

ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ UWB Rake ในสภาวะช่องสัญญาณ
ภายในอาคาร

PERFORMANCE INVESTIGATION OF UWB RAKE RECEIVER IN
REALISTIC INDOOR CHANNELS

วรวุฒิ ดวงเดือน
WORAWOOT DUANGDEUN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ UWB Rake ในสภาวะช่องสัญญาณ
ภายในอาคาร

PERFORMANCE INVESTIGATION OF UWB RAKE RECEIVER IN
REALISTIC INDOOR CHANNELS



วรวุฒิ ดวงเดือน

WORAWOOT DUANGDEUN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

74603

- 8 ต.ค. 2550

| |
|----------|
| b..... |
| 11828A1A |
| i..... |

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

**PERFORMANCE INVESTIGATION OF UWB RAKE RECEIVER IN
REALISTIC INDOOR CHANNELS**

WORAWOOT DUANGDEUN

**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**

2007

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRAEANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ UWB Rake ในสภาวะช่องสัญญาณภายในอาคาร
Performance Investigation of UWB Rake Receiver in Realistic Indoor
Channels

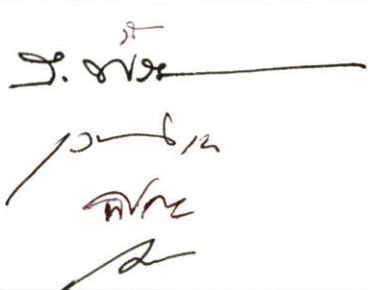
นักศึกษา นายวรวิทย์ ดวงเดือน

รหัสประจำตัว 48061015

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.มนต์ชัย แซ่มช้อย

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | | ลายมือชื่อ |
|--------------------------|------------|--|
| รศ.นิกร | สุชุมตันติ |  |
| อาจารย์สถาพร | พรหมวงศ์ | |
| รศ.เวช | วิเวก | |
| ผศ.พิชญ | สุพรรณกุล | |
| ผศ.มนต์ชัย | แซ่มช้อย | |

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 30 เมษายน 2550 เวลา 09.00-11.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-401)


บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว
(รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....25.....เดือน.....พฤษภาคม.....พ.ศ.2550.....

| | |
|-----------------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ UWB Rake ในสภาวะ |
| | ช่องสัญญาณภายในอาคาร |
| นักศึกษา | นายวรวิฒิ ดวงเคื่อน |
| รหัสนักศึกษา | 48061015 |
| ปริญญา | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมสารสนเทศ |
| พ.ศ. | 2550 |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ | ผศ.มนต์ชัย แซ่มซ้อย |

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake เมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่ง บนพื้นฐานของช่องสัญญาณจริงภายในอาคารซึ่งได้รับผลกระทบจากการบดบังจากร่างกายมนุษย์ โดยศึกษาถึงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake ชนิดต่างๆ คือ PRake, SRake และ ARake ภายใต้ผลการทดสอบช่องสัญญาณเมื่อมีมนุษย์เข้ามาบดบังการสื่อสาร พร้อมทั้งยังประเมินประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ ARake เมื่อใช้การประมาณช่องสัญญาณแบบ MMSE และ LS บนพื้นฐานของช่องสัญญาณจริงภายในอาคารแบบ S-V สำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งผลที่ได้จากการสำรวจประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake ทั้ง 3 ชนิดทำให้ทราบว่าเครื่องรับชนิด ARake เป็นเครื่องรับที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดและการเลือกใช้ตัวประมาณช่องสัญญาณแบบ MMSE ในเครื่องรับแบบ ARake ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้ตัวประมาณแบบ LS ประมาณ 3 dB ในทุกๆ สภาพแวดล้อมภายในอาคาร ซึ่งผลการตรวจสอบทั้งหมดสามารถช่วยในการออกแบบเครื่องรับแบบ Rake ให้เหมาะสมกับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งได้ในอนาคต

| | |
|-----------------------|---|
| Thesis Title | Performance Investigation of UWB Rake Receiver in Realistic Indoor Channels |
| Student | Mr. Worawoot Duangdeun |
| Student ID. | 48061015 |
| Degree | Master of Engineering |
| Program | Information Engineering |
| Year | 2007 |
| Thesis Advisor | Asst. Prof. Monchai Chamchoy |

ABSTRACT

This thesis proposes the performance investigation of the Rake receiver for ultra-wideband communication in the realistic indoor channel based on measurement results. The result of human body shadowing effects from measurement channel is included into the realistic indoor channel of S-V model. The performance of 3 UWB Rake receivers, namely PRake, SRake and ARake based on the measurement channel with the human body shadowing effects are investigated. Consequently, the performance of LS and MMSE channel estimator in the case of including channel impulse response are examined. As the simulation results, the ARake performs better than PRake and SRake for both with and without human body shadowing. And then, the performance of Rake receiver with the MMSE channel estimator is better than with the LS channel estimator about 3 dB for all UWB indoor channels. From the investigation results, the study on number of Rake finger, the UWB Rake structure and the channel estimator can be obtained for designing the high performance UWB communication system.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผศ. มนต์ชัย เข้มชัย ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ. พิชญ์ สุพรรณกุล และ อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ ข้าพเจ้า รู้สึกทราบซึ่งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ทั้งสามท่านและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ ให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วรวิมล ดวงเดือน

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญตาราง..... | IX |
| สารบัญรูป..... | X |
| รายการคำย่อและสัญลักษณ์..... | XII |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา..... | 2 |
| 1.3 สมมติฐานของการศึกษา..... | 3 |
| 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย..... | 4 |
| 1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน..... | 4 |
| 1.6 ขอบเขตการวิจัย..... | 5 |
| 1.7 ขั้นตอนการศึกษา..... | 5 |
| บทที่ 2 ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง..... | 7 |
| 2.1 บทนำ..... | 7 |
| 2.2 ประวัติความเป็นมาของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง..... | 7 |
| 2.3 จุดเด่นของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง..... | 8 |
| 2.3.1 ความซับซ้อนน้อยและราคาถูก..... | 8 |
| 2.3.2 ความสามารถในการตรวจจับสัญญาณ..... | 9 |
| 2.3.3 ข้อมูลมีความปลอดภัยสูง..... | 9 |
| 2.4 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง..... | 9 |
| 2.4.1 กฎข้อบังคับของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา..... | 9 |
| 2.4.2 กฎข้อบังคับของสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพ ยุโรป..... | 11 |
| 2.4.3 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในญี่ปุ่น..... | 13 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 2.5 รูปแบบสัญญาณที่ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง | 14 |
| 2.5.1 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์..... | 14 |
| 2.5.2 สัญญาณพัลส์แบบ โม โน ไชเคิล..... | 15 |
| 2.5.3 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์ดับเลต..... | 15 |
| 2.6 การมอดูเลตข้อมูลในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง..... | 16 |
| 2.6.1 การมอดูเลตข้อมูลทางขนาด..... | 16 |
| 2.6.2 การมอดูเลตข้อมูลแบบตำแหน่ง..... | 17 |
| 2.6.3 การมอดูเลตข้อมูลแบบสัญลักษณ์..... | 18 |
| 2.7 สรุป..... | 18 |
| บทที่ 3 ช่องสัญญาณการสื่อสารภายในอาคาร..... | 19 |
| 3.1 บทนำ..... | 19 |
| 3.2 รูปแบบการสูญเสียเชิงวิถี..... | 19 |
| 3.2.1 การสะท้อน..... | 19 |
| 3.2.2 การหักเห..... | 19 |
| 3.3 การสูญเสียที่เกิดจากร่างกายมนุษย์..... | 20 |
| 3.4 ช่องสัญญาณหลายวิถี..... | 21 |
| 3.5 แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถี..... | 21 |
| 3.6 การทดสอบช่องสัญญาณ..... | 25 |
| 3.6.1 การทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่..... | 26 |
| 3.6.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์..... | 26 |
| 3.6.2.1 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านช่องสัญญาณ..... | 27 |
| 3.6.3 แบบจำลองการทดสอบช่องสัญญาณ..... | 29 |
| 3.6.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ..... | 29 |
| 3.6.3.1.1 เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรเครือข่ายแบบเวคเตอร์..... | 29 |
| 3.6.3.1.2 สายอากาศแบบกรวยคู่..... | 30 |
| 3.6.3.2 แบบจำลองการทดสอบสัญญาณและการบดบังจากร่างกาย มนุษย์..... | 30 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 3.7 สรุป..... | 32 |
| บทที่ 4 เครื่องรับแบบ Rake สำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง..... | 33 |
| 4.1 บทนำ..... | 33 |
| 4.2 ประวัติเครื่องรับแบบ Rake | 33 |
| 4.3 จุดเด่นของเครื่องรับแบบ Rake | 34 |
| 4.4 โครงสร้างเครื่องรับแบบ Rake..... | 34 |
| 4.4.1 ส่วนแยกสัญญาณหลายวิถี..... | 36 |
| 4.4.2 ส่วนประมาณช่องสัญญาณ..... | 36 |
| 4.4.2.1 การประมาณแบบ blind..... | 36 |
| 4.4.2.2 การประมาณแบบ pilot..... | 37 |
| 4.4.3 ส่วนควบคุมการถ่วงน้ำหนัก..... | 38 |
| 4.4.4 ส่วนการรวมสัญญาณ..... | 38 |
| 4.4.4.1 Selection combining..... | 38 |
| 4.4.4.2 Equal gain combining..... | 39 |
| 4.4.4.3 Maximum ratio combining..... | 40 |
| 4.5 ชนิดของเครื่องรับแบบ Rake..... | 40 |
| 4.5.1 Partial Rake..... | 41 |
| 4.5.2 Selection Rake..... | 41 |
| 4.5.3 All Rake | 41 |
| 4.6 สรุป..... | 42 |
| บทที่ 5 แบบจำลองระบบและผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ..... | 43 |
| 5.1 บทนำ..... | 43 |
| 5.2 ขั้นตอนการจำลองประสิทธิภาพ..... | 43 |
| 5.2.1 การจำลองประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ UWB Rake ภายใต้การบังคับ จากร่างกายมนุษย์..... | 44 |
| 5.2.2 การจำลองประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ UWB Rake โดยพิจารณาตัว ประมาณช่องสัญญาณ..... | 44 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 5.2.3 การพิจารณาตัวประมาณช่องสัญญาณในเครื่องรับแบบ UWB Rake สำหรับสถานะแวดล้อมจริงภายในอาคาร..... | 44 |
| 5.3 แบบจำลองการประเมินประสิทธิภาพ..... | 45 |
| 5.3.1 แบบจำลองสัญญาณส่ง..... | 45 |
| 5.3.2 แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถี..... | 46 |
| 5.3.3 แบบจำลองเครื่องรับแบบ Rake..... | 46 |
| 5.3.3.1 ตัวประมาณที่ใช้อัลกอริทึมแบบ least square (LS)..... | 47 |
| 5.3.3.2 ตัวประมาณที่ใช้อัลกอริทึมแบบ Minimum Mean Square Error (MMSE)..... | 48 |
| 5.3.4 การทดสอบประสิทธิภาพ..... | 49 |
| 5.3.4.1 การจำลองประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ UWB Rake ภายใต้ การบังคับจากร่างกายมนุษย์..... | 49 |
| 5.3.4.2 การจำลองประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ UWB Rake โดย พิจารณาตัวประมาณช่องสัญญาณ..... | 50 |
| 5.3.4.3 การพิจารณาตัวประมาณช่องสัญญาณในเครื่องรับแบบ UWB Rake สำหรับสถานะแวดล้อมจริงภายในอาคาร..... | 53 |
| 5.4 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ..... | 54 |
| 5.4.1 การจำลองประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ UWB Rake ภายใต้การบังคับ จากร่างกายมนุษย์..... | 54 |
| 5.4.2 การจำลองประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ UWB Rake โดยพิจารณาตัว ประมาณช่องสัญญาณ..... | 56 |
| 5.4.3 การพิจารณาตัวประมาณช่องสัญญาณในเครื่องรับแบบ UWB Rake สำหรับสถานะแวดล้อมจริงภายในอาคาร..... | 60 |
| 5.5 สรุป..... | 64 |
| บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 66 |
| 6.1 บทนำ..... | 66 |
| 6.2 สรุปผลการวิจัย..... | 66 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 6.3 ข้อเสนอแนะ..... | 67 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 69 |
| ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่..... | 71 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 82 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ระดับการแพร่กระจายกำลังของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งทั้งภายในและภายนอก อาคารกำหนดโดย FCC..... | 10 |
| 2.2 ระดับการแพร่กระจายกำลังของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งทั้งภายในและภายนอก อาคารกำหนดโดย ETSI | 11 |
| 2.3 ระดับการแพร่กระจายกำลังของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งทั้งภายในและภายนอก อาคารกำหนดโดย ETSI แบบใหม่..... | 12 |
| 2.4 ระดับการแพร่กระจายกำลังของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งทั้งภายในและภายนอก อาคารกำหนดโดย MIC..... | 13 |
| 3.1 คุณลักษณะช่องสัญญาณหลายวิถีและความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดใน แบบจำลอง..... | 24 |
| 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบสัญญาณ..... | 31 |

สารบัญญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 สเปกตรัมมาร์คสำหรับภายในและภายนอกอาคารตามมาตรฐานของ FCC | 10 |
| 2.2 สเปกตรัมมาร์คสำหรับภายในและภายนอกอาคารตามมาตรฐานของ ETSI | 11 |
| 2.3 สเปกตรัมมาร์คสำหรับภายในและภายนอกอาคารตามมาตรฐานของ ETSI แบบใหม่..... | 12 |
| 2.4 สเปกตรัมมาร์คสำหรับภายในและภายนอกอาคารตามมาตรฐานของ MIC | 13 |
| 2.5 สัญญาณแบบเกาส์ทางโดเมนเวลา..... | 14 |
| 2.6 สัญญาณแบบโมโนไซเคิลทางโดเมนเวลา..... | 15 |
| 2.7 สัญญาณแบบเกาส์ดับเลตทางโดเมนเวลา..... | 16 |
| 2.8 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตข้อมูลแบบ PAM สำหรับ 2 สถานะข้อมูล..... | 17 |
| 2.9 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตข้อมูลแบบ PPM สำหรับ 2 สถานะข้อมูล..... | 17 |
| 2.10 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตข้อมูลแบบ BPM สำหรับ 2 สถานะข้อมูล..... | 18 |
| 3.1 ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นหักเหและคลื่นสะท้อน..... | 20 |
| 3.2 การเกิดช่องสัญญาณหลายวิถีภายในอาคาร..... | 21 |
| 3.3 ผลตอบสนองช่องสัญญาณในรูปแบบของ Cluster และ ray..... | 22 |
| 3.9 ไดอะแกรมโครงข่ายแบบ 2 พอร์ต..... | 27 |
| 3.5 เครื่องวิเคราะห์วงจรเครือข่ายแบบเวกเตอร์..... | 30 |
| 3.6 สายอากาศแบบกรวยคู่..... | 30 |
| 3.7 แบบจำลองห้องและการบดบังจากร่างกายมนุษย์..... | 31 |
| 4.1 โครงสร้างของเครื่องรับแบบ Rake | 35 |
| 4.2 ลักษณะการรวมสัญญาณแบบ SC | 39 |
| 4.3 ลักษณะการรวมสัญญาณแบบ EGC | 39 |
| 4.4 ลักษณะการรวมสัญญาณแบบ MRC | 40 |
| 4.5 การเลือกสัญญาณบนเครื่องรับแบบ PRake | 41 |
| 4.6 การเลือกสัญญาณบนเครื่องรับแบบ SRake | 41 |
| 4.7 การเลือกสัญญาณบนเครื่องรับแบบ ARake | 42 |
| 5.1 บล็อกไดอะแกรมการทดสอบแบบทดสอบที่ 1 | 49 |
| 5.2 ผลตอบสนองทางเวลาของช่องสัญญาณทั้งที่มีและไม่มี การบดบังจากร่างกายมนุษย์..... | 50 |
| 5.3 ผลตอบสนองช่องสัญญาณของ CM1 และ CM2 เมื่อผ่านการทำให้เป็นบรรทัดฐาน..... | 51 |
| 5.4 ผลตอบสนองช่องสัญญาณของ CM3 และ CM4 เมื่อผ่านการทำให้เป็นบรรทัดฐาน..... | 51 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 5.5 บล็อกโคออดิเนตการทดสอบแบบทดสอบที่ 2 | 52 |
| 5.6 บล็อกโคออดิเนตการทดสอบแบบทดสอบที่ 3 | 53 |
| 5.7 ระดับพลังงานต่อจำนวนเส้นทางที่ใช้พิจารณาของเครื่องรับแบบ Rake เมื่อมีการรวม สัญญาณแบบ MRC..... | 54 |
| 5.8 ค่าเฉลี่ยของ BER ต่อระดับของ SNR ในกรณีไม่มีการบังคับของร่างกายมนุษย์..... | 55 |
| 5.9 ค่าเฉลี่ยของ BER ต่อระดับของ SNR ในกรณีมีการบังคับของร่างกายมนุษย์..... | 56 |
| 5.10 ค่าผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสองต่อระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน..... | 57 |
| 5.11 ประสิทธิภาพของเครื่องรับUWB ทั้ง 3 แบบเมื่อผ่านผลตอบสนองช่องสัญญาณ CM1..... | 57 |
| 5.12 ประสิทธิภาพของเครื่องรับUWB ทั้ง 3 แบบเมื่อผ่านผลตอบสนองช่องสัญญาณ CM2..... | 58 |
| 5.13 ประสิทธิภาพของเครื่องรับUWB ทั้ง 3 แบบเมื่อผ่านผลตอบสนองช่องสัญญาณ CM3..... | 59 |
| 5.14 ประสิทธิภาพของเครื่องรับUWB ทั้ง 3 แบบเมื่อผ่านผลตอบสนองช่องสัญญาณ CM4..... | 59 |
| 5.15 ผลตอบสนองช่องสัญญาณแบบจำลอง SV เมื่อมีมนุษย์เข้ามาบังคับและผลรวมของ 2 ผลตอบสนองช่องสัญญาณ..... | 61 |
| 5.16 ประสิทธิภาพของเครื่องรับUWB ทั้ง 3 แบบเมื่อผ่านผลตอบสนองช่องสัญญาณ CM1 และมนุษย์..... | 62 |
| 5.17 ประสิทธิภาพของเครื่องรับUWB ทั้ง 3 แบบเมื่อผ่านผลตอบสนองช่องสัญญาณ CM2 และมนุษย์..... | 62 |
| 5.18 ประสิทธิภาพของเครื่องรับUWB ทั้ง 3 แบบเมื่อผ่านผลตอบสนองช่องสัญญาณ CM3 และมนุษย์..... | 63 |
| 5.19 ประสิทธิภาพของเครื่องรับUWB ทั้ง 3 แบบเมื่อผ่านผลตอบสนองช่องสัญญาณ CM4 และมนุษย์..... | 64 |

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

| | |
|--|------|
| สัญญาณรบกวนขาว (Additive White Gaussian Noise) | AWGN |
| อัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Rate) | BER |
| การมอดูเลตแบบ 2 เฟส (Bi-Phase Modulation) | BPM |
| การประมาณช่องสัญญาณ (Channel Estimation) | CE |
| ผลตอบสนองอิมพัลส์ของสัญญาณ (Channel Impulse Response) | CIR |
| ออสซิลโลสโคปสุ่มตัวอย่างแบบดิจิทัล (Digital Sampling Oscilloscope) | DSO |
| การรวมอัตราขยายเท่า (Equal Gain Combining) | EGC |
| สถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute) | ETSI |
| โดเมนความถี่ (Frequency Domain) | FD |
| คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communication Commission) | FCC |
| ช่องทางเพื่อการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ทั่วไป (General Purpose Interface Bus) | GPIB |
| การประมาณค่ากำลังสองน้อยที่สุด (Least Square) | LS |
| ระดับแนวสายตา (Line of Sight) | LOS |
| ฟูรีเยร์ผกผันแบบเร็ว (Inverse Fast Fourier Transform) | IFFT |
| แมตช์ฟิลเตอร์ (Matched Filter) | MF |
| การรวมอัตราสูง (Maximum Ratio Combining) | MRC |
| ความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด (Minimum Mean Square Error) | MMSE |
| ระดับไม่แนวสายตา (Non Line of Sight) | NLOS |
| การมอดูเลตทางแอมพลิจูดของพัลส์ (Pulse Amplitude Modulation) | PAM |
| การมอดูเลตทางตำแหน่งของพัลส์ (Pulse Position Modulation) | PPM |
| ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง (Power Spectra Density) | PSD |
| การรวมแบบเลือก (Selection Combining) | SC |
| ความถี่สูงมากเป็นพิเศษ (Super High Frequency) | SHF |
| อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio) | SNR |
| แบบจำลองช่องสัญญาณของ Saleh-Valenzuela | S-V |
| โดเมนเวลา (Time Domain) | TD |
| ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra-Wideband) | UWB |
| เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer) | VNA |

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

| | |
|---|-------------|
| พลังงานของสัญญาณ (Energy power) | E_p |
| กิกะเฮิร์ตซ์ (Giga Hertz) | GHz |
| เฮิร์ตซ์ (Hertz) | Hz |
| ส่วนประกอบเส้นทาง ray | K |
| จำนวนเส้นทางจากช่องสัญญาณที่รับได้ | L |
| จำนวน finger ในเครื่องรับแบบ Rake | M |
| เมกะเฮิร์ตซ์ (Mega Hertz) | MHz |
| จำนวนจุดความถี่ (Sampling number) | N_{smp} |
| เดซิเบล (Decibel) | dB |
| เมตร (Meter) | m |
| ข้อผิดพลาดของสัญญาณที่ได้จากการคาดเดา | $P_{k,l}$ |
| วินาที (Second) | s |
| นาโนวินาที (Nanosecond) | ns |
| ความถี่ (Frequency) | f |
| ค่าความถี่สูงสุดของระบบการสื่อสาร | f_H |
| ค่าความถี่ต่ำสุดของระบบการสื่อสาร | f_L |
| เครื่องรับ (Receiver) | Rx |
| สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Transmission coefficient) | S_{21} |
| เวลา (Time) | t |
| ระยะเวลาในการส่งบิตข้อมูลแต่ละบิต | T_s |
| เครื่องส่ง (Transmitter) | Tx |
| ค่าอัตราขยายรวมนัย (Gain coefficient) | α |
| ส่วนประกอบทางขนาด | β |
| พลังงานเฉลี่ยของเส้นทางแรกของ cluster แรก | Ω_0 |
| ฟังก์ชัน Dirac delta | $\delta(t)$ |
| อัตราการมาถึงของกลุ่ม ray (Ray arrival rate) | λ |
| Ray decay factor (gamma) | γ |
| สเกลทางเวลา (Time scaling) | τ |

| | |
|--|---------------|
| ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง (Mean excess delay), s | τ_m |
| ค่าการแผ่ประวิงสูงสุด | τ_{\max} |
| ค่าการแผ่ประวิง RMS (RMS delay spread), s | τ_{rms} |
| ส่วนประกอบทางมุม | θ |
| ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard dev.) | σ |
| ความซึมซาบ (Permeability) | μ |
| อัตราการมาถึงของกลุ่ม cluster (Cluster arrival rate) | Λ |
| Cluster decay factor (Gamma) | Γ |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการสื่อสารไร้สายได้ถูกนำมาใช้เพื่อทดแทนการสื่อสารชนิดใช้สายอย่างแพร่หลาย เนื่องจากช่วยเพิ่มความสะดวกสบายให้กับผู้ใช้และผู้ติดตั้งระบบสื่อสาร แต่ความซับซ้อนในการออกแบบเครื่องรับสำหรับระบบการสื่อสารไร้สายมีมากกว่าระบบแบบใช้สาย เนื่องจากระบบการสื่อสารไร้สายเป็นระบบที่ใช้อากาศเป็นตัวกลางสำหรับการสื่อสาร ทำให้สัญญาณที่แพร่กระจายจากเครื่องส่งมายังเครื่องรับเกิดการผิดเพี้ยนได้มากกว่าระบบการสื่อสารแบบใช้สาย ซึ่งระบบการสื่อสารแบบไร้สายจำเป็นต้องมีการกำหนดช่วงความถี่เพื่อใช้งานร่วมกัน รวมทั้งต้องกำหนดระดับพลังงานการแพร่กระจายสัญญาณในอากาศ เพื่อต้องการให้ระบบการสื่อสารไร้สายประเภทอื่นๆ สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อใช้งานการสื่อสารพร้อมกันรวมทั้งผลกระทบต่างๆ ที่เกิดจากการส่งผ่านสัญญาณในอากาศ เช่นการจางหาย การกระจัดกระจาย ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ ซึ่งปัญหาต่างๆ เหล่านี้เองทำให้การออกแบบระบบการสื่อสารไร้สายมีความยุ่งยาก ซับซ้อนมากกว่าระบบการสื่อสารแบบใช้สาย

จากที่กล่าวมาข้างต้น ช่องสัญญาณเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งที่ทำให้สัญญาณที่ส่งผ่านอากาศเกิดการเสียหาย ผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณส่ง ดังนั้นการสำรวจประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารไร้สายจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ทั้งระบบการสื่อสาร สำหรับระบบการสื่อสารที่กล่าวถึงประกอบไปด้วย เครื่องส่ง ช่องสัญญาณและเครื่องรับ ดังนั้นถ้าต้องการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบใดระบบหนึ่งจำเป็นต้องสร้าง เครื่องส่งและเครื่องรับขึ้นมาเพื่อใช้ในการสำรวจ แต่ในความเป็นจริงแล้ว การสร้างอุปกรณ์การสื่อสารเพื่อที่จะวิเคราะห์ในเบื้องต้นนั้นเป็นการไม่สะดวก เนื่องจากต้นทุนที่ใช้สำหรับการสร้างอุปกรณ์ดังกล่าวมีราคาสูง เสียเวลามาก ปรับแต่งส่วนที่ต้องการวิเคราะห์ได้ยาก เป็นต้น ดังนั้นการวิเคราะห์โดยอาศัยแบบจำลองจึงได้รับความนิยมมากกว่า แต่การวิเคราะห์ที่ใช้แบบจำลองต้องมีการควบคุมส่วนต่างๆ ในระบบการสื่อสารให้เหมาะสมและเหมือนการสื่อสารจริงมากที่สุด เพื่อให้ผลที่ได้จากการทดสอบมีความน่าเชื่อถือ

สิ่งที่สำคัญและมีความจำเป็นอย่างมากในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารคือ ช่องสัญญาณ ดังนั้นการกำหนดให้ช่องสัญญาณมีลักษณะคล้ายช่องสัญญาณจริงในการสื่อสารเป็นส่วนที่สำคัญมากในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องรับ โดยธรรมชาติของระบบการสื่อสารไร้สาย การแพร่กระจายคลื่นภายในอากาศกรณีที่มีสภาพแวดล้อมมีสิ่งของวางอยู่โดยรอบหรือมีสิ่งกีดขวางระหว่างการสื่อสาร สัญญาณที่แพร่กระจายไปยังเครื่องรับจะประกอบด้วยหลาย

เส้นทาง หรืออาจจะเรียกสัญญาณที่เกิดการกระจายจากหลายๆ ทิศทางนี้ว่าสัญญาณหลายวิถี (multi-paths) และในบางกรณี สัญญาณที่แพร่กระจายไปถึงเครื่องรับอาจจะเกิดการแทรกสอด (Interference) ระหว่างกันขึ้นได้ ทำให้ผลกระทบในการส่งสัญญาณผ่านอากาศเกิดการเสียหายเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเครื่องรับจึงต้องเพิ่มความซับซ้อนในการออกแบบ เพื่อให้เครื่องรับมีประสิทธิภาพสูงขึ้นตามไปด้วย แต่ถึงอย่างไรก็ตามวิวัฒนาการทางด้านเครื่องรับได้ดำเนินไปอย่างรวดเร็วเช่นกัน โดยมีการพัฒนาเครื่องรับให้มีความฉลาดสามารถตรวจจับสัญญาณที่มีความซับซ้อนสูงได้ สำหรับเครื่องรับที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานในระบบการสื่อสารไร้สาย โดยการใช้ประโยชน์จากสัญญาณหลายวิถีและช่วยจัดการแทรกสอดของสัญญาณมีชื่อเรียกว่า เครื่องรับแบบ Rake โดยที่เครื่องรับชนิดนี้มีการนำเอาข้อดีของเครื่องรับแบบพื้นฐานมารวมเข้าด้วยกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตัดสินใจให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งเครื่องรับชนิดนี้มีจุดเด่นคือให้ระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงกว่าเครื่องรับชนิดอื่นๆ ขจัดสัญญาณแทรกสอดได้ แต่มีความซับซ้อนสูง เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้าง (wide band) ตัวอย่างระบบการสื่อสารที่นำเครื่องรับชนิดนี้ไปใช้งานคือ ระบบ CDMA (Code Division Multiple Access)

เป้าหมายของการสื่อสารในปัจจุบันไม่ได้ต้องการเพียงการสื่อสารเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์เพียงอย่างเดียว แต่ยังต้องการความสามารถอื่นๆ ร่วมในการสื่อสารด้วย เช่น ต้องการความรวดเร็วในการสื่อสาร สามารถรองรับการใช้งานผู้ใช้จำนวนมากๆ ในเวลาเดียวกัน ระบบจะต้องมีราคาที่ไม่แพงและขนาดกระทัดรัดสามารถที่จะพกพาได้สะดวก ซึ่งความต้องการต่างๆ เหล่านี้ มีระบบการสื่อสารหนึ่งที่เหมาะสมและตรงกับความต้องการทั้งหมดคือ ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งหรือที่เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าอัลตราไวด์แบนด์ (Ultra-wideband: UWB) ระบบการสื่อสารแบบนี้เป็นระบบที่มีข้อดีดังที่กล่าวมาข้างต้นคือ สามารถสื่อสารที่ความเร็วสูง ความจุช่องสัญญาณสูงมาก แบนด์วิธกว้าง ขนาดเล็ก ราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับระบบการสื่อสารที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน รองรับการใช้งานใกล้เคียงได้ดี สามารถใช้งานภายในอาคารได้อย่างเหมาะสม เนื่องจากความถี่ใช้งานอยู่ในช่วงที่สูง เป็นต้น ดังนั้นระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งจึงเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่มีความน่าสนใจและได้นำมาวิเคราะห์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต้องการศึกษาถึงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake เมื่อนำมาใช้งานในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง โดยพิจารณาช่องสัญญาณภายในอาคารเป็นหลัก ซึ่งจะแยกพิจารณาออกเป็นส่วนๆ ดังนี้ คือ การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake ชนิดต่างๆ ในสภาพแวดล้อมที่มีการบดบังและไม่มีการบดบังจากร่างกายมนุษย์ โดยมีการจำลองสภาพแวดล้อมให้ใกล้เคียงความจริงมากที่สุดเพื่อใช้ทดสอบ โดยมีการรวมผลตอบสนองช่องสัญญาณจริงภายใน

อาคารเข้ากับผลตอบสนองที่ได้รับผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ และสุดท้ายมีการพิจารณาและนำเสนอตัวประมาณช่องสัญญาณแบบง่าย ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญมากในโครงสร้างเครื่องรับแบบ Rake สำหรับการทดสอบทั้งหมดนี้ เพื่อต้องการให้การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake ได้ผลออกมาใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด สามารถนำผลที่ได้นำไปร่วมในการวิเคราะห์และออกแบบเครื่องรับแบบ Rake ได้ในอนาคต

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ระบบการสื่อสารไร้สายเป็นระบบที่มีการส่งสัญญาณผ่านอากาศ ทำให้สัญญาณที่ได้รับแตกต่างออกไปจากสัญญาณส่ง เนื่องจากได้รับผลกระทบจากการส่งสัญญาณผ่านตัวกลาง ภูมิที่ย่านความถี่ที่ใช้งานมีช่วงที่กว้าง จึงทำให้ผลกระทบที่เกิดจากการจางหาย การแทรกสอดของสัญญาณเกิดขึ้นได้ง่ายตามไปด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมเป็นส่วนสำคัญในการทำให้สัญญาณเกิดการเสียหาย ดังนั้นในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้มีการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake ภูมิสภาพแวดล้อมภายในอาคารใกล้เคียงกับความเป็นจริง คือ สภาพแวดล้อมที่ประกอบไปด้วยมนุษย์เข้ามาบดบังการสื่อสาร เพื่อสามารถนำงานผลการวิเคราะห์มาใช้ในการออกแบบเครื่องรับแบบ Rake ในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งได้อย่างเหมาะสม สำหรับการทดสอบได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนการทดสอบด้วยกันคือ ส่วนแรกจะเป็นการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake ทั้ง 3 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย Partial Rake (PRake), Selection Rake (SRake) และ All Rake (ARake) เพื่อต้องการทราบถึงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake ชนิดต่างๆ และสามารถเลือกใช้งานได้อย่างเหมาะสม แบบทดสอบที่ 2 เป็นการจำลองเกี่ยวกับการนำตัวประมาณช่องสัญญาณที่มีความซับซ้อนเข้ามาใช้งานร่วมในเครื่องรับแบบ ARake สำหรับสถานะแวดล้อมจริงภายในอาคาร และแบบทดสอบสุดท้ายคล้ายกับแบบทดสอบที่ 2 คือ ต้องการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ ARake ที่ใช้ตัวประมาณแบบ Least square (LS) และ Minimum mean square error (MMSE) เช่นเดียวกันกับแบบทดสอบที่ 2 แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือ สภาพแวดล้อม ซึ่งในแบบทดสอบที่ 3 นี้ สภาพแวดล้อมที่พิจารณาจะประกอบด้วยสภาพแวดล้อมจริงภายในอาคาร และสภาพแวดล้อมที่ได้รับผลกระทบจากร่างกายมนุษย์เข้ามาบดบังการสื่อสาร ซึ่งผลกระทบจากร่างกายมนุษย์จัดได้ว่าเป็นผลกระทบที่มีความซับซ้อนสูงมากในระบบการสื่อสารไร้สายระยะใกล้ โดยธรรมชาติของการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องรับ ถ้าผลกระทบจากสภาพแวดล้อมซับซ้อนมากขึ้น ประสิทธิภาพของเครื่องรับจะยิ่งแย่ลงมากตามไปด้วย แต่ในกรณีของเครื่องรับแบบ Rake เครื่องรับจะมีการนำผลตอบสนองเหล่านั้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ คือ เครื่องรับจะนำผลตอบสนองช่องสัญญาณในแต่ละเส้นทางมารวมเข้าด้วยกัน ก่อนตัดสินใจข้อมูล ดังนั้นถ้าจำนวนเส้นทางของสัญญาณที่พิจารณาในเครื่องรับแบบ Rake มากขึ้นเท่าใด ประสิทธิภาพ

