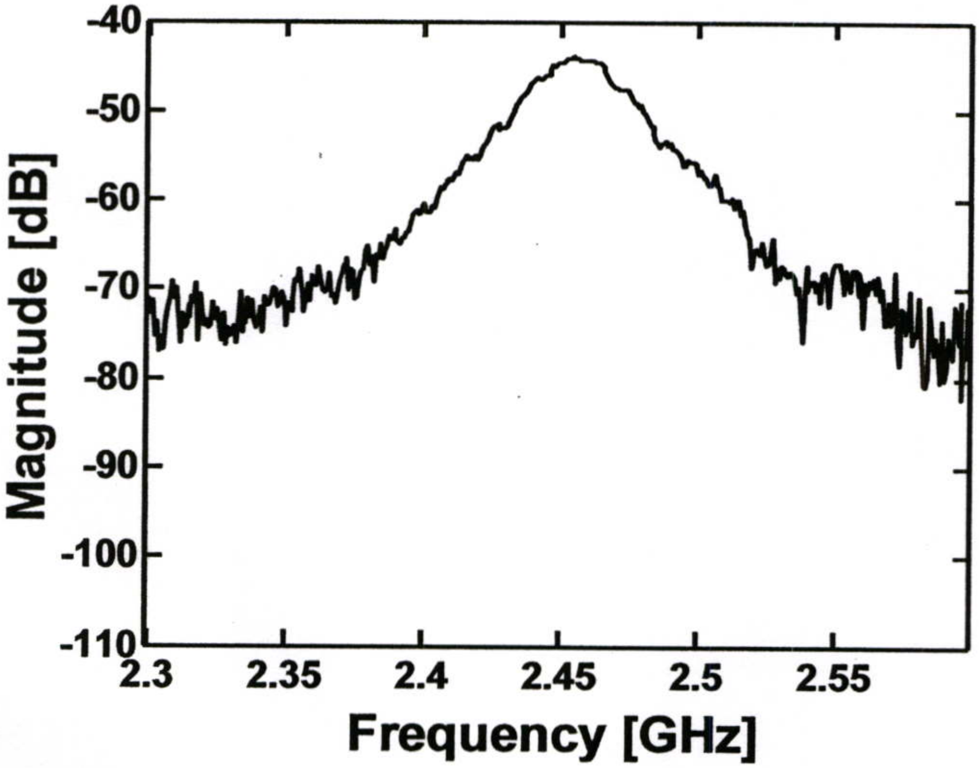
รูปที่ 5.1 แบบแผนการวิเคราะห์ผลการทดลองในพารามิเตอร์ต่างๆ

5.2 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคาร แบบที่ 1

การทดลองวัดช่องสัญญาณนี้ได้ทำภายในห้องประชุมภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ โดยจะทำการพิจารณาไปในแต่ละส่วนตามลำดับ

5.2.1 ผลการวัดขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอน

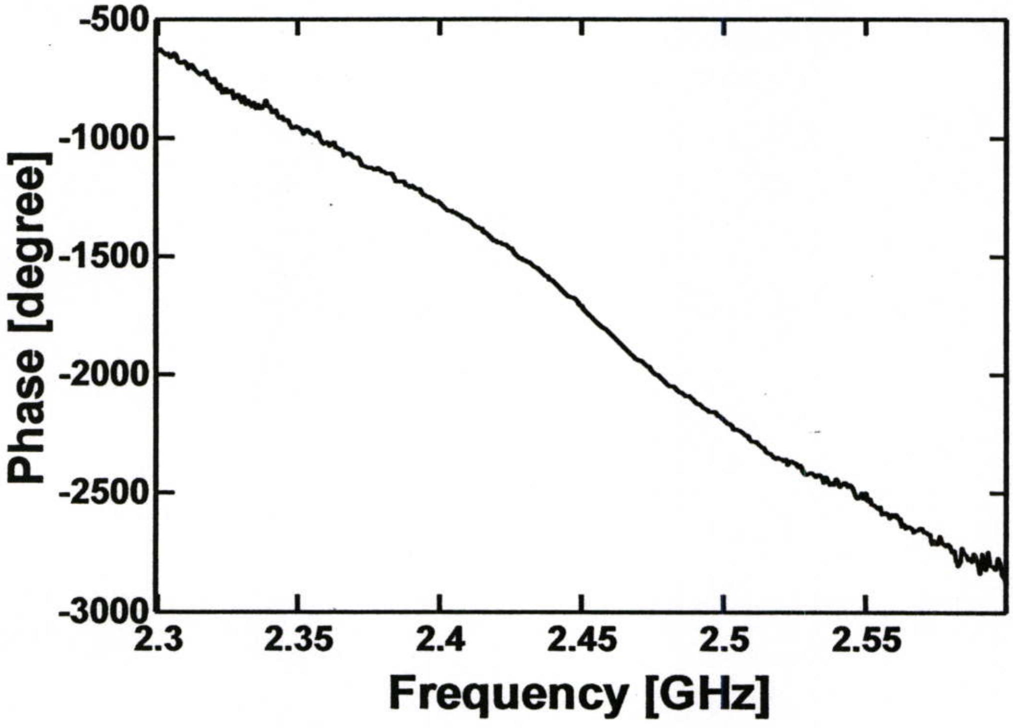
ผลจากการวัดช่องสัญญาณการถ่ายโอนของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอน แสดงดังรูปที่ 5.2 และรูปที่ 5.3 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัญญาณมีขนาดกำลังสูงสุดที่ความถี่ประมาณ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ตรงตามคุณสมบัติสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบวัด



รูปที่ 5.2 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณการวัดสำหรับแบบจำลองที่ 1

ส่วนเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนจะเห็นได้ว่าเฟสเป็นเส้นตรงบริเวณ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ - 2.5 กิกะเฮิรตซ์ แสดงว่า การทดลองนี้มีความน่าเชื่อถือในระดับหนึ่ง ส่วนบริเวณ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 2.6 กิกะเฮิรตซ์ เกิดสัญญาณรบกวนบ้างเล็กน้อย ซึ่งสังเกตได้ว่าขนาดกับเฟสของ

ฟังก์ชันการถ่ายโอนบริเวณดังกล่าวจะสอดคล้องกัน ผลการวัดเป็นเช่นนี้เนื่องจากสายอากาศที่ใช้ในการทดลองวัด ถูกออกแบบมาให้ใช้ได้ดีกับสัญญาณแถบแคบที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งไม่ครอบคลุมความถี่ทั้งหมด

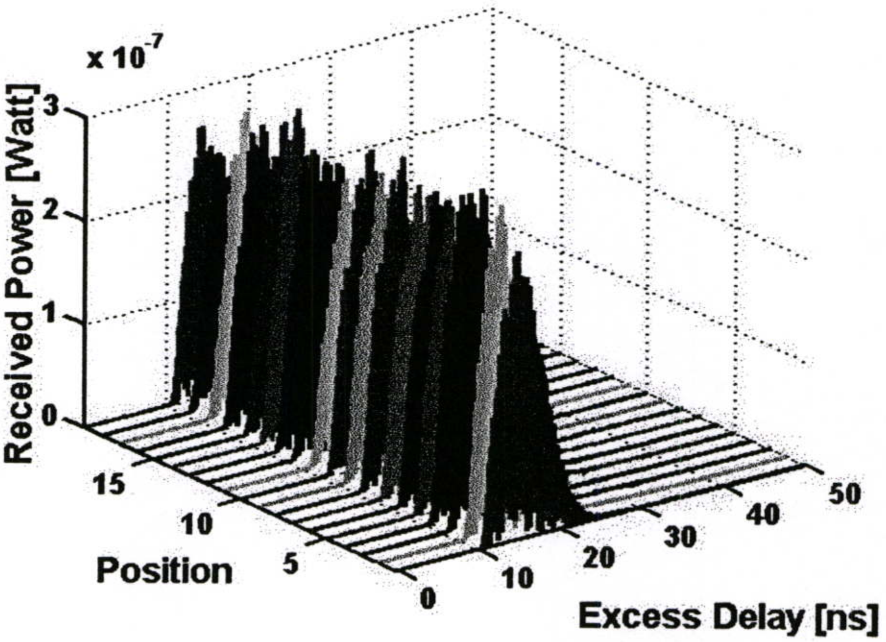


รูปที่ 5.3 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณการวัดสำหรับแบบจำลองที่ 1

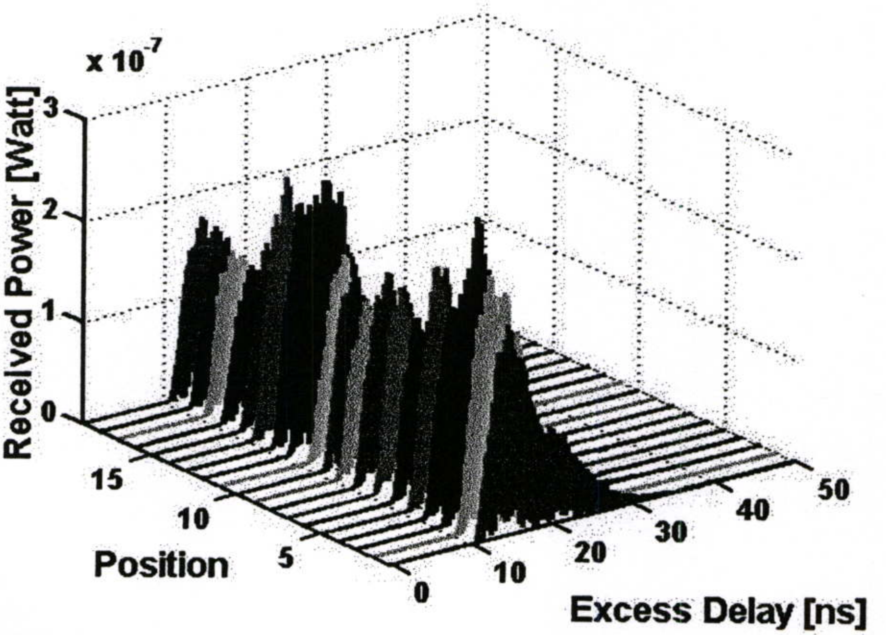
5.2.2 ผลการหาค่ากำลังงานการแผ่ประวิงเวลา

สำหรับกำลังงานการแผ่ประวิงเวลากรณีสายอากาศปราศจากร่างกายมนุษย์ แสดงดังรูปที่ 5.4 ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกำลังงานการแผ่ประวิงเวลากรณีสายอากาศประกอบเข้าด้วยร่างกายมนุษย์ที่แสดงดังรูปที่ 5.5 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าร่างกายมนุษย์ส่งผลต่อการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ทำให้กำลังที่รับได้ทางภาครับลดลงทุกตำแหน่งและค่าเฉลี่ยเวลาประวิงมีค่ามากขึ้น

เมื่อพิจารณาเฉพาะรูปที่ 5.5 จะได้ตำแหน่งที่ดีที่สุดอยู่บริเวณกลางลำตัวของร่างกายมนุษย์ในแนวตั้งฉากกับพื้น ดังนั้นสามารถนำเอาแบบจำลองระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมาวิจัยหรือประยุกต์ใช้กับร่างกายมนุษย์ที่ตำแหน่งดังกล่าวได้ เพื่อความเหมาะสมและเกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการออกแบบต่อไป



รูปที่ 5.4 กำลังงานการแผ่ประวิงเวลากรณีปราศจากร่างกายมนุษย์สำหรับแบบจำลองที่ 1



รูปที่ 5.5 กำลังงานการแผ่ประวิงเวลากรณีที่มีร่างกายมนุษย์สำหรับแบบจำลองที่ 1

ค่าที่วัดได้ของกำลังงานการแผ่ประวิงเวลาสูงสุดกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ในแต่ละตำแหน่งบนร่างกายอย่างละเอียดแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่ากำลังที่รับได้ของแต่ละตำแหน่งกรณีที่มีร่างกายมนุษย์สำหรับแบบจำลองที่ 1

ตำแหน่งสายอากาศตัวรับ	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5
กำลังที่รับได้ $\left(1\times10^{-7}\,Watt\right)$	2.062	2.236	2.572	2.019	2.231
ตำแหน่งสายอากาศตัวรับ	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}
กำลังที่รับได้ $\left(1\times10^{-7}\,Watt\right)$	1.761	1.613	1.801	1.566	1.706
ตำแหน่งสายอากาศตัวรับ	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}
กำลังที่รับได้ $\left(1\times10^{-7}\,Watt\right)$	1.973	2.588	2.166	2.514	1.964
ตำแหน่งสายอากาศตัวรับ	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	
กำลังที่รับได้ $\left(1\times10^{-7}\,Watt\right)$	1.498	1.571	1.501	1.583	

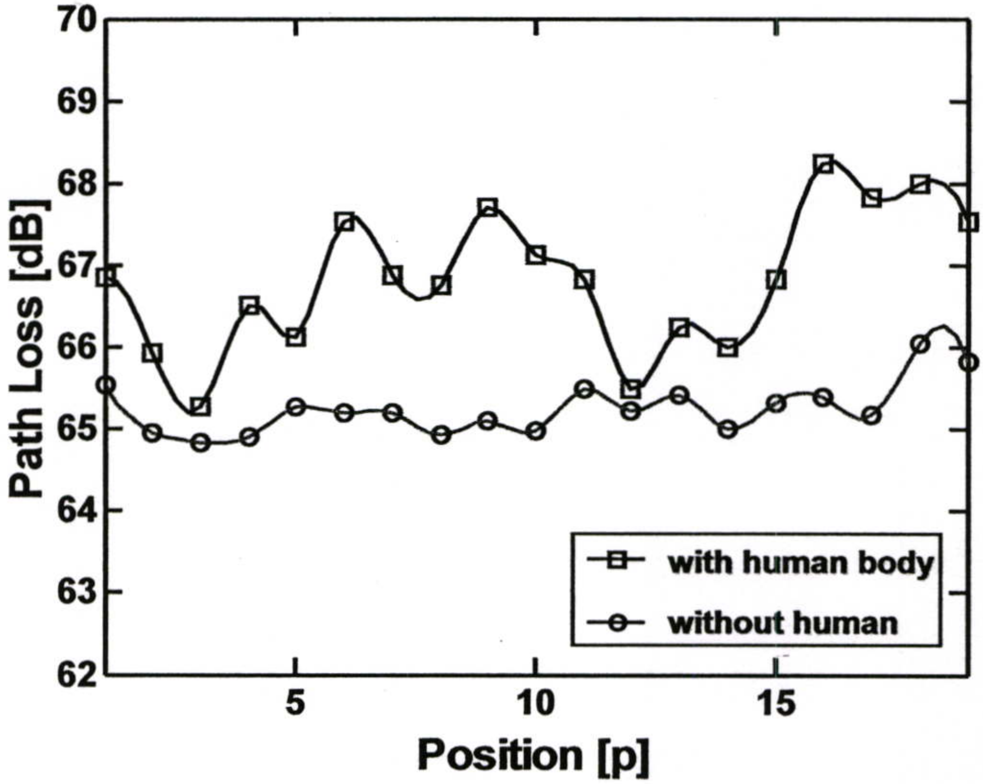
5.2.3 การสูญเสียเชิงวิถีและอัตราการขยายเชิงวิถี

การสูญเสียเชิงวิถีแสดงดังรูปที่ 5.6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณส่วนขาคือ ณ ตำแหน่ง p_{16}, p_{17}, p_{18} และ p_{19} สัญญาณที่รับได้จะเกิดการสูญเสียมากกว่าตำแหน่งอื่นๆ เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ระยะทางระหว่างสายอากาศตัวรับและตัวส่งอยู่ไกลกว่าตำแหน่งอื่นๆ สำหรับค่าการสูญเสียเชิงวิถีแสดงโดยละเอียดดังตารางที่ 5.2

โดยทุกตำแหน่งที่ทดลองวัดโดยรวมแล้วจะได้เห็นว่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณในกรณีที่สายอากาศตัวรับประกอบเข้าด้วยร่างกายมนุษย์จะมีค่าสูงกว่ากรณีไม่มีร่างกายมนุษย์มาเกี่ยวของ เนื่องจากร่างกายมนุษย์อาจมีความต้านทานที่ส่งผลกระทบกับการรับสัญญาณที่รับได้

ส่วนอัตราการขยายเชิงวิถีแสดงดังรูปที่ 5.7 ซึ่งจากผลการทดลอง ณ ตำแหน่งของสายอากาศทางด้านรับที่ตำแหน่ง p_3, p_8 และ p_{12} คือบริเวณส่วนกลางลำตัวในแนวตั้งฉากกับพื้นนั่นเอง จะเป็นจุดที่รับสัญญาณได้ดีกว่าตำแหน่งอื่นๆ ที่อยู่ในระนาบเดียวกัน

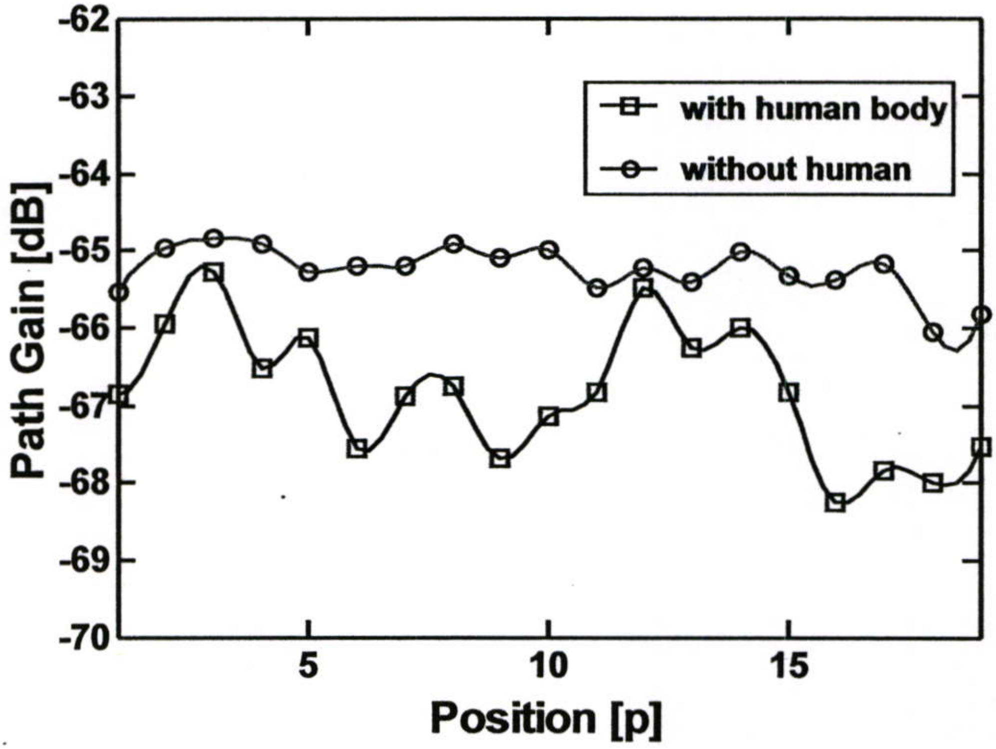
เมื่อเราพิจารณาทุกตำแหน่งที่ทดลองวัดโดยรวมแล้วจะได้เห็นว่าอัตราการขยายเชิงวิถีในกรณีที่สายอากาศตัวรับประกอบเข้าด้วยร่างกายมนุษย์จะมีค่าต่ำกว่ากรณีไม่มีร่างกายมนุษย์มาเกี่ยวของ เนื่องจากร่างกายมนุษย์ส่งผลกระทบต่อการรับสัญญาณ เพราะร่างกายของมนุษย์อาจจะไปดูดกลืนสัญญาณที่รับได้บางส่วนหรือความต้านทานในร่างกายมนุษย์อาจทำให้เกิดการสูญเสียของสัญญาณที่รับได้



รูปที่ 5.6 การสูญเสียเชิงวิถีของแบบจำลองที่ 1

ตารางที่ 5.2 ค่าที่วัดได้อย่างละเอียดของการสูญเสียเชิงวิถีของแบบจำลองที่ 1

ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	66.85	65.94	65.27	66.51	66.13
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	65.54	64.96	64.83	64.90	65.26
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	67.54	66.88	66.74	67.69	67.13
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	65.19	64.19	64.92	65.09	64.99
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	66.82	65.48	66.25	66.99	67.82
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	65.48	64.22	65.40	65.01	65.32
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	68.25	67.83	67.99	67.53	
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	65.38	65.17	66.04	65.82	



รูปที่ 5.7 อัตราการขยายเชิงวิถีของแบบจำลองที่ 1

ตารางที่ 5.3 ค่าที่วัดได้อย่างละเอียดของอัตราการขยายเชิงวิถีของแบบจำลองที่ 1

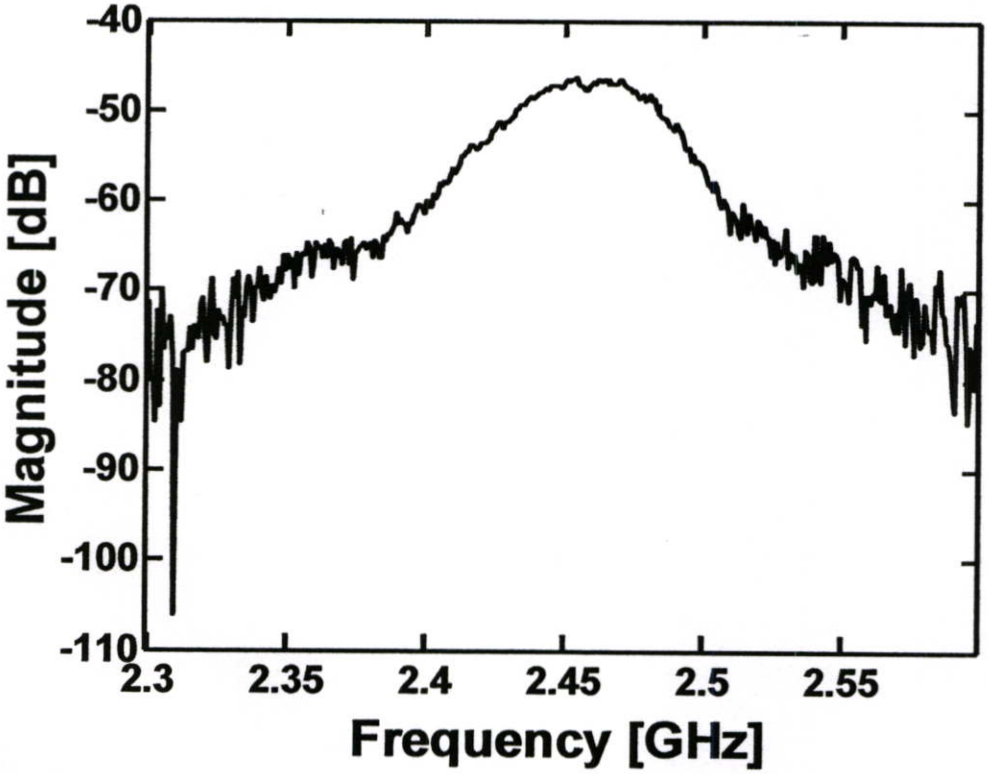
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	-66.85	- 65.94	- 65.27	- 66.51	- 66.13
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	- 65.54	- 64.96	- 64.83	- 64.90	- 65.26
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	- 67.54	- 66.88	- 66.74	- 67.69	- 67.13
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	- 65.19	- 64.19	- 64.92	- 65.09	- 64.99
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	-66.82	-65.48	-66.25	-66.99	-67.82
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	-65.48	-64.22	-65.40	-65.01	-65.32
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	-68.25	-67.83	-67.99	-67.53	
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	-65.38	-65.17	-66.04	-65.82	

5.3 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคาร แบบที่ 2

การทดลองวัดช่องสัญญาณนี้ได้ทำภายในห้องประชุมภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ โดยจะทำการพิจารณาไปในแต่ละส่วนตามลำดับ

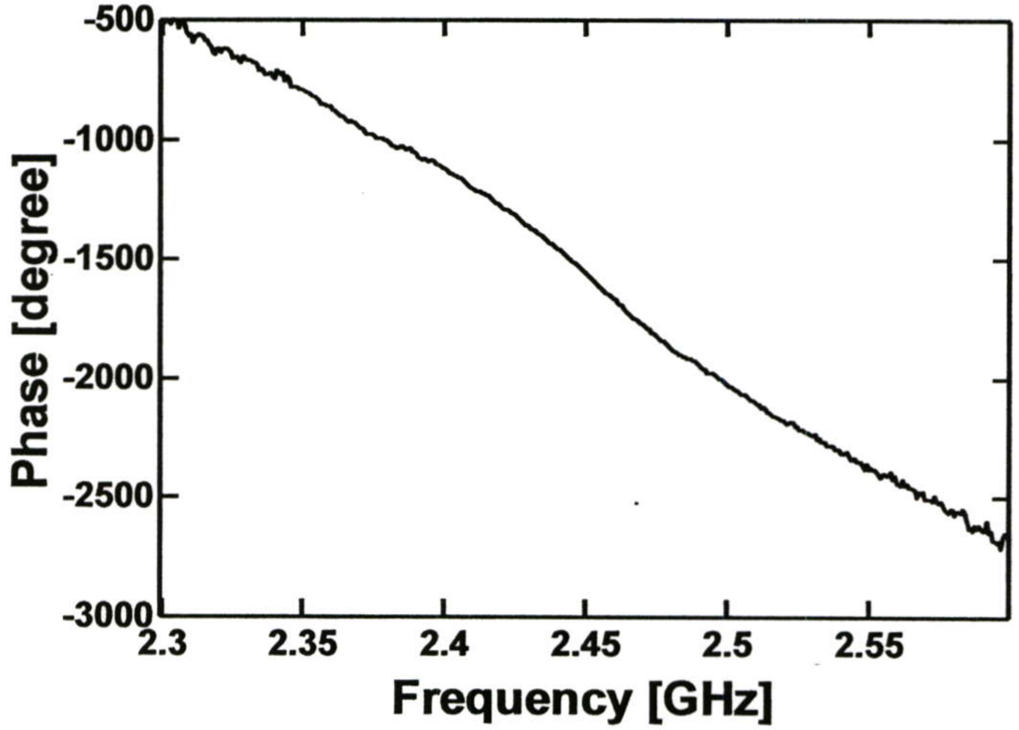
5.3.1 ผลการวัดขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอน

ผลจากการวัดช่องสัญญาณการถ่ายโอนของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนจะมีขนาดกำลังสูงสุดที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ และจะมีสัญญาณรบกวนที่บริเวณย่านความถี่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 2.6 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งจะแสดงได้ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณการวัดสำหรับแบบจำลองที่ 2

เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.9 จะมีความเป็นเส้นตรง เช่นเดียวกับแบบจำลองการทดลองวัดที่ 1 แต่เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนมีค่ามากกว่าและมีสัญญาณรบกวนน้อยกว่า เนื่องจากการใช้สายอากาศตัวส่งสองตัวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ระบบได้

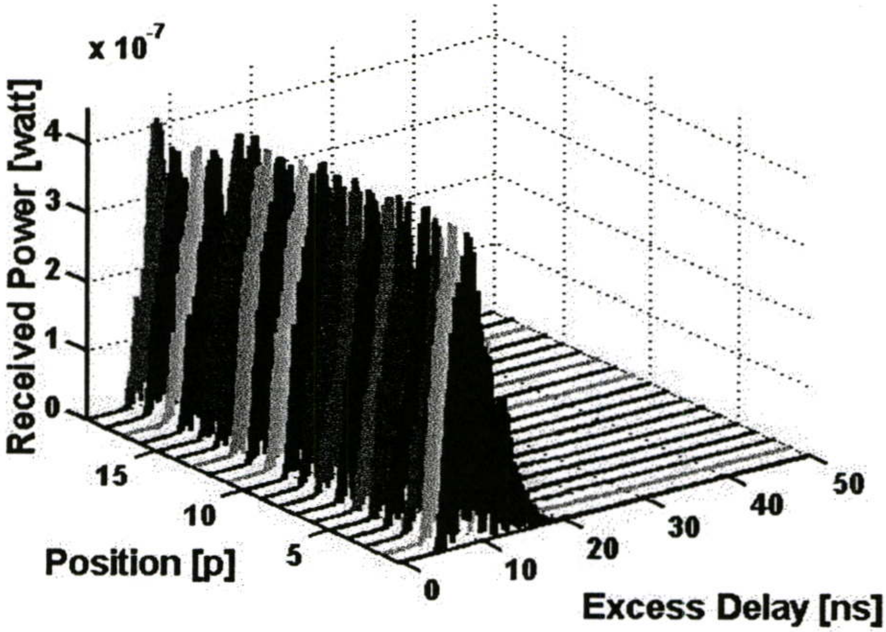


รูปที่ 5.9 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณการวัดสำหรับแบบจำลองที่ 2

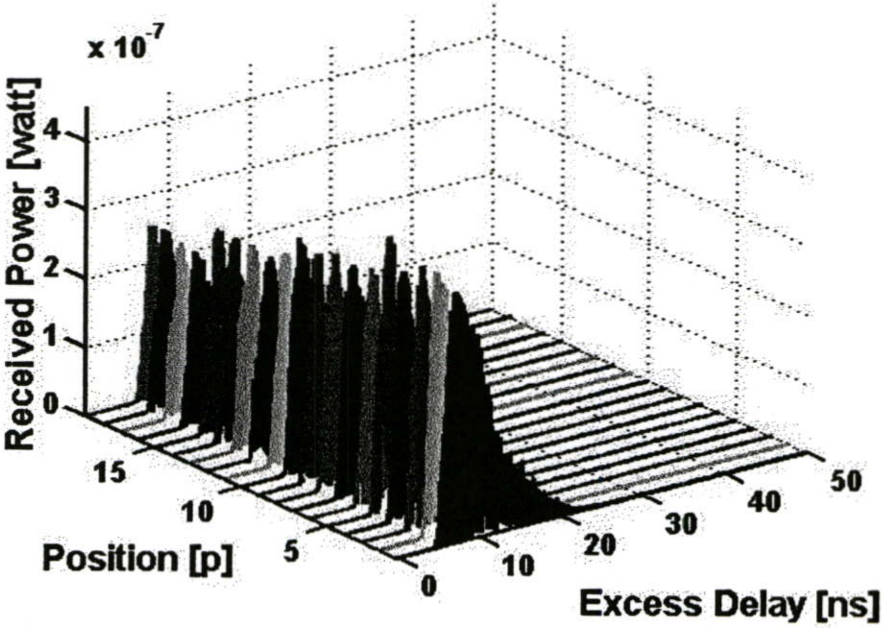
5.3.2 ผลการหาค่ากำลังงานการแผ่ประวิงเวลา

สำหรับกำลังงานการแผ่ประวิงเวลากรณีสายอากาศปราศจากร่างกายมนุษย์ แสดงดังรูปที่ 5.10 ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกำลังงานการแผ่ประวิงเวลากรณีสายอากาศประกอบเข้าด้วยร่างกายมนุษย์ที่แสดงดังรูปที่ 5.11 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าร่างกายมนุษย์ส่งผลต่อการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ทำให้กำลังที่รับได้ทางภาครับลดลงทุกตำแหน่ง

เมื่อพิจารณาเฉพาะรูปที่ 5.11 จะเห็นว่ากำลังทางด้านรับลดลงจากตำแหน่ง p_1 ถึง p_{19} ตามลำดับ ซึ่งการทดลองวัดโดยใช้สายอากาศตัวส่งตัวส่งสองตัวทำให้กำลังทางด้านภาครับมีค่าสูงกว่ากรณีใช้ตัวส่งตัวเดียวและค่าในแต่ละบริเวณในระนาบเดียวกันจะใกล้เคียงกัน ทำให้แบบจำลองนี้เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานต่อไป



รูปที่ 5.10 กำลังงานการแผ่ประวิงเวลากรณีปราศจากร่างกายมนุษย์สำหรับแบบจำลองที่ 2



รูปที่ 5.11 กำลังงานการแผ่ประวิงเวลากรณีที่มีร่างกายมนุษย์สำหรับแบบจำลองที่ 2

ค่าที่วัดได้อย่างละเอียดของกำลังงานการแผ่ประวิงเวลาสูงสุดกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ในแต่ละตำแหน่งบนร่างกายแสดงดังตารางที่ 5.4

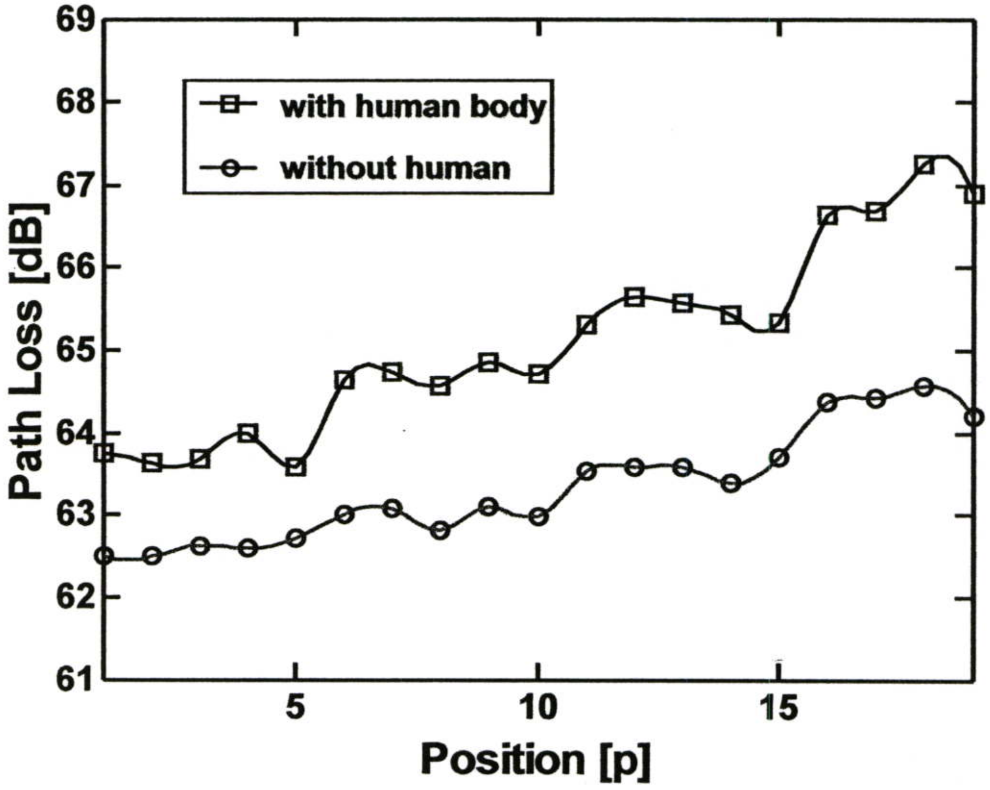
ตารางที่ 5.4 ค่ากำลังที่รับได้ของแต่ละตำแหน่งกรณีที่มีร่างกายมนุษย์สำหรับแบบจำลองที่ 2

ตำแหน่งสายอากาศตัวรับ	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5
กำลังที่รับได้ $(1\times10^{-7}\,Watt)$	3.666	3.851	3.807	3.620	3.982
ตำแหน่งสายอากาศตัวรับ	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}
กำลังที่รับได้ $(1\times10^{-7}\,Watt)$	3.409	3.319	3.418	3.294	3.403
ตำแหน่งสายอากาศตัวรับ	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}
กำลังที่รับได้ $(1\times10^{-7}\,Watt)$	3.052	2.893	2.940	2.911	2.918
ตำแหน่งสายอากาศตัวรับ	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	
กำลังที่รับได้ $(1\times10^{-7}\,Watt)$	2.517	2.512	2.583	2.504	

5.3.3 การสูญเสียเชิงวิถีและอัตราการขยายเชิงวิถี

การสูญเสียเชิงวิถีแสดงดังรูปที่ 5.12 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่บริเวณบริเวณขา (p_{16} - p_{19}) จะมีค่ามากสุด รองมาคือบริเวณสะโพก (p_{11} - p_{15}) ตามด้วยบริเวณลำตัว (p_6 - p_{10}) และบริเวณอก (p_1 - p_5) จะมีค่าน้อยสุด โดยแต่ละตำแหน่งของแต่ละบริเวณจะมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับกรณีที่ปราศจากร่างกายมนุษย์ค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณทุกตำแหน่งจะมีค่าน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด

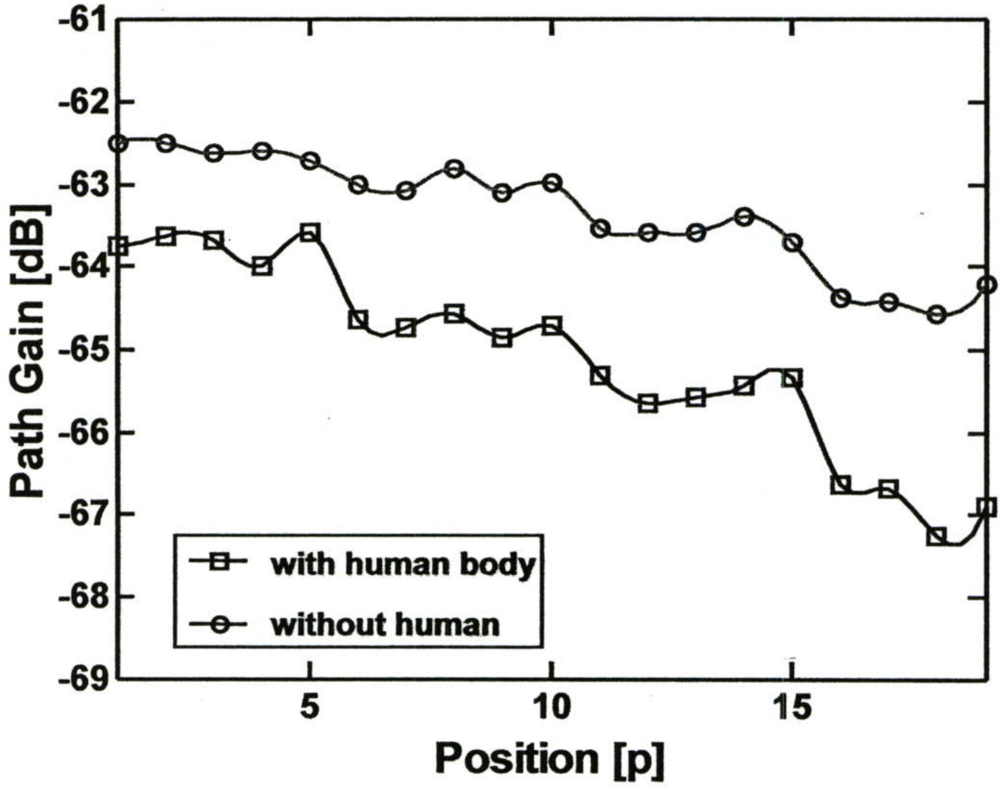
ส่วนอัตราการขยายเชิงวิถีซึ่งเป็นส่วนกลับของการสูญเสียเชิงวิถีนั้นจะมีค่าที่สอดคล้องกันดังที่กล่าวไปข้างต้น เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วอัตราขยายเชิงวิถีของสัญญาณในแต่ละตำแหน่งจะขึ้นกับระยะทางระหว่างสายอากาศตัวส่งกับสายอากาศตัวรับ คือยิ่งอยู่ไกลยิ่งมีค่าน้อยลง แต่เมื่อนำสายอากาศตัวรับมาประกอบเข้าด้วยร่างกายมนุษย์อัตราขยายเชิงวิถีของสัญญาณจะลดลงโดยจะแสดงดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.12 การสูญเสียเชิงวิถีของแบบจำลองที่ 2

ตารางที่ 5.5 ค่าที่วัดได้อย่างละเอียดของการสูญเสียเชิงวิถีของแบบจำลองที่ 2

ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	63.75	63.61	63.68	63.99	63.59
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	62.51	62.49	62.63	62.60	62.72
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	64.63	64.72	64.57	64.85	64.71
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	63.01	63.07	62.82	63.09	62.98
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	65.30	65.65	65.58	65.43	65.34
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	63.52	63.58	63.59	63.38	63.69
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	66.62	66.68	67.25	66.90	
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	64.36	64.42	64.57	64.21	



รูปที่ 5.13 อัตราการขยายเชิงวิถีของแบบจำลองที่ 2

ตารางที่ 5.6 ค่าที่วัดได้อย่างละเอียดของอัตราการขยายเชิงวิถีของแบบจำลองที่ 2

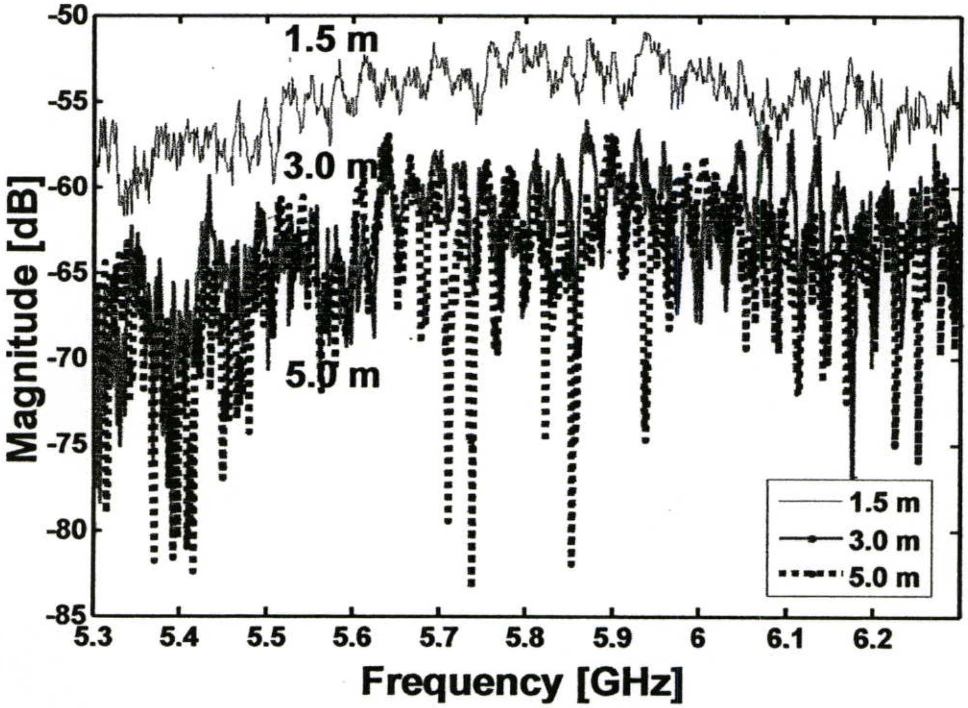
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	-63.75	-63.61	-63.68	-63.99	-63.59
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	-62.51	-62.49	-62.63	-62.60	-62.72
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	-64.63	-64.72	-64.57	-64.85	-64.71
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	-63.01	-63.07	-62.82	-63.09	-62.98
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	-65.30	-65.65	-65.58	-65.43	-65.34
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	-63.52	-63.58	-63.59	-63.38	-63.69
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	-66.62	-66.68	-67.25	-66.90	
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	-64.36	-64.42	-64.57	-64.21	