ของเครื่องรับจะสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งข้อสรุปนี้อยู่บนพื้นฐานของการประมาณช่องสัญญาณที่สมบูรณ์เท่านั้น แต่เมื่อการประมาณช่องสัญญาณผิดพลาดอาจจะทำให้ข้อสรุปดังกล่าวผิดพลาดได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เน้นในส่วนของการใช้งานช่องสัญญาณจริงภายในอาคารเป็นหลัก ซึ่งการวิเคราะห์ช่องสัญญาณสามารถทำได้ 2 วิธีหลักๆ ด้วยกันคือ วิเคราะห์ในโดเมนความถี่และวิเคราะห์ในโดเมนเวลา ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้กระทำในโดเมนเวลาทั้งสิ้น ไม่มีการพิจารณาในโดเมนความถี่ เนื่องจากโดยทั่วไปของการวิเคราะห์เครื่องรับแบบ Rake จะพิจารณาที่ผลตอบสนองอิมพัลส์ เพื่อสามารถเข้าใจได้ง่ายและยืนยันความถูกต้องได้อย่างชัดเจน สำหรับการสำรวจในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มีการพิจารณาถึงจำนวน finger ที่เลือกใช้ในเครื่องรับแบบ Rake โดยมีการพิสูจน์จากชนิดของเครื่องรับแบบ Rake ทั้ง 3 ชนิด เนื่องจากชนิดของเครื่องรับ มีความแตกต่างกันที่จำนวน finger ที่นำมาวิเคราะห์ ซึ่งการประเมินสามารถสรุปได้ 2 กรณีด้วยกันคือ จำนวน finger ที่เลือกใช้งานในสภาวะแวดล้อมจริงและประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake ชนิดต่างๆ ที่มีการเลือกใช้งาน finger ที่ต่างกัน จากนั้นได้ประเมินถึงส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งในเครื่องรับแบบ Rake คือ ส่วนของตัวประมาณช่องสัญญาณ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มีการนำตัวประมาณช่องสัญญาณที่พัฒนามาจากการประมาณช่องสัญญาณพื้นฐานแบบง่าย มาร่วมพิจารณาคือ ตัวประมาณช่องสัญญาณแบบ LS และ MMSE พร้อมทั้งมีการเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake ที่มีการพิจารณาตัวประมาณช่องสัญญาณสมบูรณ์ เพื่อให้เห็นความแตกต่างกันของประสิทธิภาพของเครื่องรับได้ชัดเจน พร้อมทั้งยังนำเครื่องรับทั้ง 3 ชนิดมาพิจารณาเปรียบเทียบกับเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ซึ่งจัดได้ว่าเป็นเครื่องรับที่จัดอยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพสูงในหลายๆ สภาพการสื่อสาร เพื่อแสดงให้เห็นทราบความแตกต่างของประสิทธิภาพ ในสภาพแวดล้อมที่จัดได้ว่าเสมือนการใช้งานจริงมากที่สุด

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีการพิจารณาช่องสัญญาณ 2 แบบด้วยกันคือ ช่องสัญญาณที่ได้จากแบบจำลองช่องสัญญาณจริงภายในอาคาร คือแบบจำลองช่องสัญญาณแบบ S-V และช่องสัญญาณที่ได้จากการทดสอบช่องสัญญาณจริง ซึ่งเมื่อนำผลที่ได้ทั้ง 2 แบบมารวมกัน จะได้แบบจำลองช่องสัญญาณใหม่ที่มีการรวมผลกระทบทั้ง 2 ช่องสัญญาณนั้น สำหรับงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตยังไม่เคยมีการนำผลตอบสนอง ทั้ง 2 ชนิดคือ ผลตอบสนองช่องสัญญาณจริงภายในอาคารและช่องสัญญาณที่มีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ เข้ามาพิจารณาร่วมกันซึ่งผลกระทบจากร่างกายมนุษย์

จัดได้ว่าเป็นผลกระทบที่แย่กว่าวัตถุอื่นในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร พร้อมทั้งในวิทยานิพนธ์ยังมีการประเมินประสิทธิภาพของตัวประมาณช่องสัญญาณแบบความซับซ้อนต่ำร่วมด้วย ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาไม่มีการพิจารณาในส่วนนี้ โดยที่เมื่อนำเครื่องรับแบบ Rake มาประเมินร่วมกับช่องสัญญาณจริงภายในอาคาร ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพอย่างชัดเจนมากกว่าแยกประเมินเป็นส่วนๆ ซึ่งผลที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถเป็นส่วนช่วยในการวิจัยเพื่อพัฒนาและออกแบบเครื่องรับแบบ Rake ได้ในอนาคต

1.6 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake เมื่อนำมาใช้งานในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง โดยการทดสอบประกอบไปด้วย การประเมินจำนวน finger ที่เหมาะสมกับการใช้งานจริง การตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องรับทั้ง 3 ชนิด คือ PRake, SRake และ ARake การนำตัวประมาณช่องสัญญาณแบบง่ายที่มีความซับซ้อนต่ำมาประยุกต์ใช้งานในเครื่องรับแบบ Rake เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องรับ ซึ่งการสำรวจทั้งหมดอยู่บนพื้นฐานการใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงภายในอาคารที่มีมนุษย์เข้ามามีผลกระทบร่วมด้วย

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัยและขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ความเป็นมาของระบบการสื่อสารข้อกำหนดต่างๆ ของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง วิวัฒนาการของเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง รูปแบบสัญญาณส่งที่นิยมใช้ในงานวิจัยและตัวอย่างการมอดูเลตข้อมูลในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

บทที่ 3 กล่าวถึงคุณลักษณะของสัญญาณ การเกิดสัญญาณหลายวิถี ผลตอบสนองช่องสัญญาณที่ได้จากช่องสัญญาณจริงภายในอาคาร ผลตอบสนองช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดสัญญาณจริง กรณีที่มีมนุษย์เข้ามาบดบังการส่งผ่านสัญญาณ รวมถึงการรวมผลตอบสนองช่องสัญญาณทั้ง 2 แบบ

บทที่ 4 กล่าวถึงเครื่องรับแบบ Rake ที่นำมาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพ ส่วนประกอบต่างๆ ที่สำคัญในเครื่องรับแบบ Rake โครงสร้างทั้งหมดและชนิดของเครื่องรับแบบ Rake ที่นำมาทดสอบ

บทที่ 5 ขั้นตอน วิธีการและผลการวิเคราะห์ทั้งหมดในวิทยานิพนธ์

บทที่ 6 บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.1 บทนำ

ระบบการสื่อสารไร้สายเป็นระบบที่ช่วยเพิ่มความสะดวกสบาย ทางด้านการสื่อสารข้อมูลให้กับผู้ใช้และผู้ติดตั้งระบบ สำหรับการเลือกใช้งานระบบการสื่อสารจำเป็นจะต้องทราบขอบเขตการใช้งานของระบบที่ต้องการต่อเชื่อมและระบบการสื่อสารที่ต้องการจะนำมาใช้ เพื่อนำระบบการสื่อสารมาใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและเหมาะสมมากที่สุด สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานสำหรับการสื่อสารภายในอาคาร ระยะทางไม่เกิน 10 เมตร โดยมีอัตราการส่งข้อมูลสูงประมาณ 110 Mbps ที่ระยะทาง 10 เมตร ความจุของช่องสัญญาณสูง มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมาก รองรับการใช้งานผู้ใช้งานได้หลายผู้ใช้ในเวลาเดียวกัน ขนาดเล็กสามารถพกพาหรือเคลื่อนย้ายได้ง่ายและจัดได้ว่าเป็นระบบการสื่อสารที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับระบบการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันในปัจจุบัน

2.2 ประวัติความเป็นมาของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband: UWB)

ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง จัดเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีของระบบการสื่อสารไร้สายที่มีความน่าสนใจมากในปัจจุบัน ซึ่งในสมัยก่อนระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งได้ถูกนำมาใช้ในระบบเรดาร์และระบบทางการทหารที่ต้องการความปลอดภัยสูง ต่อมาได้มีแนวคิดที่จะนำมาใช้งานการสื่อสารทางการค้าบ้าง ซึ่งทางคณะกรรมการกิจการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission: FCC) ได้เสนอข้อคิดเห็นให้ทำการกำหนดมาตรฐานการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง เพื่อให้ประชาชนสามารถใช้ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งได้เหมือนกับระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน แต่มีข้อแม้ว่าระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนี้จะต้องไม่รบกวนการสื่อสารไร้สายระบบอื่นๆ ที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนี้เป็นระบบที่มีช่วงความถี่ที่กว้าง ดังนั้นจึงต้องควบคุมความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง (power spectra density: PSD) ให้อยู่ในระดับต่ำกว่าสัญญาณรบกวน ซึ่งระบบการสื่อสารอื่นๆ จะเห็นว่าระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเป็นสัญญาณรบกวน [1]

ด้วยเหตุผลต่างๆ เหล่านี้เองทำให้ในปัจจุบันจึงได้มีหลายงานวิจัยที่ให้ความสนใจเกี่ยวกับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง เนื่องด้วยพลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูลมีระดับต่ำ ทำให้ประสิทธิภาพของการสื่อสารลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารไร้สายอื่นที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน ดังนั้นหลายงานวิจัยจึงพยายามหาข้อสรุปว่าจะทำอย่างไรให้ประสิทธิภาพของการสื่อสาร

เพิ่มขึ้นและสามารถสื่อสารกันได้อย่างสมบูรณ์แบบที่สุด ซึ่งระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยังมี อัตราการส่งข้อมูลที่สูง ความถี่ที่ใช้งานอยู่ในย่านความถี่สูงมากเป็นพิเศษ (Super high frequency: SHF) ซึ่งจัดได้ว่าใช้ช่วงความถี่ที่สูงและระบบโดยรวมมีราคาถูกกว่าระบบการสื่อสาร ไร้สายอื่นๆ เนื่องจากไม่ต้องอาศัยการมอดูเลตความถี่พาห์เพื่อใช้ในการส่งข้อมูล ทำให้ทั้งทางด้านเครื่องส่งและเครื่องรับไม่ต้องมีชุดมอดูเลตและดีมอดูเลตความถี่พาห์ รวมทั้งการส่งข้อมูลของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง เป็นการส่งข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่องหรืออาจจะเรียกว่าเป็นการสื่อสารแบบอิมพัลส์ ซึ่งสัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการส่งข้อมูลเป็นพัลส์แคบ ทำให้การใช้พลังงานในการสื่อสารน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับ การส่งข้อมูลแบบต่อเนื่อง

2.3 จุดเด่นของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นได้ว่า การสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเป็นอีกระบบการสื่อสารหนึ่งที่มีความน่าสนใจ ให้นำมาใช้งานกับการสื่อสารภายในอาคาร เนื่องจากสัญญาณสามารถทะลุผ่านสิ่งกีดขวางได้ รองรับการส่งผ่านข้อมูลจำนวนมากและเป็นการสื่อสารความเร็วสูง ถ้านำมาประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารระยะใกล้ น่าจะเติบโตได้รวดเร็วในอนาคตอันใกล้ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้งานกันในชีวิตประจำวันอาจจะต้องมีการสื่อสารระหว่างกันเองหรือมีการสื่อสารข้อมูล โดยมีมนุษย์เป็นผู้สั่งการ ทำให้ระบบการสื่อสารภายในบ้านหรือในสำนักงานอาจจะต้องรองรับการส่งผ่านข้อมูลที่สูงขึ้นตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้เองถ้านำระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนี้มาใช้งานสามารถช่วยให้การสื่อสารภายในอาคารเป็นไปได้อย่างสะดวกสบายมากขึ้น ซึ่งระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีข้อดีอยู่หลายประการสามารถสรุปเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

2.3.1 ความซับซ้อนน้อยและราคาถูก

ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนี้ จัดว่าเป็นระบบการสื่อสารที่มีความซับซ้อนน้อยกว่าระบบการสื่อสาร ไร้สายประเภทอื่นๆ ที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากระบบการสื่อสารประเภทนี้ ไม่มีวงจรที่ใช้สำหรับมอดูเลตและดีมอดูเลตความถี่พาห์ ซึ่งถือเป็นวงจรที่จำเป็นอย่างยิ่งกับระบบการสื่อสาร ไร้สายแบบอื่นๆ ดังนั้นจึงไม่มีส่วนของการแปลงความถี่ลดลง แต่การสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนี้คล้ายกับการสื่อสารแบบเบสแบนด์ (base band) คือ เปรียบเสมือนการส่งพัลส์โดยตรงไม่มีการมอดูเลตความถี่พาห์และไม่จำเป็นต้องใช้ภาคขยายที่มีกำลังงานสูง เนื่องจากพลังงานที่ใช้แพร่กระจายในอากาศมีระดับต่ำ เป็นผลให้ค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีราคาไม่แพงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสาร ไร้สายในปัจจุบัน

2.3.2 ความสามารถในการตรวจจับสัญญาณ

ข้อกำหนดทางด้านการใช้งานความถี่สำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ถูกกำหนดความถี่ใช้งานให้อยู่ในช่วง 3.1-10.6 GHz และใช้งานการสื่อสารในระยะไมโครเวฟมากนักรังคือไม่เกิน 10 เมตร ทำให้สัญญาณที่รับได้ไม่เกิดการผิดเพี้ยนหรือเสียหายจนไม่สามารถสื่อสารได้ จึงทำให้การตรวจจับสัญญาณเป็นไปได้ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งจะทราบได้จากในอดีต โดยการทหารได้นำระบบนี้มาใช้งานในรูปแบบของการตรวจหาตำแหน่งหรือสำรวจวัตถุ ทำให้เชื่อมั่นได้ว่าระบบนี้เป็นการสื่อสารที่ให้ความถูกต้องแม่นยำสูงมาก

2.3.3 ข้อมูลมีความปลอดภัยสูง

เนื่องด้วยระดับพลังงานที่ใช้ในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง อยู่ในระดับเดียวกันหรือต่ำกว่าระดับของสัญญาณรบกวน จึงไม่รบกวนกับระบบการสื่อสารไร้สายแบบอื่น ซึ่งระบบการสื่อสารอื่นจึงเห็นสัญญาณการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเป็นสัญญาณรบกวน ในกรณีของความปลอดภัยจากการดักจับสัญญาณข้อมูลระดับพลังงานที่ต่ำมาก ทำให้การตรวจจับสัญญาณเป็นไปได้ยากตามไปด้วย

2.4 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

เนื่องจากการสื่อสารแบบไร้สายใช้อากาศเป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณ จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดช่วงความถี่ที่แน่นอนในการใช้งาน เพื่อป้องกันการรบกวนกันระหว่างระบบการสื่อสารที่ใช้งานความถี่ใกล้เคียงกันหรือความถี่ร่วมกันไม่ให้รบกวนกัน สำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งก็เช่นเดียวกัน เมื่อต้องการนำมาใช้ร่วมกับการสื่อสารอื่นที่มีอยู่แล้วจึงจำเป็นต้องมีข้อกำหนดการใช้งานช่องความถี่ และกำหนดระดับความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงาน เช่นเดียวกับระบบการสื่อสารอื่น ดังนั้นประเทศต่างๆ จึงพยายามกำหนดมาตรฐานการใช้งานช่องความถี่และระดับความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานขึ้น สำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งในปัจจุบันมีกลุ่มประเทศในทวีปต่างๆ ได้ทำการกำหนดมาตรฐานช่วงความถี่ใช้งาน ดังนี้

2.4.1 ข้อกำหนดของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา

ข้อกำหนดของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ FCC ได้มีการกำหนดช่วงความถี่การใช้งานให้กับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งให้อยู่ในช่วง 3.1-10.6 GHz และนิยามให้มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่า 0.2 หรือมีแบนด์วิดท์มากกว่า 500 MHz ซึ่งวิธีการคำนวณแบนด์วิดท์สามารถคำนวณได้จาก [2]

$$\text{แบนด์วิดท์เชิงเศษส่วน} = \frac{2(f_H - f_L)}{f_H + f_L} \quad (2.1)$$

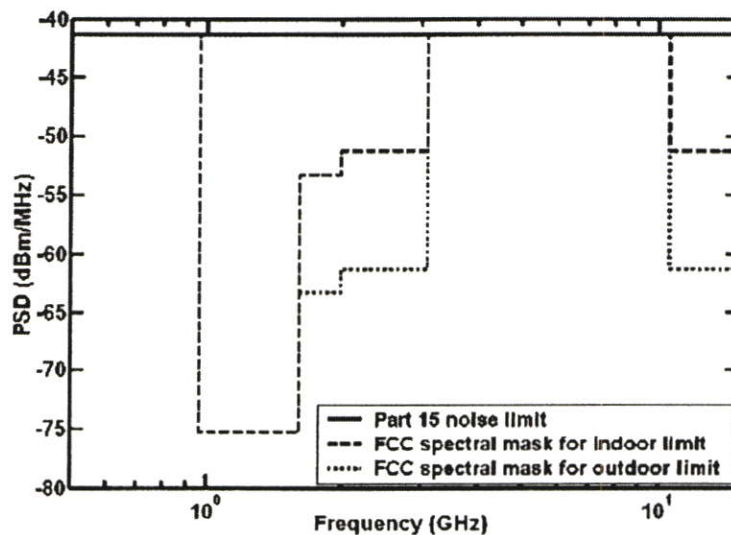
$$\text{แบนด์วิดท์} = f_H - f_L \quad (2.2)$$

โดยที่ f_H, f_L คือความถี่สูงสุดและความถี่ต่ำสุดที่ใช้งาน

สำหรับข้อกำหนดโดยทั่วไปของการกำหนดมาตรฐานการสื่อสารแบบไร้สายประกอบด้วยขอบเขตหรือช่วงความถี่ใช้งานและพลังงานการแพร่กระจายคลื่นในอากาศ ซึ่งในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งจึงต้องกำหนดเช่นเดียวกัน โดยกำหนดทั้งช่วงความถี่และการแผ่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง (PSD) สำหรับข้อกำหนดของ FCC ได้กำหนดระดับการแพร่กระจายกำลังงานออกเป็น 2 ส่วนคือระดับการแพร่กระจายกำลังภายในและภายนอกอาคาร ซึ่งจะแสดงระดับการแพร่กระจายกำลังงานในแต่ละช่วงความถี่ไว้ดังตารางที่ 2.1 [3]

ตารางที่ 2.1 ระดับการแพร่กระจายกำลังของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งทั้งภายในและภายนอกอาคารกำหนดโดย FCC

| ช่วงความถี่ที่กำหนด (MHz) | ภายในอาคาร | ภายนอกอาคาร |
|---------------------------|---------------|---------------|
| | PSD (dBm/MHz) | PSD (dBm/MHz) |
| น้อยกว่า 960 | -41.3 | -41.3 |
| 960-1,610 | -75.3 | -75.3 |
| 1,990-3,100 | -51.3 | -61.3 |
| 3,100-10,600 | -41.3 | -41.3 |
| มากกว่า 10,600 | -51.3 | -61.3 |



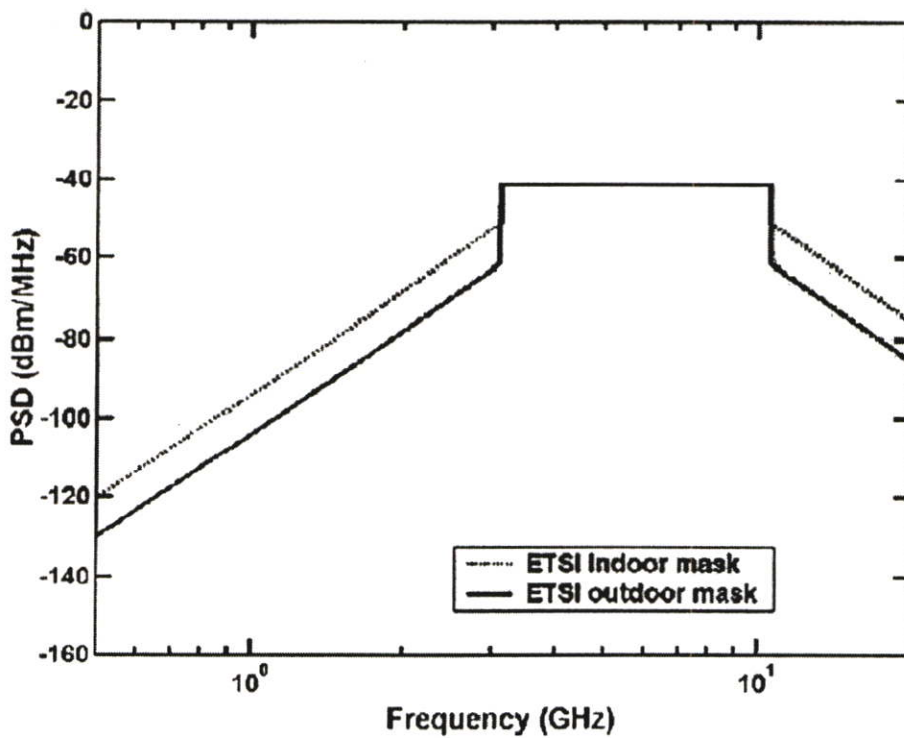
รูปที่ 2.1 สเปกตรัมมาร์คสำหรับภายในและภายนอกอาคารตามมาตรฐานของ FCC

2.4.2 ข้อกำหนดของสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป

จากกฎข้อบังคับของ FCC ที่กำหนดขึ้นอาจจะไม่สามารถใช้งานได้ทั่วทั้งโลกหรือใช้งานได้เฉพาะบางประเทศหรือบางทวีป ดังนั้นทางฝั่งยุโรปจึงได้มีการกำหนดช่วงความถี่การใช้งานระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างซึ่งอยู่ในรูปแบบของระดับ PSD ขึ้นใช้งานเช่นเดียวกับ FCC ซึ่งช่วงความถี่ที่ใช้งานจะกำหนดไว้ที่ความถี่เดียวกันคือ 3.1-10.6 GHz แต่ระดับ PSD สำหรับความถี่ข้างเคียงกำหนดให้อยู่ในรูปแบบความชันแทนที่จะอยู่ในลักษณะของขั้นบันไดเหมือนกับ FCC โดยระดับ PSD ดังกล่าว ขึ้นอยู่กับความถี่ข้างเคียงนั้นๆ ซึ่งข้อมูลโดยละเอียดแสดงในตารางที่ 2.2 [4]

ตารางที่ 2.2 ระดับการแพร่กระจายกำลังของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างซึ่งทั้งภายในและภายนอกอาคารกำหนดโดย ETSI

| | ช่วงความถี่ (GHz) | | |
|-------------|--------------------------|----------|---------------------------|
| | ต่ำกว่า 3.1 | 3.1-10.6 | มากกว่า 10.6 |
| ภายในอาคาร | $-51.3 + 87 \log(f/3.1)$ | -41.3 | $-51.3 + 87 \log(10.6/f)$ |
| ภายนอกอาคาร | $-61.3 + 87 \log(f/3.1)$ | -41.3 | $-61.3 + 87 \log(10.6/f)$ |

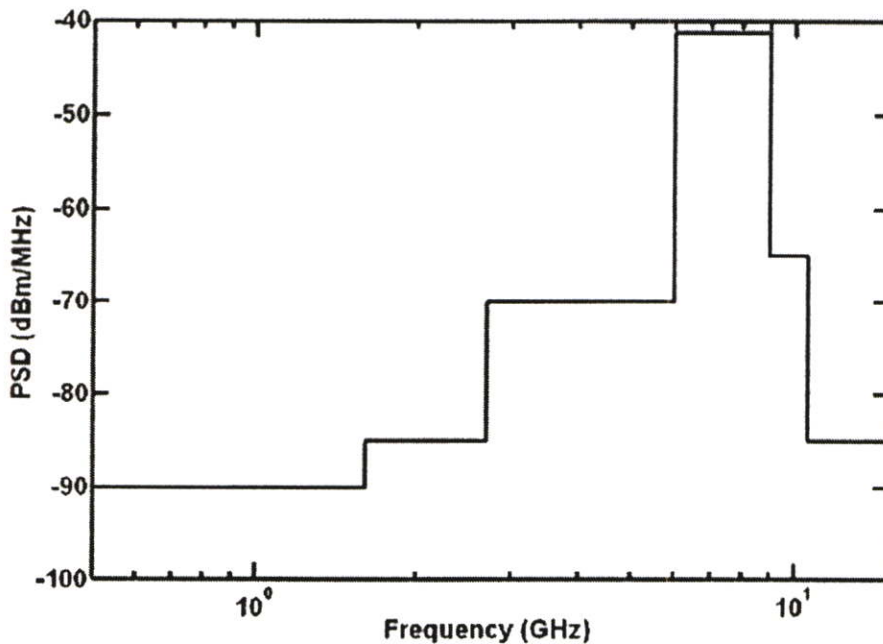


รูปที่ 2.2 สเปกตรัมมาร์คสำหรับภายในและภายนอกอาคารตามมาตรฐานของ ETSI

จากนั้นทางผู้ออกกฎได้ทดลองนำมาใช้งานจริงตามกฎที่ได้ตั้งขึ้น ผลปรากฏว่ามีปัญหาเกิดขึ้น คือเกิดการแทรกสอดกันระหว่างระบบการสื่อสารอื่นที่มีใช้งานอยู่แล้ว ข้อกำหนดดังกล่าวจึงใช้งานไม่ได้ ทำให้ต่อมาทาง ETSI ต้องมีการกำหนดมาตรฐานใหม่ขึ้นเพื่อให้สามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดปัญหา โดยมีการลดช่วงความถี่ใช้งานลงจากช่วงความถี่เดิม พร้อมทั้งยังเปลี่ยนช่วงความถี่รอบข้างให้มีลักษณะเป็นขั้นบันไดแทนการกำหนดในรูปแบบความชัน ซึ่งมาตรฐานใหม่ที่ได้กำหนดขึ้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.3 [5]

ตารางที่ 2.3 ระดับการแพร่กระจายกำลังของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งทั้งภายในและภายนอกอาคารกำหนดโดย ETSI แบบใหม่

| ช่วงความถี่ (GHz) | PSD (dBm/MHz) |
|-------------------|---------------|
| น้อยกว่า 1.6 | -90 |
| 1.6-2.7 | -85 |
| 2.7-6 | -70 |
| 6-9 | -41.3 |
| 9-10.6 | -65 |
| มากกว่า 10.6 | -85 |



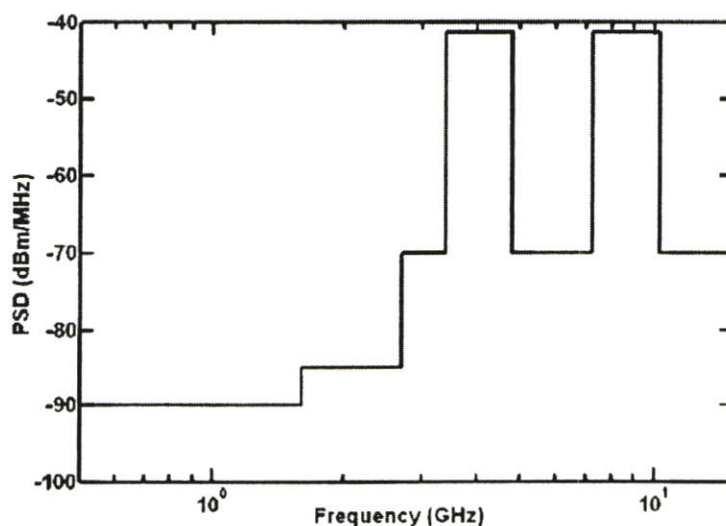
รูปที่ 2.3 สเปกตรัมมาร์คสำหรับภายในและภายนอกอาคารตามมาตรฐานของ ETSI แบบใหม่

2.4.3. กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในญี่ปุ่น

สำหรับประเทศญี่ปุ่น ได้มีการกำหนดช่วงความถี่การใช้งานให้กับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเช่นเดียวกับกับทางสหรัฐอเมริกาและทางยุโรป เนื่องด้วยทางประเทศญี่ปุ่นได้ให้ความสนใจกับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง และญี่ปุ่นเป็นประเทศที่ใช้งานระบบการสื่อสารอื่นหลากหลาย ทำให้ต้องมีการกำหนดมาตรฐานสำหรับระบบการสื่อสารใหม่ที่ต้องการนำมาใช้งานขึ้นมาใช้ โดยข้อกำหนดของประเทศญี่ปุ่นได้มีการแบ่งช่วงความถี่ใช้งานออกเป็น 2 ช่วงการใช้งาน เพื่อที่จะเลี่ยงช่วงความถี่ที่ใช้งานอยู่แล้ว โดยมีการกำหนดระดับ PSD เช่นเดียวกัน แต่กำหนดที่ตั้งขึ้นกำหนดให้ใช้งานภายในอาคารเท่านั้น ซึ่งมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่นที่ได้กำหนดขึ้นแสดงดังตารางที่ 2.4 [6]

ตารางที่ 2.4 ระดับการแพร่กระจายกำลังของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งทั้งภายในและภายนอกอาคารกำหนดโดย MIC

| ช่วงความถี่ (GHz) | PSD (dBm/MHz) |
|-------------------|---------------|
| น้อยกว่า 1.6 | -90 |
| 1.6-2.7 | -85 |
| 2.7-3.4 | -70 |
| 3.4-4.8 | -41.3 |
| 4.8-7.25 | -70 |
| 7.25-10.25 | -41.3 |
| มากกว่า 10.25 | -70 |



รูปที่ 2.4 สเปกตรัมมาร์คสำหรับภายในและภายนอกอาคารตามมาตรฐานของ MIC

2.5 รูปแบบสัญญาณที่ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง

ในปัจจุบันรูปแบบสัญญาณที่ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้น ยังไม่มีการกำหนดเป็นมาตรฐานตายตัว สามารถใช้งานรูปแบบใดก็ได้ที่สามารถสร้างได้ง่าย ซึ่งในหลายงานวิจัยในปัจจุบันได้มีผู้ที่คิดออกแบบสัญญาณ สำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งมากมาย ซึ่งจากงานวิจัยโดยมากที่ผ่านมา นิยมใช้สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เป็นสัญญาณการสื่อสารในระบบแถบกว้างยิ่ง เนื่องจากง่ายต่อการสร้างรูปสัญญาณใช้การประมวลผลที่ไม่ง่าย ซึ่งจะดีกว่าการส่งสัญญาณเป็นรูปแบบของพัลส์สี่เหลี่ยม ซึ่งสัญญาณเกาส์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันสามารถแยกออกได้เป็น 3 รูปแบบคือ

2.5.1 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์

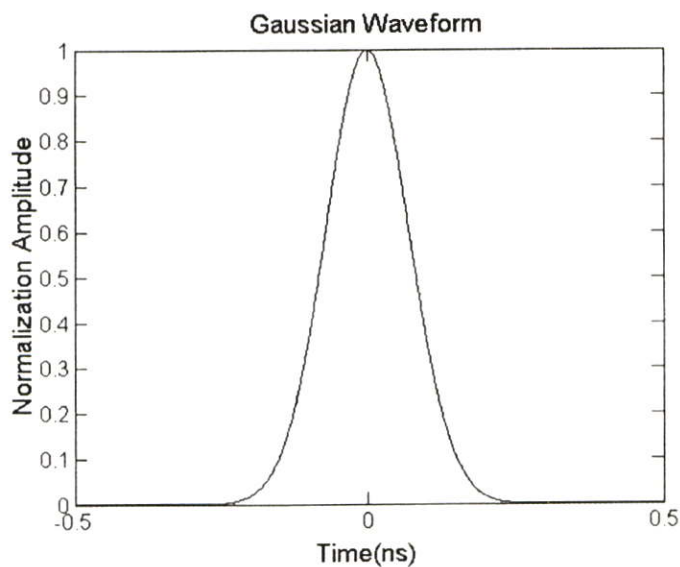
สัญญาณพัลส์แบบเกาส์ คือสัญญาณที่ได้มาจากฟังก์ชันเกาส์ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับรูปประมิงคว่ำคังที่แสดงไว้คังรูปที่ 2.5 สามารถสร้างได้จริงและง่าย สมการที่ใช้สร้างสัญญาณเกาส์พื้นฐานสามารถนิยามได้ตามสมการที่ 2.3 [7]

$$y_{g1}(t) = K_1 e^{-\frac{t^2}{\tau}} \quad (2.3)$$

โดยที่ $-\infty < t < \infty$

τ คือ ค่าสเกลทางเวลา (time scaling factor) หรือส่วนการกำหนดความกว้างของรูปคลื่น

K_1 คือ ค่าคังที่



รูปที่ 2.5 สัญญาณแบบเกาส์ทางโดเมนเวลา

2.5.2 สัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิล

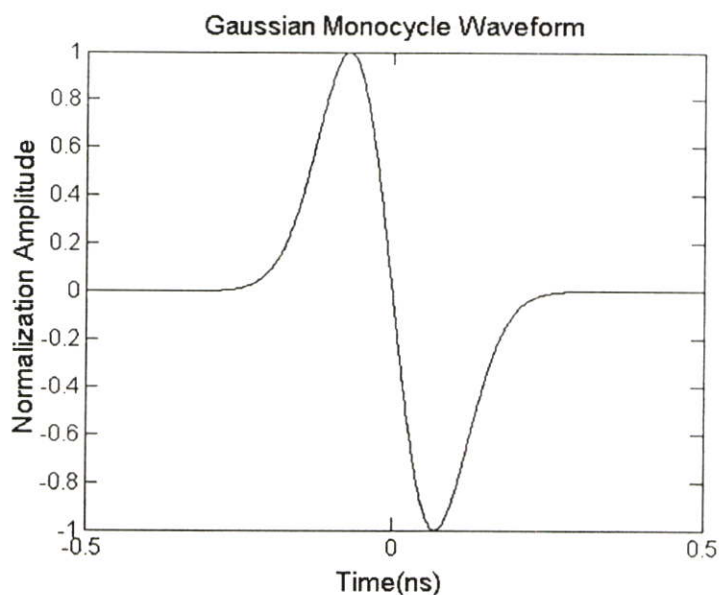
สัญญาณพัลส์แบบโมโนไซเคิล คือสัญญาณพัลส์แบบเกาส์แบบหนึ่งที่ได้จากการนำสัญญาณเกาส์ผ่านการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ซึ่งจะแสดงรูปคลื่นสัญญาณดังรูปที่ 2.6 สมการที่ใช้สร้างสัญญาณแบบโมโนไซเคิลสามารถนิยามได้ตามสมการที่ 2.4 [7]

$$y_{g2}(t) = K_2 \frac{-2t}{\tau^2} e^{-(t/\tau)^2} \quad (2.4)$$

โดยที่ $-\infty < t < \infty$

τ คือ ค่าสเกลทางเวลา (time scaling factor) หรือส่วนการกำหนดความกว้างของรูปคลื่น

K_2 คือ ค่าคงที่



รูปที่ 2.6 สัญญาณแบบโมโนไซเคิลทางโดเมนเวลา

2.5.3 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์ดับเลต

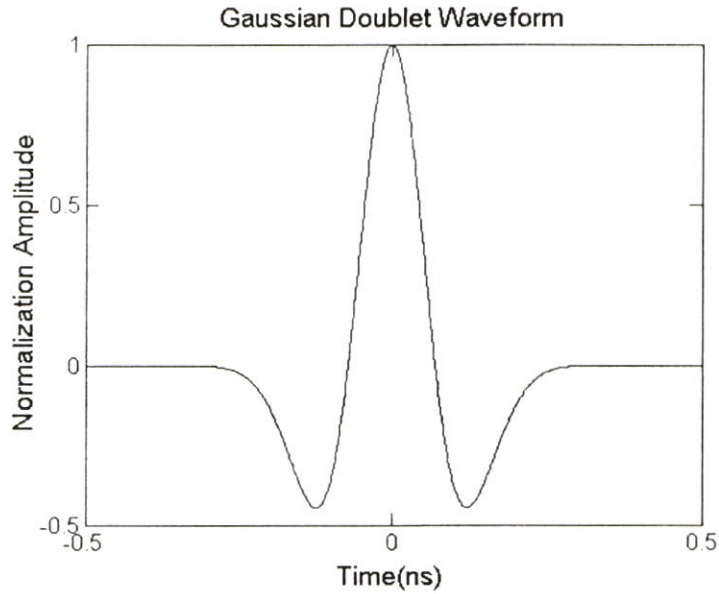
สัญญาณพัลส์แบบเกาส์ดับเลต คือสัญญาณแบบเกาส์ที่ผ่านการหาอนุพันธ์อันดับสองหรือสัญญาณแบบโมโนไซเคิลผ่านการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ซึ่งจะแสดงรูปคลื่นสัญญาณดังรูปที่ 2.7 และสมการที่ใช้สร้างสัญญาณแบบโมโนไซเคิลสามารถนิยามได้ตามสมการที่ 2.5 [7]

$$y_{g3}(t) = K_3 \frac{-2}{\tau^2} \left(1 - \frac{2t^2}{\tau^2} \right) e^{-(t/\tau)^2} \quad (2.5)$$