5.4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคาร แบบที่ 3

การทดลองวัดช่องสัญญาณนี้ได้ทำภายในห้องประชุมภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ โดยจะทำการพิจารณาไปในแต่ละส่วนตามลำดับ

5.4.1 ผลการวัดขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอน

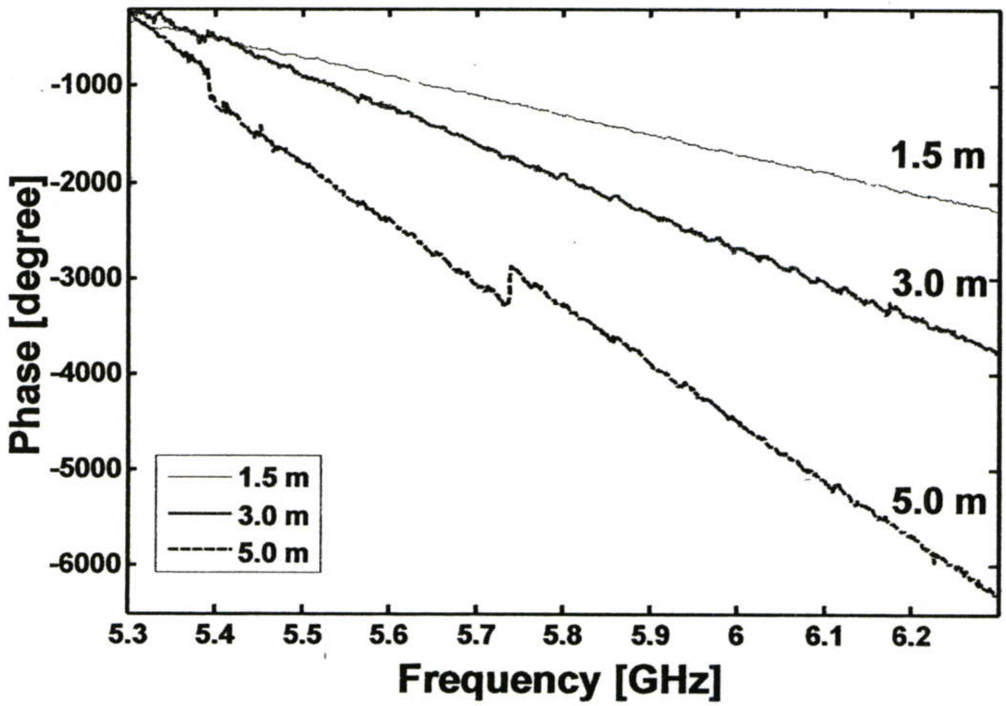
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณการวัดจะมีค่าสูงที่บริเวณความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ โดยเส้นบนสุดคือที่ระยะทาง 1.5 เมตรจะมีขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณการวัดสูงกว่าที่ระยะทาง 3.0 เมตรและ 5.0 เมตร ตามลำดับ และในแต่ละระยะทางจะมีสัญญาณรบกวนในช่วงความถี่ 5.2 กิกะเฮิรตซ์ - 5.6 กิกะเฮิรตซ์ และช่วงความถี่ 6.1 กิกะเฮิรตซ์ - 6.3 กิกะเฮิรตซ์ ส่วนที่ระยะทาง 5.0 เมตรจะมีสัญญาณรบกวนมากตลอดช่วงความถี่ที่ได้พิจารณา ดังแสดงในรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณการวัดสำหรับแบบจำลองที่ 3

สำหรับเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณการวัดที่ระยะทาง 1.5 เมตร เส้นบนสุดจะมีความเป็นเส้นตรงมากที่สุด ต่อมาที่ระยะทาง 3.0 เมตร และ 5.0 เมตร ตามลำดับเช่นเดียวกับ

ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอน และในทำนองเดียวกันนี้จึงทำให้ที่ระยะทาง 5.0 เมตร ไม่มีความเป็นเส้นตรง เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนมาก

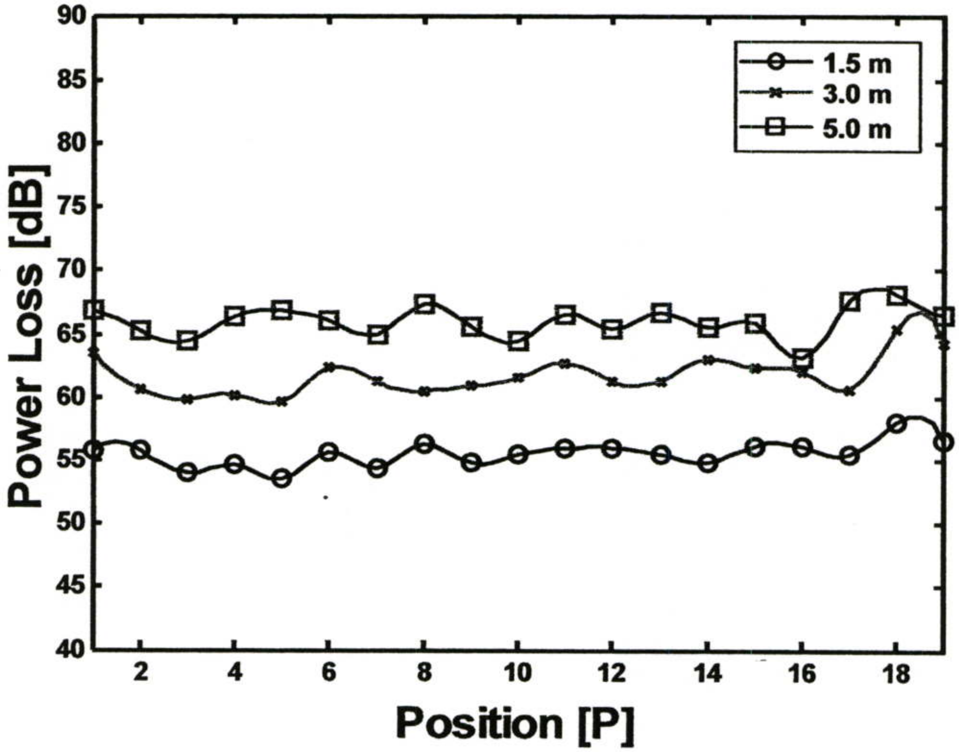


รูปที่ 5.15 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณการวัดสำหรับแบบจำลองที่ 3

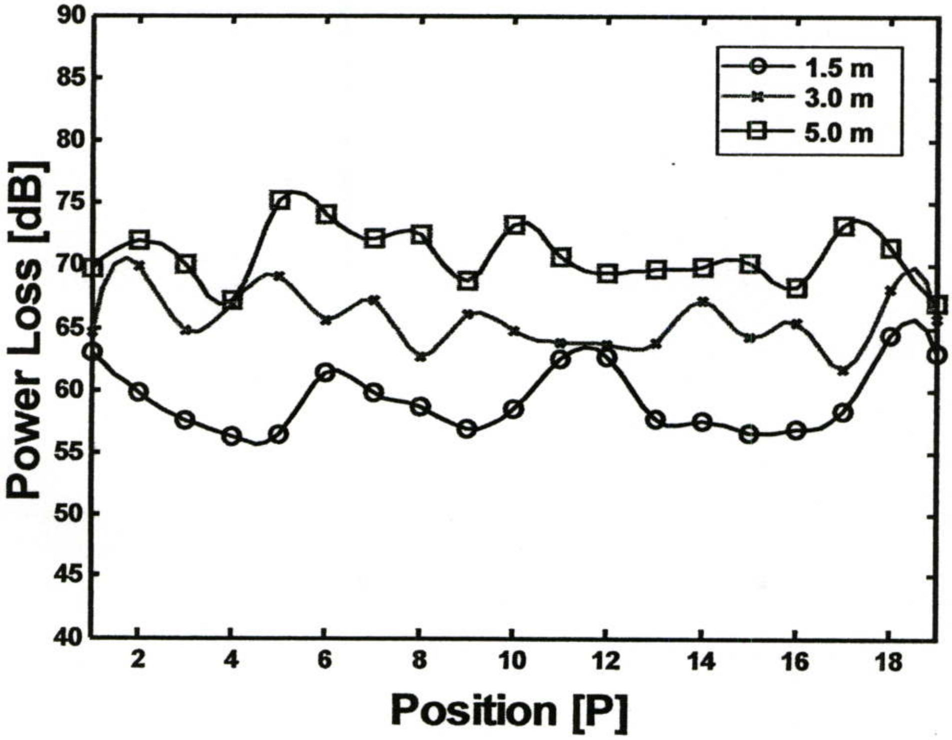
5.4.2 การสูญเสียเชิงวิถีและอัตราการขยายเชิงวิถี

การสูญเสียเชิงวิถีกรณีปราศจากร่างกายมนุษย์และกรณีที่มีร่างกายมนุษย์แสดงได้ดังรูปที่ 5.16 และ รูปที่ 5.17 ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ระยะทาง 5 เมตร สัญญาณที่รับได้จะเกิดการสูญเสียมากกว่าระยะทาง 3 เมตรและ 1.5 เมตรตามลำดับ เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ระยะทางระหว่างสายอากาศตัวรับและตัวส่งอยู่ไกลกว่าตำแหน่งอื่นๆ สัญญาณจึงเกิดการลดทอนหรือจางหายไป สำหรับค่าการสูญเสียเชิงวิถีแสดงโดยละเอียดดังตารางที่ 5.7

เมื่อพิจารณาทุกตำแหน่งที่ทดลองวัดโดยรวมแล้วจะได้เห็นว่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณในกรณีที่สายอากาศตัวรับประกอบเข้าด้วยร่างกายมนุษย์จะมีค่าสูงกว่ากรณีไม่มีร่างกายมนุษย์มาเกี่ยวข้อง เนื่องจากร่างกายมนุษย์ส่งผลกระทบกับการรับสัญญาณที่รับได้ ไม่ว่าที่ระยะทางใดๆ ก็ตาม



รูปที่ 5.16 การสูญเสียเชิงวิถีกรณีปราศจากร่างกายมนุษย์ของแบบจำลองที่ 3

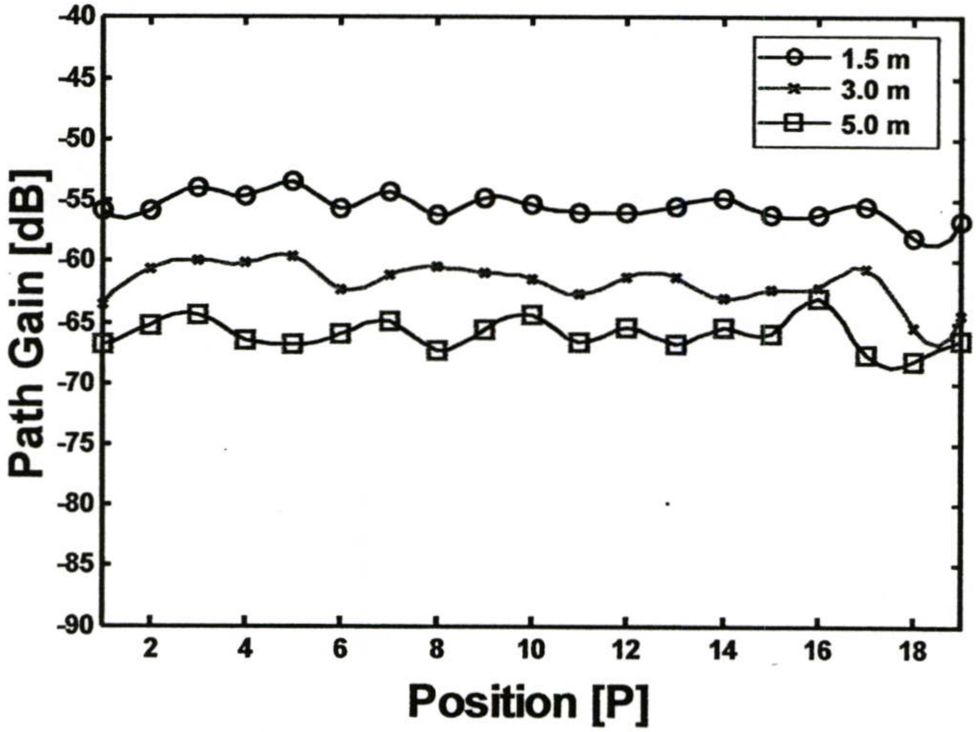


รูปที่ 5.17 การสูญเสียเชิงวิถีกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ของแบบจำลองที่ 3

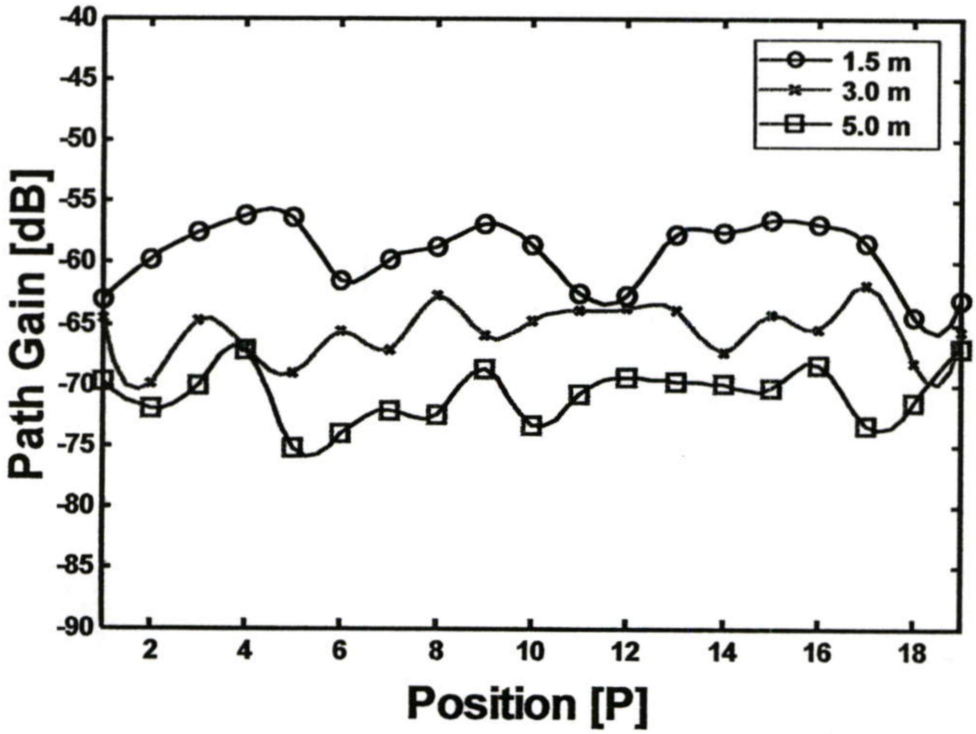
ตารางที่ 5.7 ค่าที่วัดได้อย่างละเอียดของการสูญเสียเชิงวิถีของแบบจำลองที่ 3

ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ (1.5 เมตร)	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	62.98	59.81	57.56	56.21	56.42	61.46	59.72	58.72	56.86	58.57
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	55.77	55.77	53.98	54.59	53.52	55.58	54.27	56.24	54.75	55.39
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ (1.5 เมตร)	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	62.46	62.64	57.64	57.56	56.58	56.87	58.38	64.47	62.95	
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	55.97	56.00	55.49	54.82	56.18	56.10	55.42	58.08	56.66	
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ (3.0 เมตร)	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	64.55	69.87	64.78	66.91	69.10	65.62	67.17	62.73	65.98	64.75
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	63.52	60.62	59.87	60.15	59.60	62.35	61.18	60.49	60.90	61.48
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ (3.0 เมตร)	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	63.84	63.69	63.83	67.22	64.21	65.47	61.77	68.08	65.66	
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	62.75	61.26	61.29	63.05	62.37	62.09	60.62	65.47	64.34	
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ (5.0 เมตร)	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	69.70	71.89	69.99	67.13	75.10	74.07	72.10	72.42	68.70	73.32
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	66.82	65.18	64.41	66.38	66.80	66.00	64.92	67.28	65.56	64.47
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ (5.0 เมตร)	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	70.69	69.39	69.67	69.95	70.25	68.28	73.31	71.43	67.00	
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	66.57	65.42	66.75	65.49	65.86	63.09	67.64	68.18	66.52	

ส่วนอัตราการขยายเชิงวิถีจะมีค่าตรงข้ามกับการสูญเสียเชิงวิถีดังผลการทดลองที่ได้กล่าวไปข้างต้น ดังนั้นสรุปได้ว่าอัตราการขยายเชิงวิถีของสัญญาณที่ระยะทาง 1.5 เมตร จะมีค่ามากกว่าที่ระยะทาง 3 เมตร และ 5 เมตร ตามลำดับ สำหรับร่างกายมนุษย์ก็มีผลต่อสัญญาณที่รับได้เช่นเดียวในทุกระยะทาง โดยค่าอัตราการขยายเชิงวิถีได้แสดงอย่างละเอียดดังตารางที่ 5.8



รูปที่ 5.18 อัตราการขยายเชิงวิถีกรณีปราศจากร่างกายมนุษย์ของแบบจำลองที่ 3



รูปที่ 5.19 อัตราการขยายเชิงวิถีกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ของแบบจำลองที่ 3

ตารางที่ 5.8 ค่าที่วัดได้อย่างละเอียดของอัตราการขยายเชิงวิถีของแบบจำลองที่ 3

ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ (1.5 เมตร)	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}
มีร่างกายมนุษย์ (*-dB*)	62.98	59.81	57.56	56.21	56.42	61.46	59.72	58.72	56.86	58.57
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*-dB*)	55.77	55.77	53.98	54.59	53.52	55.58	54.27	56.24	54.75	55.39
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ (1.5 เมตร)	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	
มีร่างกายมนุษย์ (*-dB*)	62.46	62.64	57.64	57.56	56.58	56.87	58.38	64.47	62.95	
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*-dB*)	55.97	56.00	55.49	54.82	56.18	56.10	55.42	58.08	56.66	
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ (3.0 เมตร)	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}
มีร่างกายมนุษย์ (*-dB*)	64.55	69.87	64.78	66.91	69.10	65.62	67.17	62.73	65.98	64.75
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*-dB*)	63.52	60.62	59.87	60.15	59.60	62.35	61.18	60.49	60.90	61.48
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ (3.0 เมตร)	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	
มีร่างกายมนุษย์ (*-dB*)	63.84	63.69	63.83	67.22	64.21	65.47	61.77	68.08	65.66	
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*-dB*)	62.75	61.26	61.29	63.05	62.37	62.09	60.62	65.47	64.34	
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ (5.0 เมตร)	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}
มีร่างกายมนุษย์ (*-dB*)	69.70	71.89	69.99	67.13	75.10	74.07	72.10	72.42	68.70	73.32
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*-dB*)	66.82	65.18	64.41	66.38	66.80	66.00	64.92	67.28	65.56	64.47
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ (5.0 เมตร)	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	
มีร่างกายมนุษย์ (*-dB*)	70.69	69.39	69.67	69.95	70.25	68.28	73.31	71.43	67.00	
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*-dB*)	66.57	65.42	66.75	65.49	65.86	63.09	67.64	68.18	66.52	