โดยที่ $-\infty < t < \infty$

τ คือ ค่าสเกลทางเวลา (time scaling factor) หรือส่วนการกำหนดความกว้างของรูปคลื่น

K_3 คือ ค่าคงที่



รูปที่ 2.7 สัญญาณแบบเกาส์ดับเลตทางโดเมนเวลา

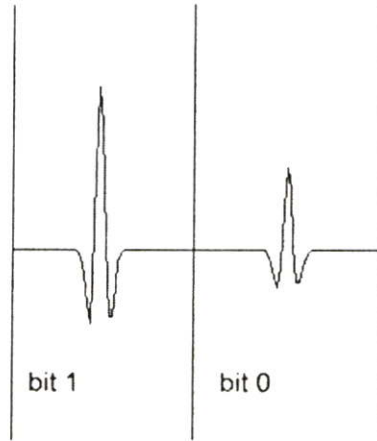
2.6 การมอดูเลตข้อมูลในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

การส่งสัญญาณข่าวสารในระบบการสื่อสารที่ใช้กันกันทั่วๆ ไปในปัจจุบันมีการมอดูเลตอยู่ 2 ลักษณะด้วยกันคือ การมอดูเลตความถี่พาห์เพื่อใช้ในการส่งผ่านและการมอดูเลตข้อมูลเพื่อสร้างความแตกต่างของข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสาร สำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีเพียงการมอดูเลตข้อมูลข่าวสารเท่านั้น ไม่มีการมอดูเลตคลื่นพาห์ ทำให้ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนี้จึงจัดว่าเป็นระบบการสื่อสารแบบอิมพัลส์ ซึ่งรูปแบบการมอดูเลตข้อมูลในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนี้จึงเปรียบเสมือนการมอดูเลตข้อมูลแบบดิจิทัล คือมีการมอดูเลตข้อมูลเข้ากับรูปคลื่นพัลส์ที่ใช้ในการสื่อสารโดยตรง สำหรับวิธีการมอดูเลตข้อมูลในระบบการสื่อสารดิจิทัลมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีการ จึงขอยกตัวอย่างวิธีการมอดูเลตข้อมูลที่ใช้กันทั่วๆ ไป 3 วิธีการ ดังนี้

2.6.1 การมอดูเลตข้อมูลทางแอมพลิจูด (pulse amplitude modulation: PAM)

การมอดูเลตข้อมูลทางแอมพลิจูด เป็นการมอดูเลตข้อมูลโดยการเปลี่ยนระดับสัญญาณหรือแอมพลิจูดให้มีความแตกต่างกันระหว่างข้อมูล 0 และข้อมูล 1 ยกตัวอย่างเช่น เมื่อสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่งมี 2 สถานะคือ 1 และ 0 ระดับแอมพลิจูดของสัญญาณที่มอดูเลตจะมี 2 ระดับ ซึ่งการมอ

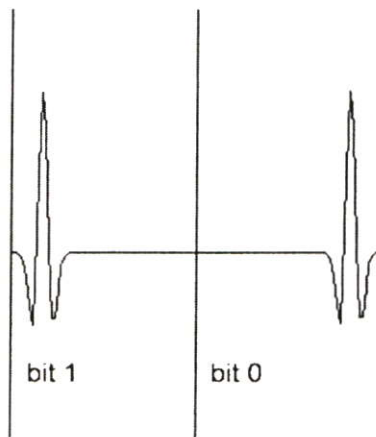
คุณลักษณะของแอมพลิจูดแสดงดังรูปที่ 2.8 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแอมพลิจูดของพัลส์ที่บิต 1 และบิต 0 มีความแตกต่างกัน



รูปที่ 2.8 รูปคลื่นที่ผ่านการมอดูเลตข้อมูลแบบ PAM สำหรับ 2 สถานะข้อมูล

2.6.2 การมอดูเลตข้อมูลทางตำแหน่ง (pulse position modulation: PPM)

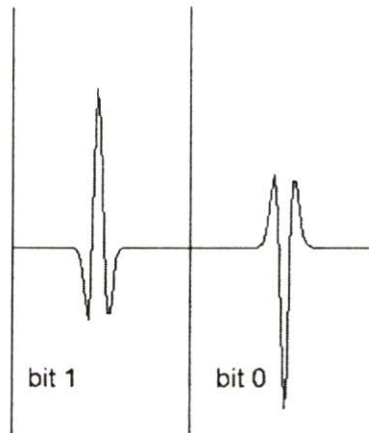
การมอดูเลตข้อมูลทางตำแหน่ง เป็นการมอดูเลตข้อมูลโดยการเปลี่ยนตำแหน่งหรือเปลี่ยนเวลาการส่งพัลส์ข้อมูลให้มีความแตกต่างกันระหว่างบิต 0 และบิต 1 ยกตัวอย่างเช่น เมื่อสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่งมี 2 สถานะคือ 1 และ 0 แสดงว่าต้องมีการกำหนดตำแหน่งพัลส์ข้อมูลที่ต้องการส่งไว้ 2 ตำแหน่งหรือ 2 ระยะเวลาคือเวลาที่บิต 1 ถูกมอดูเลตและเวลาที่บิต 0 ถูกมอดูเลต ซึ่งเวลาของการส่งพัลส์ทั้ง 2 จะต้องมีความแตกต่างกันมากพอที่จะไม่เกิดการแทรกสอดซึ่งกันและกัน สำหรับวิธีการมอดูเลตข้อมูลวิธีนี้ อาจจะทำให้อัตราการส่งข้อมูลลดลง ถ้าไม่มีการออกแบบระยะเวลาการมอดูเลตระหว่างข้อมูลที่ดีพอ ซึ่งตัวอย่างการมอดูเลตข้อมูลทางตำแหน่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าเวลาการมอดูเลตบิต 1 และบิต 0 มีความแตกต่างกัน



รูปที่ 2.9 รูปคลื่นที่ผ่านการมอดูเลตข้อมูลแบบ PPM สำหรับ 2 สถานะข้อมูล

2.6.3 การมอดูเลตข้อมูลแบบ 2 เฟส (bi-phase modulation: BPM)

การมอดูเลตข้อมูลแบบ 2 เฟส เป็นการมอดูเลตข้อมูลโดยการเปลี่ยนเฟสของสัญญาณให้มีความแตกต่างกันระหว่างบิต 0 และบิต 1 ยกตัวอย่างเช่น เมื่อสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่งมี 2 สถานะคือ 1 และ 0 เฟสของสัญญาณ 1 และ 0 ก็จะต่างกัน คือมีเฟสตรงข้ามกัน ซึ่งตัวอย่างการมอดูเลตข้อมูลแบบ 2 เฟสแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 รูปคลื่นที่ผ่านการมอดูเลตข้อมูลแบบ BPM สำหรับ 2 สถานะข้อมูล

2.7 สรุป

สำหรับในบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ในสมัยก่อนจนถึงปัจจุบัน ตั้งแต่มีการใช้งานทางการทหารจนถึงการนำระบบมาประยุกต์ใช้งานในระบบการสื่อสาร เพื่อให้ประชาชนทั่วไปได้ใช้งานเพิ่มขึ้นมาจากการใช้งานเฉพาะทางการทหาร โดยได้มีการกำหนดข้อบังคับในการสื่อสารภายในอากาศเพื่อใช้งาน ซึ่งหลายๆ องค์กรได้มีการกำหนดขึ้นมาใช้งานไม่ว่าจะเป็น คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) สถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (ETSI) และสถาบันกำหนดมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น (MIC) แต่ละมาตรฐานจะมีความแตกต่างกัน ไม่มากนักขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมหรือภูมิประเทศและการใช้งานระบบการสื่อสารอื่น พร้อมทั้งยังอธิบายถึงรูปแบบสัญญาณที่นิยมใช้ในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะด้วยกันคือ พัลส์แบบเกาส์ พัลส์แบบเกาส์โมโนไซเคิล และพัลส์แบบเกาส์ดับเลต รวมทั้งยกตัวอย่างเทคนิคการมอดูเลตข้อมูลที่นิยมใช้กันในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งได้แก่ PPM, PAM และ BPM ทั้งหมดนี้เป็นส่วนประกอบโดยรวมของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

บทที่ 3

ช่องสัญญาณการสื่อสารภายในอาคาร

3.1 บทนำ

สำหรับระบบการสื่อสารแบบไร้สาย ช่องสัญญาณการสื่อสารเป็นส่วนสำคัญมากในการวิเคราะห์ระบบการสื่อสารหรือเครื่องรับ เนื่องจากผลตอบสนองของการกระจายคลื่นในอากาศมีหลายปัจจัยที่ทำให้คลื่นที่แพร่กระจายเกิดการผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณที่ส่ง ยกตัวอย่างเช่น การกระจัดกระจาย การสะท้อน การหักเห เป็นต้น ซึ่งสิ่งต่างๆ เหล่านี้ทำให้ผลตอบสนองของช่องสัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมรอบข้าง ดังนั้นในการออกแบบเครื่องรับให้มีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องพิจารณาผลตอบสนองของช่องสัญญาณการสื่อสารบริเวณดังกล่าวร่วมด้วย

3.2 รูปแบบการสูญเสียเชิงวิถี

การสูญเสียเชิงวิถี (path loss) เป็นการสูญเสียหรือการลดทอนของคลื่นที่มีการแปรผันตามระยะทางตามสภาพแวดล้อมจากต้นทางไปยังปลายทาง ซึ่งการสูญเสียมียูหลายแบบด้วยกันไม่ว่าจะเป็นการสูญเสียจากการสะท้อน การหักเห เป็นต้น ซึ่งจะขออธิบายเป็นส่วนๆ ดังต่อไปนี้

3.2.1 การสะท้อน (Reflection)

การสะท้อนคือ การที่คลื่นเคลื่อนที่ไปกระทบกับตัวกลางที่ต่างชนิดกันกับตัวกลางเดิมแล้วคลื่นมีการเคลื่อนที่สะท้อนกลับมายังตัวกลางเดิม ซึ่งคลื่นที่สะท้อนกลับและคลื่นที่ตกกระทบจะเรียกว่า คลื่นสะท้อนและคลื่นตกกระทบตามลำดับ ลักษณะการสะท้อนสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.1 จากรูปแสดงให้เห็นถึงลักษณะการสะท้อนของคลื่น ซึ่งจะแสดงในรูปของเส้นแสงหรือเปรียบเหมือนการเดินทางของคลื่น โดยรูปที่ 3.1 ส่วนของการสะท้อนประกอบด้วยคลื่นตกกระทบ (เส้นทางด้านขวา) คลื่นสะท้อน (เส้นทางด้านบนซ้าย) และเส้นตั้งฉาก (เส้นปะอ้างอิง) สำหรับมุม θ ทั้ง 2 มุมคือ θ_1 และ θ_2 จะเรียกว่ามุมตกกระทบและมุมสะท้อน ซึ่งจะมีค่าเท่ากันเสมอ

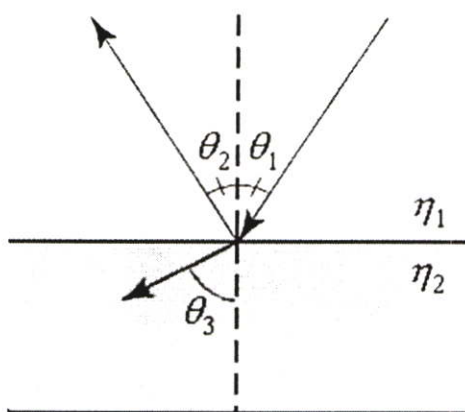
3.2.2 การหักเห (Refraction)

การหักเหคือ การที่คลื่นเกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่เมื่อเคลื่อนผ่านตัวกลางที่ต่างกันตั้งแต่ 1 ตัวกลางขึ้นไป ซึ่งเป็นไปตามกฎของ Snell [8] โดยที่การเปลี่ยนแปลงทิศทางดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นหรือค่าดัชนีหักเหของตัวกลางทั้ง 2 และการหักเหจะเกิดขึ้น

เฉพาะบริเวณผิวของตัวกลางเท่านั้น การหักเหของคลื่นมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะด้วยกันคือ คลื่นหักเหเข้าหาเส้นตั้งฉากและคลื่นหักเหออกจากเส้นตั้งฉาก คลื่นจะหักเหออกจากเส้นตั้งฉากก็ต่อเมื่อคลื่นเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากไปยังตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย ถ้าคลื่นเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยไปยังตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก คลื่นจะหักเหเข้าหาเส้นตั้งฉาก สมการการหักเหตามกฎของ Snell สามารถแสดงดังสมการที่ 3.1

$$\eta_1 \sin \theta_1 = \eta_2 \sin \theta_3 \quad (3.1)$$

โดยที่ η_x คือดัชนีหักเหของตัวกลาง x ส่วน θ_1 และ θ_3 คือมุมตกกระทบและมุมหักเหตามลำดับ



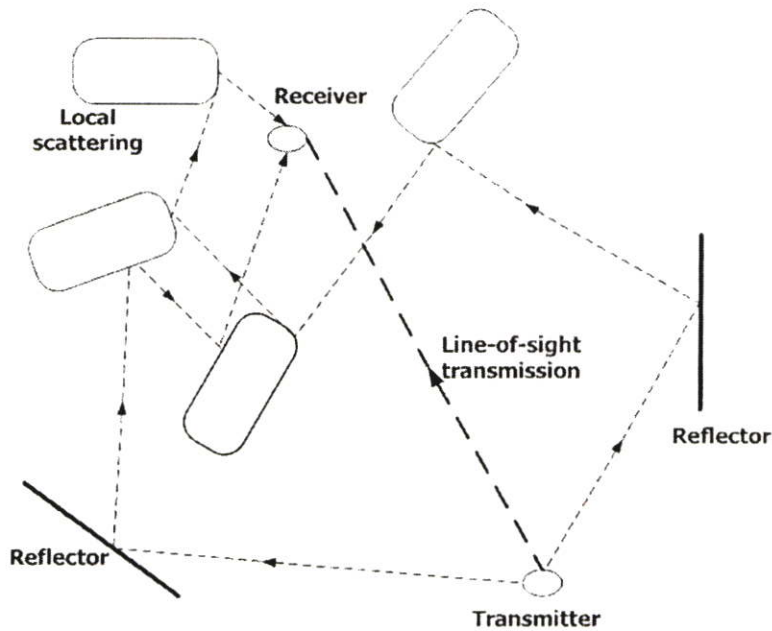
รูปที่ 3.1 ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นหักเหและคลื่นสะท้อน

3.3 การสูญเสียที่เกิดจากร่างกายมนุษย์

ร่างกายมนุษย์เปรียบเสมือนวัตถุชิ้นหนึ่งในระบบการสื่อสารไร้สาย ซึ่งวัตถุชิ้นนี้สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นร่างกายมนุษย์ทำให้ผลตอบสนองของช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่แย่กว่ากรณีที่ไม่มีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ [9] เนื่องจากร่างกายมนุษย์เปรียบเสมือนวัตถุหลายชนิดประกอบรวมกันหรือเปรียบได้ว่าเป็นวัตถุที่มีผลต่อการสะท้อน การหักเห เป็นต้น การที่กล่าวเช่นนี้เนื่องจาก ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน ค่าการหักเห สภาพยอมทางไฟฟ้า และอื่นๆ ที่ส่งผลถึงการเปลี่ยนแปลงของคลื่นในแต่ละส่วนของร่างกายมนุษย์มีไม่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อคลื่นเดินทางผ่านร่างกายมนุษย์ ผลตอบสนองของช่องสัญญาณจึงมีความแตกต่างกันออกไป ในทุกๆ ขณะเวลา [10] ดังนั้นผลตอบสนองสัญญาณเมื่อสภาพแวดล้อมประกอบไปด้วยร่างกายมนุษย์ จึงถือว่าเป็นผลตอบสนองที่ซับซ้อนต่อการทำงานของเครื่องรับเมื่อเทียบกับการบังคับด้วยวัตถุอื่น

3.4 ช่องสัญญาณหลายวิถี

สำหรับในระบบการสื่อสารแบบไร้สาย สัญญาณที่แพร่กระจายผ่านอากาศมายังเครื่องรับ อาจจะได้รับผลกระทบต่างๆ ซึ่งจะทำให้สัญญาณนั้นๆ เกิดการผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณที่ส่งที่เป็น เช่นนั้นเนื่องมาจากคลื่นเดินทางออกไปในลักษณะของการกระจายเป็นวงกว้าง ไม่เป็นเส้นตรง เช่นเดียวกับรังสีแสงที่ตกตัวอย่างให้เข้าใจได้ง่ายดังรูปที่ 3.1 จึงทำให้เกิดผลกระทบจากการสูญเสียในรูปแบบต่างๆ จากสภาพแวดล้อมภายในระบบการสื่อสารขึ้นได้ ซึ่งถ้าในกรณีของการสื่อสารภายในอาคารจะสามารถเห็นได้ชัดเจนดังรูปที่ 3.2 เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายในอาคารจะประกอบด้วยสิ่งต่างๆ มากมายกีดขวางการสื่อสาร ดังนั้นเมื่อคลื่นเดินทางมาถึงเครื่องรับทำให้สัญญาณที่รับได้ที่เครื่องรับมีจำนวนมากกว่าสัญญาณที่ส่ง จากปรากฏการณ์นี้เองทำให้ทราบว่า ช่องสัญญาณในความเป็นจริงสำหรับระบบการสื่อสารไร้สาย เป็นช่องสัญญาณหลายวิถี

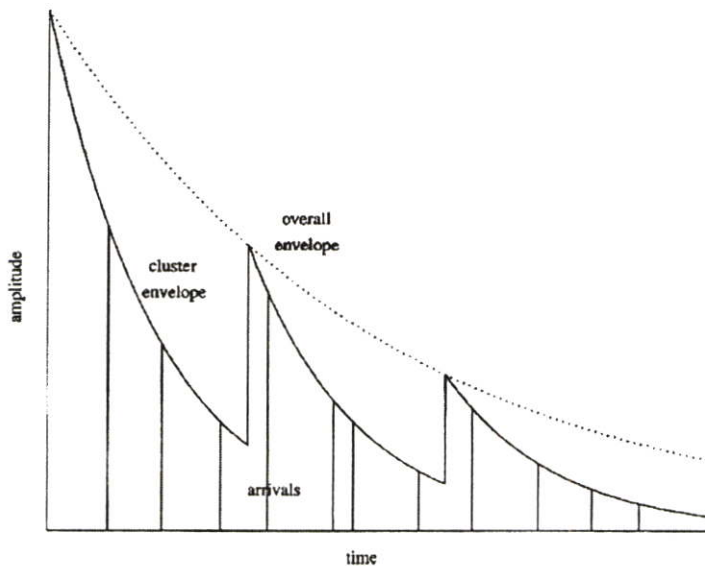


รูปที่ 3.2 การเกิดช่องสัญญาณหลายวิถีภายในอาคาร [11]

3.5 แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถี

ลักษณะของการเกิดสัญญาณหลายวิถีที่ได้กล่าวมาข้างต้น เป็นการเปลี่ยนแปลงที่คาดการณ์ได้ยาก ขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัยไม่ว่าจะเป็นปัจจัยจากสภาพแวดล้อม จากสัญญาณในระบบการสื่อสารอื่น ทำให้การออกแบบแบบจำลองช่องสัญญาณเป็นไปได้อย่างยากลำบาก ซึ่งจากในอดีตจนถึงปัจจุบันมีนักวิจัยหลายๆ ท่าน ได้ทำการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณขึ้น เพื่อที่จะใช้ในการวิเคราะห์แทนการทดสอบและเก็บค่าช่องสัญญาณจริง แต่เมื่อนำผลจากแบบจำลองดังกล่าวมา

เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับการทดสอบช่องสัญญาณจริงแล้ว ยังมีความแตกต่างกันอยู่พอสมควร หรือในบางแบบจำลองสามารถใช้งานได้เฉพาะบางกรณีเท่านั้น ดังนั้นทางบริษัท Intel จึงได้มีการทดสอบและวิเคราะห์ช่องสัญญาณภายในอาคาร สำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งหรือมาตรฐานการสื่อสารของ IEEE 802.15.3a ขึ้น เพื่อสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณสำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งบนพื้นฐานของการทดสอบจริง โดยอ้างอิงผลตอบสนองช่องสัญญาณหลายวิธีตามแบบจำลองช่องสัญญาณของ Saleh-Valenzuela Model (S-V) [12] เป็นหลัก โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงการกระจายผลตอบสนองช่องสัญญาณของ S-V จากแบบ Rayleigh มาเป็นการกระจายแบบ log-normal เพื่อให้เหมาะสำหรับช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง แต่ยังคงมีส่วนประกอบที่เป็น cluster และ ray ไว้ดั้งเดิม โดยที่ cluster จะเปรียบได้ว่าเป็นสัญญาณแรกที่รับได้ในแต่ละชุดของผลตอบสนองช่องสัญญาณและ ray คือสมาชิกภายใน cluster แต่ละ cluster ซึ่งอัตราขยายของ clusters และ rays จะมีการเปลี่ยนแปลงลดลงในรูปแบบของเอกซ์โพเนนเชียล (exponential function) เมื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างช่องสัญญาณที่ได้จากแบบจำลองและผลการทดสอบสัญญาณจริง มีความผิดพลาดประมาณ 3.63% ซึ่งถือว่าไม่มากนัก [13]



รูปที่ 3.3 ผลตอบสนองช่องสัญญาณในรูปแบบของ Cluster และ ray [14]

สำหรับแบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิธีที่กล่าวมานี้ สามารถเขียนอธิบายให้อยู่ในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการที่ 3.2

$$h(t) = \sum_{l=0}^L \sum_{k=0}^K \alpha_{k,l} \delta(t - T_l - \tau_{k,l}) \quad (3.2)$$

โดยที่ $\alpha_{k,l}$ คือ ค่าอัตราขยายรวมกัน (gain coefficient) ของแต่ละผลตอบสนองช่องสัญญาณ

T_l คือ ค่าการหน่วงเวลาของแต่ละ cluster (l^{th})

$\tau_{k,l}$ คือ ค่าการหน่วงเวลาของแต่ละ ray (k^{th})

สำหรับอัตราการมาถึงของสัญญาณ cluster และ ray สามารถคาดการณ์ได้จาก

$$\begin{aligned} p(T_l|T_{l-1}) &= \Lambda \exp[-\Lambda(T_l - T_{l-1})], \quad l > 0 \\ p(\tau_{k,l}|\tau_{(k-1),l}) &= \lambda \exp[-\lambda(\tau_{k,l} - \tau_{(k-1),l})], \quad k > 0 \end{aligned} \quad (3.3)$$

โดยที่ Λ คือ อัตราการมาถึงของกลุ่ม cluster

λ คือ อัตราการมาถึงของสัญญาณ ray

สำหรับอัตราขยาย (gain) ของแต่ละเส้นทางหาได้จาก

$$\alpha_{k,l} = p_{k,l} \beta_{k,l} \quad (3.4)$$

โดยที่ $20 \log_{10}(\beta_{k,l}) \propto \text{Normal}(\mu_{k,l}, \sigma^2)$ หรือ $|\beta_{k,l}| = 10^{n/20}$ เมื่อ $n \propto \text{Normal}(\mu_{k,l}, \sigma^2)$

ดังนั้น $E[\beta_{k,l}^2] = \Omega_0 e^{-T_l/\Gamma} e^{-\tau_{k,l}/\gamma}$

โดยที่ T_l คือ ส่วนหน่วงเวลาของแต่ละ l^{th} เส้นทาง

$\tau_{k,l}$ คือ ส่วนหน่วงเวลาของแต่ละ k^{th} เส้นทาง

Ω_0 คือ พลังงานเฉลี่ยของเส้นทางแรกของ cluster แรก

$p_{k,l}$ คือ ขั้วของสัญญาณที่คาดเดา

$$\mu_{k,l} = \frac{10 \ln(\Omega_0) - 10T_l/\Gamma - 10\tau_{k,l}/\gamma}{\ln(10)} - \frac{\sigma^2 \ln(10)}{20}$$

Γ คือ cluster decay factor

γ คือ ray decay factor

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ log-normal

สำหรับแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานี้เป็นแบบจำลองพื้นฐาน สามารถที่จะนำมาใช้งานในทุกๆ สภาพแวดล้อมภายในอาคารได้ แต่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมนั้นๆ จากการแบ่งกลุ่มสภาพแวดล้อมภายในอาคารของแบบจำลองแบบ S-V สามารถแบ่งสภาพแวดล้อมออกเป็น 4 กลุ่ม เพื่อกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม

และให้ผลของช่องสัญญาณออกมาใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่ง 4 กลุ่มสภาพแวดล้อมนี้จะเรียกกันว่าสภาพแวดล้อมที่ 1-4 หรือ CM1-CM4 โดยที่แต่ละสภาพแวดล้อมจะมีข้อกำหนดที่แตกต่างกันออกไปดังต่อไปนี้ [13]

- สภาพแวดล้อม CM1

สภาพแวดล้อมแรก CM1 เป็นสภาพแวดล้อมที่มีระยะทางในการส่งผ่านระหว่างเครื่องส่งไปยังเครื่องรับไม่ไกลมากนัก คือระยะไม่เกิน 4 เมตร ลักษณะการสื่อสารเป็นแบบระดับแนวสายตา (line-of-sight: LOS)

- สภาพแวดล้อม CM2

สำหรับสภาพแวดล้อมแบบที่ 2 ระยะทางการสื่อสารจะเหมือนกับแบบ CM1 คือระยะการสื่อสารไม่เกิน 4 เมตร แต่ลักษณะการสื่อสารเป็นแบบไม่เป็นระดับแนวสายตา (non line-of-sight: NLOS)

- สภาพแวดล้อม CM3

สภาพแวดล้อมแบบที่ 3 หรือ CM3 จะครอบคลุมระยะการสื่อสารตั้งแต่ 4-10 เมตร เป็นแบบไม่เป็นระดับแนวสายตาเช่นเดียวกับ CM2 หรือ NLOS

- สภาพแวดล้อม CM4

สภาพแวดล้อม CM4 ลักษณะการสื่อสารจะเป็นแบบไม่เป็นระดับแนวสายตา (NLOS) เช่นเดียวกับ CM3 ต่างกันที่อัตราการแผ่ประวิง rms มีการจำกัดอยู่ที่ 25 ns หรือมีจำนวนสัญญาณที่มาถึงยังเครื่องรับจำนวนมาก

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะช่องสัญญาณหลายวิถีและความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดในแบบจำลอง [13]

| Target Channel Characteristics | CM 1 | CM 2 | CM 3 | CM 4 |
|--|--------|-------|--------|--------|
| Mean excess delay (nsec) (τ_m) | 5.05 | 10.38 | 14.18 | |
| RMS delay (nsec) (τ_{rms}) | 5.28 | 8.03 | 14.28 | 25 |
| Number of paths within 10 dB of the strongest path (NP_{10dB}) | | | 35 | |
| Number of paths that capture 85% of channel energy (NP (85%)) | 24 | 36.1 | 61.54 | |
| Cluster arrival rate Λ (1/nsec) | 0.0233 | 0.4 | 0.0667 | 0.0667 |

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะช่องสัญญาณหลายวิถีและความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดในแบบจำลอง [13] (ต่อ)

| Model Parameters | CM 1 | CM 2 | CM 3 | CM 4 |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Ray arrival rate λ (1/nsec) | 2.5 | 0.5 | 2.1 | 2.1 |
| Cluster decay factor Γ | 7.1 | 5.2 | 14 | 24 |
| Ray decay factor γ | 4.3 | 6.7 | 7.9 | 12 |
| Stand. dev. of cluster lognormal fading term in dB (σ_{Γ} (dB)) | 3.3941 | 3.3941 | 3.3941 | 3.3941 |
| Stand. dev. of ray lognormal fading term in dB (σ_{γ} (dB)) | 3.3941 | 3.3941 | 3.3941 | 3.3941 |
| Stand. dev. of lognormal fading term for total multipath realizations in dB (σ_X (dB)) | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Model Characteristics | | | | |
| Mean excess delay (nsec) (τ_m) | 5.0 | 9.9 | 15.9 | 30.1 |
| RMS delay (nsec) (τ_{rms}) | 5 | 8 | 15 | 25 |
| NP _{10dB} | 12.5 | 15.3 | 24.9 | 41.2 |
| NP (85%) | 20.8 | 33.9 | 64.7 | 123.3 |
| Channel energy mean (dB) | -0.4 | -0.5 | 0 | 0.3 |
| Channel energy standard (dB) | 2.9 | 3.1 | 3.1 | 2.7 |

3.6 การทดสอบช่องสัญญาณ

การทดสอบช่องสัญญาณ เป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้ทราบถึงผลตอบสนองช่องสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงในอากาศ วิธีการนี้สามารถนำไปใช้เพื่อเก็บสถิติเพื่อสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณเพื่อวัดสำรวจการส่งผ่าน เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบสื่อสาร เป็นต้น สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ สำหรับการวิเคราะห์ช่องสัญญาณในโดเมนความถี่ มาใช้ในการวิเคราะห์ช่องสัญญาณในกรณีที่ช่องสัญญาณได้รับผลการบดบังจากร่างกายมนุษย์ เนื่องจากในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง มีการส่งสัญญาณแบบพัลส์ในการสื่อสาร ซึ่งสัญญาณพัลส์ดังกล่าวเป็นพัลส์ที่แคบมากระดับนาโนวินาที ทำให้การสร้างรูปพัลส์ที่มีความกว้างพัลส์น้อยๆ นั้นทำได้ยากในทางปฏิบัติ จึงไม่สามารถทำการทดสอบช่องสัญญาณด้วย

เครื่องวัดทางโดเมนเวลาได้ สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และแบบจำลองการทดสอบช่องสัญญาณ สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.6.1 การทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่

การทดสอบช่องสัญญาณโดยเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์นั้น เป็นการวิเคราะห์จากการกวาดความถี่ (frequency sweeping) โดยใช้สัญญาณแถบแคบรูปไซน์ (sinusoid) เพื่อกวาดแถบความถี่ที่ต้องการพิจารณาประกอบกับการต่อสายอากาศเพื่อใช้ในการส่งผ่านสัญญาณ ที่สำคัญการวิเคราะห์โดยเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ จำเป็นจะต้องมีการกำหนดช่วงเวลาของช่องสัญญาณที่ทำการทดสอบให้คงที่ เพื่อรักษาเงื่อนไขของช่องสัญญาณในช่วงของการกวาดความถี่ โดยที่ค่าสูงสุดของเวลาการกวาดความถี่นั้นจะถูกจำกัดโดยเวลาร่วมนัย (coherence time) ของช่องสัญญาณเอง ถ้าเวลาในการกวาดมากกว่าเวลาร่วมนัย จะทำให้ช่องสัญญาณอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาในการกวาดความถี่ได้ สำหรับการเปลี่ยนแปลงช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วนั้นต้องใช้วิธีการอื่นร่วมพิจารณาคด้วย ซึ่งเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ไม่สามารถวิเคราะห์ในส่วนนี้ได้ สำหรับประสิทธิภาพของการทดสอบสัญญาณนั้นจะถูกกำหนดโดยค่าสูงสุดของเวลาประวิง τ_{\max} โดยขึ้นอยู่กับจำนวนจุดความถี่ที่ใช้ในการกวาดความถี่แต่ละครั้ง N_{smf} และแบนด์วิธที่ใช้ในการสำรวจ B ซึ่งจะแสดงได้ดังสมการที่ 3.5 [15]

$$\tau_{\max} = (N_{\text{smf}} - 1) / B \quad (3.5)$$

ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ แสดงออกมาในรูปของผลตอบสนองความถี่ (frequency response: FR) ซึ่งอยู่ในรูปของเวกเตอร์คือ ประกอบด้วยจำนวนจริงและจำนวนจินตภาพ ซึ่งถ้าต้องการวิเคราะห์ระบบการสื่อสารในโดเมนความถี่สามารถวิเคราะห์ได้โดยตรง แต่สำหรับในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต้องการที่จะวิเคราะห์ในโดเมนเวลา จึงต้องทำการแปลงผลตอบสนองทางความถี่ที่ได้นั้นให้อยู่ในรูปแบบของโดเมนเวลาก่อน ซึ่งการแปลงผลตอบสนองความถี่ให้อยู่ในรูปแบบโดเมนเวลานั้น สามารถทำได้โดยการใช้ฟูริเยร์ผกผันแบบเร็ว (inverse fast Fourier transform: IFFT)

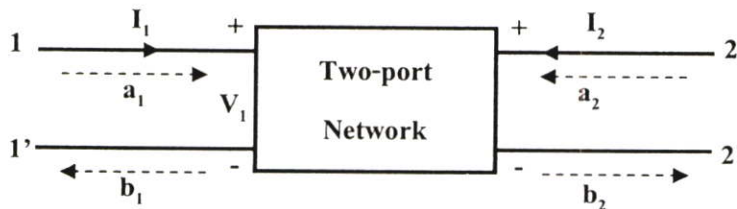
3.6.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

การส่งสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับในระบบการสื่อสารไร้สายนั้น มีปัจจัยหลายประการที่ทำให้ประสิทธิภาพการส่งผ่านเกิดการผิดพลาดขึ้นได้ยกตัวอย่างเช่น ระดับพลังงานของสัญญาณไม่คงที่ เวลาประวิงของสัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงไปหรือรูปคลื่นสัญญาณเกิดการผิดเพี้ยน โดยผลที่เกิดขึ้นเหล่านี้สามารถทราบได้จากการทดสอบเท่านั้น เพราะฉะนั้นจึงต้องทำ

ความเข้าใจกับพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องวิเคราะห์นั้นๆ หรือการวิเคราะห์การผิดพลาดที่เกิดจากการทดสอบ ซึ่งพารามิเตอร์ที่สำคัญจะแสดงดังต่อไปนี้