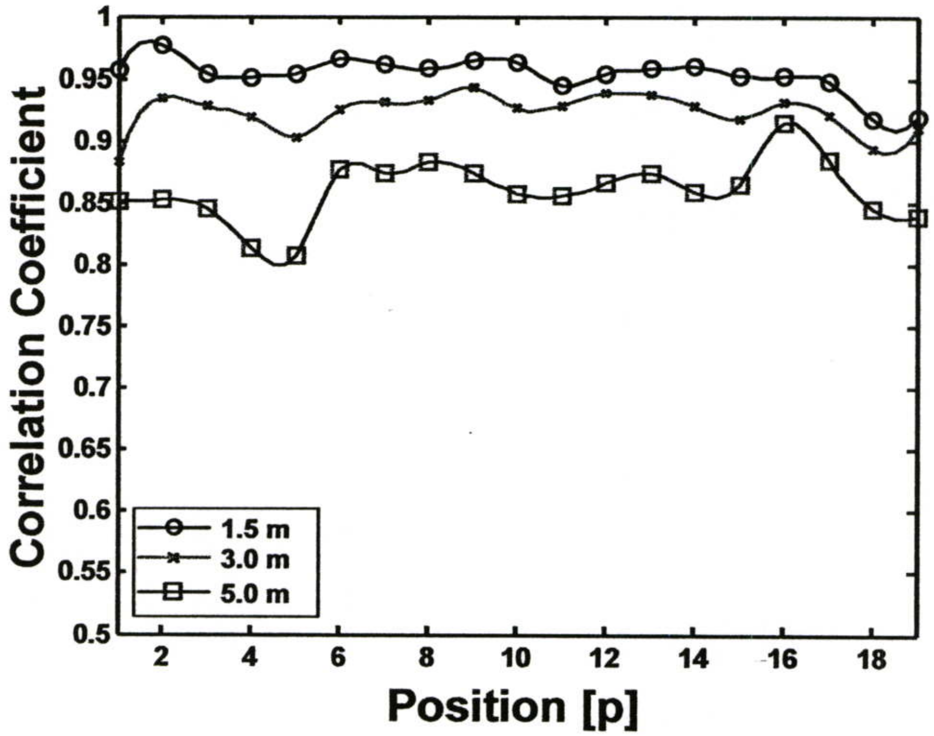
5.4.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากการวัดในช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงนี้สามารถบ่งบอกถึงความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่รับได้และประสิทธิภาพของการส่งผ่านในการแพร่กระจายคลื่นแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุได้

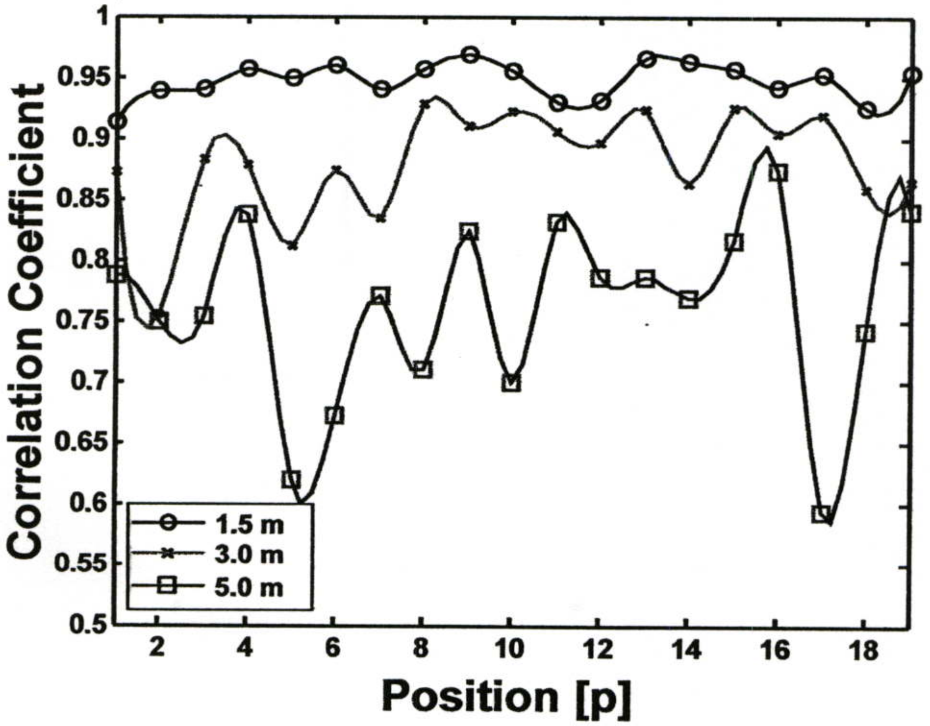
โดยรูปที่ 5.20 แสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีปราศจากร่างกายมนุษย์ของแบบจำลองที่ 3 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ระยะทาง 1.5 เมตร 3.0 เมตร และ 5.0 เมตรค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแต่ละตำแหน่งในแต่ละระยะทางจะไม่ต่างกันมากนัก

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีที่มีมนุษย์ของแบบจำลองที่ 3 ของแต่ละตำแหน่งในแต่ละระยะจะมีค่าแกว่งไปมามากเมื่อเทียบกับกรณีปราศจากร่างกายมนุษย์ เนื่องจากผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ส่งผลต่อสัญญาณที่รับได้ ตลอดจนระยะทางก็มีส่วนที่ทำให้ประสิทธิภาพในการส่งผ่านของสัญญาณด้อยลง โดยเฉพาะที่ระยะทาง 5 เมตรคือเส้นล่างสุดของรูปที่ 5.21 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง 0.873 ถึง 0.594 ส่วนที่ระยะทาง 3.0 เมตรคือเส้นตรงกลาง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไม่แกว่งมากนักมีค่าอยู่ระหว่าง 0.755 ถึง 0.927 และที่ระยะทาง 1.5 เมตรคือเส้นบนสุดมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากที่สุดคืออยู่ระหว่าง 0.913 ถึง 0.966

จากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะสังเกตได้อย่างชัดเจนว่ากรณีปราศจากร่างกายมนุษย์ที่แสดงดังรูปที่ 5.20 จะมีค่ามากกว่ากรณีที่มีร่างกายมนุษย์ที่แสดงดังรูปที่ 5.21 ทุกระยะทางที่ทำการทดลอง โดยที่ระยะทาง 1.5 เมตรจะมีประสิทธิภาพในการส่งผ่านของสัญญาณดีกว่าที่ระยะทาง 3.0 เมตร และ 5.0 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 5.20 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีปราศจากร่างกายมนุษย์ของแบบจำลองที่ 3



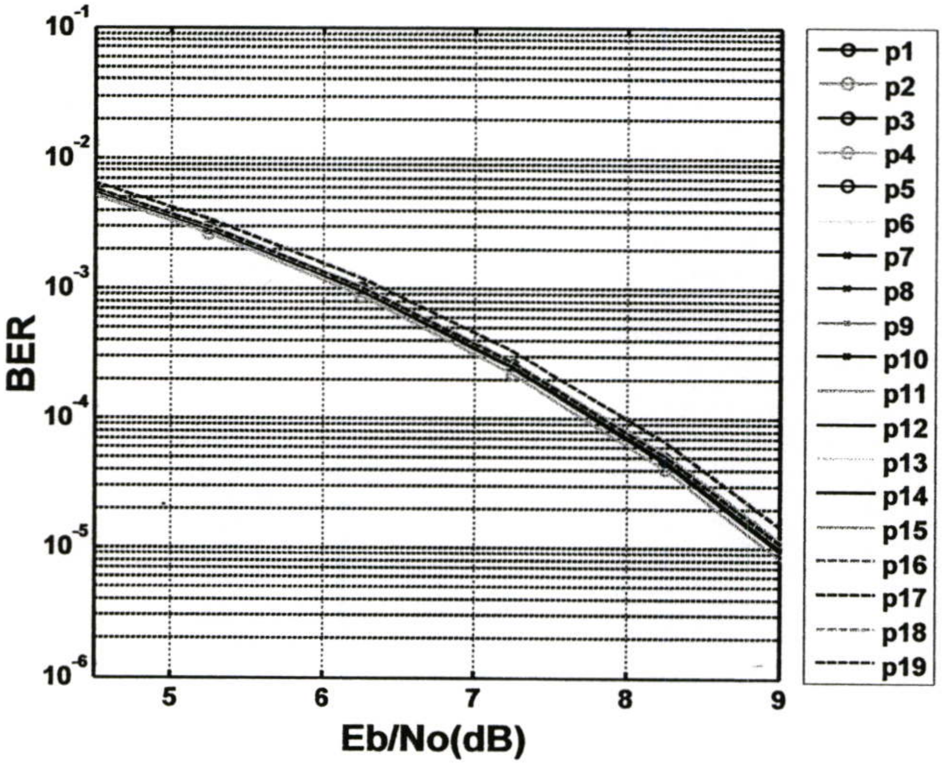
รูปที่ 5.21 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีที่มีร่างกายมนุษย์ของแบบจำลองที่ 3

ตารางที่ 5.9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างละเอียดในแต่ละตำแหน่งของแบบจำลองที่ 3

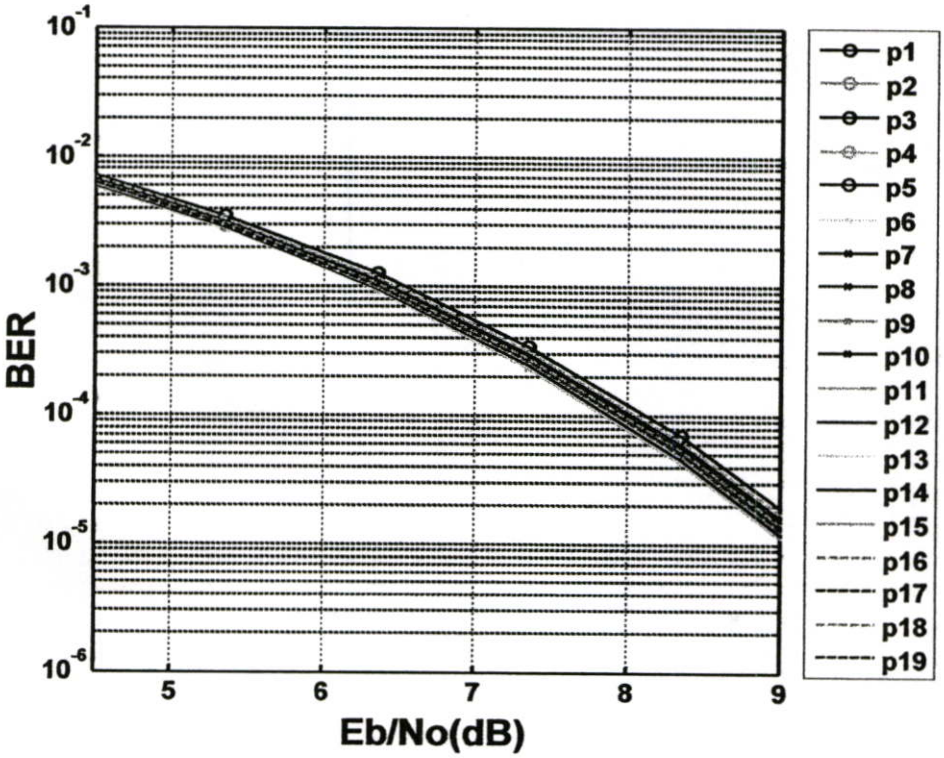
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ (1.5 เมตร)	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	0.913	0.939	0.941	0.956	0.948	0.959	0.939	0.956	0.968	0.955
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	0.956	0.976	0.953	0.951	0.954	0.965	0.961	0.957	0.964	0.963
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ (1.5 เมตร)	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	0.930	0.931	0.966	0.963	0.956	0.942	0.951	0.924	0.953	
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	0.944	0.954	0.957	0.959	0.952	0.952	0.948	0.916	0.919	
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ (3.0 เมตร)	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	0.872	0.755	0.883	0.878	0.812	0.874	0.834	0.927	0.909	0.922
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	0.883	0.934	0.927	0.919	0.902	0.925	0.930	0.932	0.943	0.926
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ (3.0 เมตร)	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	0.905	0.896	0.923	0.863	0.924	0.904	0.918	0.858	0.865	
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	0.929	0.938	0.937	0.927	0.918	0.930	0.921	0.893	0.910	
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ (5.0 เมตร)	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	0.787	0.750	0.753	0.837	0.619	0.672	0.770	0.710	0.824	0.699
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	0.851	0.852	0.845	0.814	0.806	0.876	0.873	0.882	0.874	0.857
ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับ (5.0 เมตร)	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	
มีร่างกายมนุษย์ (*dB*)	0.831	0.786	0.785	0.769	0.816	0.873	0.594	0.742	0.841	
ปราศจากร่างกายมนุษย์ (*dB*)	0.855	0.865	0.874	0.858	0.865	0.914	0.883	0.845	0.839	

5.4.4 อัตราการผิดพลาดบิต

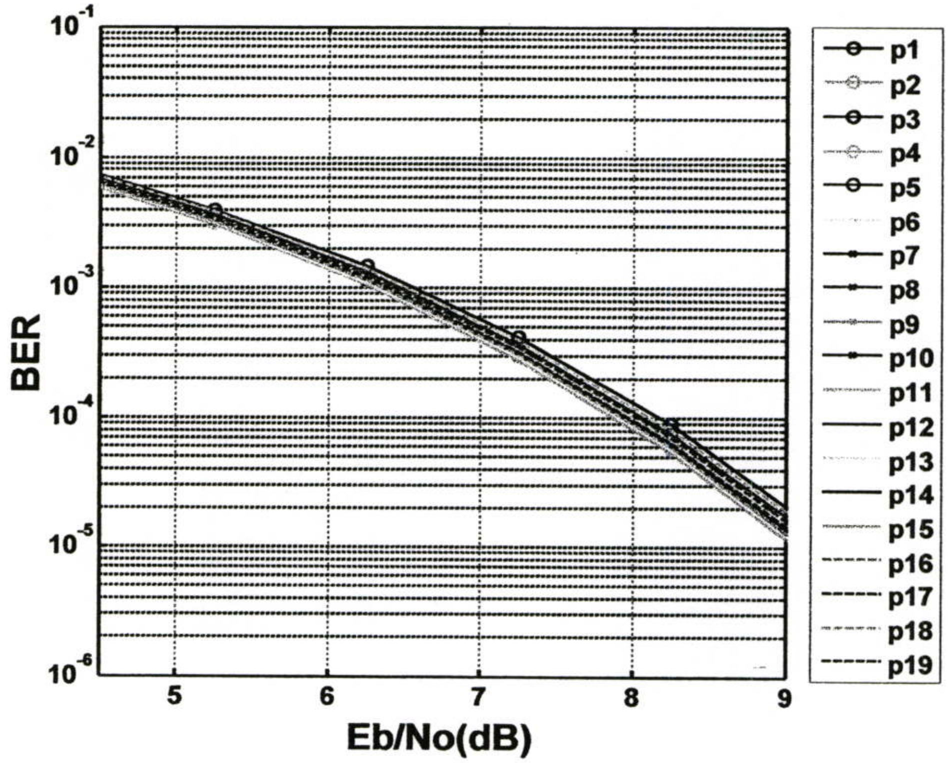
จากการวิเคราะห์ผลการทดลองวัดอัตราการส่งผ่านจะมีค่าอัตราการผิดพลาดบิตลดลงเมื่อค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนในแต่ละตำแหน่งเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าอัตราการบิตผิดพลาดสามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสัญญาณการส่งผ่านในการแพร่กระจายคลื่นแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ



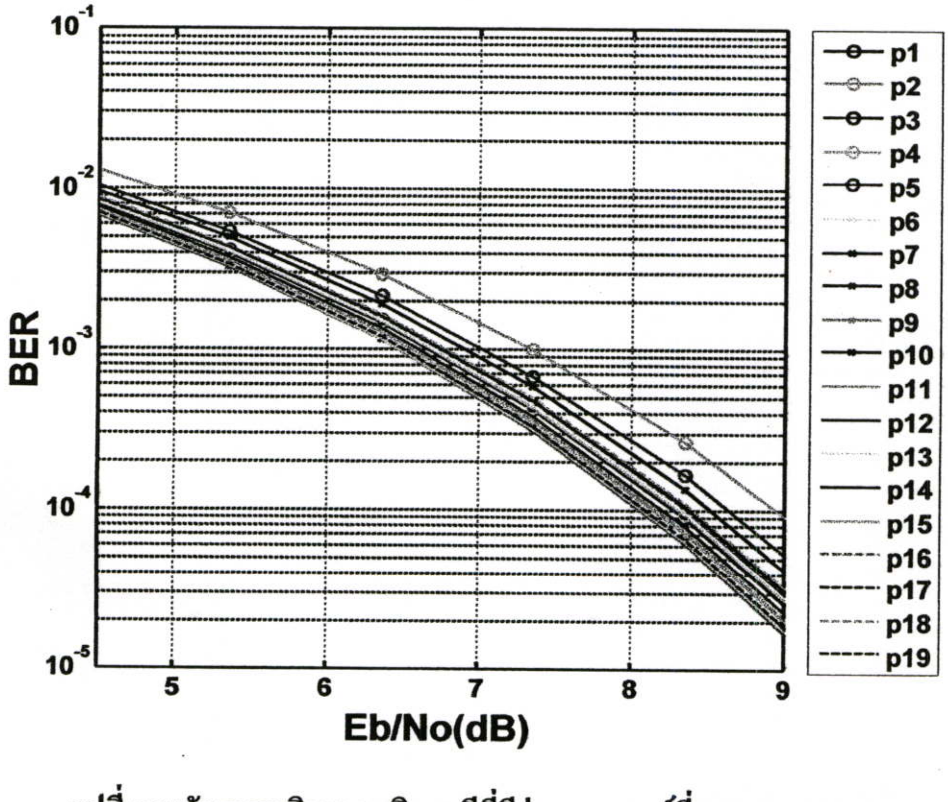
รูปที่ 5.22 อัตราการผิดพลาดบิตกรณีปราศจากร่างกายมนุษย์ที่ระยะทาง 1.50 เมตร



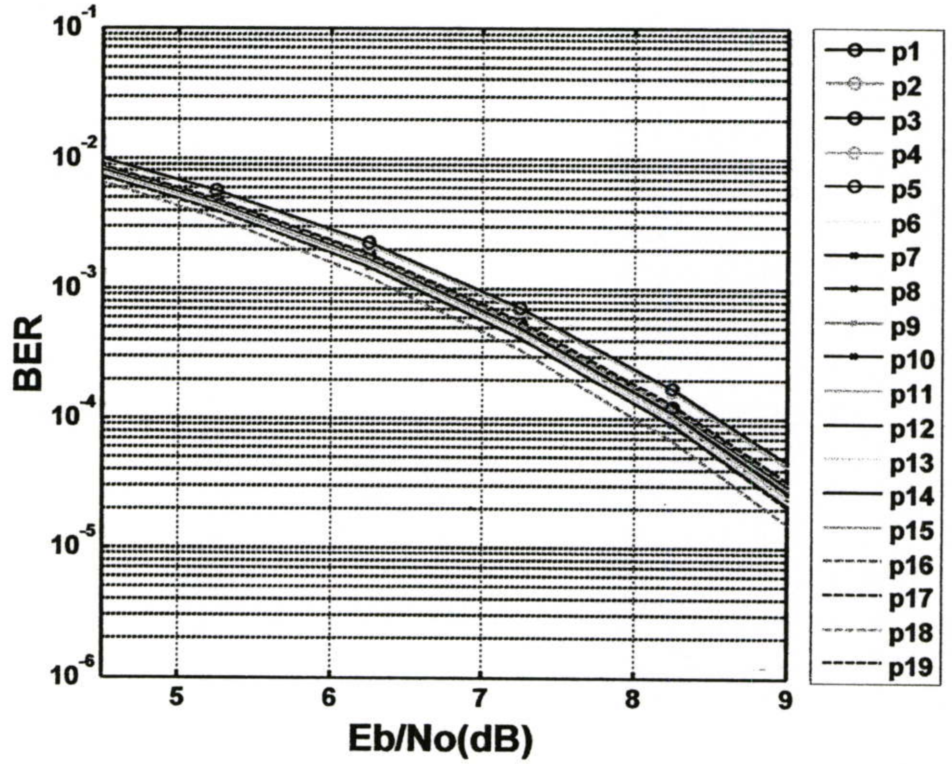
รูปที่ 5.23 อัตราการผิดพลาดบิตกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ที่ระยะทาง 1.50 เมตร



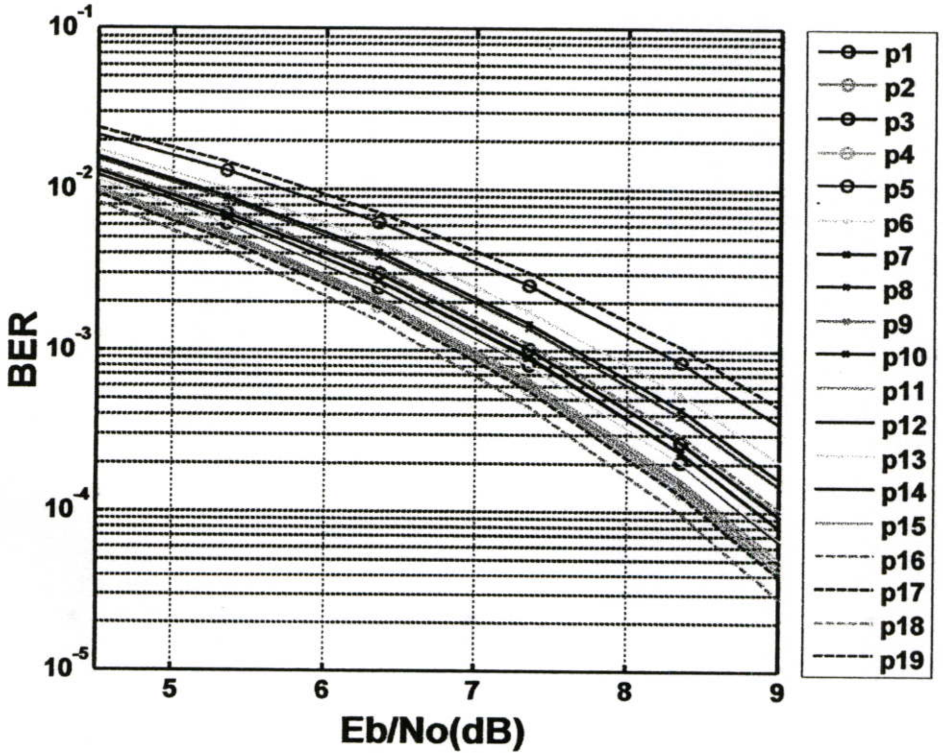
รูปที่ 5.24 อัตราการผิดพลาดบิตกรณีปราศจากร่างกายมนุษย์ที่ระยะทาง 3.00 เมตร