3.6.2.1 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านช่องสัญญาณ

สำหรับการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การส่งผ่านช่องสัญญาณ โดยเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์นั้น จะพิจารณาที่การส่งผ่านจากด้านส่งไปยังด้านรับของระบบการสื่อสารหรือจากพอร์ต 1 ไปยังพอร์ต 2 ของเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ (transmission coefficient: S_{21}) โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสามารถหาได้เช่นเดียวกับการหาพารามิเตอร์การกระจาย (S-parameter) ซึ่งมีนิยามการกระจายของโครงข่ายแบบ 2 พอร์ต ดังรูปที่ 3.4 และตามสมการดังนี้ [10]



รูปที่ 3.4 ไดอะแกรมโครงข่ายแบบ 2 พอร์ต

$$\bar{b} = \bar{S} \bar{a} \quad (3.6)$$

โดยที่ \bar{a} คือเวกเตอร์ของคลื่นตกกระทบ

\bar{b} คือเวกเตอร์ของคลื่นสะท้อน

\bar{S} คือเวกเตอร์การกระจาย

หรือสามารถแสดงให้อยู่ในรูปแบบการกระจายเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\bar{a} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$$\bar{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

โดยที่ a_1 คือ คลื่นที่ส่งผ่านเข้าไปยังพอร์ต 1

b_1 คือ คลื่นที่สะท้อนกลับมายังพอร์ต 1

a_2 คือ คลื่นที่ส่งผ่านเข้าไปยังพอร์ต 2

b_2 คือ คลื่นที่สะท้อนกลับมายังพอร์ต 2

สำหรับสัมประสิทธิ์ดังกล่าวสามารถหาได้ดังต่อไปนี้

$$a_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{\sqrt{Z_0}} + \sqrt{Z_0} I_1 \right) \quad (3.9)$$

$$b_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{\sqrt{Z_0}} - \sqrt{Z_0} I_1 \right) \quad (3.10)$$

$$a_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_2}{\sqrt{Z_0}} + \sqrt{Z_0} I_2 \right) \quad (3.11)$$

$$b_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_2}{\sqrt{Z_0}} - \sqrt{Z_0} I_2 \right) \quad (3.12)$$

$$\bar{S} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

$$b_1 = a_1 S_{11} + a_2 S_{12} \quad (3.14)$$

$$b_2 = a_1 S_{21} + a_2 S_{22} \quad (3.15)$$

โดยที่ S_{11} คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พอร์ต 1

S_{21} คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านระหว่างพอร์ต 1 ไปยังพอร์ต 2

S_{12} คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านย้อนกลับ ระหว่างพอร์ต 2 กลับมายังพอร์ต 1

S_{22} คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พอร์ต 2

จากสองสมการล่าสุดที่ผ่านมาสามารถแปลงกลับให้อยู่ในรูปของสัญญาณการส่งผ่านและการสะท้อนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (3.16)$$

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

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \Big|_{a_1=0} \quad (3.18)$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \Big|_{a_1=0} \quad (3.19)$$

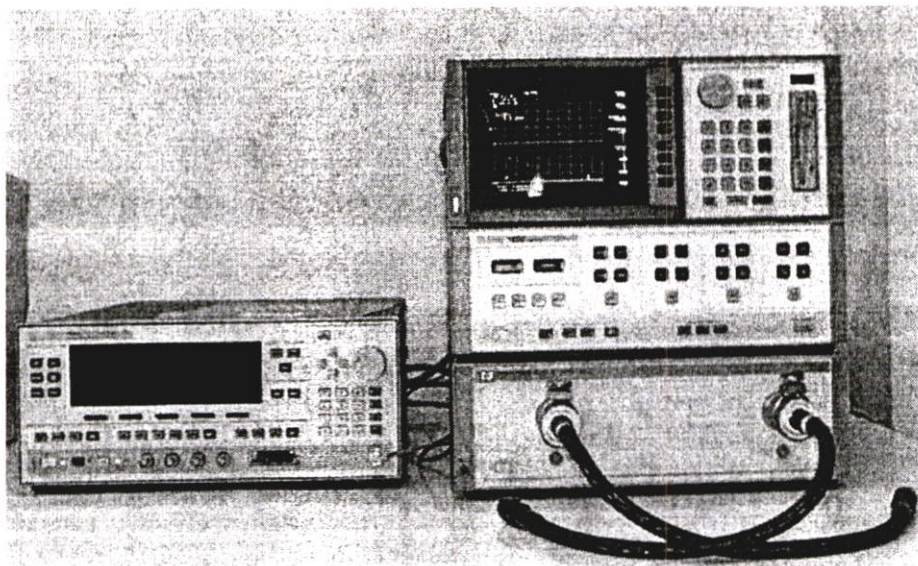
3.6.3 แบบจำลองการทดสอบช่องสัญญาณ

การทดสอบช่องสัญญาณในวิทยานิพนธ์นี้ ได้ทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน S_{21} ของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร ระยะทางการสื่อสารระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่ง 1 เมตร โดยมีร่างกายมนุษย์เข้ามาบังคับในระบบการสื่อสาร ซึ่งอาศัยเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวคเตอร์ในการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน S_{21} และใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ในการส่งและรับสัญญาณ

3.6.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.6.3.1.1 เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรเครือข่ายแบบเวคเตอร์

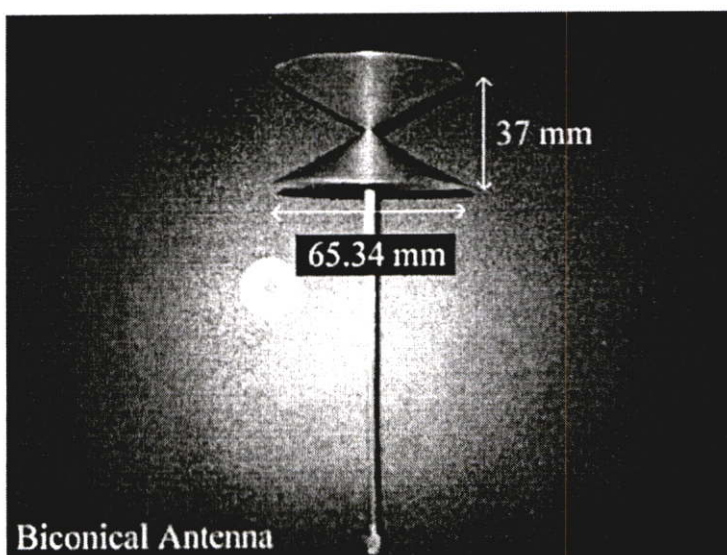
ในการทดสอบสัญญาณครั้งนี้ได้ใช้เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวคเตอร์รุ่น HP-8510C ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย (S-parameter test set) รุ่น HP-8514B และเครื่องสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-83620A เป็นอุปกรณ์ในการต่อเชื่อมและการตั้งค่า โดยทั้งหมดจะถูกนำมาต่อเชื่อมกับเครื่องคอมพิวเตอร์โดยผ่านช่องสื่อสารแบบ General purpose interface bus (GPIB) สำหรับการต่อสายอากาศเข้ากับเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวคเตอร์ เพื่อทำการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านนั้นจะกำหนดให้พอร์ต 1 ต่อสายอากาศส่งและพอร์ต 2 ต่อสายอากาศรับ ซึ่งทั้งสายอากาศส่งและรับเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่



รูปที่ 3.5 เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์

3.6.3.1.2 สายอากาศแบบกรวยคู่

สายอากาศแบบกรวยคู่หรือที่เรียกกันว่า ไบโคนิคอล (biconical antenna) เป็นสายอากาศอีกชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวเองในมุมกวาด (azimuth) แสดงดังรูปที่ 3.6 [16]

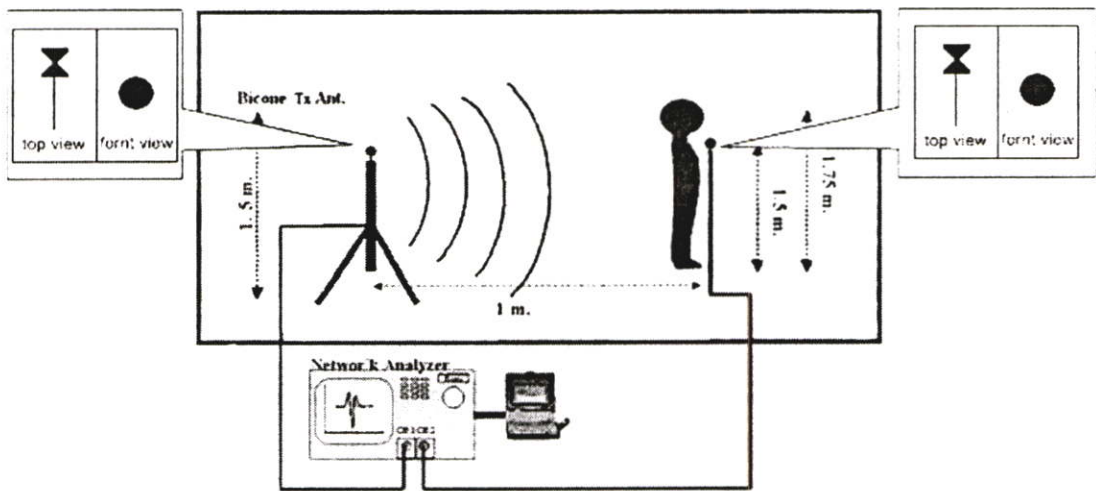


รูปที่ 3.6 สายอากาศแบบกรวยคู่

3.6.3.2 แบบจำลองการทดสอบสัญญาณและการบังคับจากร่างกายมนุษย์

เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ ถูกนำมาใช้เพื่อทดสอบสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (S_{21}) หรือผลตอบสนองช่องสัญญาณการส่งผ่านระหว่างเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ โดยแบบจำลอง

การทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งแบบจำลองการทดสอบต้องการเน้นให้คลื่นเดินทางผ่านร่างกายมนุษย์มากกว่าการสะท้อนหรือผลกระทบอื่น โดยระหว่างการสื่อสารกำหนดให้มนุษย์เข้ามาขึ้นบดบังระหว่างการสื่อสารและขึ้นอยู่ระยะใกล้สายอากาศรับ พร้อมทั้งยังวางสายอากาศวางในแนวนอนเพื่อให้คลื่นผ่านร่างกายมนุษย์มากที่สุดและลดผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมให้มากที่สุด สายอากาศที่เลือกใช้เป็นสายอากาศแบบกรวยคู่ทั้งด้านส่งและด้านรับ สำหรับพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในแบบจำลองทั้งหมดแสดงได้ดังตารางที่ 3.2 การทดสอบทั้งหมดจะทดสอบสัญญาณ 2 กรณีด้วยกัน คือ กรณีที่ไม่มีกรบคบังและมีการบดบังจากร่างกายมนุษย์เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ [17]



รูปที่ 3.7 แบบจำลองของห้องทดสอบและการบดบังจากร่างกายมนุษย์

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบสัญญาณ

| พารามิเตอร์ | ค่า |
|----------------------------------|-----------|
| ช่วงความถี่ | 3-11 GHz |
| จำนวนจุดของความถี่ | 1601 จุด |
| ความสูงของสายอากาศด้านส่ง | 1.5 เมตร |
| ความสูงของสายอากาศด้านรับ | 1.5 เมตร |
| ความสูงของมนุษย์ | 1.75 เมตร |
| ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและรับ | 1 เมตร |
| การวางตัวของสายอากาศ | แนวนอน |

3.7 สรุป

สำหรับในบทที่ 3 นี้ได้อธิบายถึงความจำเป็นในการใช้แบบจำลองช่องสัญญาณ รูปแบบการสูญเสียเชิงวิธีแบบต่างๆ ในระบบการสื่อสารแบบไร้สายไม่ว่าจะเป็นการสะท้อน การหักเห พร้อมทั้งอธิบายถึงการสูญเสียที่เกิดจากร่างกายมนุษย์ต่อระบบการสื่อสารแบบไร้สาย รวมทั้งผลกระทบที่ได้รับจากช่องสัญญาณหลายวิธี เหตุปัจจัยการเกิดช่องสัญญาณหลายวิธี จากนั้นได้นำเสนอแบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิธีที่ได้รับความนิยม และใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุดในปัจจุบัน คือ แบบจำลองของ S-V และสุดท้ายอธิบายถึงขั้นตอนอุปกรณ์ต่างๆ ในการทดสอบสัญญาณ แบบจำลองการทดสอบ พารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบสัญญาณ

บทที่ 4

เครื่องรับแบบ Rake สำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

4.1 บทนำ

ระบบการสื่อสารประกอบไปด้วยผู้ส่งสาร สื่อกลางหรือตัวกลางและผู้รับสาร โดยการสื่อสารจะสมบูรณ์ก็ต่อเมื่อ ผู้รับสารได้รับสารหรือข้อมูลอย่างถูกต้องสมบูรณ์ไม่มีผิดพลาดจากผู้ส่ง สำหรับระบบการสื่อสารแบบไร้สายก็เช่นเดียวกัน เป้าหมายคือต้องการให้ผู้รับปลายทางสามารถรับข้อมูลได้ครบถ้วนสมบูรณ์ในขณะที่มีการส่งข้อมูลผ่านอากาศ ซึ่งทางด้านของเครื่องรับมีหน้าที่ในการตรวจจับสัญญาณและแยกแยะสัญญาณที่รับได้ให้มีความถูกต้องแม่นยำตรงกับข้อมูลที่ส่งมา ซึ่งความต้องการนี้เองทำให้การพัฒนาเครื่องรับเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เพื่อต้องการให้เครื่องรับสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกๆ สภาพการสื่อสาร สำหรับเทคนิคที่จะทำให้เครื่องรับสามารถแยกแยะสัญญาณและเพิ่มประสิทธิภาพนั้นมีด้วยกันหลากหลายวิธีการ ยกตัวอย่างเช่นการเข้ารหัสสัญญาณที่ใช้ส่ง เพิ่มกำลังงานการส่งข้อมูล ซึ่งวิธีการที่ง่ายที่สุดคือการเพิ่มพลังงานที่ใช้ในการส่งหรือเพิ่มระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนให้สูงมากๆ เพื่อไม่ให้สัญญาณรบกวนมาบดบังสัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่งได้ ซึ่งถ้ากรณีไม่มีสัญญาณอื่นมารบกวนหรือไม่มีสัญญาณรบกวน เครื่องรับชนิดใดก็ตามสามารถที่จะตรวจจับสัญญาณได้ถูกต้องเหมือนกัน แต่ในความเป็นจริงแล้วสัญญาณรบกวนจะปนมากับสัญญาณข้อมูลเสมอ ด้วยเหตุนี้เองทำให้นักออกแบบเครื่องรับได้ทำการออกแบบเครื่องรับที่สามารถเพิ่มระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนขึ้นมา โดยอาศัยเทคนิคการรวมสัญญาณหลายวิถี ซึ่งเครื่องรับประเภทนี้มีชื่อเรียกว่าเครื่องรับแบบ Rake

4.2 ประวัติเครื่องรับแบบ Rake (Rake receiver)

เครื่องรับในระบบการสื่อสารไร้สายมีอยู่มากมายหลายชนิด โดยแต่ละชนิดจะมีข้อเด่น ข้อด้อยแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับโครงสร้างและการนำมาใช้งาน ซึ่งโครงสร้างของเครื่องรับชนิดต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นและนำมาใช้งานในปัจจุบันมีวิวัฒนาการมาจากเครื่องรับ 2 ชนิดคือ เครื่องรับแบบตัวตรวจวัดค่ายอด (peak detector) คือเครื่องรับที่พิจารณาตรวจจับความแรงของสัญญาณที่รับได้เพื่อใช้ในการตัดสินใจบิตข้อมูลและเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ (correlation receiver) คือเครื่องรับที่มีการเปรียบเทียบความเหมือนหรือต่างกันของรูปสัญญาณ ระหว่างสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณส่ง ซึ่งเครื่องรับ 2 ประเภทนี้จัดเป็นเครื่องรับต้นแบบของเครื่องรับทั้งหมดที่มีใช้งานกันอยู่

ในปัจจุบัน ซึ่งเครื่องรับแบบ Rake จัดเป็นเครื่องรับประเภทหนึ่งที่เกิดขึ้นมาจากรีเซปเตอร์ทั้ง 2 แบบนี้เช่นเดียวกัน

เครื่องรับแบบ Rake เป็นเครื่องรับชนิดหนึ่งจากหลายๆ ชนิดของเครื่องรับที่ใช้งานกันในปัจจุบัน ซึ่งเครื่องรับแบบ Rake นี้จัดว่าเป็นเครื่องรับที่มีประสิทธิภาพสูงมาก เมื่อเทียบกับเครื่องรับที่มีใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน แต่โครงสร้างของเครื่องรับแบบ Rake มีความซับซ้อนสูง ดังนั้นถ้าต้องการให้ระบบการสื่อสารมีประสิทธิภาพที่สูงจึงต้องยอมรับความซับซ้อนที่เกิดขึ้นด้วย

ในปัจจุบันงานวิจัยหลายๆ งานได้ให้ความเห็นว่า เครื่องรับแบบ Rake น่าจะเหมาะสมกับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างดังจะเห็นได้จากตัวอย่างหลายๆ งานวิจัยที่ใช้เครื่องรับแบบ Rake ในการสื่อสาร [18]-[19] เพราะฉะนั้นระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยังสามารถใช้เครื่องรับแบบ Rake ในการตรวจจับสัญญาณข้อมูลได้เช่นกัน ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงจำลองเครื่องรับแบบ Rake เพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพบนสภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง เพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการเลือกใช้และพัฒนาเครื่องรับแบบ Rake ให้สามารถใช้งานในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยังได้

4.3 จุดเด่นของเครื่องรับแบบ Rake

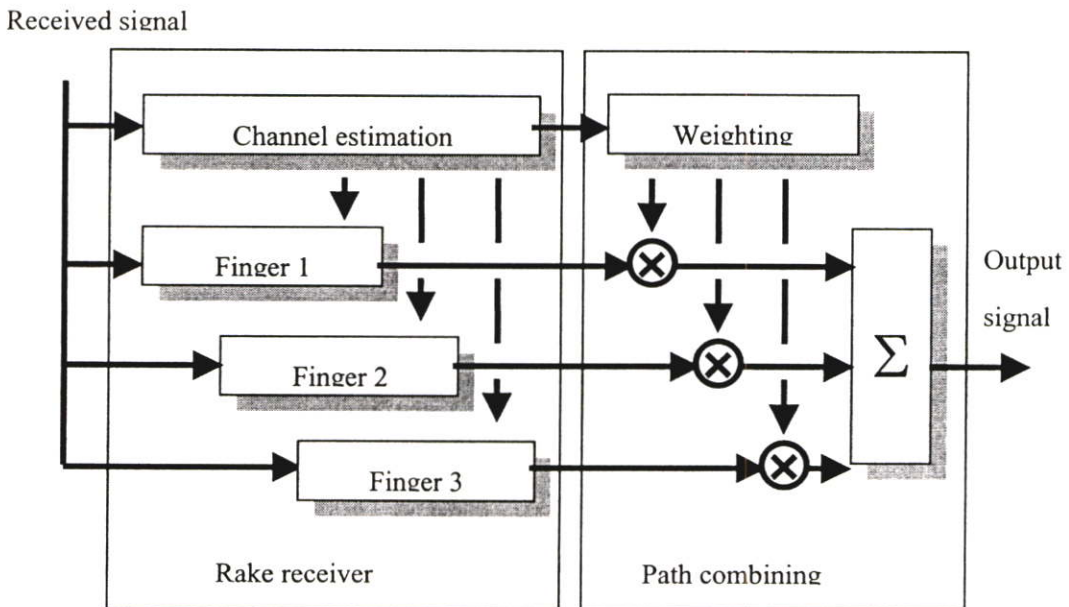
ความได้เปรียบทางด้านประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake นั้นได้มาจากการรวมคุณลักษณะ ข้อดีของเครื่องรับแบบตัวตรวจวัดค่ายอดและแบบสหสัมพันธ์มารวมเข้าด้วยกันคือ มีการนำสัญญาณต้นแบบมาเทียบหาความสัมพันธ์ของสัญญาณหลายวิถีที่รับได้ (correlation) แล้วตรวจจับค่าความแรงของสัญญาณในแต่ละผลตอบสนองของสัญญาณหลายวิถีที่รับได้ (peak) หลังจากนั้นนำสัญญาณทั้งหมดมารวมกัน เพื่อเพิ่มระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนให้สูงมากขึ้น เมื่อระดับของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูง ประสิทธิภาพของเครื่องรับจะสูงตามไปด้วยและจุดเด่นที่สำคัญของเครื่องรับแบบ Rake ก็คือสามารถที่จะขจัดสัญญาณแทรกสอด (interference) ที่เกิดขึ้นในระบบการสื่อสารได้อีกด้วย ดังนั้นเครื่องรับแบบ Rake จึงนิยมนำมาใช้งานในระบบการสื่อสารความเร็วสูงและระบบการสื่อสารแบบแถบกว้าง แต่ข้อเสียของเครื่องรับแบบ Rake คือเครื่องรับจำเป็นจะต้องมีหน่วยประมวลผลที่มีความเร็วสูง และมีการประมวลผลมากกว่าเครื่องรับแบบอื่น

4.4 โครงสร้างเครื่องรับแบบ Rake

เทคนิคของเครื่องรับแบบ Rake ที่ทำให้ประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องรับแบบอื่นๆ คือ มีการใช้ประโยชน์จากสัญญาณหลายวิถีที่รับได้ ซึ่งกล่าวมาแล้วบทที่ 3 มาพิจารณาร่วมกันพร้อมทั้งใช้

เทคนิคการรวมสัญญาณเพื่อช่วยเพิ่มระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนให้สูงขึ้นด้วย จากผลการรวมสัญญาณหลายวิธีทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องรับแบบอื่นๆ แต่ขั้นตอนก่อนการรวมสัญญาณมีหลายขั้นตอนด้วยกัน เช่นการแยกสัญญาณหลายวิธีออกจากกันในกรณีที่ใช้สายอากาศคันเดียว เพื่อแยกพิจารณาในแต่ละเส้นทาง การประมาณช่องสัญญาณในแต่ละเส้นทาง รวมไปถึงการปรับเวลาแต่ละเส้นทางของสัญญาณที่รับได้ให้มีเวลาที่ตรงกันก่อนการรวม ซึ่งส่วนต่างๆ เหล่านี้ล้วนจะต้องใช้การประมวลผลสูงทั้งสิ้น

ลำดับขั้นตอนการทำงานของเครื่องรับแบบ Rake เมื่อพิจารณาตามโครงสร้างดังรูปที่ 4.1 สามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อเครื่องรับได้รับสัญญาณจากภาคส่ง ส่วนของตัวประมาณช่องสัญญาณ (channel estimation) ทำการประมาณความแรงของสัญญาณที่รับได้ในแต่ละเส้นทางของสัญญาณ และใช้ matched filter มาช่วยในการเพิ่มระดับสัญญาณแต่ละเส้นทางเพื่อประมวลผลแยกกันในแต่ละ finger โดยจะทำการปรับตำแหน่งเวลาแต่ละสัญญาณที่ผ่านการประมวลผลให้ตรงกัน เพื่อรวมสัญญาณและเข้าสู่ขั้นตอนการตัดสินใจสัญญาณต่อไป



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของเครื่องรับแบบ Rake

จากที่ได้อธิบายการทำงานมาข้างต้น โครงสร้างของเครื่องรับแบบ Rake ประกอบด้วย 4 ส่วนหลักคือส่วนแยกสัญญาณหลายวิธี ส่วนประมาณช่องสัญญาณ (channel estimator) ส่วนควบคุมการถ่วงน้ำหนักของสัญญาณที่รับได้และส่วนรวมสัญญาณหลายวิธี ซึ่งแต่ละส่วนมีหน้าที่โดยละเอียด ดังต่อไปนี้

4.4.1. ส่วนแยกสัญญาณหลายวิถี

โดยปกติเครื่องรับแบบ Rake จะใช้งานในระบบที่ใช้สายอากาศหลายตัว (array antennas) ดังนั้นสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศแต่ละตัวสามารถส่งตรงเข้าไปใน finger แต่ละตัวได้โดยตรง แต่หากใช้สายอากาศเพียงตัวเดียว จึงจำเป็นต้องมีส่วนแยกสัญญาณหลายวิถีที่รับได้ให้สัมพันธ์กับจำนวน finger ที่มีในเครื่องรับ เพื่อประมวลผลสัญญาณในแต่ละ finger ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งส่วนนี้จะช่วยในการกำหนดจังหวะการทำงานให้กับเครื่องรับ Rake

4.4.2. ส่วนประมาณช่องสัญญาณ

ตัวประมาณช่องสัญญาณมีหน้าที่ในการประมาณช่องสัญญาณจากสัญญาณที่รับได้ ซึ่งจะทำให้เครื่องรับสามารถทราบการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณ ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปขณะที่ทำการส่งสัญญาณผ่านอากาศ เมื่อเครื่องรับทราบการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณหรือสามารถที่จะทราบการเปลี่ยนแปลงผลตอบสนองของช่องสัญญาณหลายวิถีจากสัญญาณที่รับได้ จะช่วยให้สามารถตัดสินใจสัญญาณได้อย่างถูกต้องมากขึ้น ถ้าอัตราขยายของผลตอบสนองช่องสัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงไป ตัวประมาณช่องสัญญาณจะทำการประมาณและอัตราขยายให้เหมาะสมกับความถี่จริง หรือปรับอัตราขยายตามที่ควรจะเป็น เพื่อส่งสัญญาณดังกล่าวไปประมวลผลเพื่อปรับการถ่วงน้ำหนัก (weighting) ให้เป็นไปได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งส่วนการปรับการถ่วงน้ำหนักของสัญญาณนี้เป็นส่วนที่ช่วยให้การรวมสัญญาณหลายๆ สัญญาณให้มีความถูกต้องและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องรับให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้ด้วย

สำหรับการประมาณช่องสัญญาณนั้นมีหลายวิธีการด้วยกัน สามารถแบ่งเป็นประเภทหลักๆ ได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่มีการประมาณช่องสัญญาณจากสัญญาณนำ (pilot signal) ซึ่งส่งมาพร้อมกับสัญญาณข้อมูล การประมาณอีกประเภทหนึ่ง คือ ประเภทที่ไม่ต้องใช้สัญญาณนำในการประมาณ (blind channel estimation) ซึ่งการประมาณช่องสัญญาณแบบ blind นี้จะมีความซับซ้อนมากกว่าแบบ pilot มาก สำหรับข้อดีข้อเสียของการประมาณช่องสัญญาณทั้ง 2 แบบคือ การประมาณแบบ pilot จะมีสัญญาณนำรวมอยู่กับข้อมูลข่าวสารด้วย ส่งผลให้ความจุของช่องสัญญาณถูกใช้ไปอย่างสิ้นเปลืองมากกว่าแบบ blind แต่การประมวลผลสัญญาณมีความซับซ้อนน้อยกว่า ลำดับขั้นตอนการทำงานน้อยกว่าและวิธีการแบบใช้สัญญาณนำสามารถทำงานได้ในเวลาจริง (real time) เนื่องจากความซับซ้อนน้อยทำให้ต้นทุนการสร้างลดลง ซึ่งคุณลักษณะของการประมาณทั้ง 2 ประเภทสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.4.2.1 การประมาณแบบ blind

สำหรับการประมาณแบบ blind เป็นวิธีการที่มีความซับซ้อนสูง ออกแบบยากและใช้การประมวลผลสัญญาณสูงมาก แต่ประสิทธิภาพของการประมาณช่องสัญญาณมีคุณภาพสูง ในปัจจุบัน

ทางด้านกรวิจัยเกี่ยวกับการประมาณช่องสัญญาณ การประมาณแบบ blind นี้เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายและให้ความสำคัญมาก เพราะเป็นวิธีการที่ช่วยให้การใช้งานช่องสัญญาณเป็นไปได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ คือไม่ต้องมีส่วนสัญญาณนำรวมเข้ามาในสัญญาณข่าวสารจึงไม่สิ้นเปลืองความจุของช่องสัญญาณในกรณีที่ความจุของช่องสัญญาณมีน้อย

4.4.2.2 การประมาณแบบ pilot

การประมาณช่องสัญญาณแบบใช้สัญญาณนำหรือเรียกกันว่า การประมาณช่องสัญญาณแบบ training bit คือระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับมีรูปแบบการส่งข้อมูลที่แน่นอนหรือเปรียบเสมือนกับการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลในระบบการสื่อสารอื่น (priority bit) แต่ไม่เหมือนกันในส่วนของการนำไปใช้งาน สำหรับระบบการประมาณช่องสัญญาณแบบ training นี้จัดได้ว่าเป็นการประมาณแบบพื้นฐานมากที่สุด โดยลักษณะการประมาณช่องสัญญาณแบบนี้เป็นการประมาณช่องสัญญาณจากสัญญาณที่รับได้ โดยอาศัยสัญญาณนำที่ได้ตกลงกันไว้แล้วระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับมาพิจารณา เปรียบเสมือนการแก้สมการทั่วไป ยกตัวอย่างเช่นสมการที่ 4.1 สมมุติว่า r คือ สัญญาณที่รับได้ h คือผลตอบสนองของช่องสัญญาณและ s คือข้อมูลที่ใส่ส่ง การทำงานพื้นฐานก็เหมือนกับการแก้สมการทั่วไป คือถ้าทราบค่าตัวแปร 2 ตัวในสมการที่ 4.1 ก็สามารถหาค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่าได้ ก็เช่นเดียวกันกับการประมาณช่องสัญญาณแบบพื้นฐานคือเมื่อต้องการทราบ h เราสามารถย้ายข้างสมการหาค่า h ได้

$$r = h \times s \quad (4.1)$$

โดยปกติแล้วสัญญาณที่รับได้ทางสายอากาศ คือ ตัวแปรหนึ่งที่เครื่องรับสามารถทราบค่าได้ แต่สิ่งที่ไม่ทราบค่าคือผลตอบสนองของช่องสัญญาณ ข้อมูลที่ส่งและสัญญาณรบกวน ในการวิจัยต่างๆ ไปจะกำหนดให้สัญญาณรบกวนมีน้อยมาก หรือสามารถทราบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณรบกวนนั้นๆ แต่ช่องสัญญาณกับข้อมูลที่ส่งมาจะไม่ทราบการเปลี่ยนแปลง ถ้าเครื่องรับทราบข้อมูลที่ส่งมา สามารถที่จะแก้สมการหาการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณได้ ดังนั้นวิธีนี้จึงเป็นวิธีแรกๆ หรือเป็นวิธีพื้นฐาน ที่ใช้ในการประมาณหาค่าการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณ ซึ่งนับว่าได้ผลดีและนิยมใช้กันมากในปัจจุบัน จากแนวคิดนี้เองทำให้นักวิจัยหลายๆ ท่านได้คิดค้นวิธีการประมาณแบบอื่นขึ้นมา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการประมาณให้สูงขึ้นจากเดิม เนื่องจากการประมาณจะถูกต้องมากขึ้นขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของสัญญาณนำ และสัญญาณข้อมูลที่ใส่ส่งแต่ละช่วงด้วย แต่ถึงอย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวทำให้ความจุช่องสัญญาณลดลง เนื่องจากสัญญาณที่ใส่ส่งประกอบด้วยสัญญาณนำรวมอยู่ในข้อมูลที่ส่งด้วย

สำหรับการประมาณช่องสัญญาณวิธีนี้ มีการใช้อัลกอริทึมสำหรับช่วยในการประมาณอีกมากมายหลายอัลกอริทึม ไม่ว่าจะเป็นการประมาณแบบเชิงเส้นหรือไม่เชิงเส้นก็ตาม ทำให้ประเภท

ของการประมาณช่องสัญญาณแบ่งออกเป็นชนิดย่อยๆ ได้มากมาย แต่ความซับซ้อนของการประมาณนั้นขึ้นอยู่กับอัลกอริทึม และความต้องการของเครื่องรับหรือส่วนที่ต้องการนำตัวประมาณมาใช้งาน

4.4.3 ส่วนควบคุมการถ่วงน้ำหนัก

การควบคุมการถ่วงน้ำหนักของสัญญาณที่รับได้ในแต่ละทิศทางหรือแต่ละ finger นั้นมีความสำคัญมาก เนื่องจากถ้าน้ำหนักของสัญญาณในแต่ละ finger มีการถ่วงที่ไม่เหมาะสมหรือมีการถ่วงน้ำหนักที่ผิดพลาดจะทำให้ประสิทธิภาพหรือความแรงของสัญญาณลดลง เมื่อนำสัญญาณมารวมกันผลรวมอาจจะลดลงได้ แต่ถ้าสัญญาณในแต่ละ finger มีการถ่วงน้ำหนักที่ตรงกันหรือเหมาะสม ผลรวมของสัญญาณที่ได้จะทำให้ระดับสัญญาณเพิ่มขึ้น ซึ่งสัญญาณที่ใช้ในการถ่วงน้ำหนักได้มาจากตัวประมาณช่องสัญญาณ

4.4.4 ส่วนการรวมสัญญาณ

การรวมสัญญาณในเครื่องรับแบบ Rake นี้จัดว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก เนื่องจากเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยเพิ่มระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนให้สูงขึ้น ดังนั้นถ้าส่วนนี้มีการทำงานที่ไม่ดีหรือมีการเลือกใช้งานไม่เหมาะสม จะทำให้ระดับสัญญาณที่ได้มีความแตกต่างกันไม่มากพอที่จะทำให้ส่วนการแยกแยะสัญญาณทำงานได้อย่างถูกต้อง

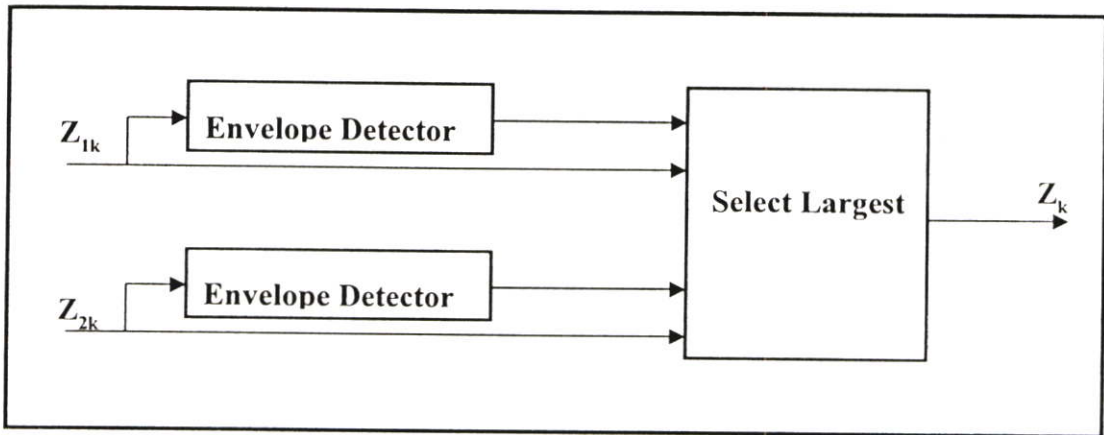
เทคนิคการรวมสัญญาณที่นิยมกันในปัจจุบันมี 3 เทคนิคคือ การเลือกสัญญาณที่แรงที่สุด (selection combining: SC) การรวมสัญญาณที่สนใจทั้งหมดเข้าด้วยกัน (equal gain combining: EGC) และการคูณน้ำหนักของสัญญาณแต่ละสัญญาณแล้วทำการรวมสัญญาณ (maximum ratio combining: MRC) ซึ่งเทคนิคโดยละเอียดแสดงได้ดังนี้

4.4.4.1 Selection combining (SC)

เทคนิคนี้จัดว่าเป็นหนึ่งในเทคนิคการรวมสัญญาณที่ได้จากหลายๆ สัญญาณ โดยเทคนิคนี้เป็นการเลือกสัญญาณที่แรงที่สุดจากสัญญาณที่สนใจทั้งหมด สามารถนิยามในรูปของสมการได้ดังสมการที่ 4.2

$$Z_k = \begin{cases} Z_{1k}, & \text{if } |Z_{1k}| > |Z_{2k}| \\ Z_{2k}, & \text{if } |Z_{2k}| > |Z_{1k}| \end{cases} \quad (4.2)$$

โดยที่ Z_{1k} และ Z_{2k} คือสัญญาณที่สนใจสัญญาณแรกและสัญญาณที่ 2 ตามลำดับ
 Z_k คือผลของสัญญาณที่ตัดสินใจ



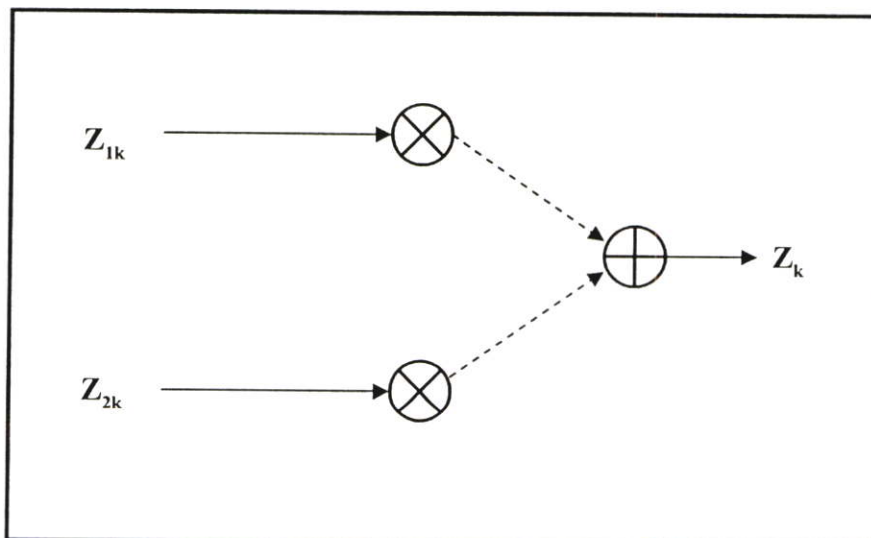
รูปที่ 4.2 ลักษณะการรวมสัญญาณแบบ SC

4.4.4.2 Equal gain combining: (EGC)

เทคนิคนี้เป็นการรวมสัญญาณที่สนใจทั้งหมดโดยตรงไม่สนใจแวกเตอร์ หรือเฟสของสัญญาณ ซึ่งการรวมวิธีนี้จะไม่มีการปรับสัญญาณให้มีแวกเตอร์ตรงกันก่อนการรวม สามารถนิยามในรูปของสมการได้ดังสมการที่ 4.3

$$Z_k = Z_{1k} + Z_{2k} \quad (4.3)$$

โดยที่ Z_{1k} และ Z_{2k} คือสัญญาณที่สนใจสัญญาณแรกและสัญญาณที่ 2 ตามลำดับ Z_k คือผลรวมของสัญญาณทั้ง 2



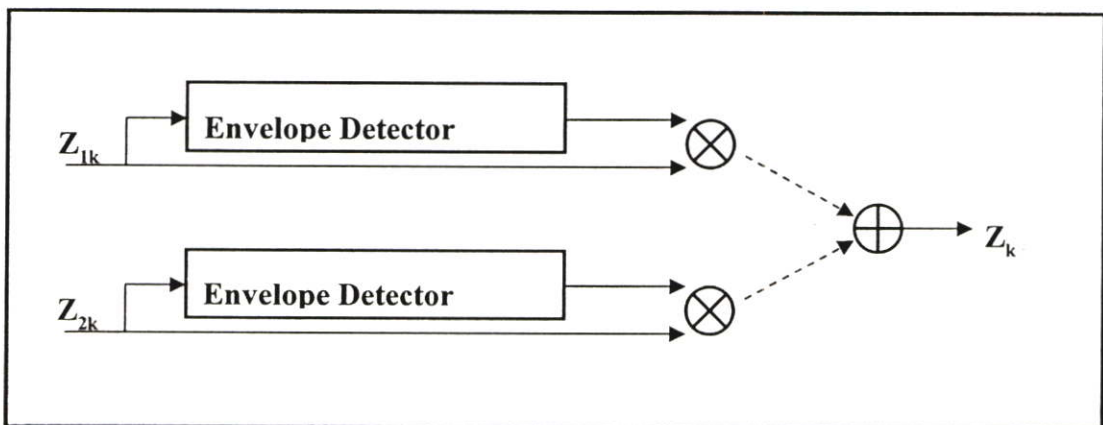
รูปที่ 4.3 ลักษณะการรวมสัญญาณแบบ EGC

4.4.4.3 Maximum ratio combining: (MRC)

เทคนิคนี้เป็นการรวมสัญญาณที่สนใจสัญญาณทั้งหมด คล้ายกับการรวมแบบ EGC แต่แตกต่างกันตรงที่มีตัวถ่วงน้ำหนักเข้ามาพิจารณาด้วย โดยแต่ละสัญญาณจะทำการคูณน้ำหนักสัญญาณของแต่ละสัญญาณ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรวมให้สูงมากขึ้น ซึ่งวิธีการนี้จัดได้ว่าเป็นวิธีการรวมที่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดในบรรดาเทคนิคการรวมสัญญาณทั้งหมด ซึ่งสามารถนิยามในรูปของสมการได้ดังสมการที่ 4.4

$$Z_k = r_{1k}Z_{1k} + r_{2k}Z_{2k} \quad (4.4)$$

โดยที่ Z_{1k} และ Z_{2k} คือสัญญาณที่สนใจสัญญาณแรกและสัญญาณที่ 2 ตามลำดับ
 r_{1k}, r_{2k} คือน้ำหนักของสัญญาณที่สนใจสัญญาณแรกและสัญญาณที่ 2 ตามลำดับ
 Z_k คือผลของสัญญาณที่ตัดสนใจ



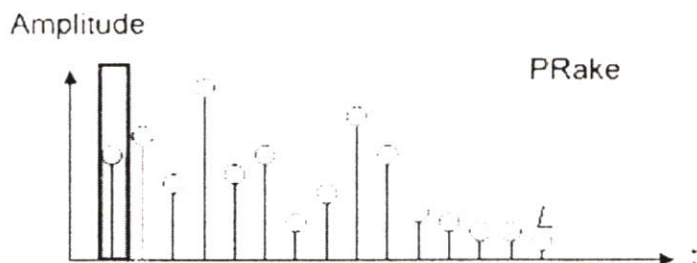
รูปที่ 4.4 ลักษณะการรวมสัญญาณแบบ MRC

4.5 ชนิดของเครื่องรับแบบ Rake

จากที่ได้กล่าวมาโครงสร้างของเครื่องรับ Rake มีการแยกสัญญาณแต่ละเส้นทางในการพิจารณา ดังนั้นด้วยเหตุนี้เองทำให้เครื่องรับแบบ Rake สามารถแบ่งออกเป็นชนิดย่อยๆ ออกได้เป็น 3 ชนิดด้วยกันตามลักษณะการพิจารณาสัญญาณที่รับได้ดังนี้ [20]

4.5.1 Partial Rake (PRake)

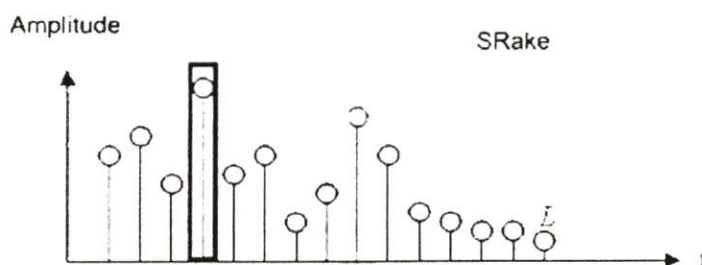
เครื่องรับแบบ PRake เป็นเครื่องรับที่สนใจเฉพาะสัญญาณที่รับได้สัญญาณแรกในแต่ละช่วงของพัลส์ข้อมูลเท่านั้น ไม่มีการรวมสัญญาณหลายวิถีอื่น ดังนั้นเครื่องรับแบบ PRake จึงคล้ายกับเครื่องรับแบบวัดระดับความสูงของสัญญาณ (peak detector)



รูปที่ 4.5 การเลือกสัญญาณบนเครื่องรับแบบ PRake

4.5.2 Selective Rake (SRake)

เครื่องรับแบบ SRake เป็นเครื่องรับที่สนใจเฉพาะสัญญาณที่มีระดับสัญญาณที่แรงที่สุดของชุดสัญญาณที่พิจารณา ไม่รวมสัญญาณหลายวิถีอื่นเช่นเดียวกับเครื่องรับแบบ PRake แต่ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ SRake ดีกว่า เครื่องรับแบบ PRake เนื่องจากสัญญาณที่รับได้สัญญาณแรกไม่จำเป็นจะต้องเป็นสัญญาณที่แรงที่สุดเสมอไป

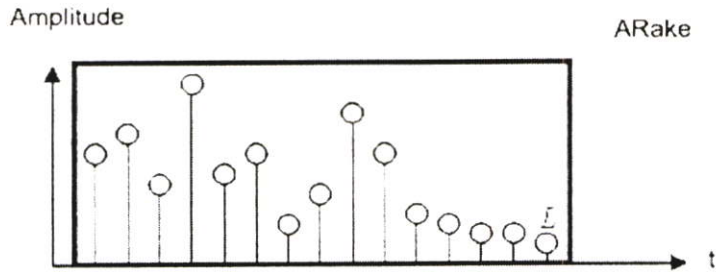


รูปที่ 4.6 การเลือกสัญญาณบนเครื่องรับแบบ SRake

4.5.3 All Rake (ARake)

เครื่องรับแบบ ARake เป็นเครื่องรับที่สนใจทุกๆ สัญญาณที่ได้รับ ซึ่งเครื่องรับจะทำการส่งสัญญาณในแต่ละเส้นทางไปยัง finger ที่ได้กำหนดไว้จนครบ แล้วทำการปรับเวลาของสัญญาณ

ทุกๆ เส้นทางให้เป็นเวลาเดียวกัน แล้วจึงทำการรวมสัญญาณ ซึ่งเครื่องรับแบบ ARake นี้ จัดเป็นเครื่องรับที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเทียบกับเครื่องรับ Rake แบบอื่นๆ



รูปที่ 4.7 การเลือกสัญญาณบนเครื่องรับแบบ ARake

4.6 สรุป

เนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงความเป็นมาวิวัฒนาการของเครื่องรับแบบ Rake ว่ามีการพัฒนาขึ้นมาจากเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์และเครื่องรับแบบตรวจจับค่ายอด โดยเครื่องรับแบบ Rake จะมีจุดเด่นคือช่วยยกระดับของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนได้สูงกว่าเครื่องรับแบบอื่นๆ ขจัดการแทรกสอดของสัญญาณได้ แต่มีการประมวลผลที่ยุ่งยากกว่าเครื่องรับโดยทั่วไป ซึ่งในบทที่ 4 นี้ยังได้กล่าวถึงโครงสร้างของเครื่องรับแบบ Rake การทำงานในแต่ละส่วนของเครื่องรับ ไม่ว่าจะเป็นการทำงานในส่วนของการพิจารณาสัญญาณหลายวิถีที่รับได้ ส่วนของตัวประมาณช่องสัญญาณ ความสำคัญของการถ่วงน้ำหนักสัญญาณ พร้อมทั้งกล่าวถึงเทคนิคต่างๆ ที่นิยมใช้ในการรวมสัญญาณ สุดท้ายแสดงถึงชนิดของเครื่องรับแบบ Rake ที่มีการใช้งานและพิจารณาในงานวิจัยต่างๆ ไป

บทที่ 5

แบบจำลองระบบและผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

5.1. บทนำ

การวิเคราะห์ระบบการสื่อสารนั้น สามารถทำได้ 2 วิธีหลักๆ ด้วยกันคือ การวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองและการวิเคราะห์โดยการทดสอบจริง ซึ่งการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองเป็นการค้นคว้า วิจัย ทดสอบแนวคิดหรือพิสูจน์สมมติฐานเท่านั้น ซึ่งสามารถที่จะแสดงถึงความเป็นไปได้และความน่าจะเป็นของแนวคิดต่างๆ โดยการวิเคราะห์ระบบจากแบบจำลองสามารถเชื่อถือได้เช่นเดียวกับการทดสอบจริง สำหรับข้อดีของการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองคือ สามารถช่วยลดต้นทุนการวิเคราะห์ได้มาก ลดความยุ่งยากในการออกแบบ ระยะเวลาในการทดสอบไม่มากนักและสามารถปรับแต่งการวิเคราะห์ได้ง่ายกว่าการวิเคราะห์โดยใช้การทดสอบจริง

สำหรับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการจำลองระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งขึ้นมาโดยจะมีการพิจารณาทั้งระบบการสื่อสารคือ สัญญาณทางด้านส่ง ช่องสัญญาณหลายวิถีและเครื่องรับแบบ Rake ที่สำคัญการจำลองครั้งนี้ได้พยายามจำลองระบบการสื่อสารให้เหมือนจริงมากที่สุดคือใช้ผลตอบสนองช่องสัญญาณจริงที่ได้จากทดสอบ ทั้งยังใช้ผลตอบสนองช่องสัญญาณหลายวิถีที่นักวิจัยหลายท่านยอมรับว่าเหมือนช่องสัญญาณจริงมากที่สุดคือ ช่องสัญญาณหลายวิถีของ S-V เข้าร่วมในการพิจารณา การจำลองประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake สำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งออกเป็น 3 แบบทดสอบด้วยกัน โดยแต่ละแบบทดสอบมีลำดับขั้นตอน แบบจำลองการทดสอบและผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพดังต่อไปนี้

5.2. ขั้นตอนการจำลองประสิทธิภาพ

สำหรับการทดสอบในวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการทดสอบหลายๆ ส่วนประกอบด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นการทดสอบจำนวนเส้นทางการพิจารณา (finger) ของเครื่องรับแบบ Rake ความแตกต่างของเครื่องรับแบบ Rake ชนิดต่างๆ ตัวประมาณช่องสัญญาณที่นำมาใช้งานในเครื่องรับแบบ Rake ซึ่งการทดสอบทั้งหมดนี้อยู่บนพื้นฐานของการส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณจริงภายในอาคาร ทั้งที่มีและไม่มีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ในระบบการสื่อสาร

5.2.1. การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ UWB Rake ภายใต้การบดบังจากร่างกายมนุษย์

การทดสอบในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องรับแบบ Rake ทั้ง 3 ชนิดคือ ARake, SRake และ PRake โดยจะตรวจสอบถึงประสิทธิภาพและความแตกต่างของเครื่องรับแต่ละชนิด พร้อมทั้งยังศึกษาถึงจำนวน finger ที่เหมาะสมในกรณีที่มีและไม่มีร่างกายมนุษย์เข้ามาบดบังในระบบการสื่อสาร ซึ่งผลการจำลองสามารถบ่งบอกถึงจำนวน finger ที่เหมาะสมเมื่อระบบการสื่อสารมีการบดบังจากร่างกายมนุษย์

5.2.2. การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องรับแบบ UWB Rake โดยพิจารณาตัวประมาณช่องสัญญาณ

สำหรับการทดสอบที่ 2 นี้ได้พิจารณาถึงตัวประมาณช่องสัญญาณเป็นหลัก ขณะที่การทดสอบแรกไม่มีการพิจารณาตัวประมาณช่องสัญญาณ ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงทำการวิเคราะห์ในส่วนนี้ ซึ่งการวิเคราะห์จะพิจารณาตัวประมาณช่องสัญญาณ 2 ชนิดด้วยกันคือ ตัวประมาณช่องสัญญาณที่ใช้อัลกอริทึมแบบ LS และตัวประมาณช่องสัญญาณที่ใช้อัลกอริทึมแบบ MMSE ซึ่งตัวประมาณช่องสัญญาณทั้ง 2 ชนิดนี้จัดว่าเป็นตัวประมาณช่องสัญญาณแบบง่าย ความซับซ้อนต่ำ มีการประมวลผลน้อยเหมาะที่จะนำมาใช้งานในเครื่องรับแบบ Rake เนื่องจากตัวเครื่องรับแบบ Rake มีความซับซ้อนมากอยู่แล้ว ถ้านำตัวประมาณที่มีความซับซ้อนน้อยมาช่วยลดความซับซ้อนของตัวเครื่องรับแบบ Rake น่าจะเป็นผลดี ซึ่งในการทดสอบที่ 2 นี้ช่องสัญญาณที่นำมาใช้ในการทดสอบคือ ช่องสัญญาณจริงภายในอาคาร โดยได้มาจากแบบจำลอง S-V ซึ่งผลการวิเคราะห์ในส่วนนี้จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของตัวประมาณช่องสัญญาณทั้ง 2 ชนิด เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมขณะนำมาใช้งานในเครื่องรับแบบ Rake

5.2.3. การพิจารณาตัวประมาณช่องสัญญาณในเครื่องรับแบบ UWB Rake สำหรับสภาพแวดล้อมจริงภายในอาคาร

แบบทดสอบที่ 3 คล้ายคลึงกับแบบทดสอบที่ 2 แตกต่างเพียงเปลี่ยนผลตอบสนองช่องสัญญาณจากช่องสัญญาณที่ได้จากแบบจำลองของ S-V มาเป็นผลตอบสนองช่องสัญญาณที่รวมผลของแบบจำลอง S-V เข้ากับผลกระทบจากร่างกายมนุษย์หรือกล่าวคือ นำช่องสัญญาณในแบบทดสอบแรกและแบบทดสอบที่ 2 มารวมเข้าด้วยกัน เพื่อเพิ่มความซับซ้อนของการพิจารณาช่องสัญญาณให้มากขึ้นและนำตัวประมาณช่องสัญญาณทั้ง 2 ชนิด มาทดสอบอีกครั้งเพื่อยืนยันถึงประสิทธิภาพของตัวประมาณช่องสัญญาณทั้ง 2 เมื่อนำมาใช้งานร่วมกับเครื่องรับแบบ Rake

5.3. แบบจำลองการประเมินประสิทธิภาพ

แบบจำลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ แบบจำลองสัญญาณส่งและแบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถีและแบบจำลองเครื่องรับแบบ Rake ซึ่งแบบจำลองทั้ง 3 จะถูกนำมาใช้ในการทดสอบทั้ง 3 แบบทดสอบ แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงช่องสัญญาณให้เข้ากับแบบทดสอบทั้ง 3 เพื่อตรงตามวัตถุประสงค์การวิเคราะห์ ซึ่งแบบจำลองทั้งหมดแสดงได้ดังต่อไปนี้

5.3.1. แบบจำลองสัญญาณส่ง

ในปัจจุบันสัญญาณพัลส์ที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ยังไม่มีการกำหนดแน่นอนตายตัวว่าควรใช้รูปแบบสัญญาณแบบใด ความกว้างของรูปพัลส์เป็นเท่าใด ดังนั้นนักวิจัยสามารถนำรูปสัญญาณแบบใดมาใช้วิเคราะห์ได้ตามความเหมาะสม แต่มีข้อแม้ว่าพัลส์ที่ใช้ต้องอยู่ในขอบเขตข้อกำหนดทางการสื่อสารที่ได้ตั้งขึ้น จากหลายงานวิจัยได้ลงความเห็นว่ารูปสัญญาณแบบเกาส์คัตเบตเป็นรูปสัญญาณที่สามารถสร้างได้ง่าย วิเคราะห์ได้ไม่ยุ่งยากมากนัก ดังนั้นปัจจุบันจึงใช้สัญญาณรูปพัลส์แบบเกาส์คัตเบต เพื่อเป็นสัญญาณส่งในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งกันเป็นจำนวนมาก สำหรับในงานวิจัยนี้ก็เช่นเดียวกันคือนำสัญญาณพัลส์แบบเกาส์คัตเบตมาใช้เป็นสัญญาณส่ง

คุณลักษณะของรูปสัญญาณแบบเกาส์คัตเบตน่าจะเหมาะสำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ตาม [21]-[23] โดยที่สัญญาณเกาส์คัตเบตได้มาจากการหาอนุพันธ์อันดับที่ 2 ของสัญญาณเกาส์หรือแสดงในรูปของสมการได้ตามสมการที่ 5.1

$$p(t) = \sqrt{E_p} \sqrt{\frac{8}{3\tau}} \left(1 - 4\pi \left(\frac{t - T_c}{\tau} \right)^2 \right) e^{-2\pi \left(\frac{t - T_c}{\tau} \right)^2} \quad (5.1)$$

โดยที่ E_p คือพลังงานของสัญญาณ τ คือตัวประกอบมาตรฐานของเวลา ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดค่าเท่ากับ 0.2877 ns และ T_c คือช่วงเวลาการเลื่อนตำแหน่งของการส่งบิตข้อมูลโดยที่ t จะต้องอยู่ในเงื่อนไข $0 \leq t \leq T_c$ สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการมอดูเลตข้อมูลแบบ 2 เฟส (BPM) โดยแสดงการมอดูเลตข้อมูลตามสมการที่ 5.2

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_i p(t - iT_s) \quad (5.2)$$

โดยที่ $p(t)$ คือ รูปสัญญาณแบบเกาส์คัตเบต b_i คือ บิตข้อมูลมีสมาชิกคือ 1 และ -1 i คือ จำนวนบิตข้อมูลที่ส่งและ T_s คือระยะเวลาในการส่งบิตแต่ละบิต โดยที่ T_s หาได้จาก $T_s = 1/\text{bit rate}$

5.3.2. แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถี

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ช่องสัญญาณที่ใช้งานมีทั้งที่ได้จากแบบจำลอง S-V และการทดสอบสัญญาณจริง โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของช่องสัญญาณหลายวิถีได้เช่นเดียวกันดังสมการที่ 5.3 [13]

$$h(t) = \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{k=0}^{K-1} \alpha_{k,l} \delta(t - T_l - \tau_{k,l}) \quad (5.3)$$

โดยที่ อัตราขยายของช่องสัญญาณหลายวิถีกำหนดโดย $\alpha_{k,l}$ ซึ่ง L คือกลุ่มของสัญญาณที่รับได้ และ K คือเส้นทางในแต่ละกลุ่มสัญญาณ T_l คือเวลาที่มาถึงในแต่ละกลุ่มสัญญาณและ $\tau_{k,l}$ คือเวลาที่มาถึงในแต่ละเส้นทางของกลุ่มสัญญาณซึ่งต้องมีความสัมพันธ์กับเวลา T_l ด้วย

5.3.3. แบบจำลองเครื่องรับแบบ Rake

โครงสร้างทั้งหมดของเครื่องรับแบบ Rake จากที่ได้กล่าวมาแล้วดังบทที่ 4 ซึ่งถ้านำมาเขียนให้อยู่ในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์และนำมาวิเคราะห์เป็นลำดับ เริ่มตั้งแต่สัญญาณที่รับได้ การพิจารณาสัญญาณแต่ละ finger การเปรียบเทียบความสัมพันธ์สัญญาณตามลำดับดังต่อไปนี้ ซึ่งแบบจำลองสัญญาณที่มาถึงยังเครื่องรับสามารถกำหนดตามสมการได้ดังนี้ [24]

$$r(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_i \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_l p(t - \tau_l - iT_s) + n_0(t) \quad (5.4)$$

โดยที่ α_l คือส่วนประกอบของสัญญาณหลายวิถี τ_l คือเวลาที่มาถึงของแต่ละผลตอบสนองทางเวลาของช่องสัญญาณ T_s คือระยะเวลาในการส่งบิตแต่ละบิต L คือจำนวนเส้นทางของช่องสัญญาณที่รับได้และ n_0 คือสัญญาณรบกวน

ในกรณีของสัญญาณที่ไม่มีการแทรกสอด สัญญาณรบกวนอยู่ในรูปแบบของ AWGN สมการของสัญญาณที่พิจารณาในแต่ละ finger สามารถหาได้ดังสมการที่ 5.5 ซึ่งในที่นี้จากโครงสร้างของเครื่องรับแบบ Rake จะกำหนดให้ จำนวน finger ของเครื่องรับมีค่าเท่ากับ M

$$f(t) = \sum_{m=0}^{M-1} \beta_m p(-t - \theta_m) \quad (5.5)$$

การหน่วงเวลาไปของสัญญาณแต่ละเส้นทางแทนด้วย θ_m และ β_m คือส่วนประกอบของสัญญาณหลายวิถี โดยผลของสัญญาณที่ได้หลังจากผ่านเครื่องรับแบบ Rake สามารถนิยามได้ตามสมการที่ 5.6

$$\begin{aligned}
y_n &= [r(t) * f(t)]_{t=nT} \\
&= \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_i \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{m=0}^{M-1} \alpha_l \beta_m R_p(nT - iT + \theta_m - \tau_l) + \tilde{n}_0(nT)
\end{aligned} \tag{5.6}$$

โดยที่ $R_p(t) \triangleq \int_{-\infty}^{\infty} p(\tau)p(\tau+t)d\tau$ คือ การทำอัตสหสัมพันธ์ (auto-correlation) ทางเวลาของการเกิดรูปคลื่นพัลส์ และ $\tilde{n}_0 = \sum_{m=0}^{M-1} \beta_m \int_{-\infty}^{\infty} n_0(\tau)p(-t+\tau-\theta_m)d\tau$ คือ ตัวกรองของสัญญาณรบกวน

จากที่ทราบกันแล้วว่าการรวมสัญญาณแบบ MRC เป็นการรวมที่มีประสิทธิภาพดีมากจึงได้นำมาใช้ทดสอบ ซึ่งในที่นี้กำหนดให้จำนวน finger เท่ากับจำนวนเส้นทางที่รับได้คือ $M = L$ ส่วนประกอบทางความสูงของ $\beta_m = \alpha_m$ และเวลา $\theta_m = \tau_m$ เพื่อกำหนดให้ตรงตามสมการช่องสัญญาณ ซึ่งสัญญาณที่รับได้ในแต่ละ finger เป็นสัญญาณที่ตั้งฉากกันและไม่มีการแทรกสอดกัน

สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารในวิทยานิพนธ์ ได้แสดงให้อยู่ในรูปแบบของ BER ต่อ SNR โดยที่ BER สามารถหาได้จาก จำนวนบิตข้อมูลที่ตัดสินใจผิดพลาดทางด้านเครื่องรับต่อจำนวนบิตข้อมูลที่ส่งทั้งหมด และค่า SNR หาได้จากผลต่างระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

5.3.3.1. ตัวประมาณที่ใช้อัลกอริทึมแบบ least square (LS)

วิธีการประมาณโดยใช้อัลกอริทึมแบบ LS จัดว่าเป็นวิธีประมาณแบบที่ง่ายเปรียบเสมือนการแก้สมการหาค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่า แต่ดำเนินการในรูปแบบของเมตริกและใช้เอกลักษณ์ของการคูณเมตริกมาช่วยในการแก้สมการ ซึ่งวิธีการนี้จะใช้สัญญาณนำ (pilot signal) ช่วยในการแก้สมการด้วย สำหรับวิธีการประมาณโดยใช้วิธีการนี้จะต้องทำการรวมสัญญาณนำเข้ากับสัญญาณข้อมูล ซึ่งสามารถจัดให้อยู่ในรูปแบบเมตริกดังสมการที่ 5.7 [25]

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} s_L & \cdots & s_1 & s_0 \\ s_{L+1} & \cdots & s_2 & s_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ s_{L+p-1} & \cdots & s_p & s_{p-1} \end{bmatrix} \tag{5.7}$$

โดยที่ s คือลำดับของสัญญาณข้อมูล P คืออัตราส่วนของสัญญาณข้อมูลจริงที่ใช้ส่งต่อจำนวนข้อมูล pilot และ L คือจำนวนข้อมูล pilot ที่ใช้ส่งต่อ 1 ช่วง สำหรับการประมาณช่องสัญญาณแบบ LS สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 5.8

$$\hat{\mathbf{h}}_{LS} = (\mathbf{S}^H \mathbf{S})^{-1} \mathbf{S}^H \mathbf{y} \quad (5.8)$$

โดยที่ \mathbf{S} คือสัญญาณที่ใส่ส่งโดยจัดให้อยู่ในรูปแบบของเมตริกตามสมการที่ 5.7 \mathbf{y} คือสัญญาณที่รับได้ $\hat{\mathbf{h}}_{LS}$ คือผลของการประมาณช่องสัญญาณ ซึ่ง $(\)^H$ และ $(\)^{-1}$ เป็นตัวดำเนินการเฮอร์มิเซียนและอินเวิร์ดเมตริกตามลำดับ วิธีการตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณช่องสัญญาณ สามารถหาได้จากค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดหรือสามารถหาได้ดังสมการที่ 5.9

$$MSE(\hat{\mathbf{h}}_{LS}) = E[(\hat{\mathbf{h}}_{LS} - \mathbf{h})^2] \quad (5.9)$$

โดยที่ $\hat{\mathbf{h}}_{LS}$ คือ ผลของช่องสัญญาณที่ได้จากการประมาณช่องสัญญาณ และ \mathbf{h} คือ ผลตอบสนองช่องสัญญาณที่รับได้

5.3.3.2. ตัวประมาณที่ใช้อัลกอริทึมแบบ Minimum Mean Square Error (MMSE)

การประมาณโดยใช้อัลกอริทึมแบบ MMSE เป็นการประมาณที่จัดได้ว่ามีค่าผิดพลาดน้อยกว่าการประมาณแบบ LS เนื่องจากมีการพิจารณาค่าการแปรปรวนของสัญญาณรบกวนและการแปรปรวนของช่องสัญญาณร่วมด้วย ทำให้ผลที่ได้จากการประมาณมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่น้อยกว่าแต่ต้องทราบคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณเพิ่มเข้ามา ทำให้มีพารามิเตอร์ที่ต้องทราบค่ามากกว่า และมีความซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งลักษณะการประมาณโดยรวมคล้ายกับการประมาณแบบ LS แต่เพิ่มตัวแปรในการพิจารณาอีก 2 ตัวแปร ดังสมการที่ 5.10 [25]

$$\hat{\mathbf{h}}_{MMSE} = \mathbf{R}_h \mathbf{S}^H (\mathbf{S} \mathbf{R}_h \mathbf{S}^H + \sigma_n^2 \mathbf{I})^{-1} \mathbf{y} \quad (5.10)$$

โดยที่ \mathbf{R}_h คือเมตริกความแปรปรวนร่วม (covariance matrix) ของสัญญาณที่ใส่ส่งกับสัญญาณรบกวนสามารถหาได้ดังสมการที่ 5.11 σ คือการแปรปรวนของสัญญาณรบกวน \mathbf{I} คือเมตริกเอกลักษณ์และ \mathbf{y} คือสัญญาณที่รับได้ สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณช่องสัญญาณใช้สมการที่ 5.9 ในการคำนวณเช่นเดียวกับแบบ LS

$$\mathbf{R}_h = E\{\mathbf{h}\mathbf{h}^H\} \quad (5.11)$$

โดยที่ \mathbf{h} คือ ผลตอบสนองช่องสัญญาณที่รับได้และ $(\)^H$ คือ ตัวดำเนินการเฮอร์มิเซียน

5.3.4. การทดสอบประสิทธิภาพ

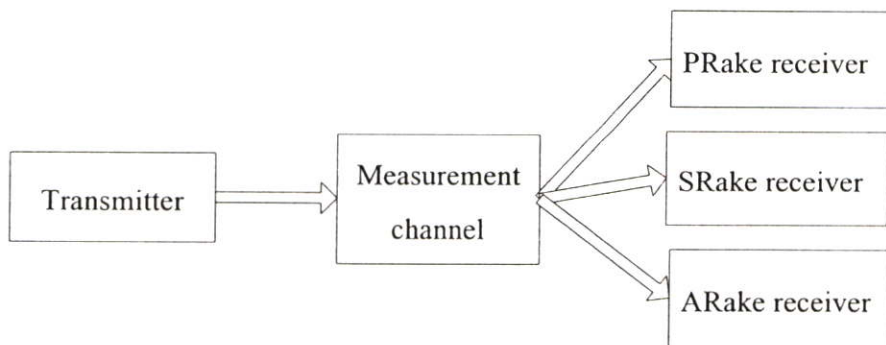
ในส่วนนี้เป็นแบบทดสอบการจำลองประสิทธิภาพทั้งหมดของงานวิจัย โดยจะมีการรวมเอาแบบจำลองต่างๆ ที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นระบบการสื่อสาร ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 การทดสอบหลักตามลำดับ

5.3.4.1. การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ UWB Rake ภายใต้การบังคับจากร่างกายมนุษย์

จุดมุ่งหมายของการทดสอบนี้คือ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake ในระบบ UWB เมื่อมีผลกระทบจากการบังคับจากร่างกายมนุษย์บนพื้นฐานของการทดสอบสัญญาณจริง ซึ่งใช้เครื่องรับแบบ Rake 3 ชนิด คือ PRake, SRake และ ARake ในการทดสอบ ส่วนประกอบของการทดสอบประกอบด้วย แบบจำลองสัญญาณส่ง ผลตอบสนองช่องอิมพัลส์ของช่องสัญญาณที่ได้จากการทดสอบจริงและแบบจำลองเครื่องรับแบบ Rake ที่ไม่มีการพิจารณาตัวประมาณช่องสัญญาณหรือเครื่องรับทราบการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณ ซึ่งผลของการวิเคราะห์แสดงให้เห็นทราบถึงระดับพลังงานสะสมที่ได้จากการรวมแบบ MRC และประสิทธิภาพของระบบ ในกรณีที่มีการสื่อสารได้รับและไม่ได้รับผลกระทบจากร่างกายมนุษย์

สำหรับเครื่องรับแบบ Rake ทั้ง 3 ชนิดที่ทำการทดสอบประกอบด้วย ARake, SRake และ PRake ซึ่งมีรายละเอียดโครงสร้างดังนี้