รูปที่ 5.25อัตราการผิดพลาดบิตกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ที่ระยะทาง 3.00 เมตร



รูปที่ 5.26 อัตราการผิดพลาดบิตกรณีปราศจากร่างกายมนุษย์ที่ระยะทาง 5.00 เมตร



รูปที่ 5.27 อัตราการผิดพลาดบิตกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ที่ระยะทาง 5.00 เมตร

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ระยะทาง 1.5 เมตรที่แสดงดังรูปที่ 5.22 และรูปที่ 5.23 จะมีค่าอัตราการผิดพลาดบิตน้อยกว่าที่ระยะทาง 3 เมตร ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.24 และรูปที่ 5.25 ส่วนที่ระยะทาง 5 เมตรจะมีค่าอัตราการผิดพลาดบิตมากที่สุดแสดงดังรูปที่ 5.26 และรูปที่ 5.27 กล่าวคือระยะทางยิ่งไกลอัตราการผิดพลาดบิตยิ่งมากขึ้น

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกรณีสายอากาศตัวรับปราศจากร่างกายมนุษย์กับกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ที่ระยะทาง 1.5 เมตรค่าอัตราการผิดพลาดบิตจะต่างกันเล็กน้อย แต่เมื่อระยะทางไกลขึ้นค่าอัตราการผิดพลาดบิตกรณีที่มีร่างกายมนุษย์จะมีค่าต่างกันอย่างเห็นได้ชัด สังเกตได้จากรูปที่ 5.23 รูปที่ 5.25 และรูปที่ 5.27 เส้นโดยเส้นกราฟในแต่ละตำแหน่งจะกระจายกันมากขึ้นตามระยะทางซึ่งสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ข้างต้น ดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่าร่างกายมนุษย์มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ

5.5 บทสรุป

จากผลการทดลองวิจัยในส่วนของการศึกษาการส่งผ่านในช่องสัญญาณการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอทั้งหมด 3 แบบจำลองเพื่อหาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่ส่งผลต่อระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการลดทอนของสัญญาณที่รับได้จากแบบจำลองที่พิจารณา ในรูปของค่าพารามิเตอร์การสูญเสียเชิงวิถีและค่ากำลังงานการแผ่ประวิงเวลา นอกจากนี้เรายังได้หาประสิทธิภาพการส่งผ่านในรูปของค่าพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และอัตราการพลาดบิตของสัญญาณเพิ่มเติมในบางส่วนอีกด้วย จากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่รับได้จะถูกลดทอนลงอันเนื่องมาจากร่างกายมนุษย์ จึงทำให้สายอากาศทางด้านรับที่ตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์รับสัญญาณได้ต่ำกว่ากรณีปราศจากมนุษย์ สำหรับการใช้สายอากาศตัวส่งสองตัวจะช่วยให้สัญญาณที่รับได้บนร่างกายมนุษย์ดีกว่าใช้ตัวเดียว และการใช้ความถี่ในการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นทำให้การสูญเสียของสัญญาณลดลงได้ โดยขึ้นอยู่กับระยะทางที่เราพิจารณาด้วย ดังนั้นการนำเอาข้อมูลจากการทดลองวิจัยมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทำให้ทราบถึงการสูญเสียของสัญญาณอันเนื่องมาจากร่างกายมนุษย์ของแต่ละแบบจำลอง ซึ่งจากผลการทดลองวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการวิจัยและการออกแบบระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์ในอนาคตข้างหน้าได้

บทที่ 6
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ

เนื่องจากปัจจุบันมีการนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายประกอบกับในอนาคตเทคโนโลยีนี้จะเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของทุกคน ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาวิเคราะห์การส่งผ่านของสัญญาณการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ เพื่อให้ทันกับเทคโนโลยีและสนองความต้องการของมนุษย์ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอการศึกษาของการสูญเสียในการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร โดยพิจารณาหาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่ส่งผลต่อช่องสัญญาณการส่งผ่าน ซึ่งในการหาคุณสมบัติต่างๆนี้ได้วิเคราะห์บนพื้นฐานทฤษฎีและหลักการส่งผ่านของฟรีส และพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการหาค่าการสูญเสียของสัญญาณการส่งผ่าน ในส่วนของการทดลองวิจัยเราได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์สำหรับวัดค่าและเก็บข้อมูล นอกจากนี้ยังได้ใช้สายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปที่ย่านความถี่ไมโครเวฟที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบตรงในการทดลองวิจัย โดยได้ทำการวัดช่องสัญญาณจริงในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารจำนวนทั้งสิ้น 3 แบบจำลอง เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการสูญเสียในการส่งผ่านของกรณีต่างๆ ตลอดจนคำนึงถึงการนำไปใช้งานจริงของการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุด้วย

6.2 สรุปผลการวิจัยของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 1

แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1 นี้ได้ทำการทดลองวัดภายในอาคาร โดยพิจารณาหาการสูญเสียในการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์ในย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ และได้ทำการทดลองวัดเปรียบเทียบกรณีที่สายอากาศทางด้านรับปราศจากร่างกายมนุษย์กับกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่ากรณีที่มีร่างกายมนุษย์การส่งผ่านของสัญญาณจะด้อยลง กล่าวคือสัญญาณที่รับได้จะลดทอนลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีปราศจากร่างกายมนุษย์ เป็นเช่นนี้เนื่องจากร่างกายมนุษย์ส่งผลกระทบต่อสัญญาณที่รับได้ โดยที่ร่างกายมนุษย์อาจเกิดการดูดกลืนสัญญาณ สะท้อนสัญญาณ หรืออาจจะเกิดจากความต้านทานในร่างกายมนุษย์ส่งผลต่อสัญญาณที่รับได้ แต่อย่างไรก็ตามในงานวิทยานิพนธ์นี้เรายังได้พิจารณาหาตำแหน่งบนร่างกายมนุษย์ที่รับสัญญาณได้ดีที่สุด ซึ่งผลที่ได้ก็คือบริเวณช่วงแนวกลางของร่างกายที่ตั้งฉากกับพื้นเพราะเป็นบริเวณที่ระยะทางระหว่างสายอากาศตัวรับกับตัวส่งน้อยกว่าตำแหน่งอื่นๆ และสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ที่ใช้ทดลองนั้นมี

คุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบตรง จึงทำให้ตำแหน่งดังกล่าวรับสัญญาณได้ดีกว่าตำแหน่งอื่นๆ ซึ่งข้อมูลและกระบวนการเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการออกแบบระบบการสื่อสารไร้สายแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ใช้ร่วมกับมนุษย์ เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการส่งสัญญาณได้

6.3 สรุปผลการวิจัยของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 2

แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณแบบที่ 2 นี้ได้ทำการทดลองวัดภายในอาคาร โดยพิจารณาหาการสูญเสียในการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์ในย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ เช่นเดียวกับแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1 แต่ต่างกันตรงที่แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณแบบที่ 2 จะใช้สายอากาศตัวส่งสองตัวส่งสัญญาณในช่วงเวลาเดียวกัน เพื่อแก้ปัญหาในบางตำแหน่งบนร่างกายมนุษย์ที่รับสัญญาณได้ต่ำ ผลที่ได้จากการทดลองวิจัยคือกรณีสายอากาศทางด้านรับปราศจากร่างกายมนุษย์สัญญาณที่รับได้ยังคงดีกว่ากรณีที่มีมนุษย์ แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1 การสูญเสียในการส่งผ่านของแบบจำลองนี้จะน้อยกว่า ทำให้สัญญาณที่รับได้ดีขึ้นในทุกๆ ตำแหน่งบนร่างกายมนุษย์ที่เราพิจารณา ซึ่งเราสามารถสังเกตได้จากค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณจะมีค่าน้อยลงและตำแหน่งที่อยู่ในระนาบแนวนอนเดียวกันจะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณไม่ต่างกันมากนักเนื่องจากการใช้สายอากาศตัวส่งสองตัวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งผ่านของสัญญาณ ทำให้ทุกๆ ตำแหน่งของสายอากาศตัวรับที่อยู่ในระนาบแนวนอนเดียวกันสามารถรับสัญญาณได้ดีเท่ากัน ส่วนในระนาบอื่นๆ จะต่างกันออกไปตามระยะทางระหว่างสายอากาศตัวรับกับตัวส่ง จากผลการทดลองวิจัยนี้ทำให้เราทราบและสามารถแก้ปัญหาการสูญเสียในการส่งผ่านของช่องสัญญาณการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์ได้ ซึ่งข้อมูลที่ได้มานี้จะเป็นพื้นฐานในการออกแบบ พัฒนาและปรับปรุงระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่นำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับมนุษย์เพื่อควบคุมหรือระบุรายละเอียดระบุตำแหน่งของแต่ละบุคคลภายในอนาคตต่อไป

6.4 สรุปผลการวิจัยของแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณภายในอาคารแบบที่ 3

แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณแบบที่ 3 นี้ได้ทำการทดลองวัดภายในอาคาร โดยพิจารณาหาการสูญเสียรวมทั้งหาประสิทธิภาพในการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์ในย่านความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ โดยได้ทำการทดลองวัดเปรียบเทียบกรณีที่สายอากาศทางด้านรับปราศจากร่างกายมนุษย์กับกรณีที่มีร่างกายมนุษย์และยังทำการพิจารณาช่องสัญญาณการส่งผ่านที่ระยะทางต่างๆ กันจำนวนทั้งสิ้น 3 ระยะทางคือ 1.5 เมตร 3.0 เมตร และ 5.0 เมตร

เพื่อหาตำแหน่งที่ดีที่สุดในการรับสัญญาณ จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาทุกระยะทางและทุกตำแหน่งของสายอากาศทางด้านรับที่ทดลองวัดโดยรวมแล้วจะได้เห็นว่าการสูญเสียในการส่งผ่านของสัญญาณในกรณีที่สายอากาศตัวรับประกอบเข้าด้วยร่างกายมนุษย์จะมีค่าสูงกว่ากรณีไม่มีร่างกายมนุษย์มาเกี่ยวข้อง เนื่องจากร่างกายมนุษย์ส่งผลกระทบกับการรับสัญญาณที่รับได้ ไม่ว่าที่ระยะทางใดๆ ก็ตาม ส่งผลให้ประสิทธิภาพการส่งผ่านด้อยลงด้วย สังเกตได้จากค่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่าต่ำลงเมื่อมีร่างกายมนุษย์มาเกี่ยวข้อง และอัตราการผิดพลาดบิตจะมีค่ามากขึ้นเมื่อมีร่างกายมนุษย์มาเกี่ยวข้อง นอกจากร่างกายมนุษย์จะส่งผลต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านแล้วยังมีอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียในการส่งผ่านนั่นก็คือระยะทาง จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าระยะทางระหว่างสายอากาศตัวรับกับตัวส่ง 1.5 เมตร จะมีการสูญเสียในการส่งผ่านของสัญญาณน้อยกว่าที่ระยะทาง 3.0 เมตร และ 5.0 เมตร ตามลำดับ ทำให้ประสิทธิภาพของการส่งผ่านที่ระยะทาง 1.5 เมตรดีที่สุด ส่วนตำแหน่งของสายอากาศบนร่างกายมนุษย์ที่รับสัญญาณได้ดีนั้นจะอยู่บริเวณกลางร่างกายมนุษย์ในแนวตั้งฉากกับพื้นเช่นเดียวกับแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณแบบที่ 1 แต่ที่ระยะทาง 5 เมตร ค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณในแต่ละตำแหน่งบนร่างกายมนุษย์ไม่ต่างกันมากประกอบกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแต่ละตำแหน่งไม่คงที่ ผลเป็นเช่นนี้เพราะระยะทางระหว่างสายอากาศตัวส่งกับตัวไกลเกินไป ดังนั้นที่ระยะทาง 5 เมตร จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งาน จากการผลทดลองนี้ทำให้ทราบปัจจัยที่มีผลกระทบต่อช่องสัญญาณแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนาและปรับปรุงระบบให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ดังนั้นเราสามารถสรุปโดยรวมของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้คือ จากศึกษาการสูญเสียในการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ และ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ ที่นำมาใช้ร่วมกับมนุษย์นั้น ประการแรกจะเห็นได้ว่าการนำเอาสายอากาศตัวรับมาประกอบติดเข้าด้วยร่างกายมนุษย์ทำให้สัญญาณที่รับได้ต่ำกว่ากรณีปราศจากมนุษย์เพราะร่างกายมนุษย์มีความต้านทานอยู่ในตัวอาจเป็นเหตุให้สัญญาณที่รับได้ถูกดูดกลืนไปบางส่วน จึงทำให้สายอากาศทางด้านรับที่ตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์รับสัญญาณได้ต่างกัน ซึ่งสังเกตได้จากผลการทดลองวิจัยของทุกแบบจำลอง ประการที่สองทำให้เราทราบว่าการใช้สายอากาศตัวส่งสองตัวจะทำให้สัญญาณที่รับได้บนร่างกายมนุษย์ดีกว่ากรณีใช้ตัวส่งตัวเดียว ประการสุดท้ายการใช้ความถี่ในการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นทำให้การสูญเสียในการส่งผ่านของสัญญาณลดลงได้ โดยขึ้นอยู่กับระยะทางที่เราพิจารณาด้วย กล่าวคือยิ่งไกลประสิทธิภาพการส่งผ่านก็ยิ่งด้อยลง นอกจากนี้เรายังสรุปได้อีกว่าสายอากาศแผ่นแบบไมโครสตริปมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์ เนื่องจากมีขนาดเล็ก สร้างง่าย ราคาถูก และมีคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางตรง โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาและทดลองวิจัยในสภาวะแวดล้อมจริงภายในอาคาร เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งาน

จริงต่อไป ซึ่งข้อมูลที่ได้มาทั้งหมดนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ใช้ร่วมกับมนุษย์ในอนาคตข้างหน้าได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 6.1 ค่าการสูญเสียเฉลี่ยในแต่ละแบบจำลอง

แบบจำลองการวัด	ค่าการสูญเสียเฉลี่ย [dB]	
	ปราศจากร่างกายมนุษย์	ที่มีร่างกายมนุษย์
แบบจำลองการวัดที่ 1 (3.0 เมตร)	65.14	66.93
แบบจำลองการวัดที่ 2 (3.0 เมตร)	63.33	65.10
แบบจำลองการวัดที่ 3 (1.5 เมตร)	55.50	59.36
แบบจำลองการวัดที่ 3 (3.0 เมตร)	61.76	65.54
แบบจำลองการวัดที่ 3 (5.0 เมตร)	65.97	70.75

6.5 ข้อเสนอแนะ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแบบจำลองการส่งผ่านของสัญญาณ โดยได้พิจารณาการสูญเสียของช่องสัญญาณการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่มีร่างกายมนุษย์ร่วมอยู่ด้วยและทำการทดลองภายใต้สภาวะแวดล้อมภายในอาคาร เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สอดคล้องกับการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวยังไม่ได้ครอบคลุมการใช้งานจริงทั้งหมด ดังนั้นเราต้องคำนึงถึงปัจจัยในหลายๆ ด้านที่ส่งผลต่อช่องสัญญาณอันได้แก่ สภาวะแวดล้อมแบบต่างๆ เช่น สภาวะแวดล้อมภายนอกอาคาร สภาวะแวดล้อมแบบโครงข่ายท้องถิ่น รวมทั้งสิ่งแวดล้อมรอบข้างก็ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณได้ เช่น สภาพอากาศขณะใช้งาน วัสดุอุปกรณ์ที่อยู่ในบริเวณการใช้งาน ขนาดและความสูงของร่างกายมนุษย์ที่ต่างกัน ตลอดจนการรบกวนจากการสื่อสารไร้สายแบบอื่นๆ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนแล้วแต่ทำให้เกิดการสูญเสียในการส่งผ่านแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุทั้งสิ้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการพิจารณาศึกษากันต่อไป

ท้ายที่สุดนี้ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าข้อมูล กระบวนการและเทคนิคที่ได้นำเสนอไปในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้า เพื่อพัฒนาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุที่ใช้ร่วมกับมนุษย์ต่อไปในอนาคตข้างหน้าได้

เอกสารอ้างอิง

[1] M.L Ng,P.H Cole, "The reader collision problem in RFID systems," presented in MAPE 2005, Beijing, August 2005.

[2] "A Basic Introduction to RFID Technology and its use in the Supply Chain," January 2004.

[3] รศ.ดร. ประสิทธิ์ ทีฆพุฒิ, อ. ไพโรจน์ ไววานิชกิจ, "เทคโนโลยี RFID," สำนักพิมพ์ ดอกหญ้ากรุ๊ป, 2549.

[4] ศูนย์พัฒนาธุรกิจออกแบบวงจรรวม, "รู้จักกับเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี," รู้จักกับเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี, 2548.

[5] B. Manish, M. Shahram, "RFID Field Guide: Deploying Radio Frequency Identification Systems," 2005.

[6] K. Finkenzeller, "RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification," 2003.

[7] "RFID Multiple Access Methods," Summer semester 2004 Luc Andre Burdet Seminar "Smart Environments" 2004.

[8] วัชรากร หนูทอง และ อนุกูล น้อยไม้, "RFID หนึ่งในเทคโนโลยีที่น่าจับตามอง," 2549.

[9] S. Lahiri "RFID Sourcebook," August 2005.

[10] ปรเมศวร์ กุมารบุญ, "RFID เทคโนโลยีนี้จะพลิกโลก," หนังสือพิมพ์ผู้จัดการออนไลน์ ค้นหาเมื่อ 18 กุมภาพันธ์ 2551.

[11] อ.วรพจน์ ธราวรรณ, "เทคนิคเครื่องรับ-ส่งวิทยุ," แผนกอิเล็กทรอนิกส์, วิทยาลัยสารพัดช่างน่าน, สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

[12] Savo Glisic University of Oulu, "Advanced Wireless Communications 4G Technologies," Finland, 2004

[13] H. T. Friis, "A Note on a Simple Transmission Formula," Vol. 34, no 5, May 1946.

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

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

[16] โมไนย ไกรฤกษ์ "ทฤษฎีสายอากาศ," สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรกฎาคม 2532

[17] P. Malison, S. Promwong, N. Sukutamatanti and P. Juengkittigul, "An Indoor Measurement of RFID Transmission Gain for Wireless Body Area Network," The 1st Joint International Conference on Information and Communication Technology (JICT2007), Vol. 1, pp. 21-24, Dec 2007.

[18] P. Malison, S. Promwong and N. Sukutamatanti, "Characterization of Double Directional RFID in an Indoor Environment with Human Body," International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE-2008), Vol. 2, pp. 1027-1031, May 2008.

[19] P. Malison, S. Promwong, N. Sukutamtanti and T. Banpotjit, "Indoor Measurement and Modeling of RFID Transmission Loss at 5.8 GHz with Human Body," The fifth International Conference in Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication and Information Technology (ECTI-CON 2008), Vol. 5, pp. 421-424, May 2008.

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

[21] Promwong, S. Hachitani, W. Ching, G.S. Takada, J. "Characterization of ultra-wideband antenna with human body," ISCIT 2004. IEEE International Symposium on Volume 2, pp. 1213 - 1217, Oct. 2004

[22] Ghaddar, M. Talbi, L. Denidni, T.A. Charbonneau, "Modeling human body effects for indoor radio channel using UTD," Electrical and Computer Engineering, 2004. Canadian Conference, pp. 1357 – 1360, Vol.3, May 2004

[23] B. Gyselinckx, C. Van Hoof, J. Ryckaert, R.F. Yazicioglu, P. Fiorini, V. Leonov IMEC "Human Autonomous Wireless Sensors for Body Area Networks"

[24] 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 2004.

ภาคผนวก

ภาคผนวก
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

งานประชุมในระดับนานาชาติ

1. P. Malison, S. Promwong, N. Sukutamatanti and P. Juengkittigul, "An Indoor Measurement of RFID Transmission Gain for Wireless Body Area Network," The 1st Joint International Conference on Information and Communication Technology (JICT2007), Vol. 1, pp. 21-24, 19-22 Dec 2007.

งานประชุมในระดับนานาชาติ

2. P. Malison, S. Promwong and N. Sukutamatanti, "Characterization of Double Directional RFID in an Indoor Environment with Human Body," International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE-2008), Vol. 2, pp. 1027-1031, 13-15 May 2008.