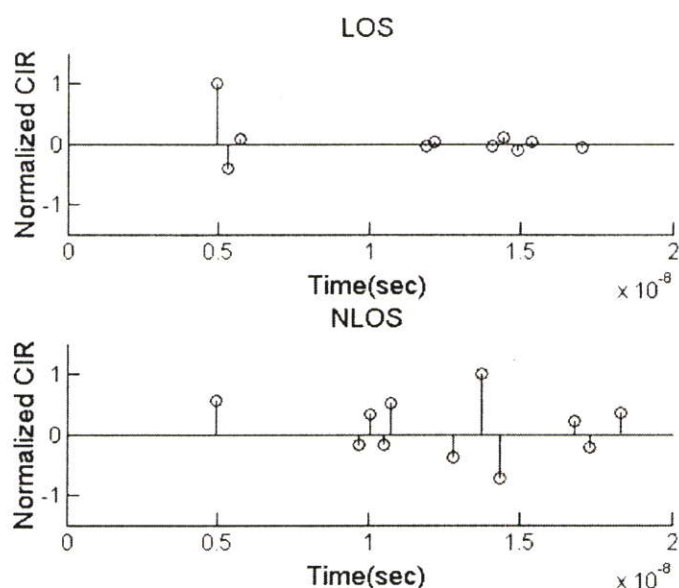
1. ARake คือ เครื่องรับแบบ Rake ที่มีการพิจารณาสัญญาณทุกๆ เส้นทางที่รับได้หรือจำนวน finger ที่พิจารณาในเครื่องรับแบบ Rake เท่ากับจำนวนเส้นทางของช่องสัญญาณหลายวิถีที่เกิดขึ้น
2. SRake คือ เครื่องรับแบบ Rake ที่มีการพิจารณาเส้นทางที่แรงที่สุดเพียงเส้นทางเดียวหรือเครื่องรับมีเพียง 1 finger ไม่พิจารณาเส้นทางอื่น
3. PRake คือ เครื่องรับแบบ Rake ที่มีการพิจารณาเส้นทางที่มาถึงเส้นทางแรกเส้นทางเดียวหรือมี finger เดียวเช่นเดียวกับ SRake



รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรมการทดสอบแบบทดสอบที่ 1

แบบจำลองระบบที่นำมาใช้ในการทดสอบนี้ประกอบไปด้วย แบบจำลองสัญญาณที่ใช้ส่ง แบบจำลองช่องสัญญาณและแบบจำลองเครื่องรับทั้งหมดที่กล่าวไว้ในข้างต้น สำหรับแบบจำลองช่องสัญญาณ จะมีการนำผลตอบสนองทางเวลาและอัตราขยายมาจากผลของการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ (VNA) มาใช้วิเคราะห์ ซึ่งผลตอบสนองช่องสัญญาณประกอบด้วยผลที่ได้จากการบดบังและไม่มีการบดบังจากร่างกายมนุษย์

สำหรับแบบจำลองการทดสอบได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 3 หัวข้อ 3.6.3.2 แบบจำลองการทดสอบสัญญาณและการบดบังจากร่างกายมนุษย์ ซึ่งผลการทดสอบช่องสัญญาณทั้งที่มีและไม่มี การบดบังจากร่างกายมนุษย์เมื่อผ่านการทำให้เป็นบรรทัดฐานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.2



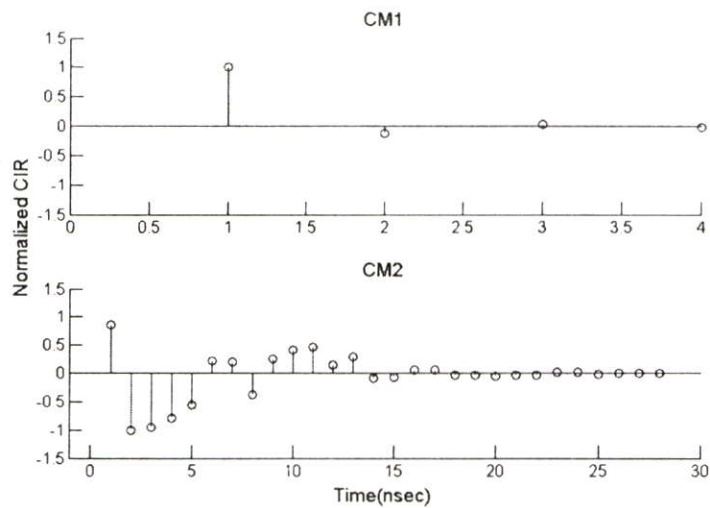
รูปที่ 5.2 ผลตอบสนองทางเวลาของช่องสัญญาณทั้งที่มีและไม่มี การบดบังจากร่างกายมนุษย์

5.3.4.2. การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องรับแบบ UWB Rake โดยพิจารณาตัวประมาณช่องสัญญาณ

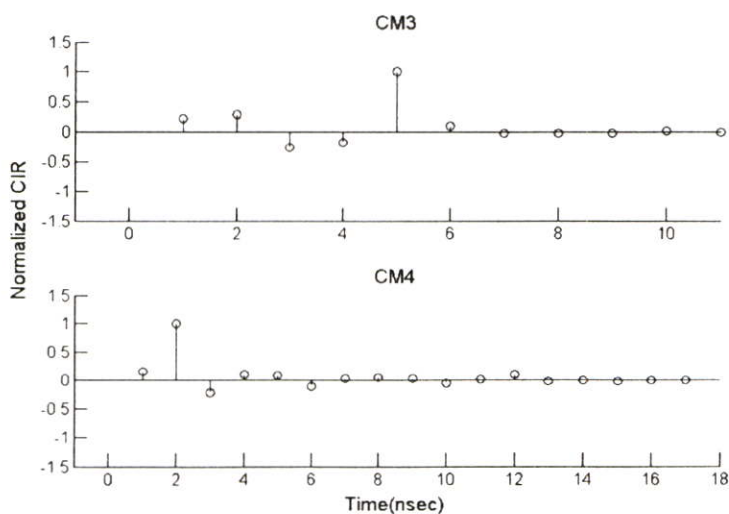
สำหรับการทดสอบที่ 2 เป็นการพิจารณาประสิทธิภาพเครื่องรับแบบ UWB Rake เมื่อผ่านช่องสัญญาณจริงภายในอาคารแบบ S-V โดยจะพิจารณาตัวประมาณช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นจากแบบทดสอบแรก เพื่อต้องการประเมินตัวประมาณช่องสัญญาณที่สามารถใช้งานร่วมกับเครื่องรับแบบ Rake ได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาวะแวดล้อมจริงและความซับซ้อนต่ำ ซึ่งตัวประมาณช่องสัญญาณที่ใช้ในการทดสอบมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดด้วยกันคือ ตัวประมาณช่องสัญญาณที่ใช้ อัลกอริทึมของ Least Square และ Minimum Mean Square Error

การกำหนดแบบจำลองในการประเมินแบบทดสอบนี้ แบบจำลองสัญญาณส่ง แบบจำลองเครื่องรับจะเหมือนกับแบบทดสอบแรก โดยพิจารณาเพียงเครื่องรับแบบ ARake เพียงชนิดเดียว รูป

สัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการส่งเหมือนเดิมคือ ใช้สัญญาณส่งตามสมการที่ 5.1 และใช้การมอดูเลตข้อมูลแบบ BPM ตามสมการที่ 5.2 อัตราการส่งสัญญาณอยู่ที่ 110Mbps สำหรับช่องสัญญาณที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ เป็นช่องสัญญาณที่ได้จากการจำลองด้วยการจำลองแบบ S-V ซึ่งถือได้ว่าเป็นช่องสัญญาณจริงภายในอาคาร โดยสามารถแสดงในรูปแบบสมการได้ตามสมการที่ 5.3 แต่ช่องสัญญาณที่ใช้ จะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมและระยะทางในการสื่อสารไปตามมาตรฐานของ IEEE 802.15.3a ประกอบด้วย 4 สภาพแวดล้อมคือ CM1-CM4 สำหรับรายละเอียดของการสร้างผลตอบสนองช่องสัญญาณทั้ง 4 สภาพแวดล้อมสามารถค้นคว้าได้จาก [13] ซึ่งตัวอย่างผลของการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณในแต่ละสภาวะแวดล้อม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.3 และ 5.4



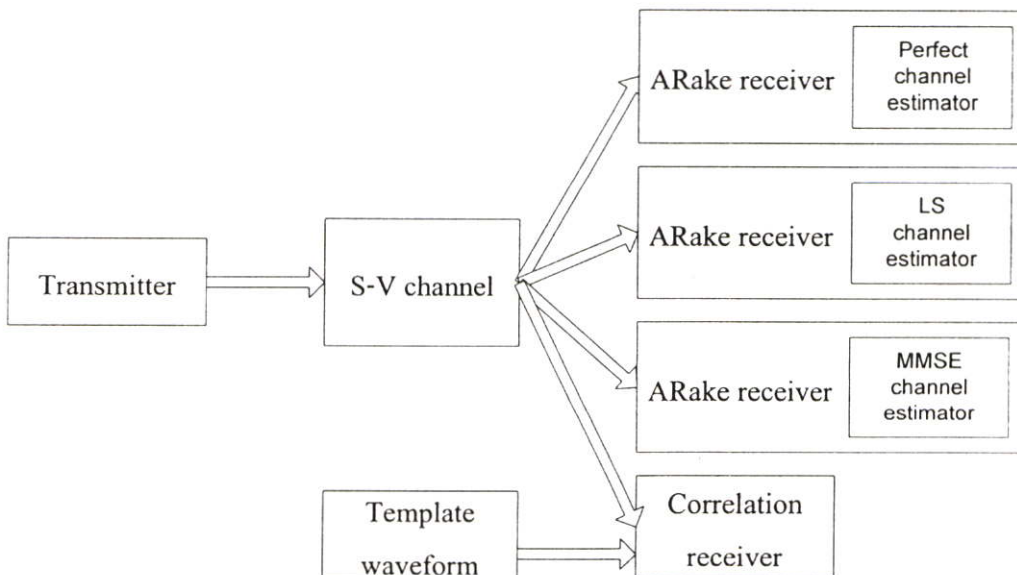
รูปที่ 5.3 ผลตอบสนองช่องสัญญาณของ CM1 และCM2 เมื่อผ่านการทำให้เป็นบรรทัดฐาน



รูปที่ 5.4 ผลตอบสนองช่องสัญญาณของ CM3 และCM4 เมื่อผ่านการทำให้เป็นบรรทัดฐาน

สำหรับตัวประมาณช่องสัญญาณที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วยตัวประมาณช่องสัญญาณ 2 ชนิดด้วยกันคือ ตัวประมาณช่องสัญญาณที่ใช้อัลกอริทึมแบบ LS และแบบ MMSE การที่เลือกใช้ตัวประมาณช่องสัญญาณทั้งสองแบบนี้ เนื่องจากเป็นวิธีแบบง่าย ไม่ซับซ้อน การประมวลผลไม่สูงนัก เมื่อนำมาใช้งานร่วมกับเครื่องรับแบบ Rake น่าจะช่วยลดความซับซ้อนของเครื่องรับลงได้ ซึ่งตัวประมาณช่องสัญญาณทั้ง 2 ชนิดนี้จัดอยู่ในกลุ่มของการประมาณโดยใช้สัญญาณนำ (pilots signal) ดังนั้นในการทดสอบจึงได้กำหนดจำนวนของสัญญาณนำและจำนวนของข้อมูลให้มีจำนวนเท่ากันคือ 20 บิตข้อมูลรวมเป็น 40 บิตข้อมูลใน 1 ช่วงการส่งผ่าน สำหรับการจำลองนี้ต้องการทดสอบประสิทธิภาพของตัวประมาณช่องสัญญาณทั้ง 2 ชนิด

สำหรับในการทดสอบนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวประมาณช่องสัญญาณในรูปแบบของค่าผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสองต่อระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน และเปรียบเทียบในรูปแบบของประสิทธิภาพการส่งผ่านเมื่อนำตัวประมาณทั้ง 2 มาใช้งานร่วมกับเครื่องรับแบบ ARake โดยจะเปรียบเทียบกับเครื่องรับต่างชนิดกัน ซึ่งประกอบไปด้วย เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ เครื่องรับแบบ ARake ที่ใช้ตัวประมาณช่องสัญญาณแบบสมบูร์น เครื่องรับแบบ ARake ที่ใช้ตัวประมาณช่องสัญญาณแบบ LS และเครื่องรับแบบ ARake ที่ใช้ตัวประมาณช่องสัญญาณแบบ MMSE โดยเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ที่ใช้ในการทดสอบจะพิจารณาสัญญาณเส้นทางแรกที่รับได้เพียงเส้นทางเดียวจากสัญญาณหลายวิถีที่รับได้เท่านั้น ไม่มีการพิจารณาที่เส้นทางอื่นๆ สำหรับเครื่องรับแบบ ARake ที่ใช้เปรียบเทียบทั้ง 3 แบบจะแตกต่างกันที่เลือกใช้ตัวประมาณช่องสัญญาณที่ต่างกันคือใช้ตัวประมาณทางอุดมคติหรือสมมติให้การประมาณช่องสัญญาณไม่ผิดพลาด เลือกใช้ตัวประมาณช่องสัญญาณแบบ LS และ ใช้ตัวประมาณช่องสัญญาณแบบ MMSE ตามลำดับ



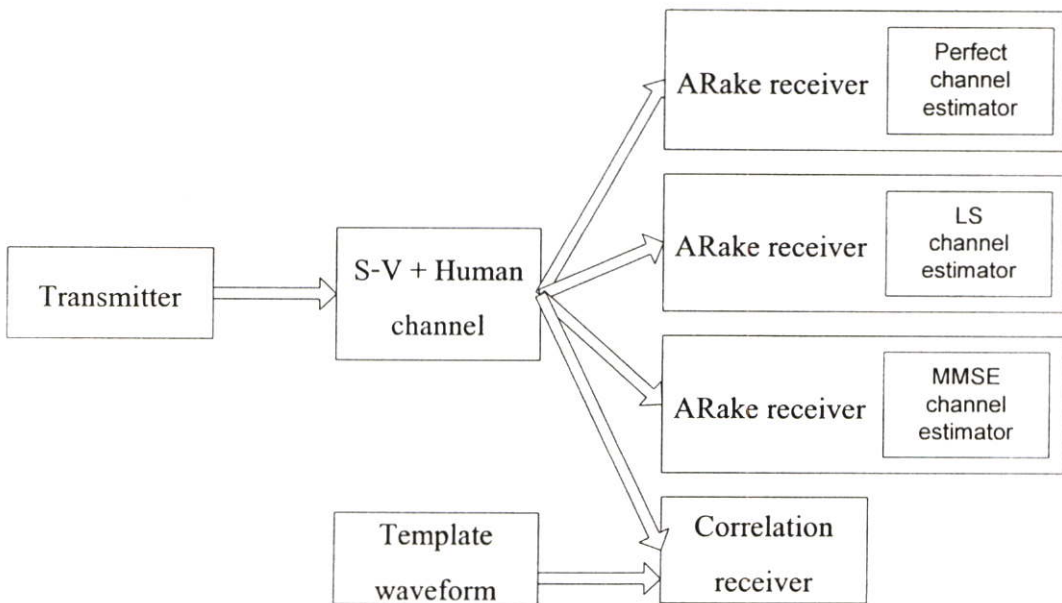
รูปที่ 5.5 บล็อกไดอะแกรมการทดสอบแบบทดสอบที่ 2

5.3.4.3. การพิจารณาตัวประมาณช่องสัญญาณในเครื่องรับแบบ UWB Rake สำหรับสภาพแวดล้อมจริงภายในอาคาร

การทดสอบที่ 3 เป็นแบบทดสอบเพื่อยืนยันประสิทธิภาพของตัวประมาณช่องสัญญาณแบบ LS และแบบ MMSE เมื่อนำมาใช้งานในระบบการสื่อสารจริงภายในอาคารกรณีเกิดการบดบังจากร่างกายมนุษย์ โดยนำเครื่องรับทั้ง 4 ในแบบทดสอบที่ 2 มาร่วมพิจารณา เพื่อต้องการทราบว่าเครื่องรับแบบ ARake ที่ใช้ตัวประมาณแบบ LS และแบบ MMSE จะยังคงประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์หรือไม่ หรือต้องเปลี่ยนตัวประมาณช่องสัญญาณที่ดีกว่า เนื่องจากร่างกายนมนุษย์มีค่าความนำทางไฟฟ้าไม่เท่ากัน ซึ่งทำให้ผลตอบสนองของช่องสัญญาณที่ได้รับ เกิดการเสียหายมากกว่าการบดบังจากวัตถุอื่นที่มีใช้งานกันในสำนักงาน ดังนั้นในการทดสอบที่ 3 จึงนำช่องสัญญาณที่ได้จากแบบทดสอบที่ 1 และแบบทดสอบที่ 2 มารวมกัน เพื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ ARake ที่ใช้ตัวประมาณแบบ LS และแบบ MMSE บนพื้นฐานของการรวมผลตอบสนองช่องสัญญาณของผลตอบสนองช่องสัญญาณทั้ง 2 สัญญาณระหว่างผลตอบสนองช่องสัญญาณของแบบจำลองและผลที่ได้จากเครื่องวัดดังกล่าวที่ 5.4

$$h(t) = h_{SV}(t) + h_{human}(t) \quad (5.12)$$

โดยที่ $h_{SV}(t)$ และ $h_{human}(t)$ คือผลตอบสนองช่องสัญญาณจากแบบจำลองช่องสัญญาณและผลตอบสนองช่องสัญญาณจากการทดสอบสัญญาณจริง



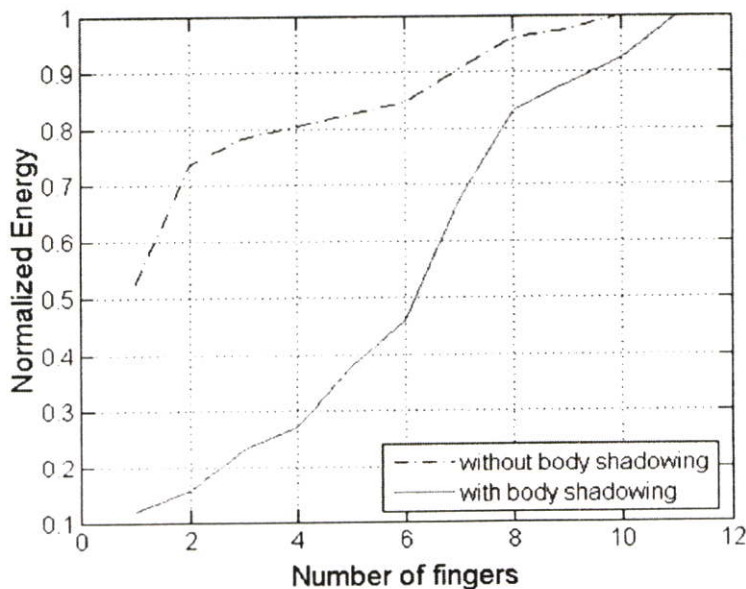
รูปที่ 5.6 บล็อกไดอะแกรมการทดสอบแบบทดสอบที่ 3

5.4.ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

จากการประเมินประสิทธิภาพในส่วนต่างๆ ของระบบการสื่อสารทั้ง 3 แบบทดสอบ คือ แบบทดสอบแรกจะประกอบด้วยผลการจำลองประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake เมื่อจำนวน finger ที่พิจารณามีจำนวนที่แตกต่างกัน และจำลองประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake ต่างชนิดกัน แบบทดสอบที่ 2 เป็นการจำลองประสิทธิภาพของตัวประมาณช่องสัญญาณ เมื่อนำมาเทียบกับเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ โดยเลือกใช้ตัวประมาณ 2 ชนิด และแบบทดสอบที่ 3 เป็นการพิจารณาตัวประมาณดังกล่าว เมื่อนำมาใช้งานร่วมกับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง โดยมีการสื่อสารผ่านช่องสัญญาณจริงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในสภาวะแวดล้อมปกติ สามารถแสดงผลการวิเคราะห์และอธิบายเป็นส่วนๆ ดังต่อไปนี้

5.4.1. การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ UWB Rake ภายใต้การบดบังจากร่างกายมนุษย์

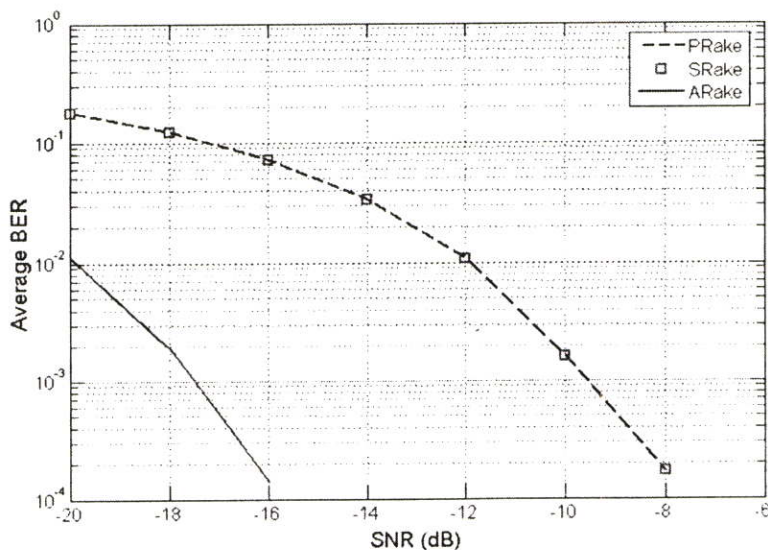
ในการจำลองกำหนดให้เครื่องรับทราบการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณทั้งหมด หรือตัวประมาณช่องสัญญาณเป็นแบบสมบูรณ์ โดยสัญญาณที่มาถึงแต่ละ finger ได้มาจากการทดสอบ รูปที่ 5.7 แสดงถึงระดับพลังงานสะสมจากโครงสร้างของ ARake เมื่อผ่านช่องสัญญาณที่ได้รับการบดบังจากร่างกายมนุษย์และไม่มี การบดบังจากร่างกายมนุษย์ ซึ่งแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของพลังงานต่อจำนวน finger สำหรับเครื่องรับแบบ ARake เมื่อได้รับการรวมแบบ MRC



รูปที่ 5.7 ระดับพลังงานต่อจำนวนเส้นทางที่ใช้พิจารณาของเครื่องรับแบบ ARake เมื่อมีการรวมสัญญาณแบบ MRC

ระดับพลังงานที่เพิ่มขึ้นบ่งบอกได้ว่า จำนวน finger ที่เพิ่มขึ้นในเครื่องรับ Rake สามารถเพิ่มระดับพลังงานของสัญญาณที่รับได้ ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในกรณีที่ช่องสัญญาณเกิดการบดบังจากร่างกายมนุษย์ จำนวน finger ที่มากส่งผลให้พลังงานที่ได้รับเมื่อผ่านการรวมสัญญาณมีระดับที่สูงขึ้น ความผิดพลาดในการตัดสินใจบิตข้อมูลลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง จำนวน finger เท่ากับ 4 และ 8 finger ซึ่งความถูกต้องของการตัดสินใจบิตเพิ่มขึ้นถึง 80% โดยประมาณ แต่เมื่อเทียบระดับพลังงานของเครื่องรับแบบ ARake ในกรณีที่ช่องสัญญาณเกิดการบดบังและไม่บดบังจากร่างกายมนุษย์จะเห็นได้ว่า เครื่องรับแบบ ARake กรณีที่มีร่างกายมนุษย์เข้ามาบดบังระหว่างการสื่อสารต้องใช้ finger ประมาณ 6 finger จึงจะได้รับพลังงานสะสมเท่ากับเครื่องรับแบบ ARake กรณีที่ไม่มีการบดบังจากร่างกายมนุษย์เพียง finger เดียว ดังนั้นสรุปได้ว่าเครื่องรับที่มีจำนวน finger ที่มากจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องรับที่มีจำนวน finger น้อย

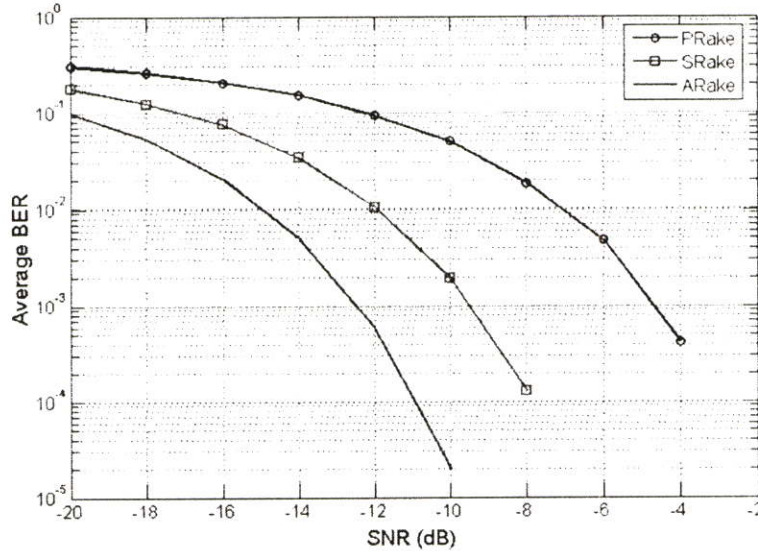
ต่อมาได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake ทั้ง 3 ชนิดคือ ARake, SRake และ PRake กรณีที่ช่องสัญญาณไม่มีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์สามารถแสดงในรูปที่ 5.8 ซึ่งจะแสดงในรูปแบบของค่าเฉลี่ย BER ต่อ ระดับ SNR เห็นได้ว่าประสิทธิภาพของ PRake และ SRake เท่ากัน เนื่องจากผลตอบสนองของช่องสัญญาณเส้นทางแรกมีแรงที่สุด ซึ่งเป็นไปตามโครงสร้างของเครื่องรับแบบ PRake และ SRake อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ ARake ดีกว่าประมาณ 8 dB เมื่อสังเกต BER ที่ 10^{-3}



รูปที่ 5.8 ค่าเฉลี่ยของ BER ต่อระดับของ SNR ในกรณีไม่มีการบดบังจากร่างกายมนุษย์

รูปที่ 5.9 แสดงถึงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake ทั้ง 3 ชนิด กรณีที่ช่องสัญญาณได้รับผลกระทบจากการบดบังจากร่างกายมนุษย์ ซึ่งจากผลการทดสอบเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของ

PRake แยกที่สุดเมื่อเทียบกับ SRake และ ARake ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบที่ BER เท่ากับ 10^{-3} SRake และ ARake ดีกว่า PRake อยู่ 5 dB และ 8 dB ตามลำดับ



รูปที่ 5.9 ค่าเฉลี่ยของ BER ต่อระดับของ SNR ในกรณีที่มีการบดบังของร่างกายมนุษย์

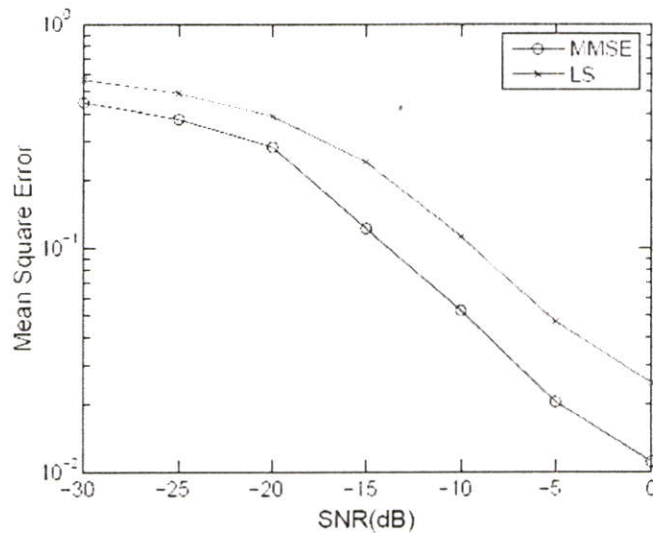
5.4.2. การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องรับแบบ UWB Rake โดยพิจารณาที่ตัวประมาณช่องสัญญาณ

ผลที่ได้จากการทดสอบตัวประมาณช่องสัญญาณแบบ LS และ MMSE เมื่อแสดงในรูปแบบของค่าผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสองต่อระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.10 ซึ่งเมื่อระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงขึ้นตัวประมาณช่องสัญญาณทั้ง 2 ชนิดจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งตัวประมาณช่องสัญญาณแบบ MMSE มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าตัวประมาณช่องสัญญาณแบบ LS

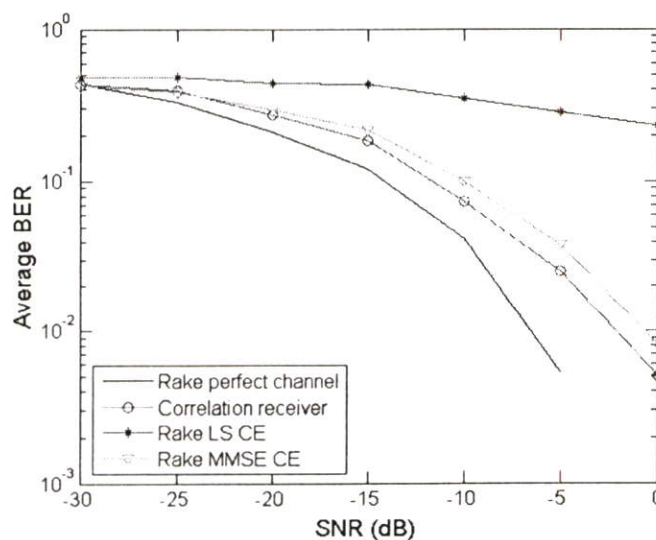
เมื่อนำเครื่องรับทั้งหมดคือ เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ เครื่องรับแบบ ARake ที่มีการประมาณช่องสัญญาณแบบสมบูร์น เครื่องรับแบบ ARake ที่ใช้ตัวประมาณแบบ LS และเครื่องรับแบบ ARake ที่ใช้ตัวประมาณแบบ MMSE มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ โดยแยกพิจารณาในแต่ละกรณีของสภาพแวดล้อมภายในอาคารออกเป็น CM1-4 จะได้ผลดังต่อไปนี้

ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ UWB Rake ในกรณีของการใช้ผลตอบสนองช่องสัญญาณ CM1 หรือในสภาพแวดล้อมที่มีระยะทางการสื่อสารไม่เกิน 4 เมตรไม่มีการบดบังระหว่างสายอากาศส่ง-รับ โดยเครื่องรับที่ใช้ทดสอบประกอบไปด้วยเครื่องรับแบบ ARake ที่มีการประมาณช่องสัญญาณแบบสมบูร์น เครื่องรับแบบ ARake เมื่อใช้ตัวประมาณช่องสัญญาณแบบ LS และ MMSE และเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกัน จะเห็นว่าประสิทธิภาพ

ของเครื่องรับแบบ ARake มีการประมาณช่องสัญญาณที่สมบูรณ์มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเทียบกับเครื่องรับทั้งหมด โดยที่เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์มีประสิทธิภาพแยกว่าเล็กน้อย ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ ARake ที่ใช้ตัวประมาณแบบ MMSE ดีกว่าเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ในกรณีที่สัญญาณมีระดับต่ำมากๆ และเครื่องรับที่ใช้ตัวประมาณแบบ LS มีประสิทธิภาพที่แยกว่ามาก ทั้งนี้ทั้งนั้นการที่เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์แยกว่าเครื่องรับแบบ ARake ที่มีการประมาณช่องสัญญาณแบบสมบูรณ์อยู่เพียงเล็กน้อยและดีกว่าเครื่องรับแบบ ARake ที่ใช้ตัวประมาณแบบง่าย น่าจะเป็นเพราะระยะทางในการสื่อสารไม่ไกลนัก ไม่มีการบดบังจากสภาพแวดล้อมและจำนวนช่องสัญญาณหลายวิธีมีจำนวนน้อย ทำให้ความผิดพลาดของรูปสัญญาณพัลส์ไม่เกิดการเสียหายและประกอบไปด้วยเครื่องรับแบบ ARake มีการพิจารณาเส้นทางของสัญญาณน้อยจึงทำให้ประสิทธิภาพออกมาใกล้เคียงกัน



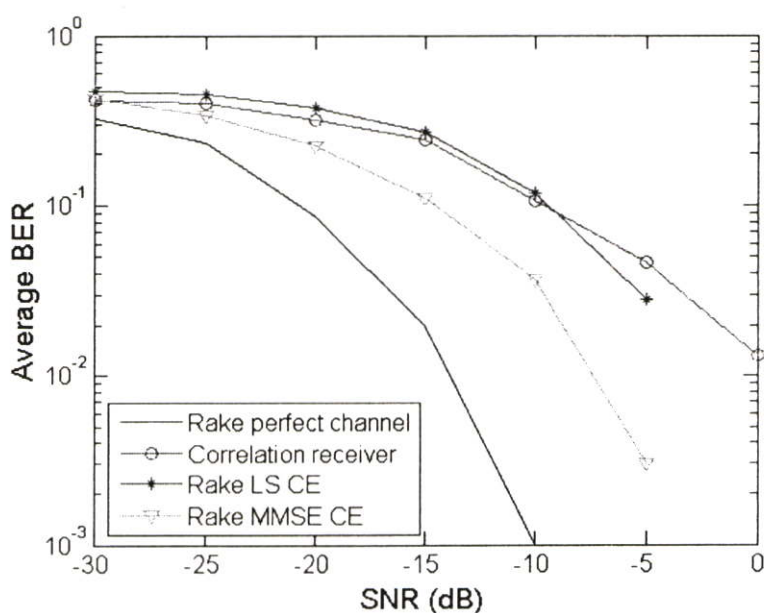
รูปที่ 5.10 ค่าผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสองต่อระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน



รูปที่ 5.11 ประสิทธิภาพของเครื่องรับ UWB ทั้ง 4 แบบเมื่อผ่านผลตอบสนองช่องสัญญาณ CM1

ประสิทธิภาพของเครื่องรับ UWB ทั้ง 4 ชนิด เมื่อผ่านผลตอบสนองช่องสัญญาณ CM2 ซึ่งผลตอบสนองช่องสัญญาณ CM2 ระยะทางการสื่อสารเท่าเดิมคือ ไม่เกิน 4 เมตรแต่ระหว่างสายอากาศส่ง-รับมีการบดบังจากสภาพแวดล้อม ดังนั้นประสิทธิภาพของเครื่องรับทั้งหมดสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 5.12 ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ ARake ที่ใช้ตัวประมวลผลช่องสัญญาณแบบ LS มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ แต่เครื่องรับที่ใช้ตัวประมวลผลช่องสัญญาณแบบ MMSE มีประสิทธิภาพดีกว่าอย่างเห็นได้ชัดเจนและประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ ARake ที่มีการประมวลผลช่องสัญญาณที่สมบูรณ์จะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด จากสรุปได้ว่า เมื่อจำนวนของเส้นทางในผลตอบสนองช่องสัญญาณมีจำนวนเพิ่มขึ้นอัลกอริทึมแบบ LS สามารถใช้งานได้แต่มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ สำหรับเครื่องรับที่ใช้ตัวประมวลผลแบบ MMSE ในสภาพแวดล้อม CM2 นี้ สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

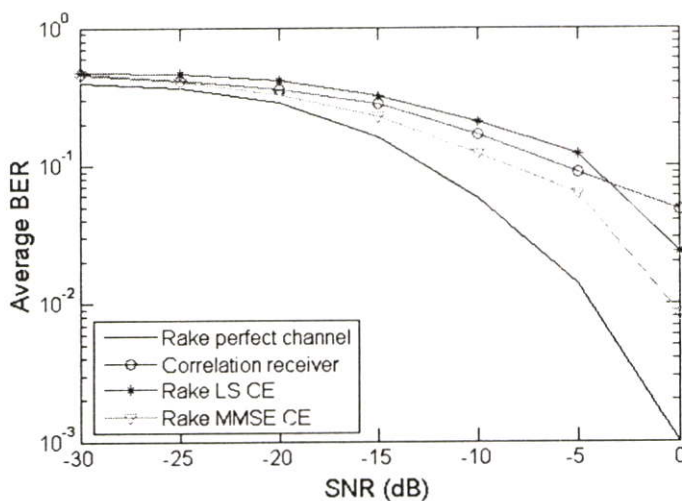
สำหรับประสิทธิภาพของเครื่องรับเมื่อผ่านผลตอบสนองช่องสัญญาณ CM3 เห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ ARake เมื่อใช้ตัวประมวลผลช่องสัญญาณแบบ MMSE และ LS จะดีกว่าและด้อยกว่าเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ตามลำดับ แต่ไม่ชัดเจนเท่ากับสภาพแวดล้อมแบบ CM2 แต่สามารถทราบแนวโน้มของประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงขึ้น คาดเดาได้ว่าถ้ายังระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเพิ่มสูงขึ้น ตัวประมวลผลช่องสัญญาณแบบ LS จะเริ่มกลับมาดีกว่าเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์