งานประชุมในระดับนานาชาติ

3. P. Malison, S. Promwong, N. Sukutamtanti and T. Banpotjit, "Indoor Measurement and Modeling of RFID Transmission Loss at 5.8 GHz with Human Body," The fifth International Conference in Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication and Information Technology (ECTI-CON 2008), Vol. 5, pp. 421-424, 14-17 May 2008.

JICT 2007

Proceedings

Joint International Conference on Information Communication Technology

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

JICT 2007 JICT 2007 JICT 2007 JICT 2007 JICT 2007 JICT 2007 JICT 2007

AN INDOOR MEASUREMENT OF RFID TRANSMISSION GAIN FOR WIRELESS BODY AREA NETWORK

Phissanu Malison, Sathaporn Promwong, Nikorn Sukutamatanti and Phattharamon Juengkittigul

Department of Information Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
E-mail: gizza_66@hotmail.com, {kpsathap, ksnikorn}@kmitl.ac.th

ABSTRACT

This paper we consider characterization of radio frequency identification (RFID) transmission gain with human body indoor environment for wireless body area network. In our study, we will arrange the position of RFID on the human body to find the effect from body causing to the RFID performance. Friis transmission formula is used to analyze a signal distortion and transmission performance. The reception is considered to the maximum signal to noise ratio at the receiver in this modeling. We will illustrate the effect with magnitude, phase, path gain and power delay profile. Some experimental examples are shown.

1. INTRODUCTION

In present day, the wireless technology has been developed drastically to prepare to the need of the users. radio frequency identification (RFID) technology is the one of the promising one. This technology is capable of storing electronic data, developed to replace the barcode system, to be tracing system, and to find object by using transfer function data with the radio frequency system [1]. The main component in RFID system is Transponder (Tags) that is used the record the detail and the important data which involves those object and the antenna is implemented in communication channel. Another component is Transceiver (Reader) which is used to connect the data coming from tags and sent it to processing process [2].

RFID system has the significant advantage that is capability in reading data correctly and readily without contacting the object surface. Moreover, it can communicate in several medium and can detect data in unsuitable environment such as more humidity and more vibrating [6]. From these advantages, RFID is bringed to apply on daily activities in present moment. The interesting issue is implementation of RFID technology on human body to locate the position and identify the person. Because the population has grown rapidly, it necessary to separate the detail from each people. To make use comfortable in communication, RFID system is the best choice to be suitable in identifying and locating human body.

In this paper, we investigate the effects of human body on RFID antenna propagation. This scheme is based on the Friis transmission formula [3], adapted for RFID. In the sense that we would like to derive the equivalent antenna gain for RFID systems. The transmission signal is key for the extension of the Friis formula to RFID. To know the actual antenna transfer function, we carried out the experiment with the microstip antenna at transmitter side and receiver side in indoor environment.

2. TRANSMISSION SIGNAL ANALYSIS

In this study, we focus on the transmission signal in the free space. The Friis' transmission formula has been widely used to evaluate the transmission for the narrow band LOS channels [3].

$$G_{\mathrm{Friis}} = \frac{P_{\mathrm{r}}(f)}{P_{\mathrm{t}}(f)} = G_{\mathrm{f}}(f)G_{\mathrm{r}}(f)G_{\mathrm{t}}(f). \quad (1)$$

where $G_{\mathrm{r}}(f)$ and $G_{\mathrm{t}}(f)$ are Rx and Tx antenna gain, respectively.

$$G_{\mathrm{f}}(f) = (\frac{\lambda}{4\pi d})^2. \quad (2)$$

is the free space propagation gain (less than unity in practice), $\lambda = \frac{c}{f}$ is the wavelength, c is the velocity of the light, f is the operating frequency and d is the separation between transmitter and receiver antennas.

The spectral density of the received spectrum $V_{\mathrm{r}}(f)$ is the multiplication between the spectral density of the transmitted spectrum and the channel frequency transfer function $H_{\mathrm{c}}(f)$, which obtained from the measurement. Therefore, the spectral density of the received spectrum can be written as

$$V_{\mathrm{r}}(f) = H_{\mathrm{c}}(f) \cdot V_{\mathrm{t}}(f)\cdot \quad (3)$$

The received signals $v_{\mathrm{r}}(t)$ is calculated by using the inverse Fourier transform, which is

$$v_{\mathrm{r}}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_{\mathrm{r}}(f)e^{j2\pi ft}df. \quad (4)$$

Defining the RFID path loss(PL),as the maximum amplitude of the output signal. Therefore, chosen for the purpose of simulation is given in (5), and is explained by [4]

$$PL(dB) = PL(d_0) + 10nlog(\frac{d}{d_0}). \quad (5)$$

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

And path gain (PG) is a power in the receivers side, we can find in (6) and explained by [4].

$$PG(dB) = -PL(d_0) + 10nlog(\frac{d}{d_0}). \quad (6)$$

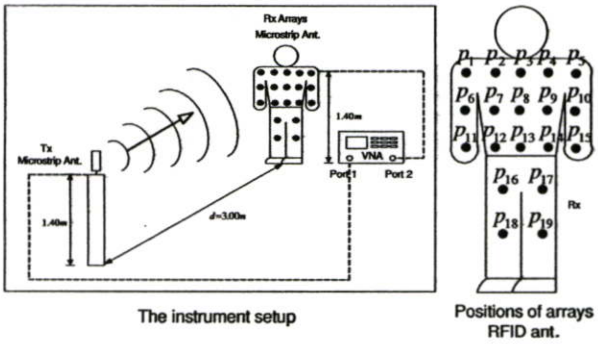


Figure 1. *Measurement setup.*

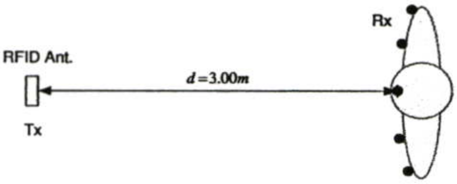


Figure 2. *Top view antenna setting.*

Power delay profile [5] as consider the power signals of receivers. Which $\overline{\tau}$ is average time, $P(\tau_k)$ is power signals, a_k is amplitude of signals and σ_τ is spread time delay.

$$\overline{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k)\tau_k}{\sum_k P(\tau_k)}, \tag{7}$$

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

$$\sigma_\tau = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\overline{\tau})^2}. \tag{9}$$

3. EXPERIMENT SYSTEMS

3.1. Experimental Setup

By using the vector network analyzer (VNA) model HP8510C, complex transfer functions can be measured.

Table 1. *Experimental Setup Parameters.*

Parameter	Value
Frequency range	2 GHz to 3 GHz
Number of frequency points	801
Tx antenna height	1.40 m
Rx antenna fixed point	p_1-p_{19}
Distance between Tx and Rx antenna	~3.0 m

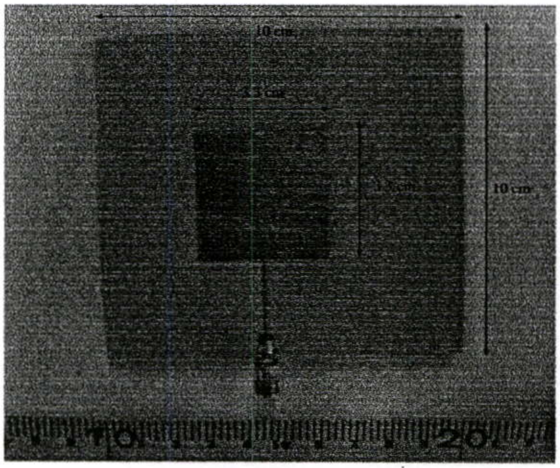


Figure 3. *Microstrip patch antennas.*

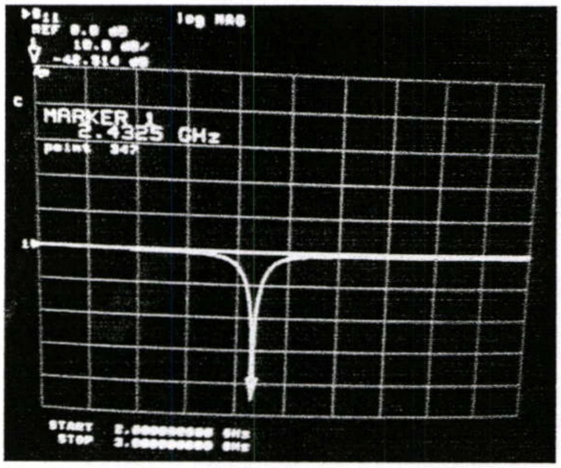


Figure 4. $|S_{11}|$ *Characteristic of antenna under test.*

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 port (Rx). The Tx antenna is put inside the room and the Rx antenna is adhere with human body. The Tx antenna was fixed at the height of 1.40 m, The Rx antennas were fixed at point of position $p_1 - p_{19}$ on human body and separated by d. The limitation of the dynamic range for the measurement system was 80 dB, including separation distance between antennas and cable losses. Fig. 1 shows the configuration of the measurement setup

3.2. Antenna Under Test

In this study, we considered a microstrip antenna which has a frequency range at 2.45 GHz. It was developed by KMITL-Information Engineering's Laboratory that was suitable for the operation with signal. The structure of the RFID antennas is shows in Fig. 3. The both of Tx and Rx antennas are microstrip antenna with width of 10 cm and length of 10 cm used as the antenna under test (AUT). And Fig. 4 shown the reflection coefficient S_{11} of the antenna

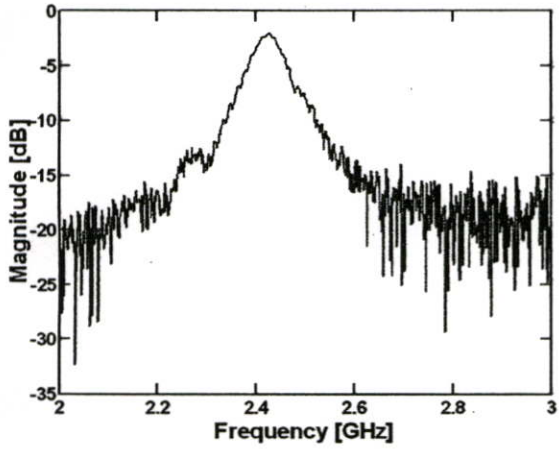


Figure 5. *Antenna transfer function : Magnitude.*

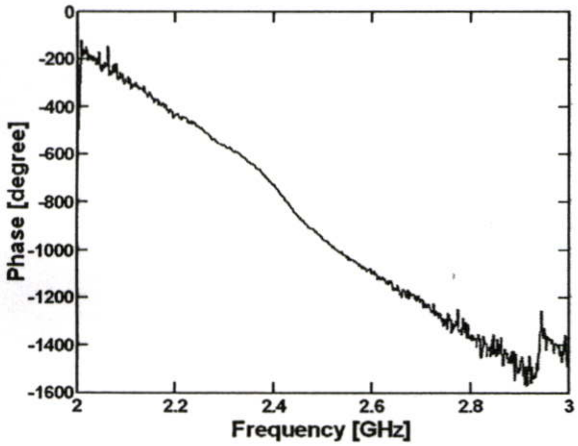


Figure 6. *Antenna transfer function : Phase.*

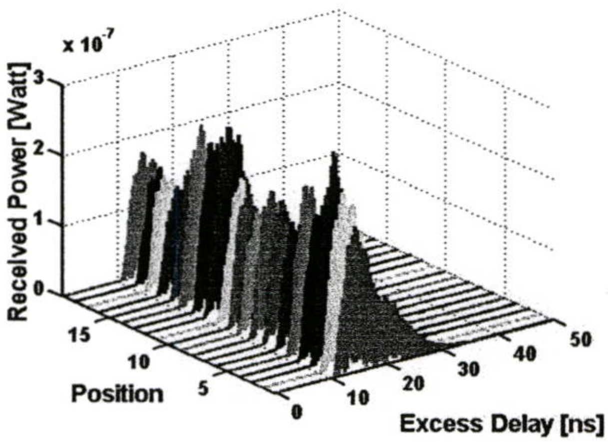


Figure 7. *Power delay profile with human body.*

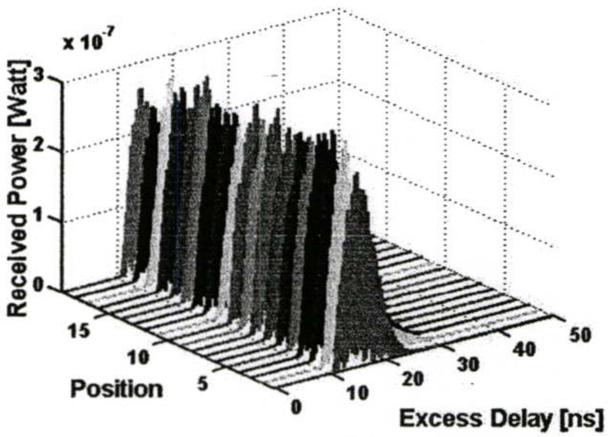


Figure 8. *Power delay profile without human body.*

feed point.

3.3. Parameters of Measurements.

The important parameters for the experiments are listed in Table 1. It is noted that calibration is done at the connectors of the cables to be connected to the antennas. Therefore, all impairments of the antenna characteristics are included in the measured results.

4. RESULTS

From result of experiment as the Fig. 5, it shows magnitude transfer function of antenna in an indoor environment. So the maximum power value is about 2.45 GHz which agrees with the characteristic of antenna under test.

From the result, phase is linear which corresponds with the theory, making this result reliable. Fig. 6 shows the phase of antenna transfer function. Partially non-linear because antenna under test are designed for 2.45 GHz, not cover band.

The power of magnitude group are increase to 2.45 GHz after that the power are drop. So to be in agreement with phase antenna transfer function.

The power delay profile with is human body shown in Fig. 7. The points at position p_3, p_8 and p_{12} are the maximum power because the signal is sent in LOS, which multi path signals interfere a little. Fig. 8 illustrates power delay profile without human body. We observe that, the received power of each point is not different because the human body is not considered in the receiver side.

Finally,Path gain is the power receivers to turn round path loss shown in Fig. 9. The points of position p_3, p_8 and p_{12} are maximum path gain. But path gain depicted in the points which attach on the legs are much less than other points because they are too far from the transmitter.

When we consider every positions between with human body and without human body that the received signals with human body is less than without human body. Because the body will affect to the reception in multi path case, the signal is non-line of sight. So we can use these positions for applying in other equipments.

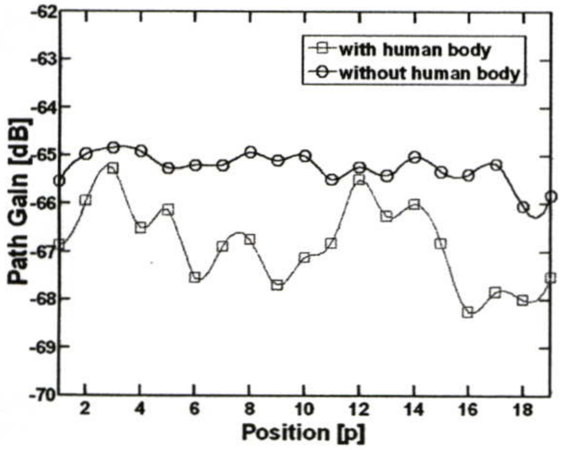


Figure 9. *RFID transmission gain.*

5. CONCLUSIONS

This paper discusses the received signal of RFID antennas which adhere on the human body and use an extension of Friis' transmission formula for contemplate. The experimental examples use the microstrip antenna as the transmitter and the receiver operating in the indoor environment. In this investigation, that the human body has effect to the received signal, which makes the received power decreased.

From the result, the position of the receiver p_3, p_8 and p_{12} are the best position for receive antennas on human body. We can adhere the receiver on appropriate area of human body for design and evaluation of Wireless Body Area Network in RFID systems. So in the future RFID technology will be used by daily activities everybody.

6. REFERENCES

[1] "RFID Multiple Access Methods," Summer semester 2004 Luc Andre Burdet Seminar "Smart Environments"

[2] M.L Ng,P.H Cole, "The reader collision problem in RFID systems", presented in MAPE 2005, Beijing, August 2005.

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

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

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

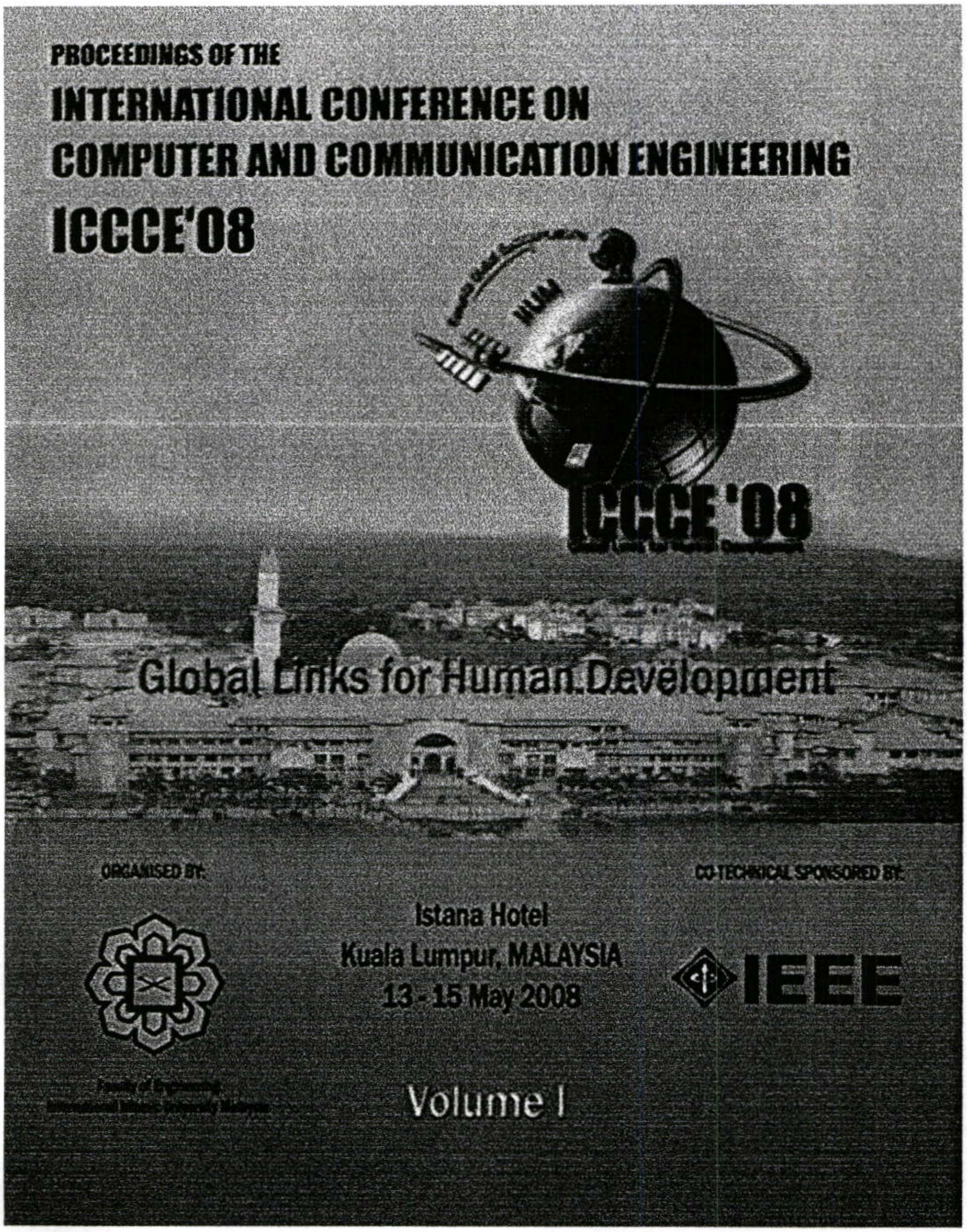
[6] "Smart Environments" Securing RFID with Ultra-wideband Modulation Electrical and Computer Engineering Department. Blacksburg, VA 24061

[7] Promwong, S.; Hachitani, W.; Ching, G.S.; Takada, J. "Characterization of ultra-wideband antenna with human body". ISCIT 2004. IEEE International Symposium on Volume 2, Issue , 26-29 Oct. 2004 Page(s): 1213 - 1217 vol.2

[8] Ghaddar, M.; Talbi, L.; Denidni, T.A.; Charbonneau, A. Electrical and Computer Engineering, 2004. Canadian Conference on Volume 3, Issue, 2-5 May 2004 Page(s): 1357 - 1360 Vol.3 "Modeling human body effects for indoor radio channel using UTD "

[9] P. Apichit ,K. Noppon and C. Monchai, "Experimental Evaluation Scheme of UWB Radio Propagation Channel with Humman Body"

[10] S. Promwong and W. Hachitani, and J. Takada, "Evaluation Scheme of Ultra Wide Band Antenna for Personal Area Network"


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
Volume I

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

Characterization of Double Directional RFID in an Indoor Environment with Human Body

Phissanu Malison, Sathaporn Promwong, Nikorn Sukutamatanti
Department of Information Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
Email (gizza_66@hotmail.com, kpsathap@kmitl.ac.th and ksnikorng@kmitl.ac.th)

Abstract

Radio frequency identification (RFID) system has the significant advantage that is capability in reading data correctly and readily without contacting the object surface. Moreover, it can communicate in several mediums and can detect data in unsuitable environment such as more humidity and more vibrating. From these advantages, RFID is bring to apply on daily activities in present moment [1]. The interesting issue is implementation of RFID technology on human body to locate the position and to identify the person. Because the population has grown rapidly, it necessary to separate the detail from each person. To make usage comfortable in communication, RFID system is the best suitable choice to be suitable in identifying and locating human body.