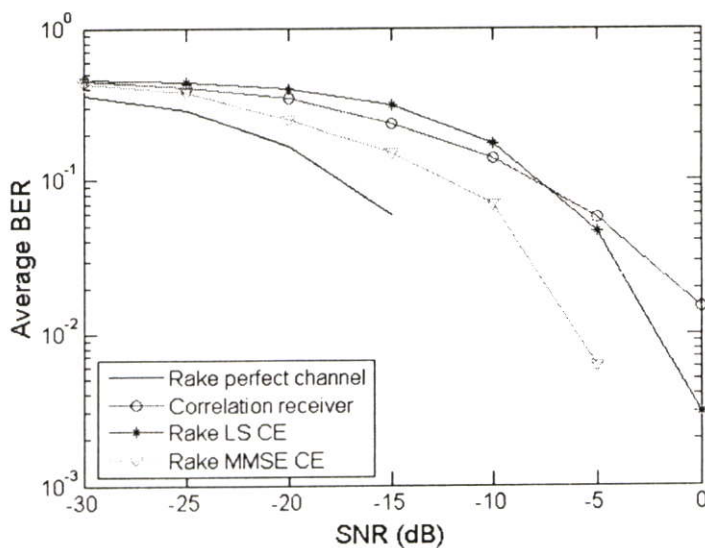
รูปที่ 5.12 ประสิทธิภาพของเครื่องรับ UWB ทั้ง 4 แบบเมื่อผ่านผลตอบสนองช่องสัญญาณ CM2

ประสิทธิภาพของเครื่องรับ UWB เมื่อผ่านผลตอบสนองของช่องสัญญาณ CM4 สามารถอธิบายประสิทธิภาพของเครื่องรับได้ดังรูปที่ 5.14 ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของ

เครื่องรับแบบ ARake ที่ใช้ตัวประมาณช่องสัญญาณแบบ LS มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์มากและจะเริ่มดีกว่าในกรณีที่ระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงขึ้น คือเริ่มมีความชันมากขึ้น แต่สำหรับเครื่องรับที่ใช้ตัวประมาณแบบ MMSE มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าตลอดช่วงการทดสอบ ถึงอย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ ARake ที่มีการประมาณช่องสัญญาณที่สมบูรณ์ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด สรุปได้ว่าเครื่องรับแบบ ARake ที่ใช้อัลกอริทึมแบบ LS สามารถใช้งานได้ดีเทียบเท่ากับเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ เมื่อระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ประมาณ -7 dB จากนั้นจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า แต่เครื่องรับที่ใช้ตัวประมาณแบบ MMSE สามารถใช้งานได้ดีในสภาพแวดล้อมนี้



รูปที่ 5.13 ประสิทธิภาพของเครื่องรับ UWB ทั้ง 4 แบบเมื่อผ่านผลตอบสนองช่องสัญญาณ CM3



รูปที่ 5.14 ประสิทธิภาพของเครื่องรับ UWB ทั้ง 4 แบบเมื่อผ่านผลตอบสนองช่องสัญญาณ CM4

5.4.3. การพิจารณาที่ตัวประมาณช่องสัญญาณในเครื่องรับแบบ UWB Rake สำหรับสภาพแวดล้อมจริงภายในอาคาร

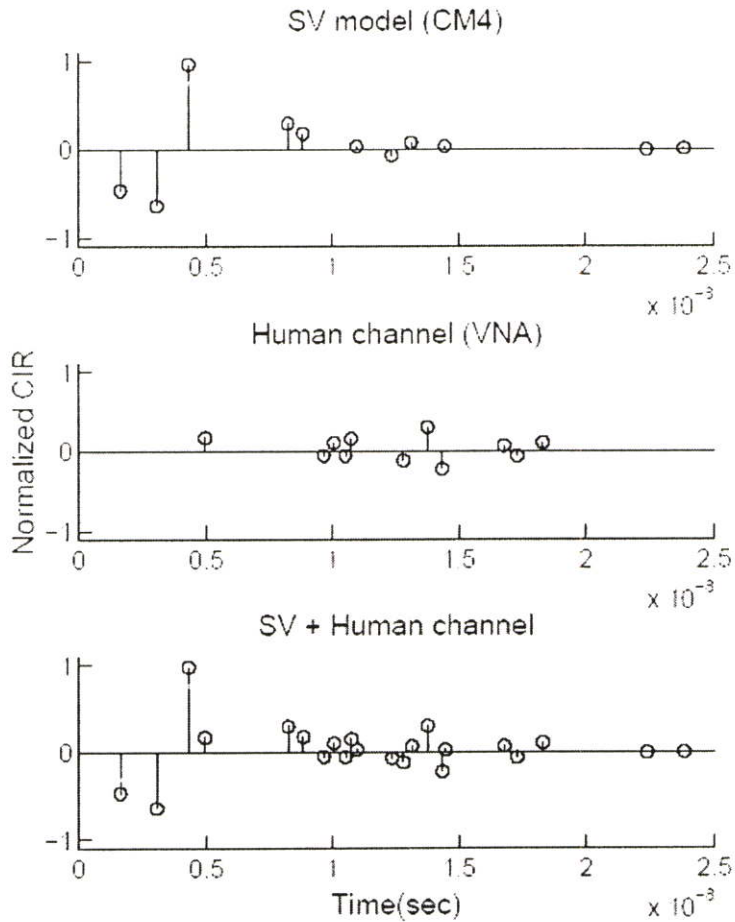
สำหรับแบบทดสอบสุดท้ายได้นำเครื่องรับทั้งหมดที่ได้ทดสอบมาแล้วในการทดสอบที่ 2 มาตรวจสอบประสิทธิภาพอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งการจำลองครั้งนี้ได้จำลองผลตอบแทนช่องสัญญาณให้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากที่สุด คือนำผลตอบแทนช่องสัญญาณจากแบบจำลอง S-V มารวมกับผลตอบแทนช่องสัญญาณที่ได้จากการคบบังจากร่างกายมนุษย์ ซึ่งเมื่อนำผลที่ได้มารวมกัน ผลตอบแทนจะมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น เปรียบเช่นกับการที่มี 2 แบบจำลองที่มีการกระจายที่แตกต่างกันนำมารวมกัน ทำให้การคาดเดาการกระจายโดยรวมของสัญญาณทั้งหมดเป็นไปได้ยาก ดังนั้นการจำลองครั้งนี้จัดได้ว่าเป็นการจำลองที่แตกต่างกับการจำลองที่ผ่านมาหรืออาจจะเรียกได้ว่าเป็นการจำลองที่เสมือนการส่งผ่านจริงมากที่สุด ซึ่งตัวอย่างผลตอบแทนช่องสัญญาณที่ใช้ในการจำลองในแบบจำลองนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.15

โดยรูปที่ 5.15 ประกอบไปด้วย 3 ผลตอบแทนช่องสัญญาณ เริ่มด้วยรูปบนสุดเป็นผลตอบแทนช่องสัญญาณของแบบจำลอง S-V ในสภาพแวดล้อมที่ 4 ซึ่งมีค่าการแผ่ประวิง rms ที่ 25 ns สำหรับรูปกลาง เป็นผลตอบแทนช่องสัญญาณที่ได้จากการทดสอบโดยเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ ซึ่งมีร่างกายมนุษย์เข้ามาคบบังการส่งผ่านสัญญาณและรูปสุดท้ายเป็นผลการรวมผลตอบแทนช่องสัญญาณทั้ง 2 ช่องสัญญาณคือ จากแบบจำลองและจากการทดสอบ จะเห็นได้ว่าช่องสัญญาณมีความซับซ้อนมากขึ้น

เมื่อนำผลตอบแทนที่รับได้ผ่านเข้าไปในเครื่องรับแบบ ARake ที่มีการพิจารณาตัวประมาณช่องสัญญาณทั้ง 2 ชนิดคือ ตัวประมาณช่องสัญญาณแบบ LS และตัวประมาณช่องสัญญาณแบบ MMSE เปรียบเทียบกับ เครื่องรับแบบ ARake ที่มีการประมาณช่องสัญญาณสมบูรณ์และเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ แสดงออกมาในรูปแบบของการประเมินประสิทธิภาพ โดยแยกพิจารณาตามสภาพแวดล้อมที่ถูกจัดแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มคือ CM1-4 ดังต่อไปนี้

ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ ARake ทั้ง 3 แบบและเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในสภาพแวดล้อมแรกคือ ระยะทางในการสื่อสารไม่ไกลมากนักคือ น้อยกว่า 4 เมตรและไม่มีกบดบังการสื่อสารมีเพียงมนุษย์เท่านั้นเข้ามากีดขวางสายอากาศด้านรับ สามารถแสดงประสิทธิภาพดังรูปที่ 5.16 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ ARake ที่มีการประมาณช่องสัญญาณสมบูรณ์มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับเครื่องรับทุกชนิดที่นำมาทดสอบเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ที่นำมาทดสอบนี้เป็นเครื่องรับตัวเดียวกันกับแบบจำลองที่ 2 คือมีจังหวะการทำงานสมบูรณ์หรือไม่มีการผิดพลาดในส่วนของการกำหนดช่วงของสัญญาณ ไม่มีการแทรกสอดของข้อมูล ซึ่งจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์นี้มีประสิทธิภาพที่ด้อยที่สุด โดยที่เครื่องรับแบบ ARake ที่มีการพิจารณาตัวประมาณแบบ MMSE และ LS มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า

ตามลำดับคือ MMSE ARake จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า LS ARake ประมาณ 4 dB ที่ BER เท่ากับ 10^{-2} ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับแบบจำลองที่ 2



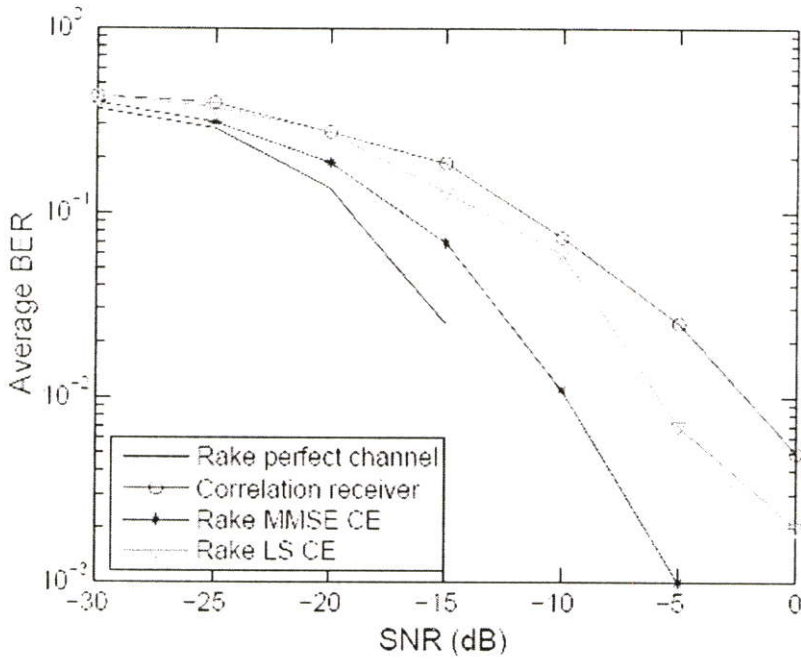
รูปที่ 5.15 ผลตอบสนองช่องสัญญาณแบบจำลอง S-V (บน)

ผลจากการทดสอบสัญญาณเมื่อมีมนุษย์เข้ามาบดบัง (กลาง)

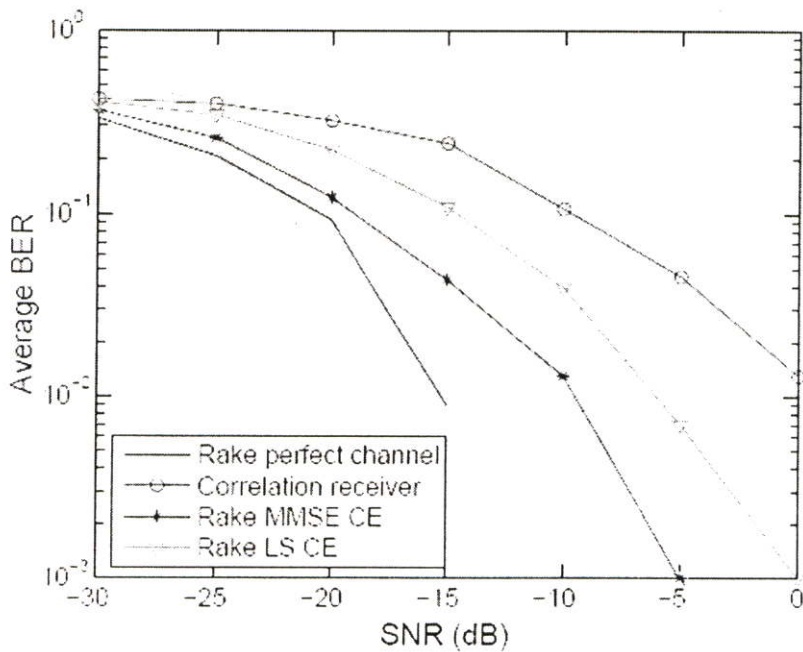
ผลตอบสนองรวมระหว่างแบบจำลอง S-V และผลจากร่างกายมนุษย์ (ล่าง)

รูปที่ 5.17 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเครื่องรับทั้ง 4 ชนิด ในกรณีสภาพแวดล้อมของการสื่อสารมีการบดบังจากสิ่งต่างๆ รวมทั้งการบดบังที่เกิดจากร่างกายมนุษย์ด้วย ซึ่งการส่งผ่านระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับระยะไม่เกิน 4 เมตรหรือจัดอยู่ในกลุ่มของ CM2 จากผลการทดสอบเห็นได้ว่าเครื่องรับแบบ ARake ที่มีการประมาณช่องสัญญาณสมบูรณ์ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดและที่ให้ประสิทธิภาพแย่งที่สุดคือ เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ เช่นเดียวกับสภาพแวดล้อมที่ผ่านมา สำหรับเครื่องรับที่ใช้ตัวประมาณช่องสัญญาณแบบ MMSE ให้ประสิทธิภาพได้ดีกว่าเครื่องรับที่ใช้ตัวประมาณช่องสัญญาณแบบ LS แต่ด้อยกว่าเครื่องรับแบบ ARake ที่มีการประมาณแบบสมบูรณ์ ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องรับทั้ง 4 ชนิดมีความแตกต่างกัน

อย่างเห็นได้ชัดและมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจะดีขึ้นเรื่อยๆ เมื่อระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้มีความแรงขึ้น

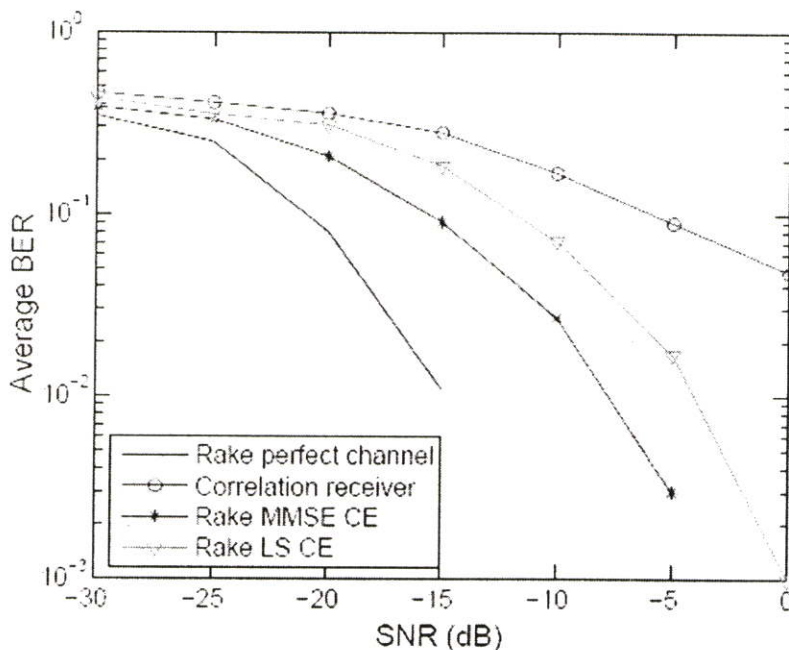


รูปที่ 5.16 ประสิทธิภาพของเครื่องรับ UWB ทั้ง 4 แบบ เมื่อผ่านผลตอบสนองช่องสัญญาณ CM1 และมีร่างกายมนุษย์เข้ามาบดบังการสื่อสาร



รูปที่ 5.17 ประสิทธิภาพของเครื่องรับ UWB ทั้ง 4 แบบ เมื่อผ่านผลตอบสนองช่องสัญญาณ CM2 และมีร่างกายมนุษย์เข้ามาบดบังการสื่อสาร

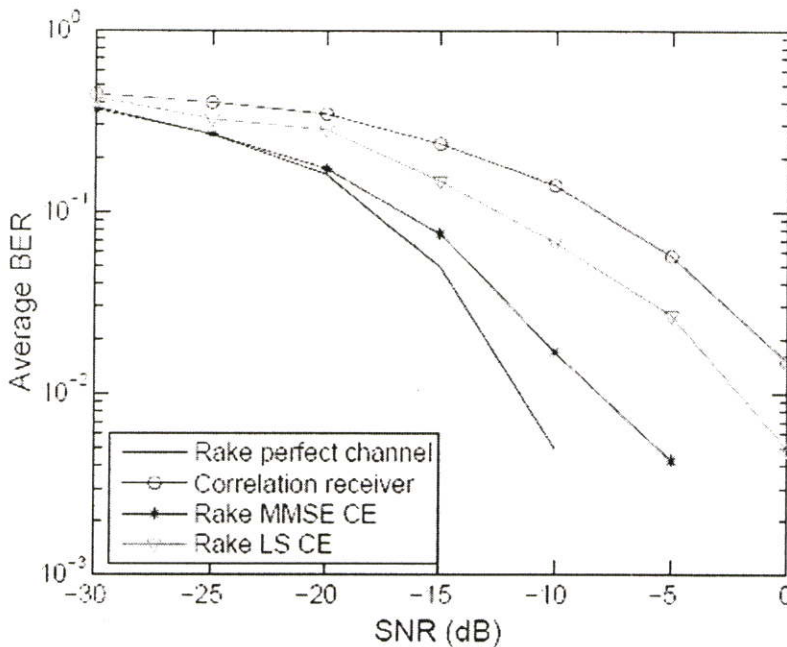
สำหรับประสิทธิภาพในสภาวะการส่งผ่านในกลุ่มการกระจายแบบ CM3 คือมีการบดบังจากสภาพแวดล้อม ระยะทางในสภาวะแวดล้อมนี้เริ่มตั้งแต่ 4 เมตรขึ้นไปจนถึง 10 เมตร รวมทั้งการทดสอบยังมีการเพิ่มการบดบังจากร่างกายมนุษย์เข้าร่วมด้วย ทำให้ผลตอบสนองที่ได้รับมากขึ้นกว่าเดิม ซึ่งผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าแนวโน้มทางประสิทธิภาพของเครื่องรับแต่ละชนิดคล้ายคลึงกับสภาพแวดล้อมทั้งหมดที่ได้ทำการจำลองมาแล้ว แต่ในทุกๆ ระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน ความผิดพลาดของการสื่อสารมีการผิดพลาดลดลงจากสภาพแวดล้อม CM2 เนื่องจากจำนวนของสัญญาณหลายวิธีมีมากขึ้น ความแรงของสัญญาณที่รับได้มีอัตราขยายที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ทำให้ความแรงของสัญญาณโดยเฉลี่ยมีความแรงสูงขึ้น เมื่อมีการรวมสัญญาณจึงทำให้การตัดสินใจเป็นไปได้อย่างถูกต้องมากขึ้น แต่กรณีของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์มีประสิทธิภาพที่แย่ลง เนื่องจากไม่มีการรวมสัญญาณ พร้อมทั้งระยะการสื่อสารไกลออกไปจากเดิม มีการบดบังจากสิ่งต่างๆ ทำให้ความผิดพลาดของรูปสัญญาณเกิดการผิดเพี้ยนเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพแย่ลง



รูปที่ 5.18 ประสิทธิภาพของเครื่องรับ UWB ทั้ง 4 แบบ เมื่อผ่านผลตอบสนองช่องสัญญาณ CM3 และมีร่างกายมนุษย์เข้ามาบดบังการสื่อสาร

สำหรับสภาพแวดล้อมสุดท้ายคือ สภาพแวดล้อมในกลุ่มที่จัดว่าเกิดการจางหายหรือมีการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณมากที่สุด ค่าการแผ่ประวิง rms ถูกกำหนดที่ 25 ns หรือที่จัดอยู่ในกลุ่มของ CM4 ประสิทธิภาพของเครื่องรับทุกๆ ชนิดมีแนวโน้มคล้ายกับสภาพแวดล้อมอื่นคือ เมื่อผลตอบสนองช่องสัญญาณมีเส้นทางการพิจารณาเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ ARake ที่ใช้การประมาณช่องสัญญาณแบบสมบรูณ์ ยังมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับเครื่องรับแบบ

อื่นๆ และเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ยังมีประสิทธิภาพที่แย่ที่สุดเช่นเดิม ซึ่งแนวโน้มของเครื่องรับแบบ ARake ที่ใช้ตัวประมาณช่องสัญญาณแบบ MMSE จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องรับแบบ ARake ที่ใช้ตัวประมาณแบบ LS ในกรณีที่ระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าใกล้เคียงกัน ณ ตำแหน่ง ระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ -30 dB ถึง -25 dB ประสิทธิภาพของเครื่องรับที่ใช้ตัวประมาณช่องสัญญาณแบบ MMSE มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับเครื่องรับแบบ ARake ที่มีการใช้ตัวประมาณชนิดสมบรูณ์ เนื่องจากสัญญาณหลังการรวมสัญญาณมีระดับค่าใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน ความผิดพลาดที่เกิดจากการประมาณช่องสัญญาณมีแนวโน้มไปในทางช่วยเพิ่มความแรงของสัญญาณ จึงทำให้ประสิทธิภาพดีเทียบเท่ากับเครื่องรับแบบ ARake ที่ใช้การประมาณช่องสัญญาณแบบสมบรูณ์



รูปที่ 5.19 ประสิทธิภาพของเครื่องรับ UWB ทั้ง 4 แบบ เมื่อผ่านผลตอบสนองช่องสัญญาณ CM4 และมีร่างกายมนุษย์เข้ามาคบังการสื่อสาร

5.5.สรุป

สำหรับในบทที่ 5 นี้นำเสนอเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีการและแบบจำลองทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยทุกสมมติฐานที่ได้ตั้งขึ้นถูกนำมาทดสอบตั้งแต่การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake แต่ละชนิด การศึกษาถึงปริมาณ finger ที่เหมาะกับการใช้งาน สืบค้นตัวประมาณความซับซ้อนต่ำเพื่อนำมาใช้งานร่วมกับเครื่องรับแบบ Rake ซึ่งการอธิบายจะแยกออกเป็น 3 ส่วนการทดสอบคือ

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ UWB Rake ภายใต้การบดบังจากร่างกายมนุษย์ การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องรับแบบ UWB Rake โดยพิจารณาตัวประมาณช่องสัญญาณและการพิจารณาตัวประมาณช่องสัญญาณในเครื่องรับแบบ UWB Rake ในสภาวะแวดล้อมจริงภายในอาคาร ซึ่งจาก 3 การทดสอบสามารถสรุปปัญหาที่ตั้งไว้ในสมมติฐานได้ทั้งหมดและแสดงให้เห็นว่าเมื่อช่องสัญญาณมีผลตอบสนองมากขึ้น ประสิทธิภาพของเครื่องรับอาจจะผิดเพี้ยนไปในทางดีขึ้นหรือแย่ลงได้ในทุกๆ สภาพแวดล้อม ดังนั้นการที่นำแต่ละส่วนมาพิจารณาเป็นขั้นตอนทำให้ทราบถึงปัญหาและการแก้ไขได้อย่างตรงจุดมากขึ้น

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 บทนำ

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอถึงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake เมื่อนำมาใช้งานในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง เมื่อนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการสื่อสารภายในอาคารและมีมนุษย์เข้ามาคบบังระบบการสื่อสาร ซึ่งการทดสอบในวิทยานิพนธ์จะเน้นถึงการจำลองประสิทธิภาพ เมื่อสภาพแวดล้อมในการสื่อสารใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ประกอบไปด้วยส่วนของภาคส่ง ช่องสัญญาณและภาครับ โดยส่วนของสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารได้นำสัญญาณแบบเกาส์คัมเบลมาใช้ในการจำลอง สำหรับช่องสัญญาณที่เลือกใช้ในวิทยานิพนธ์ มีการนำผลตอบสนองช่องสัญญาณ 2 แบบคือ ช่องสัญญาณจากการทดสอบจริงและช่องสัญญาณจากแบบจำลอง S-V ซึ่งได้นำผลตอบสนองช่องสัญญาณทั้ง 2 แบบมารวมพิจารณาเพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่เข้าใกล้ความเป็นจริงมากที่สุด สำหรับเครื่องรับในวิทยานิพนธ์นี้ได้ให้ความสนใจเครื่องรับแบบ Rake เนื่องจากมีข้อดีหลายประการและเหมาะสมกับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้าง ดังนั้นจึงได้ทดสอบนำเครื่องรับแบบ Rake มาทดสอบถึงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องรับ เมื่อนำมาใช้งานในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง โดยการทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันดังที่ได้แสดงให้เห็นแล้วในบทที่ 5

6.2 สรุปผลการวิจัย

แบบทดสอบแรก คือการจำลองประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ UWB Rake ภายใต้การคบบังจากร่างกายมนุษย์ สำหรับแบบทดสอบนี้สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ 2 ส่วนหลักๆ ด้วยกันคือ ผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ทำให้ต้องเพิ่มจำนวน finger ที่ใช้งานในเครื่องรับแบบ Rake ให้มากขึ้น เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพดีเทียบเท่ากับในกรณีที่ไม่มีกรคบบังจากร่างกายมนุษย์ สำหรับข้อสรุปที่ 2 เกี่ยวกับชนิดของเครื่องรับแบบ Rake ทั้ง 3 ชนิดประกอบด้วย ARake, SRake และ PRake ปรากฏว่าประสิทธิภาพของเครื่องรับชนิด ARake เป็นเครื่องรับที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด เนื่องจากมีการพิจารณาสัญญาณที่รับได้ทุกๆ เส้นทางไม่มีการตัดเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งออก จึงส่งผลให้มีประสิทธิภาพสูงและสามารถสรุปรวมได้ว่า จำนวนของ finger ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น หรือยังมีการพิจารณาเส้นทางของสัญญาณหลายวิธีมากขึ้น ประสิทธิภาพจะดีขึ้นตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบความแรงของสัญญาณที่ได้จากการรวมสัญญาณแล้ว กรณีที่มีร่างกายมนุษย์เข้ามาคบบังการสื่อสารจำเป็น

จะต้องพิจารณาเส้นทางถึง 6 เส้นทางด้วยกันจึงจะมีความแรงของสัญญาณเทียบเท่ากับกรณีที่ไม่มีการรบกวนมนุษย์เข้ามาบดบังการสื่อสาร

แบบทดสอบที่ 2 คือการจำลองประสิทธิภาพเครื่องรับแบบ UWB Rake โดยพิจารณาตัวประมาณช่องสัญญาณ สำหรับแบบทดสอบนี้ได้มีการจำลองเกี่ยวกับตัวประมาณช่องสัญญาณที่นำมาใช้ในเครื่องรับแบบ Rake สำหรับกรณีที่ช่องสัญญาณคือช่องสัญญาณจริงภายในอาคารที่ได้จากแบบจำลอง S-V และตัวประมาณที่เลือกใช้มีความซับซ้อนต่ำ คือตัวประมาณที่ใช้อัลกอริทึมแบบ LS และ MMSE ซึ่งในแบบทดสอบนี้สรุปได้ว่า ทั้งตัวประมาณแบบ LS และ MMSE ที่นำมาใช้ทดสอบสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในเครื่องรับแบบ Rake ได้ทั้งคู่ แต่ประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake ที่นำตัวประมาณช่องสัญญาณแบบ MMSE มาใช้ได้ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าในทุกๆ กลุ่มสภาพแวดล้อมภายในอาคาร ทั้งในกรณีของการสื่อสารมีการบดบังหรือไม่มี การบดบังจากสภาพแวดล้อม ระยะทางในการสื่อสารใกล้หรือไกล ซึ่งเครื่องรับแบบ Rake ที่มีการใช้งานตัวประมาณแบบ LS ยังมีประสิทธิภาพที่ด้อยกว่า

แบบทดสอบที่ 3 คือการพิจารณาตัวประมาณช่องสัญญาณในเครื่องรับแบบ UWB Rake ในสถานะแวดล้อมจริงภายในอาคาร จากแบบทดสอบที่ 2 บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบ Rake ที่มีการใช้งานตัวประมาณช่องสัญญาณแบบ LS และ MMSE เมื่อเทียบกับเครื่องรับแบบ Rake ที่มีการประมาณช่องสัญญาณแบบสมบูร์นและเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ปรากฏว่าเครื่องรับแบบ Rake ที่ใช้ตัวประมาณแบบ MMSE ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในกรณีเมื่อนำมาใช้งานจริง ดังนั้นในแบบทดสอบที่ 3 นี้จึงเป็นการยืนยันถึงประสิทธิภาพของเครื่องรับ เมื่อสถานะแวดล้อมที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณมีรบกวนมนุษย์เข้ามาบดบัง ซึ่งการที่มีรบกวนมนุษย์เข้ามาบดบังการสื่อสาร ทำให้ผลตอบสนองช่องสัญญาณที่ได้รับยังเครื่องรับมีความหลากหลายมากขึ้น คาดการณ์ได้ยากขึ้น ทำให้การจำลองประสิทธิภาพเป็นไปได้อย่างสมบูร์นมากยิ่งขึ้น จากผลทำให้ทราบว่าตัวประมาณแบบ MMSE เมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานในเครื่องรับแบบ Rake มีประสิทธิภาพที่น่าพอใจกว่าเครื่องรับที่ใช้ตัวประมาณแบบ LS ในทุกๆ กลุ่มสภาพแวดล้อมภายในอาคาร แต่เครื่องรับที่ใช้ตัวประมาณแบบ LS สามารถที่จะนำมาใช้งานได้เช่นเดียวกัน เมื่อเทียบกับเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์

6.3 ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้มีการพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากร่างกายมนุษย์ ซึ่งได้จากการทดสอบช่องสัญญาณจริงภายในอาคารเป็นหลัก ช่องสัญญาณที่นำมาใช้ในการทดสอบกรณีช่องสัญญาณที่ได้รับผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ เป็นช่องสัญญาณที่ตายตัวไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากใช้ช่องสัญญาณจากการทดสอบโดยตรงไม่มีการหาสถิติเพื่อสร้างแบบจำลอง แต่ในวิทยานิพนธ์นี้มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนให้กับผลตอบสนองช่องสัญญาณที่วัดได้ให้มีการเปลี่ยนแปลง แต่ถึง

อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงแล้ว ผลกระทบจากร่างกายมนุษย์อาจทำให้ช่องสัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงได้อย่างอิสระและหลากหลายมากกว่าการเพิ่มสัญญาณรบกวน ดังนั้นจึงควรมีการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณที่ประกอบไปด้วยผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพพร้อมกับแบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถี แต่ปัจจุบันยังไม่มีแบบจำลองช่องสัญญาณใดที่พิจารณาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์โดยตรง ซึ่งข้อดีของแบบจำลอง จะช่วยให้การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบการสื่อสาร หรือการวิเคราะห์ส่วนของเครื่องรับเป็นไปได้ อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Siwiak, "Ultra-Wide Band Radio: Introducing a New Technology," **2001 Spring IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)**, vol. 2, pp. 1088-1093, May 2001.
- [2] Jame D. Taylor, **Introduction to Ultra-Wideband Radar System**. USA: CRC Press, Inc., Boca Raton, p. 670, 1995.
- [3] Federal Communications Commission, **First order and report: Revision of part 15 of the Commission's rules regarding UWB transmission systems**, Apr. 22, 2002.
- [4] ETSI, "Harmonised Standards Covering Ultrawide Band (UWB) Application," **Standisation Mandate: DG ENTR/G/3M/329**, Brussels, Feb, 2003.
- [5] ETSI, "ECC Decision on The Harmonised Conditions for Device Using UWB Technolofy in Bands below 10.6 GHz," **Electronic Communications Committee: ECC/DEC/(06)AA**, Cascais, Oct. 2005.
- [6] MIC, "Japan's UWB Emission Poicy Advances," *EE Times*, Washington, 26 Aug. 2005.
- [7] M. Ghavami, L.B. Michael and R. Kohno, **Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering**, John Wiley & Sons, Ltd, pp. 28-31, May 2004.
- [8] Robert W. Wood, **Physical Optics**, Optical Society, 1988.
- [9] M. Flament and M. Unbehaun, "Impact of shadow fading in a mm-wave band wireless network," *Proc. The 3rd International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications*, vol. 1, pp. 427-432, 2000.
- [10] Apichit Pradabphon, Sathaporn Promwong, Monchai Chamchoy, Pichaya Supanakoon and Jun-ichi Takada. "Characterization of Body Shadowing Effects on Ultra-Wideband Propagation Channel" **ICCAS conf.**, pp. 219-222, 2004.
- [11] M. Ghavami, L.B. Michael and R. Kohno, **Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering**, John Wiley & Sons, Ltd, pp. 99, May 2004.
- [12] A. Saleh and R. Valenzuela, "A statistical model for indoor multipath propagation," **IEEE Journal on Select. Areas Commun.**, vol. 5, pp. 128-137, Feb. 1987.
- [13] J. Foerster et al., "Channel model sub-committee report final," **IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks, P802.15-02/490r1-SG3a**, Feb. 1993.