This paper introduces the concept of measuring double directional channels in RFID systems. Antennas independent channel data were derived by doing the measurements. The data was useful for investigating the impact of RFID antennas and analyzing signal distortion.

I. Introduction

RFID technology is capable of storing electronic data, developed to replace the barcode system, to be tracing system, and to find object by using transfer function data with the radio frequency system. RFID technology is not new because it has around since World War II (in aircraft Identification Friend or Foe systems) and in limited use in inventory management since the 1970s. This technology relies on the packet transferring of information through radio waves or electromagnetic waves. However, it has been the exponential growth in information and communication technologies coupled with the expansion of global production and trade. Therefore, RFID technology becomes useful for managing and tracking large shipments and product sales with a means of identification for security purposes and supply chain management [2].

The communication process between the Transceiver and Transponder is managed and controlled by one of several protocols, such as the ISO 15693 and ISO 18000-3 for HF or the ISO 18000-6, and EPC for UHF. Basically what happens when the transceiver is switched on, which is it starts emitting a signal at the selected frequency band (typically 860 - 915MHz for UHF or 13.56MHz for HF). Any corresponding transponder in the vicinity of the transceiver will detect the signal and use the energy from it to wake up and supply operating power to its internal circuits. When the transponder has decoded the signal as valid, it replies to the transceiver, and indicates its presence by modulating the transceiver field [3].

This paper, we discuss the characterization of double direction in RFID system with human body. We will know the efficiency of RFID system by measuring and analyzing transmission power signals. The both of the transmitter and the receiver antennas are microstrip patch antennas at 2.45 GHz [8]. It was developed by King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Thailand that was suitable for the operation with this signals. The Friis's transmission formula has been widely used to analyze transfer function and evaluate the transmission in line of sight (LOS) channel. The reception consider the maximum signal to noise ratio at the receiver in this double directional modeling.

The results in this paper are shown in path loss that is the maximum amplitude of the output signal, in correlation coefficient that is the efficiency receiver side, in delay characteristic and bit error rate are the probability of error receive signals on the double direction of RFID system in indoor environment. We can apply to use with human for design and evaluation

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

of wireless body area network (WBAN) in RFID systems.

II. Transmission Signal Analysis

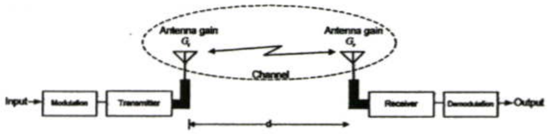


Figure 1. **RFID transmission in free space.**

In this study, we focus on transmission channel in free space by using Friis's transmission formula [4] to evaluate signal between transmitter and receiver in narrow band as shown in equation (1). Transmission gain in free space was written in that equation.

$$G_{friis}\frac{P_r}{P_t}=G_tG_r\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^n \quad (1)$$

where G_t and G_r are the antenna gain of the transmitting and receiving antennas, respectively. The free space propagation gain (less than unity in practice), $\lambda=c/f$ is the wavelength, c is the velocity of the light, f is the operating frequency and d is the separation between transmitter and receiver antennas.

The transmit signal we use sine wave in microwave band and modulate signal by amplitude shift keying (ASK). The transmit signal can be written as

$$v(t)=A\sin(2\pi ft) \quad (2)$$

$$f_{ask}(t)=m(t)\cos(\omega_c t) \quad (3)$$

Path loss (P_L), is the maximum amplitude of the output signal. Therefore, chosen for the purpose of simulation is given in (4), and is explained by [5]

$$P_L(dB)=P_L(d_0)+10n\log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (4)$$

where d_0 is arbitrary reference distance, n is a value that depends on the surroundings and building types, and d is distance between two antennas (Tx1 and Rx, Tx2 and Rx).

TABLE 1. Path loss exponent

Propagation Environment	n
Free Space	2
Urban Area	2.7 - 3.5
Shadowed Urban Area	3 - 5
In-Building Line-of-Sight	1.6 - 1.8
Obstructed In Building	4 - 6
Obstructed In Factory	2 - 3

Path of signal propagation between transmitter and receiver in multi direction and each signal is transferred in the different distance. Some signals will be transfer between transmitter and receiver in directional. This signal will be transfer to the receiver faster than other paths while multi direction has path loss from the reflection. This multi direction signal propagation spent more time and more delay than other signals called Delay spread. That means each signal has different transferring time so the delay time of receiver signal must be considered. The time dispersion was analyze from Mean Excess delay parameter and Root Mean Square (RMS) delay spread parameter are shown in equation (5) and (6) [6].

$$\bar{\tau}=\frac{\sum_{k=1}^{n}a_k^2\tau_k}{\sum_{k=1}^{n}a_k^2}=\frac{\sum_{k=1}^{n}P(\tau_k)\tau_k}{\sum_{k=1}^{n}P(\tau_k)} \quad (5)$$

where a_k is the amplitude of signal at k path. τ_k is the delay spread of signal at k path. $P(\tau_k)$ is the power of signal at k path. In equation (7), we will use it including with equation (5) and (6) to find the power delay profile (PDP).

$$\sigma_\tau=\sqrt{\overline{\tau^2}-(\bar{\tau})^2} \quad (6)$$

$$\overline{\tau^2}=\frac{\sum_{k=1}^{n}a_k^2\tau_k^2}{\sum_{k=1}^{n}a_k^2}=\frac{\sum_{k=1}^{n}P(\tau_k)\tau_k^2}{\sum_{k=1}^{n}P(\tau_k)} \quad (7)$$

The correlation coefficient is ratio between receive correlation and transmit correlation, given in (8). And explain by [7].

$$C_c=\frac{\int_0^\infty |V_c(f,d)|df}{\int_0^\infty |V_c(f,d)|^2 df\cdot|H_c(f,d)|^2 df} \quad (8)$$

Bit error ratio (BER) is the number of error bits divided by the total number of bits transmitted, received, or processed over some assumed period.

$$BER = Q\left[\sqrt{\frac{(E_b/N_0) f_b C_c}{b_r}}\right] \qquad (9)$$

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2/2} dt \qquad (10)$$

Q is cumulative distribution function (Gaussian distribution), $x \geq 0$. E_b is the energy in one bit and N_0 is the noise power spectral density, so 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, as following [7].

III. EXPERIMENTAL

A. Measurement Setup

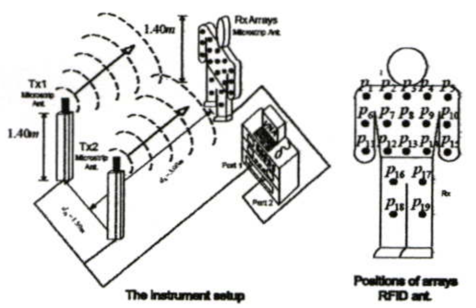


Figure 2. **Measurement setup.**

The RFID channel transfer function is measured in frequency domain by using the vector network analyzer (VNA) in the indoor environment at the room of Department of information engineering (KMITL). 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 port (Rx). Fig. 1 shows the configuration of the measurement setup. Distance between Tx1 and Tx2 as 1.5 m and fixed at height of 1.40m. Rx antennas were fixed at point of position p_1 - p_{19} on human body. The transmitters and receiver were separated by d_1 and d_2, respectively. Figure 2 shows top view antenna setting.

B. Antenna Under Test

We used a microstip antenna which has a frequency at 2.45 GHz. It was developed by KMITL's Lab that was suitable for the operation with signal. The structure of the RFID antennas and the reflection coefficient S_{11} of the antenna feed point are shows in Figure 3 Tx and Rx antennas are microstip antenna with width of 10 cm and length of 10 cm used as the antenna under test (AUT).

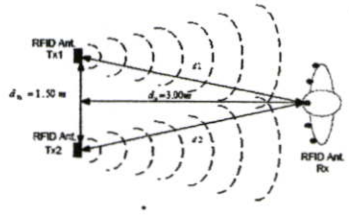


Figure 3. **Top view antenna setting.**

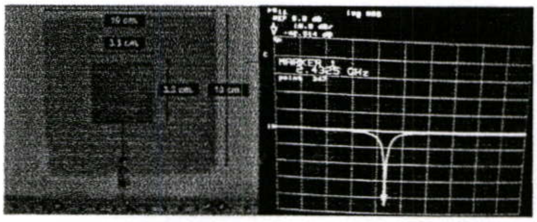


Figure 4. **Antenna under test and characteristic of antenna.**

C. Parameters of Measurements

The measurement parameters are listed in Table II. It is note that the calibration of VNA is done at the connectors of the cables to be connected to the antennas. Therefore, all impairments of the antenna characteristics are included in the measurement results.

TABLE 2. EXPERIMENTAL SETUP PARAMETERS

Parameter	Value
Frequency range	2-3 GHz
Number of frequency points	801
Tx1 and Tx2 antennas height	1.40 m
Rx antenna fixed point	P_1 - P_{19}
Distance between Tx1 antenna and Tx2	1.50 m
Distance between Tx1 antenna and Rx	d_1
Distance between Tx2 antenna and Rx	d_2

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

Path loss of signal was shown in figure 5. At p_{16} to p_{19}, which receiver antenna is adhere on the lags is the maximum path loss. At p_1 to p_5, which receiver antenna is adhere on the chest is the minimum path

loss. The result in each position was close to each other. In case of without human body, path loss of signal in each position is less than the case of human body.

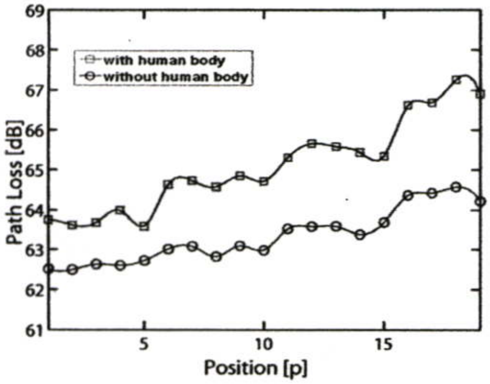


Figure 5. **Path loss of receiver signal.**

Power delay spread in case of comparison between without human body model and with human body model as shown in figure 6 and figure 7 The result are shown that human body affects RFID propagation with wireless body area network. Received power decreases in all positions. In figure 7 is shown 'that received power decreases from P_1 to P_{19}. Experiment of double directional using two transmitter antennas, value of power delay profile higher than using one transmitter antenna and in same way the value is close to each other.

For the value of correlation coefficient with human body are shown in figure 8. We can see that a value of correlation coefficient of position P_1 to P_{19} have about 0.35 - 0.39.

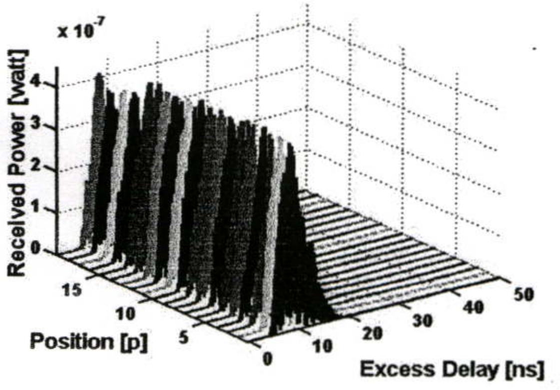


Figure 6. **Power delay profile without human body.**

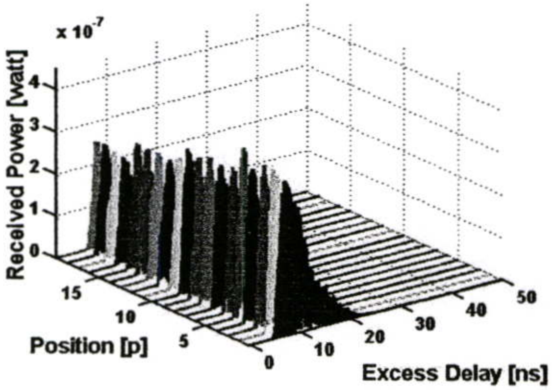


Figure 7. **Power delay profile with human body.**

Finally, we can find performance this model from bit error rate. Figure 9 shown bit error rate with human body, which point of positions P_{16}, P_{17}, P_{18} and P_{19} (top lines in figure 9) are error more than other positions (bottom lines in figure 9). From result, we can use best of these positions for applying in other equipments.

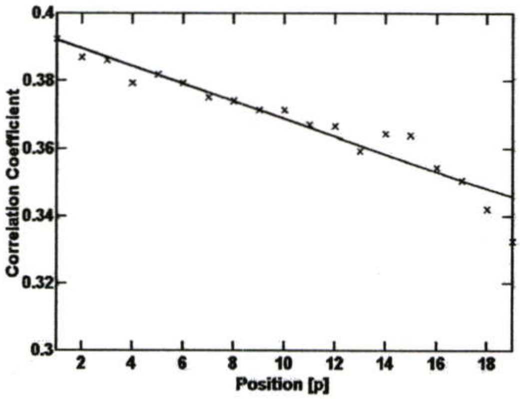


Figure 8. **Correlation coefficient of receiver signal with human body.**

V. Conclusions

This paper is studied on experimental evaluation scheme of RFID propagation channel with wireless body area network. By creating the model to find the effect from human body that impacts on communication system of RFID propagation channel with wireless body area network. It was shown fading and distortion of received signal. From analyzing, using of two transmitter antennas find the received signal on human body that is better than using of one

transmitter antenna [8]. Therefore, this research is shown the using of two transmitter antennas to reduce signal distortion in case of the receiver antenna stick on human body. In the future, this experiment will be benefit for researching and developing communication system of RFID propagation channel with wireless body area network.

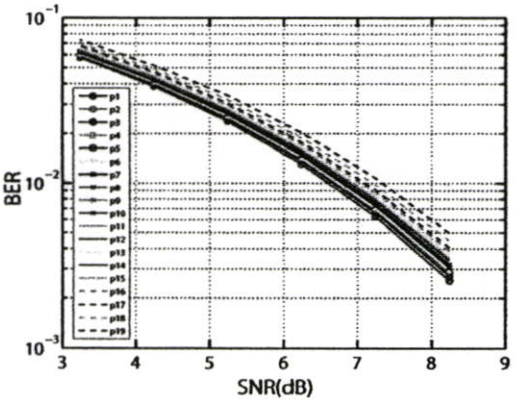


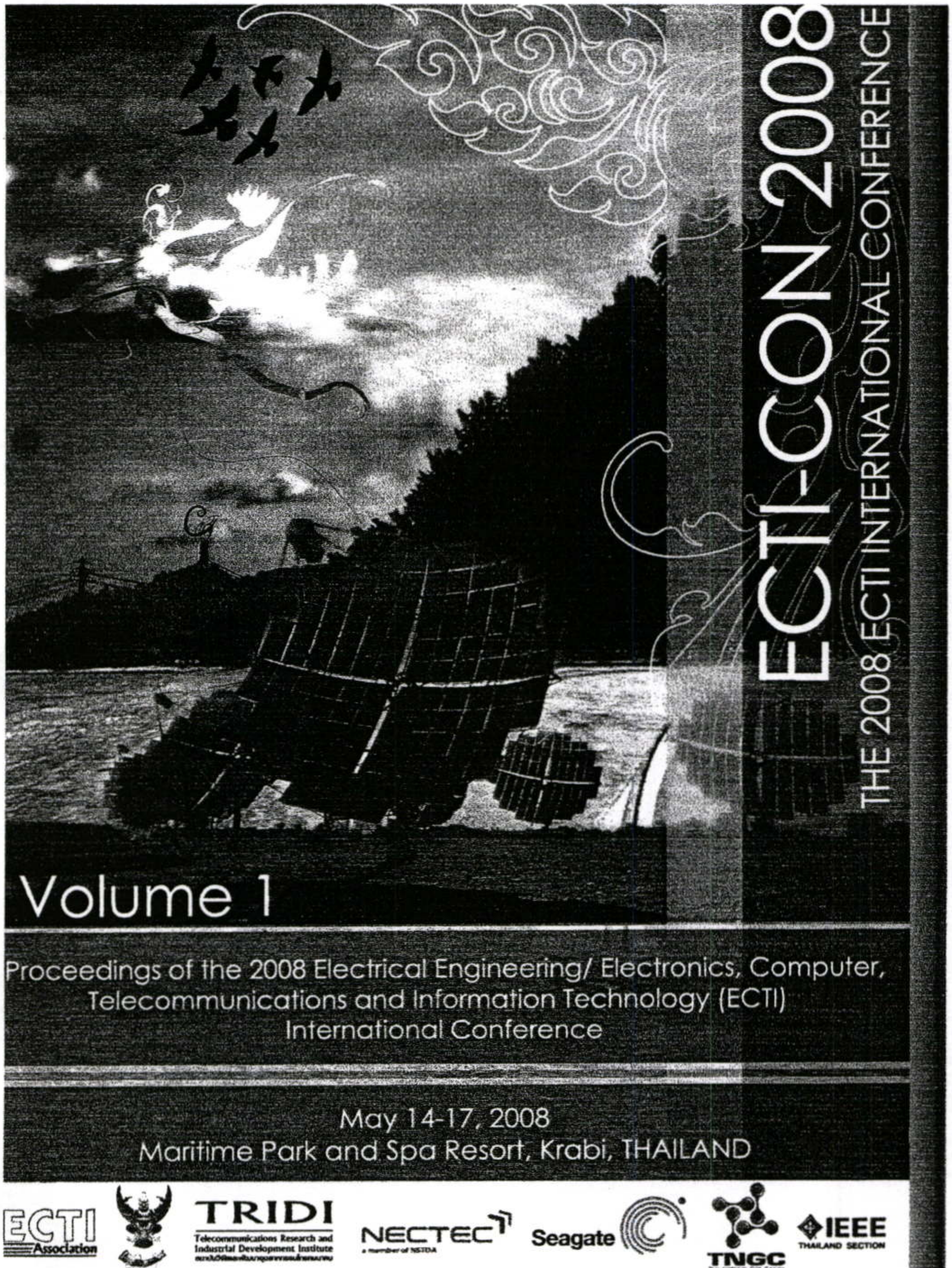
Figure 9. **Bit error rate of receiver signal with human body.**

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank Mr. Monchai Chamchoy from King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand for his design microstrip antennas 2.45 GHz. The authors also would like to thank Mr. Thanawat Banpotjit form King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand for help in the experiments.

REFERENCES

[1] "RFID Multiple Access Methods," Summer semester 2004 Luc Andre Burdet Seminar "Smart Environments"
[2] M.L Ng,P.H Cole, "The reader collision problem in RFID systems" presented in MAPE 2005, Beijing, August 2005.
[3] "A Basic Introduction to RFID Technology and its use in the supply chain," January 2004.
[4] H.T. Friis, "A Note on a Simple Transmission Formula," Proc. IRE, vol.34, pp. 254-, May 1946.
[5] "Quantitative Evaluation of Ultra Wideband Impulse Radio System," dissertation by Sathaporn Promwong, Department of Communications and Integrated Systems Graduate School of Science and Engineering,September 3, 2004.
[6] Leon W.Couch 2, Digital and Analog Communication Systems, Sixth Edition,2002.
[7] T.S Rappaport, "Wireless Communication - Principles and Practice," Practice Hall, Second Edition, 2002.
[8] P. Malison, S. Promwong, N. Sukutamatanti and P. Juengkittigul, "An Indoor Measurement of RFID Transmission Gain for Wireless Body Area Network," Joint International Conference on Information and Communication Technology (JICT2007), pp. 21-24, 19-22 Dec 2007.
[9] Bridgelall, R., "Bluetooth/802.11 Protocol Adaptation for RFID Tags, Symbol Technologies," Research and Development, One Symbol Plaza, Holtsville, NY 11742, USA.
[10] Ghaddar, M.; Talbi, L.; Denidni, T.A.; Charbonneau, "Modeling human body effects for indoor radio channel using UTD," A. Electrical and Computer Engineering, 2004. Canadian Conference on Volume 3, Issue, 2-5 May 2004 Page(s): 1357 - 1360 Vol.3
[11] Bert Gyselinckx, Chris Van Hoof, Julien Ryckaert, Refet Firat Yazicioglu, Paolo Fiorini, Vladimir Leonov IMEC "Human++: Autonomous Wireless Sensors for Body Area Networks"
[12] P. Apichit ,K. Noppon and C. Monchai, "Experimental Evaluation Scheme of UWB Radio Propagation Channel with Humman Body"


ECTI-CON 2008
THE 2008 ECTI INTERNATIONAL CONFERENCE
Volume 1
Proceedings of the 2008 Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) International Conference
May 14-17, 2008
Maritime Park and Spa Resort, Krabi, THAILAND
ECTI Association
TRIDI
Telecommunications Research and Industrial Development Institute
NECTEC
Seagate
TNGC
IEEE
THAILAND SECTION

Indoor Measurement and Modeling of RFID Transmission Loss at 5.8 GHz with Human Body

Phissanu Malison, Sathaporn Promwong, Nikorn Sukutamatanti and Thanawat Banpotjit

Department of Information Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
Email: gizza_66@hotmail.com, {kpsathap, ksnikorn}@kmitl.ac.th

***Abstract*—The radio frequency identification technology in frequency band at 5.8 GHz is becoming the important part of a high-speed data rate in the fields of narrow band application radio wave and in short range wireless communication system. According, the best performance of effects with human body in an indoor environment for the wireless body area networks are necessary to study. This paper, an experimental study and analyze of effects in the radio frequency identification performance of transmission signal with human body. Furthermore, we considers the characteristics of human body in each distances by using the vector network analyzer, and the microstrip antenna for both transmitter and receiver antenns. Therefore, this experiment will be benefit for researching and developing communications system of RFID propagation channel with wireless body area networks.**

***Index Terms*—RFID, WBAN, microwave antenna**

I. Introduction

Radio frequency identification (RFID) is wireless technology used to identify tags. These tags may be carried by people or animals or object or vehicles [1]. Although some people think that the first known device may have been invented by Leon There min as an espionage tool for the Russian Government in 1945, the first real usage of RFID devices predates that. During World War II the United Kingdom used RFID devices to distinguish returning English airplanes from inbound German ones. RADAR was only able to signal the presence of a plane, not the kind of plane it was [2].

ISO has developed RFID standards for automatic identification and item management. This standard, known as the ISO 18000 series, covers the air interface protocol for systems likely to be used to track goods in the supply chain. They cover the major frequencies used in RFID systems around the world. The seven parts are 18000 − −1: Generic parameters for air interfaces for globally accepted frequencies, 18000 − −2: Air interface for 135 KHz, 18000 − −3: Air interface for 13.56 MHz, 18000 − −4: Air interface for 2.45 GHz, 18000–5: Air interface for 5.8 GHz, 18000 − −6: Air interface for 860 MHz to 930 MHz and 18000 − −7: Air interface at 433.92 MHz [3].

The interesting issue is implementation of RFID technology on human body to locate the position and to identify the person. Because the population has grown rapidly, it necessary to separate the detail from each person. To make usage comfortable in communication, RFID system is the best suitable choice to be suitable in identifying and locating human body.

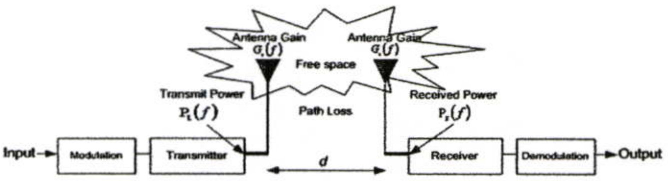


Fig. 1. RFID communication in free space.

In this paper, we discuss the human body effects on the RFID propagation over the frequency band 5.8 GHz is investigated. The experimental channels are taken in an environmental. However, the characteristics of the transmitter and receiver antennas are included in the channel. In the experiment, a handmade, small-size microstrip antennas are used at the transmitter and receiver. From the experimental results, the channel parameters such as the magnitude and phase antenna tranfer function, path gain that is the maximum amplitude of the output signal, the correlation coefficient that is the efficiency receiver side and bit error rate are seen directly to be affected by the human body.

II. RFID System Analysis

We use Friis's transmission formula [4] to evaluate signal between transmitter and receiver in RFID system. Because Friis's transmission formula is suitable and agreeable for narrow band communication. The power transfer ratio in free space is give by equation (1).

$$G_{\text{friis}} = \frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^n. \quad (1)$$

where G_r and G_t are the antenna gain of the transmitting and receiving antennas, respectively. The free space propagation gain (less than unity in practice), $\lambda = \frac{c}{f}$ is the wavelength, c is the velocity of the light, f is the operating frequency and d is the separation between transmitter and receiver antennas.

The transmit signal we use sine wave in microwave band, power transmit is 0 dB and modulate signal by amplitude shift keying (ASK) technic. 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

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

transfer function $H_c(f)$, which obtained from the measurement. Therefore, the spectral density of the received spectrum can be written as

$$V_r(f) = H_c(f) \cdot V_t(f) \cdot \tag{2}$$

The indoor environment path loss (P_L) model closen for the purpose of simulation in dB can be derived as shown below, and is explained by [5,6]

$$P_L(dB) = P_L(d_0) + 10nlog(\frac{d}{d_0}). \tag{3}$$

where d_0 is arbitrary reference distance, n is a value that depends on the surroundings and building types, and d is distance between transmitter (Tx) and receiver (Rx).

For path gain (P_G) is a power in the receivers side, we can find in (4) and explained by [5,6].

$$P_G(dB) = -[P_L(d_0) + 10nlog(\frac{d}{d_0})]. \tag{4}$$

The correlation coefficient is ratio between receive correlation and transmit correlation, given in (5). And explain by [6].

$$C_c = \frac{\int_0^\infty |V_c(f,d)|df}{\int_0^\infty |V_c(f,d)|^2 df \cdot \int_0^\infty |H_c(f,d)|^2 df}. \tag{5}$$

And bit error ratio (BER) are the probability of error receive signals can also be defined in terms of probability of error, can be written as

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\alpha e^{-t^2/2} dt, \tag{6}$$

$$BER = Q\left[\sqrt{\frac{(E_b/N_0) f_b C_c}{b_r}}\right]. \tag{7}$$

Q is cumulative distribution function (Gaussian distribution), $x \geq 0$. 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, as following [5,6,7].

III. Experimental System

A. Measurement Setup

The RFID channel transfer function is measured in frequency domain by using the vector network analyzer (VNA) in the indoor environment at the room of information engineering deparment in KMITL. 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 port (Rx). Fig. 2 show the configuration of the measurement setup. Tx was fixed at height of 1.40 m. Rx antennas was fixed at point of position $p_1 - p_{19}$ on human body. The transmitters and receiver were separated by d. In experiment, we set receiver with human body of the distance at 1.5 m 3.0 m and 5.0 m respectively.

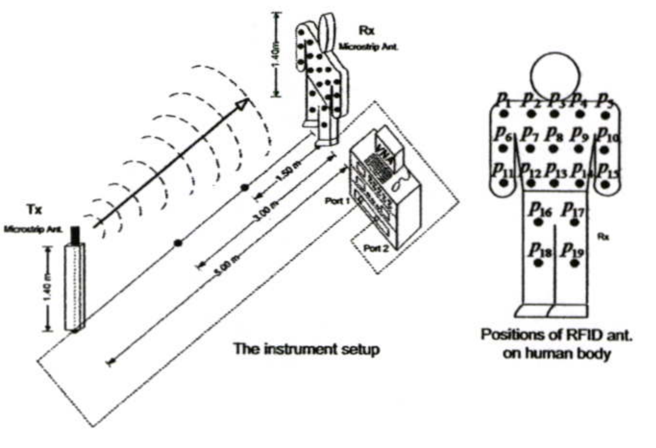


Fig. 2. The instrument setup.

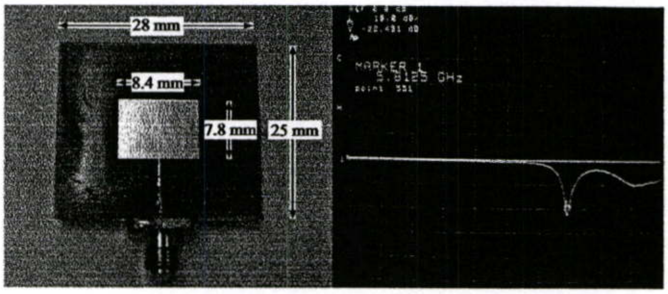


Fig. 3. Microstrip patch antennas and $|S_{11}|$ Characteristic of AUT.

B. Antenna Under Test

In the experiment, we consider uesd the microstrip antenna at frequency band 5.8 GHz and the size $25x28$ mm is used both of the Tx and Rx antennas. The structure of the RFID antennas and the reflection coefficient S_{11} of the antenna feed point are shows in Fig.3.

C. Parameters of Measurements.

The measurement parameters are listed in Table 1. It is note that the calibration of VNA is done at the connectors of the cables to be connected to the antennas. Therefore, all impairments of the antenna characteristics are included in the measurement results.

IV. Experimental Results

Figs. 4 and 5 are shown magnitude and phase antenna transfer function of distance at 1.5 m 3.0 m and 5.0 m,

TABLE I
Experimental Setup Parameters.

Parameter	Value
Frequency range	5.3 to 6.3 GHz
Number of frequency points	801
Tx antennas height	1.40m
Rx antenna fixed point	p_1-p_{19}
Distance between Tx and Rx	1.50 m, 3.00 m, 5.00 m

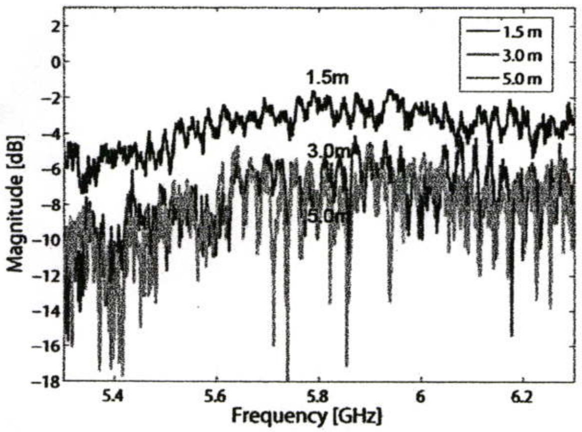


Fig. 4. The magnitude of antenna transfer function of distance at 1.5 m, 3.0 m and 5.0 m.

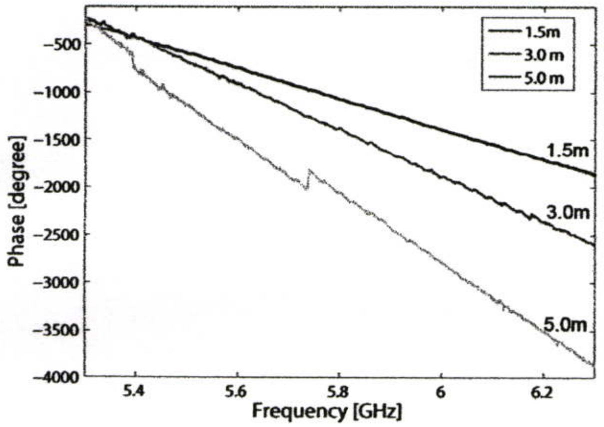


Fig. 5. The phase of antenna transfer function of distance at 1.5 m, 3.0 m and 5.0 m.

respectively. From the results magnitude of the distance at 1.5 m is highest and phase is very linear, at 3.0 m have noises little bit not disturb system. The receive signal for distance between Tx and Rx antennas at 5.0 m have noises so much, effect to magnitude and phase is non-linear.

The path loss are compare without human body and with human body. In case of without human body path loss values are less than with human body and values of position on human body are nearly. For case of with human body, position on the middle human body are minimum path loss because human body has effect to receiver signals in each area. the path loss are increase follow distance between Tx and Rx antennas, saparate at 1.5 m is better than 3.0 m,and 5.0 m every case.

The values of correlation coefficient of position p_1 to p_{19} have about $0.98 - 0.81$ without human body and about $0.96 - 0.59$ with human body, shows in Figs. 8 and 9. We can see that a values of correlation coefficient of the distance at 1.5 m better than 3.0 m and 5.0 m, respectively.

Finally, In Figs. 10, 11 and 12 are shown the comparison bit error rate between the case without human body and with human body of performance in the model of the distance at 1.5 m, 3.0 m and 5.0 m, respectively. In the without human body case, each of position are not difference. In the case with human body, every each of position are disperse and error more than without human body case every distances in experimental. From result, we can use best of these positions for applying in other equipments.

V. Conclusions

The transmission characteristics of RFID antenna with human body using Friis transmission formula in order to take into account the transmit signal, the experimental examples using the microstrip antenna at 5.8 GHz as the transmitter and the receiver side. Find the effect from human body that impacts on communication system of RFID propagation channel with wireless body area network. It was shown fading and distortion of received signal in each distances. Hence, the RFID communication system with human body design must consider the effects of human body when high data transmission rates are required. This technique gives very accurate results and is very useful for design and evaluation of RFID system with human body.

VI. Acknowledgement

The authors would like to thank Mr. Nutthawut Songthapthim from King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand for his design microstrip antennas 5.8 GHz. The authors also would like to thank Mrs. Kannita Tippayaian and Mrs. Tipsumon Kikkraisuksom form King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand for help in the experiments.

References

[1] "A Basic Introduction to RFID Technology and its use in the supply chain," January 2004.

[2] M.L Ng,P.H Cole, "The reader collision problem in RFID systems," presented in MAPE 2005, Beijing, August 2005.

[3] W. Noothong, N. Panitantum, A. Yordthein, A. Worapishetand M. Thamsirianunt ASIC Design of a Single Chip CMOS RFID Transponder, NECTEC, Slide presentation, 2002.

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

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

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

[7] "Quantitative Evaluation of Ultra Wideband Impulse Radio System," dissertation by Sathaporn Promwong, Department of Communications and Integrated Systems Graduate School of Science and Engineering, September 3, 2004.

[8] "RFID Multiple Access Methods," Summer semester 2004 Luc Andre Burdet Seminar "Smart Environments"

[9] H. Ghannoum, R. D'Errico, C. Roblin, and X. Begaud, "Characterization of the UWB on-body propagation Channel"

[10] P. Malison, S. Promwong, N. Sukutamatanti and P. Juengkittigul, "An Indoor Measurement of RFID Transmission Gain for Wireless Body Area Network," Joint International Conference on Information and Communication Technology (JICT2007), pp. 21-24, 19-22 Dec 2007.

[11] Ghaddar, M.; Talbi, L.; Denidni, T.A.; Charbonneau, A. "Modeling human body effects for indoor radio channel using UTD," Electrical and Computer Engineering, 2004. Canadian Conference on Volume 3, Issue, 2-5 May 2004.

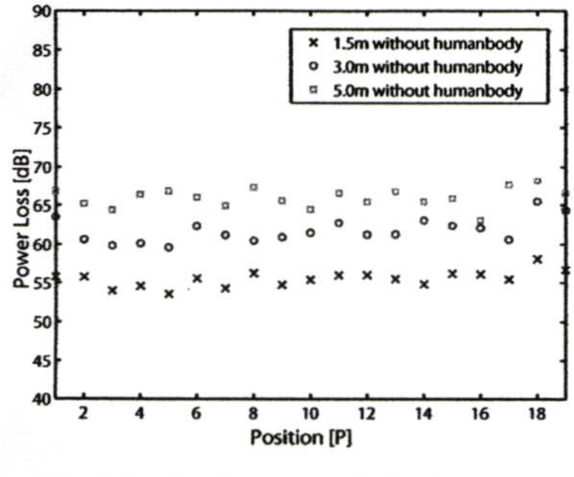


Fig. 6. Path loss of receiver signal without human body.

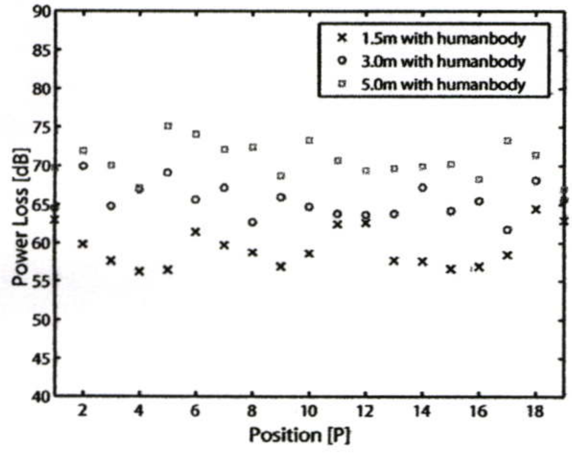


Fig. 7. Path loss of receiver signal with human body.

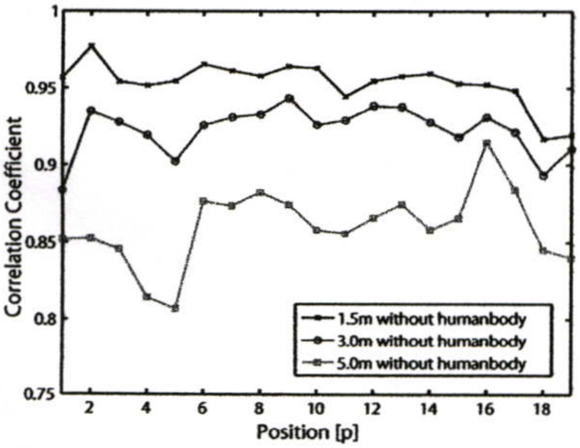


Fig. 8. Correlation coefficient of receiver signal without human body.

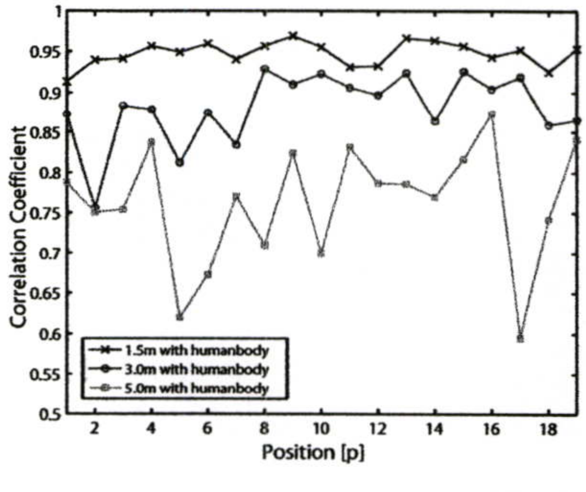


Fig. 9. Correlation coefficient of receiver signal with human body.

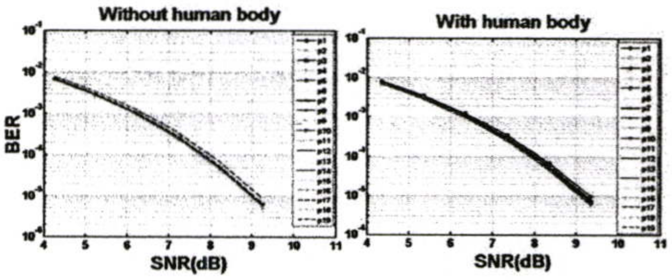


Fig. 10. Bit error rate of receiver signal without human body and with human body at 1.5 m.

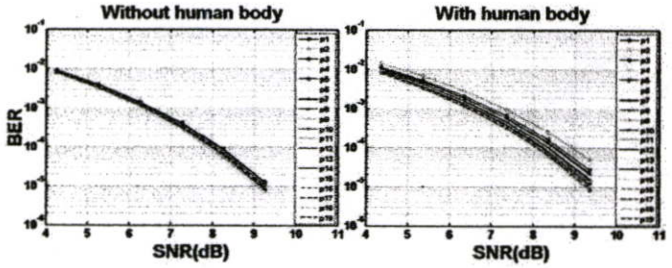


Fig. 11. Bit error rate of receiver signal without human body and with human body at 3.0 m.

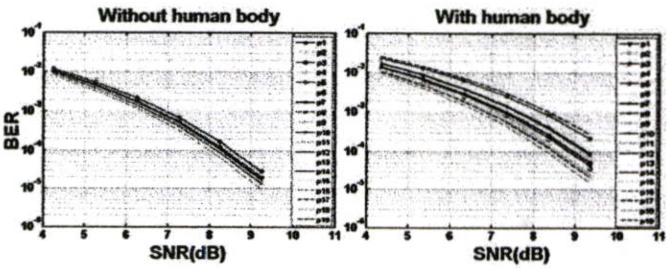


Fig. 12. Bit error rate of receiver signal without human body and with human body at 5.0 m.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายพิษณุ มะลิซ้อน
วัน เดือน ปีเกิด	25 มกราคม 2527
ที่อยู่	7/60 ถ. ประชานิมิต ต. ท่าอิฐ อ. เมือง จ. อุตรดิตถ์ 53000
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์อิเล็กทรอนิกส์ จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปี พ.ศ. 2548

ผลงานวิจัย

พ.ศ.2550 P. Malison, S. Promwong, N. Sukutamatanti and P. Juengkittigul, "An Indoor Measurement of RFID Transmission Gain for Wireless Body Area Network," The 1st Joint International Conference on Information and Communication Technology (JICT2007), pp.21-24, Dec 2007, Vientiane, Lao PDR.

พ.ศ.2551 P. Malison, S. Promwong and N. Sukutamatanti, "Characterization of Double Directional RFID in an Indoor Environment with Human Body," International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE-2008), pp. 1027-1031, May 2008, Kuala Lumpur, Malaysia.

พ.ศ.2551 P. Malison, S. Promwong, N. Sukutamatanti and T. Banpotjit, "Indoor Measurement and Modeling of RFID Transmission Loss at 5.8 GHz with Human Body," The fifth International Conference in Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication and Information Technology (ECTI-CON 2008), Vol. 5, pp. 421-424, May 2008, Krabi, Thailand.