- [14] Q. H. Spencer, B. D. Jeffs, M. A. Jense, A. L. Swindlehurst, "Modeling the Statistical Time and Angle of Arrival Characteristics of an Indoor Multipath Channel," **IEEE JSAC**, Vol. 18, No. 3, March 2000.
- [15] Ian O., Matti H. and Jari I. **UWB Theory and Applications**. England: John Wiley & Sons Ltd., 2004.
- [16] S. Promwong, W. Hachitani, J. Takada, P. Supanakoon, and P. Tangtisanon "Experimental Study of Ultra-Wideband Transmission Based on Friis' Transmission Formula," **The Third International Symposium on Communications and Information Technology (ISCIT) 2003**, vol. 1. pp. 467–470, Sept. 2003.
- [17] W. Duangdeun, M. Chamchoy and S. Promwong, "Performance Investigation of UWB RAKE Receiver with the Human Body Shadowing Effects," **International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2006)**, vol. 2, pp. 261-264, 2006.
- [18] Hou Meng, Yuan Dongfeng, "Modified Price and Grenapos: Rake receiver for ultra-wideband system," **Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2005. Proceedings. 2005 International Conference**, vol. 1, p. 368-371, 2005.
- [19] Aranda F. E., Brown N. and Arslan H., "Rake receiver finger assignment for ultra-wideband radio," **Signal Processing Advances in Wireless Communication 2003**, p. 239-243, 2003.
- [20] Cassioli, D., Win, M. Z., Vatalaro, F., Molisch, A., "Performance of low-complexity Rake reception in a realistic UWB channel", **Proc. ICC 2002**, pp. 763-767.
- [21] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse radio: how it works," **IEEE Commun. Lett.**, vol. 2, pp. 36-38, Feb. 1998.
- [22] F. Ramirez-Mireles and R. A. Scholtz, "System performance analysis of impulse radio modulation," **RAWCON 98**, pp. 67-70, 1998.
- [23] R. A. Scholtz and M. Z. Win, **Impulse Radio in Wireless Communication TDMA versus CDMA**, Kluwer Academic Publishers, Chapter 7, pp. 245-267, 1997.
- [24] A. G. Klein, D. R. Brown III, D. L. Goeckel, and C. R. Johnson, "Rake Reception for UWB Communication Systems with Intersymbol Interference,"
- [25] S. M. Kay, **Fundamentals of Statistical Signal Processing: Estimation Theory**, Prentice Hall, 1998, p. 595

ภาคผนวก ก.**ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่**

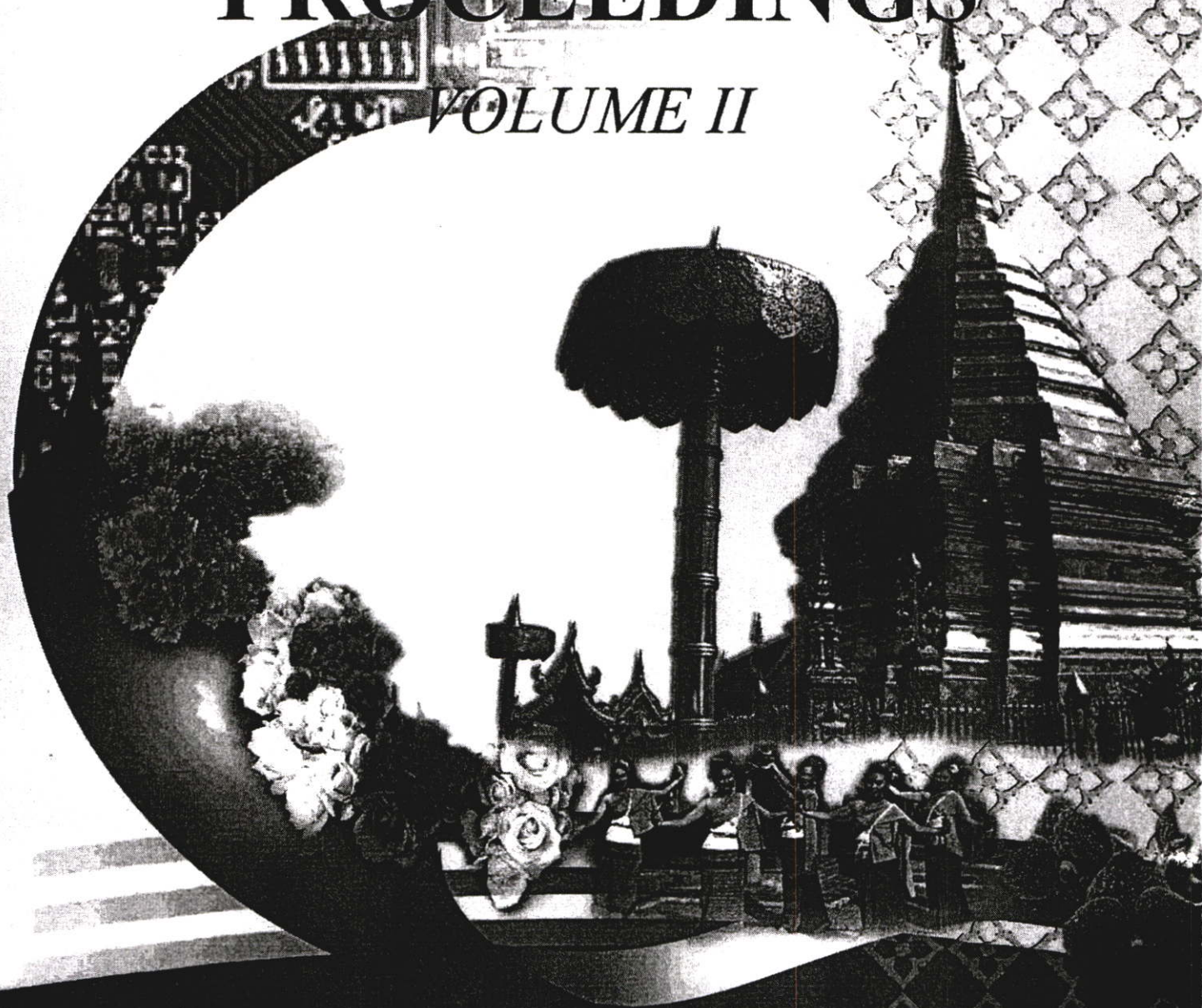
- [1] **W. Duangdeun**, M. Chamchoy and S. Promwong, "Performance Investigation of UWB RAKE Receiver with the Human Body Shadowing Effects," International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2006), vol. 2, pp. 261-264, 2006.
- [2] **W. Duangdeun**, M. Chamchoy and S. Promwong, "Performance Investigation of UWB Rake Receiver in Realistic Indoor Channels", Submitted to Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI 2007), 9-11 May 2007, Mae Fah Luang University, Chiang rai, Thailand.

ITC-CSCC 2006⁷²

*The International Technical Conference on
Circuits/Systems, Computers and Communications*

PROCEEDINGS

VOLUME II



Sponsored By

*THE ELECTRICAL ENGINEERING/ELECTRONICS, COMPUTER, TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATION
ASSOCIATION (ECTI), THAILAND*

THE INSTITUTE OF ELECTRONICS ENGINEERS OF KOREA (IEEK), KOREA

THE INSTITUTE OF ELECTRONICS, INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS (IEICE), JAPAN

NATIONAL ELECTRONICS AND COMPUTER TECHNOLOGY CENTER, THAILAND

In association with IEEE THAILAND SECTION

PERFORMANCE INVESTIGATION OF UWB RAKE RECEIVER WITH THE HUMAN BODY SHADOWING EFFECTS

Worawoot Duangdeun², Monchai Chamchoy^{1,2} and Sathaporn Promwong^{1,2}

¹Research Center for Communications and Information Technology (ReCCIT)

²Department of Information Engineering, Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

ABSTRACT

Evaluation of the robustness of UWB systems in realistic environment is an important issue for their implementability. In this paper, the performances of ultra-wideband (UWB) Rake receiver with the human body shadowing effects are presented. Three different Rake structures are introduced to investigate the BER performance of UWB communication. Based on the measurement channel, it indicates that the energy capture for Rake reception increases as the number of fingers increases. As the simulation results, the ARake performs better than PRake and SRake for both with and without human body shadowing. Therefore, the large numbers of the Rake fingers are required when the transmitted signal is shadowed by the human body.

1. INTRODUCTION

Ultra-wideband technology is an attractive candidate for short-range communication. While as the Federal Communications Commission (FCC) conducts an evaluation priority are allocated the emission limits for UWB of effective isotropic radiated power (EIRP) below -41.3 dBm/MHz, low power consumption, low cost structure and the frequency range of 3.1~10.6 GHz [1]. UWB communication system was high bandwidth and high data rate support. Therefore, the UWB is provided to wireless personal area network (WPAN) and applied to use in home environment or office area.

For UWB system, data are transmitted using nano-second baseband pulses and without the need for mixers. Since, finding time resolution for accurate ranging or positioning has easier more than narrowband, EIRP has very low power, inter symbol interference (ISI) are simple occurred for high data rate. Consequently, Rake receiver is suitable for this system. The Rake receivers get prominent for CDMA technology or more in wideband technology. Because of, structure of

Rake receiver can separate multi-path for adjust the received signal to increase SNR level and purge ISI on received signal. Several researchers have studied the performance of UWB Rake reception [2]-[4]. However, the performance of UWB communication in the realistic environment is very important, especially when propagated signal is shadowed by the human body operated around the transmitter and/or the receiver.

The aim of this paper is to investigate the UWB Rake receiver performance with the human body shadowing effects based on the measurement channels in [5]-[6]. Three different Rake combining methods, namely, Partial Rake (PRake), Selective Rake (SRake) and All Rake (ARake), are considered. The rest of the paper is organized as follows: in Section 2, we present the transmitter model, measurement channel impulse response, and Rake structures. Section 3 shows the results of performance of Rake receiver with the human shadowing effect for three kinds Rake structures and Section 4 is conclusion.

2. SYSTEM MODEL

For the UWB system, transmitted signal is the very small pulse width and no need carrier frequency is used. The effect of human body shadowing is very important issue in WPAN communication for high data transmission network. Therefore, the channel impulse response with the human body shadowing effects is investigated by three kinds of Rake structure.

2.1. Transmitter Model

The characteristic of Gaussian doublet waveforms is almost uniformly distributed on frequency spectrum of UWB technology. Specifically, the signal chosen for carrying the information data is the (usual) second derivative of the Gaussian pulse and then it is given

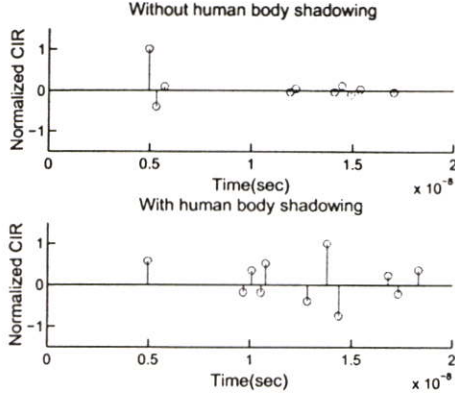


Figure 1: Channel impulse responses with and without human body shadowing effects.

by [7]-[9]

$$p(t) = \sqrt{E_p} \sqrt{\frac{8}{3\tau}} \left(1 - 4\pi \left(\frac{t - T_c}{\tau} \right)^2 \right) e^{-2\pi \left(\frac{t - T_c}{\tau} \right)^2} \quad (1)$$

where E_p is energy of signal, τ is time scaling factor of 0.2877 ns is set, T_c is time chip of next bit by $0 \leq t \leq T_c$. In this time, the Bi-Phase Modulation (BPM) has been experiment and then express as follow

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_i p(t - iT_s) \quad (2)$$

where $p(t)$ is the Gaussian doublet waveform, $b_i \in \{-1, +1\}$ are bi-phase modulation symbols, i is number of bit are send and T_s is bit duration, $T_s = 1/\text{bit rate}$.

2.2. Channel Model

For channel model, the measurement channels with and without the human body shadowing in [5]-[6] are derived based on Saleh-Valenzuela model, where multi-path components arrive in clusters [10]. This multi-path channel can be expressed as

$$h(t) = \sum_{l=0}^L \sum_{k=0}^K \alpha_{k,l} \delta(t - T_l - \tau_{k,l}) \quad (3)$$

where the real value of multi-path gain is defined by $\alpha_{k,l}$ for cluster l and ray k . The l th cluster arrives at T_l and its k th ray arrives at $\tau_{k,l}$ which is relative to the first path in cluster l .

Fig. 1 shows the measured channel impulse responses (CIR) with and without the human body shadowing which is normalized by the strongest path of the CIR.

2.3. Rake Receiver Model

Ideal of Rake receiver, number of multi-path of bit duration is combined as phase and amplitude are considered. In this investigation, the three kinds of Rake receiver based on MRC combining are employed. The received signal for UWB BPM transmitter can be expressed as

$$r(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_i \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_l p(t - \tau_l - iT_s) + n_0(t) \quad (4)$$

where α_l are channel impulse response with multi-path component, τ_l are times chip is arrived and n_0 is AWGN noise with spectra density for two side of $n_0/2$.

In the case of no ISI and when the noise is AWGN, the optimal receiver is a filter matched to the received waveform. Typically, this is implemented in a Rake receiver structure with M fingers, which can be represented as a filter with response by

$$f(t) = \sum_{m=0}^{M-1} \beta_m p(-t - \theta_m) \quad (5)$$

where the Rake delays are θ_m .

The sampled output of the Rake receiver is then

$$\begin{aligned} y_n &= [r(t) * f(t)]|_{t=nT} \\ &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_i \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{m=0}^{M-1} \alpha_l \beta_m R_p(nT - iT + \theta_m - \tau_l) \\ &\quad + \tilde{n}_0(nT) \end{aligned} \quad (6)$$

where $R_p(t) \triangleq \int_{-\infty}^{\infty} p(\tau)p(\tau + t)d\tau$ is the time auto-correlation of the pulse shape and $\tilde{n}_0(t) = \sum_{m=0}^{M-1} \beta_m \cdot \int_{-\infty}^{\infty} n_0(\tau)n_0(-t + \tau - \theta_m)d\tau$ is filtered noise.

It is well known that the optimal combiner for the AWGN multi-path channel is MRC, where $M = L$ fingers, $\beta_m = \alpha_m$ and $\theta_m = \tau_m$. When the received signals on each finger are orthogonal (as in the case when there is no ISI), MRC attains the matched filter bound [11]. However, when the ISI becomes significant the orthogonality of the paths is violated unless care is taken in the design of the pulse shape. For UWB-based high rate, it is anticipated that spreading codes will be short, and therefore MRC is suboptimal even when the noise is AWGN. This motivates a smarter choice of combining weights β_m and finger delays θ_m to combine the signal energy while compensating for the effects of ISI and narrowband interference.

Three kind of Rake receivers are all Rake (ARake), selective Rake (SRake) and partial Rake (PRake) by each kind are considered follow by

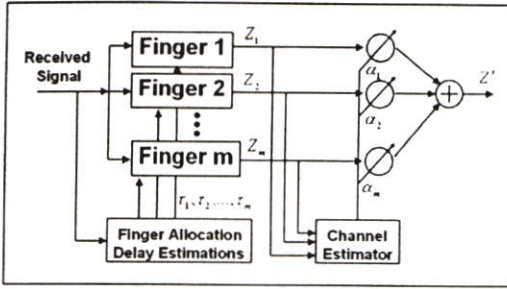


Figure 2: Rake receiver structure.

- ARake: tracking of every multi-path as received signal.
- SRake: tracking at the strongest path.
- PRake: tracking at first arrival path.

The maximum ratio combining (MRC) is used as the combination method. Because of the MRC is optimal form of the diversity combining. It yields the maximal SNR achievable and requires the exact knowledge of SNR as well as the phase of the diversity signal [12].

3. SIMULATION RESULTS

In this investigation, the perfect channel estimator is assumed. Therefore, the finger allocation delay estimation is used from the realistic environments. Based on the measurement channels in [5]-[6], the normalized ARake output signal energies for with and without body shadowing of this UWB system are shown in Fig. 3. The increasing energy capture of MRC ARake receiver versus number of finger is observed. This shows that the output signal to noise ratio for Rake reception can be improved by increasing the number of Rake fingers. Especially, in the case of the human body shadowing, the number of Rake fingers is increased from 4-finger to 8-finger for normalized energy of 80%. This results indicate the increasing number of Rake fingers leads to the effect of channel estimation errors on overall performance.

To evaluate the performance of the different Rake structures, the Monte-Carlo simulation is employed. The BER performance of UWB Rake receiver without the human body shadowing effects is shown in Fig 4 as the function of signal to noise ratio. Its results indicate that the mean performance of PRake similar to SRake. Because of the first arrival of the channel impulse response is strongest (follow by the structure of SRake and PRake). However, the SNR improvement of 8 dB can be observed at BER of 10^{-3} for ARake receiver.

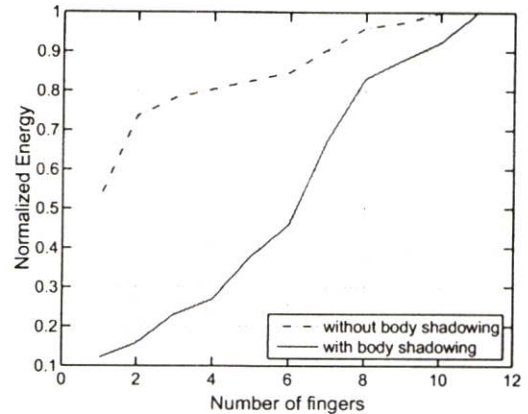


Figure 3: Energy versus number of Rake fingers for MRC combining.

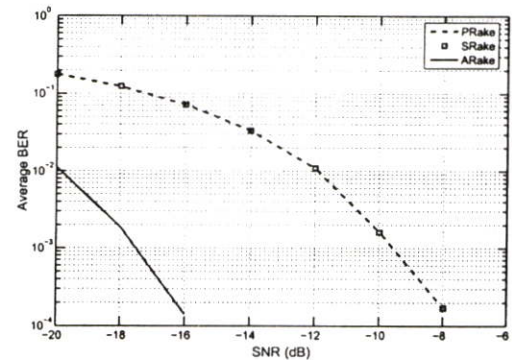


Figure 4: Average BER performance of UWB Rake receiver without the human body shadowing effects.

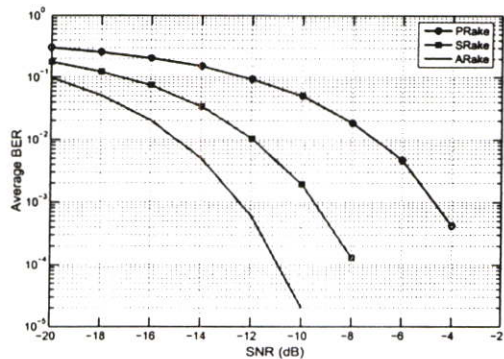


Figure 5: Average BER performance of UWB Rake receiver with the human body shadowing effects.

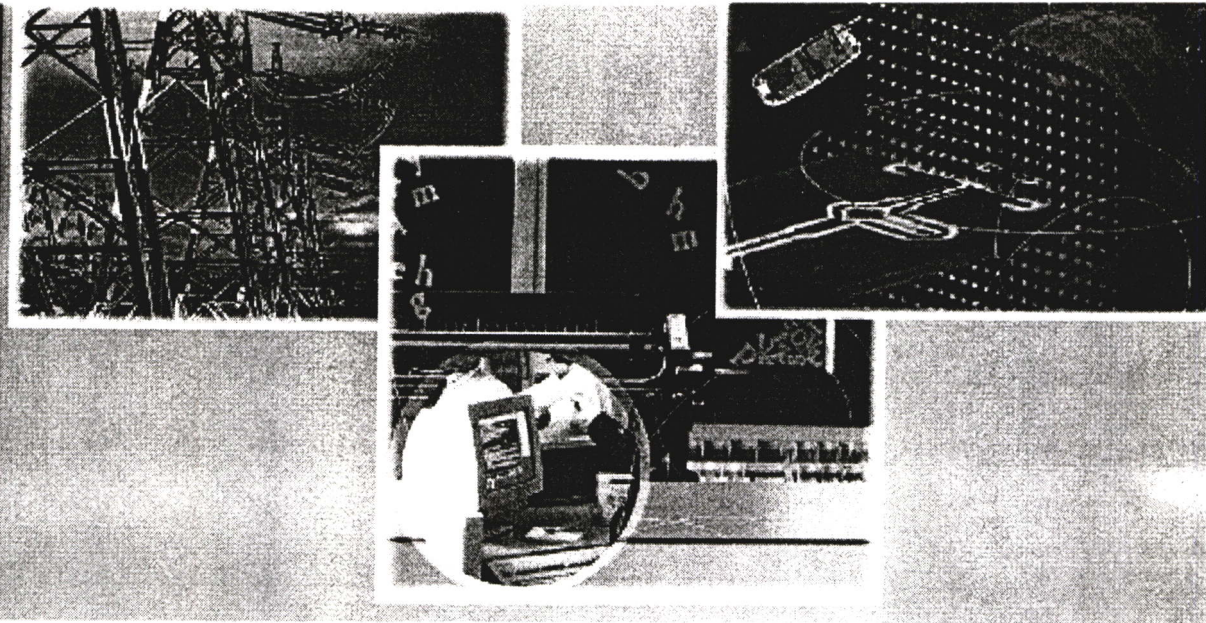
Fig. 5 shows the simulation performance of UWB Rake receiver with the human body shadowing effects as the function of signal to noise ratio. It is clear that the PRake performs worse than SRake and ARake receiver. As the simulation results, the SNR improvement of 5 dB and 8 dB can be observed for SRake and ARake receiver, respectively, for BER of 10^{-3} .

4. CONCLUSIONS

The performance of UWB Rake receiver with the human body shadowing effects are investigated. Based on the measurement channels, there are no ISI effect for the transmission rate of 110 Mbps. As the simulation results, the ARake performs better than PRake and SRake for both with and without human body shadowing. In addition, the energy capture for Rake reception increases as the numbers of fingers increase. Unfortunately, the large numbers of the Rake fingers are required when the transmitted signal is shadowed by the human body.

5. REFERENCES

- [1] Federal Communications Commission, First order and report: Revision of part 15 of the Commission's rules regarding UWB transmission systems, Apr. 22, 2002.
- [2] D. Wang, D. Liu, and G. Yue, "Performance comparison of two kinds of UWB Rake receiver," *Proc. IEEE Circuits and Systems*, vol. 1, pp. 329-332, 2004.
- [3] W. Q. Malik, D. J. Edwards, and C. J. Stevens, "Experimental evaluation of RAKE receiver performance in a line-of-sight ultra-wideband channel," *UWBST&IWUWBS*, pp. 217-220, 2004.
- [4] A. Rajeswaran, V. S. Somayazulu, J. R. Foerster, "RAKE performance for a pulse based UWB system in a realistic UWB indoor channel," *IEEE Int. Conf. Communications*, vol. 4, pp. 2879-2883, 2003.
- [5] A. Pradabphon, N. Kaewboonruean, M. Chamchoy, P. Supanakoon, and S. Promwong, "Experimental evaluation scheme of UWB radio propagation channel with human body," *Proc. ISCIT 2005*, pp. 638-641, 2005.
- [6] A. Pradabphon, W. Doungdeun, M. Chamchoy, P. Supanakoon, and S. Promwong, "Investigation of Ultra-Wideband Pulse Distortion Due to the Body Shadowing," *Proc. ICICS 2005*, pp. 831-835, 2005.
- [7] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse radio: how it works," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, pp. 36-38, Feb. 1998.
- [8] F. Ramirez-Mireles and R. A. Scholtz, "System performance analysis of impulse radio modulation," *RAWCON 98*, pp. 67-70, 1998.
- [9] R. A. Scholtz and M. Z. Win, *Impulse Radio in Wireless Communication TDMA versus CDMA*, Kluwer Academic Publishers, Chapter 7, pp.245-267, 1997.
- [10] A. Saleh and R. Valenzuela, "A statistical model for indoor multipath propagation," *IEEE Journal on Select. Areas Commun.*, vol. 5, pp. 128-137, Feb. 1987.
- [11] J.G. Proakis, *Digital Communications*, 4th, McGraw-Hill Book Company, New York, 2000.
- [12] Samuel C. Yang, *CDMA RF System Engineering*, Norwood Ma, USA, Artech House Inc., pp. 280, 1998.



ECTI-CON 2007

**Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand
May 9-12, 2007**

VOLUME 1

- *Circuits and Systems*
- *Control Engineering*
- *Electrical Power Engineering*
- *Other Related Fields*

VOLUME 2

- *Communication Systems*
- *Signal Processing*
- *Computer and Information*



Performance Investigation of UWB Rake Receiver in Realistic Indoor Channels

Worawoot Duangdeun, Monchai Chamchoy, and Sathaporn Promwong
 Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Chalokkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
 Email: worawoot_wislab@yahoo.co.th

Abstract—The performance investigation of wireless communication system based on the realistic indoor channels are necessary to design the receiver. In this paper, the performance of 2 ultra wideband (UWB) Rake receivers for realistic indoor channels are proposed. The UWB Rake receivers with minimum mean square error (MMSE) and least square (LS) channel estimators are compared. By using the channel impulse response between human body shadowing and Saleh-Valenzuela (S-V) realistic indoor channel model are combined. As the simulation results, the performance of Rake receiver with the MMSE channel estimator is better than with the LS channel estimator for all UWB indoor channels. Therefore, the MMSE channel estimator can be used for the UWB Rake receiver in the realistic indoor environment.

I. INTRODUCTION

Ultra-wideband technology is an attractive candidate for short-range wireless communication. The definition of the Federal Communications Commission (FCC) was formulated the emission limits for UWB of effective isotropic radiated power (EIRP) below -41.3 dBm/MHz, low power consumption, low cost structure and the frequency range of 3.1~10.6 GHz [1]. The UWB communication system has high bandwidth and high data rate support. Therefore, the UWB is provided to wireless personal area network (WPAN) and applied to use in home environment or office area. For UWB system, the data are transmitted using nano-second baseband pulses and without the need for mixers. Since finding time resolution for accurate ranging or positioning is easier than narrowband, EIRP has very low power, intersymbol interference (ISI) simply occurred for high data rate. Consequently, Rake receiver is suitable for this system. The Rake receiver is used for CDMA technology and wideband technology. Because the structure of Rake receiver can separate multi-path for adjusting the received signal to increase SNR level and purge ISI on the received signal.

The channel estimator is very important for Rake receiver. Because it estimates the amplitude or gain of the received signal and the results of the gain combining of signal is followed by it and the number of signal are arrived. The important parameters for channel estimation are PDF of channel impulse response (CIR), noise variance and number of pilot signals per data range (for data aided). Therefore, the performances of UWB Rake receiver based on the different complexity of the estimation parameters are investigated.

The S-V channel model of UWB communication is proposed for the multi-path channel in indoor environment. This

model is divided into 4 groups of environments, namely, CM1-CM4. CM1 describes a line-of-sight (LOS) scenario with distance between transmitter and receiver of less than 4 meters. CM2 describes the same range but for a non-LOS situation. CM3 represents a non-LOS scenario for distances between TX and RX of 4-10 meters. Finally, CM4 describes an environment with strong delay dispersion, resulting in a delay spread of 25 ns. For CM1-CM4, the models did not fix the environment location, because the models are adjusted for universal stochastic model of the wireless propagation channel and can be developed for analyzing the UWB communication system. On the other hand, the human body may obstruct the propagated signal between TX and RX. Therefore, the effects of human body shadowing are important issue for designing UWB receiver in realistic environment.

Several literatures have studied the performance of UWB Rake reception for indoor channel [2]-[4]. These investigations do not consider the human body shadowing effects. However, the performance of UWB communication in the realistic environment is still necessary for designing the receiver, especially when propagated signal is shadowed by the human body. Therefore, in this paper, the combining of channel impulse responses between the human body shadowing and the S-V multi-path indoor channel are investigated.

The rest of the paper is organized as follows: Section II presents the transmitter signal model, S-V channel models, measurement channel impulse response, and Rake receiver models. Section III summarizes the performance results of the realistic indoor channel and Section IV is conclusion.

II. SYSTEM MODEL

For the UWB system, transmitted signal has a very small pulse width and no carrier frequency. The indoor CIR of the human body shadowing are very important issue in the wireless personal area network (WPAN) communication. And the UWB Rake receiver with MMSE and LS channel estimators are presented.

A. Transmitter Signal Model

The characteristic of Gaussian doublet waveform is almost uniformly distributed on frequency spectrum of UWB technology. Specifically, the second derivative of the Gaussian pulse is chosen for non carrier modulation of the UWB signal and

then it is given by [5]-[7]

$$p(t) = \sqrt{E_p} \sqrt{\frac{8}{3\tau}} \left(1 - 4\pi \left(\frac{t - T_c}{\tau} \right)^2 \right) e^{-2\pi \left(\frac{t - T_c}{\tau} \right)^2}, \quad (1)$$

where E_p is energy of signal, τ is time scaling factor by set to 0.2877 ns, T_c is time chip of next bit. In this time, the Bi-Phase Modulation (BPM) has been experimented and expressed as

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_i p(t - iT_s), \quad (2)$$

where $p(t)$ is the Gaussian doublet waveform, $b_i \in \{-1, +1\}$ are bi-phase modulation symbols, i is bit number, T_s is bit duration.

B. Channel Model

Nowadays, there are several channel models which are used for analyzing wireless communication system. Each model is designed suitable for specific situation such as indoor and outdoor environment. However, there is no model which combines the effects of channel impulse responses with the human body effects. Thus, in the paper, the combination of the human body shadowing effects based on measurement channels in [8]-[9] and the realistic S-V channel model is considered.

The realistic channel for IEEE 802.15 study group 3a has been developed by Saleh-Valenzuela (S-V model) and proposed for the real indoor channel model, where the clusters and rays are multi-path components [10]. This multi-path channel can be expressed as

$$h(t) = \sum_{l=0}^L \sum_{k=0}^K \alpha_{k,l} \delta(t - T_l - \tau_{k,l}), \quad (3)$$

where the real value of multi-path gain is defined by $\alpha_{k,l}$ for cluster l and ray k . The l th cluster arrives at T_l and its k th ray arrives at $\tau_{k,l}$ which is relative to the first path in cluster l . However, the multi-path channels consist of four different models, namely, CM1, CM2, CM3 and CM4. The detail of the four different groups is provided in [11]. The CIR of the human body channel is derived as in the S-V model except the clusters of arrivals.

The combination of 2 CIRs between the S-V multi-path indoor channel models (in each CM groups indoor channel) and the human body shadowing are summarized for each CIRs or described by $h_{com} = h_{sv} + h_{human}$, where h_{sv} is the CIR of S-V model and h_{human} is the CIR of the human body shadowing. Fig. 1 shows are example of the CIR of S-V model for CM4, the CIR of the human body shadowing from measured channel [12] and the combining of 2 CIRs between the S-V model and the human body shadowing, respectively.

C. Rake Receiver Model

In ideal Rake receiver, the number of multi-paths per bit duration is combined as time and amplitude arrivals. Therefore, the SNR of Rake receiver is higher than conventional receiver. In this investigation, the Rake receiver based on MRC

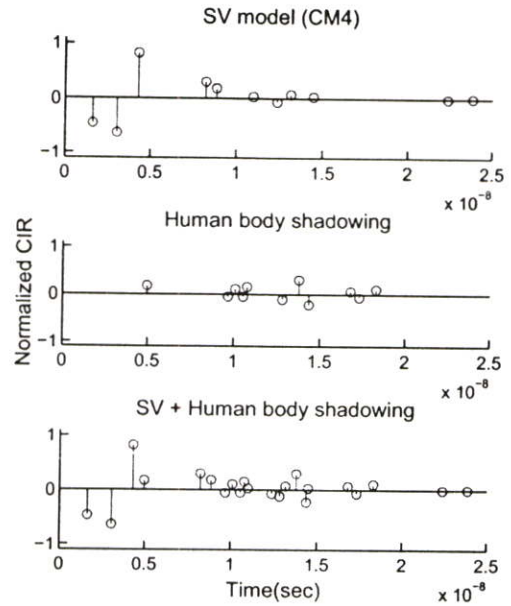


Fig. 1. The CIR of the S-V model for CM4, the human body shadowing from measured channel, and the combining of the S-V model and the human body shadowing, respectively.

combining is employed. The received signal for UWB BPM transmitter can be expressed as

$$r(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_i \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_l p(t - \tau_l - iT_s) + n_0(t), \quad (4)$$

where α_l is channel impulse response with multi-path component, τ_l is chip arrival times and n_0 is AWGN noise with two side spectra density of $N_0/2$.

In the case of no ISI and when the noise is AWGN, the optimal receiver is a filter matched to the received waveform. Typically, this is implemented in Rake receiver structure with M fingers, which can be represented as the filter with response given by

$$f(t) = \sum_{m=0}^{M-1} \beta_m p(-t - \theta_m), \quad (5)$$

where the Rake delays are θ_m . The sampled output of the Rake receiver is then

$$\begin{aligned} y_n &= [r(t) * f(t)]|_{t=nT} \\ &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_i \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{m=0}^{M-1} \alpha_l \beta_m R_p(nT - iT + \theta_m - \tau_l) \\ &\quad + \tilde{n}_0(nT), \end{aligned} \quad (6)$$

where $R_p(t) \triangleq \int_{-\infty}^{\infty} p(\tau)p(\tau + t)d\tau$ is the time auto-correlation of the pulse shape and $\tilde{n}_0(t) = \sum_{m=0}^{M-1} \beta_m \cdot \int_{-\infty}^{\infty} n_0(\tau)n_0(-t + \tau - \theta_m)d\tau$ is filtered noise.

It is well known that the optimal combiner for the AWGN multi-path channel is MRC, where $M = L$ fingers, $\beta_m = \alpha_m$ and $\theta_m = \tau_m$. For UWB-based high rate, it is anticipated

that spreading codes will be short, and therefore MRC is suboptimal even when the noise is AWGN. This motivates a smarter choice of combining weights β_m and finger delays θ_m to combine the signal energy while compensating for the effects of ISI and narrowband interference.

D. Channel Estimation Model

Nowadays, the training sequence is popular in wireless communication, easily applied to other communication and low complexity for estimating channel response. Therefore, the least square (LS) and minimum mean square error estimators (MMSE) are used in our investigation.

The LS estimation method is used to estimate channel impulse response of the received signal. For this method, it does not require an expression for the PDF $p(r, h)$ in order to estimate the unknown parameter h or the channel impulse response (CIR) but requires the training sequence. The LS estimation for this investigation can be expressed as [13]

$$\hat{\mathbf{h}}_{LS} = (\mathbf{S}^T \mathbf{S})^{-1} \mathbf{S}^T \mathbf{y}, \quad (7)$$

where \mathbf{S} is the known observation matrix containing the transmitted data, $()^T$ and $()^{-1}$ denote the transpose and inverse matrices, respectively, and \mathbf{y} is the received signal.

For the special case of time variant channel with AWGN, the linear MMSE estimator of the CIR can be used. Therefore, the MMSE estimator is used [14]. The result is

$$\hat{\mathbf{h}}_{MMSE} = R_c \mathbf{S}^T (\mathbf{S} R_c \mathbf{S}^T + \sigma_n^2 \mathbf{I})^{-1} \mathbf{y}, \quad (8)$$

where R_c is covariance matrix of $R_c = E\{\mathbf{h}\mathbf{h}^H\}$ [15], \mathbf{S} is matrix of data signals, σ_n^2 is the variance of noise and \mathbf{I} is identity matrix.

A natural optimal criterion is minimization of the mean square error and can be expressed as

$$MSE(\hat{\mathbf{h}}_{LS,MMSE}) = E[(\hat{\mathbf{h}}_{LS,MMSE} - \mathbf{h})^2], \quad (9)$$

where $\hat{\mathbf{h}}_{LS,MMSE}$ is the LS or MMSE channel estimation result and \mathbf{h} is channel impulse response.

III. PERFORMANCE RESULTS

In this investigation, the LS and MMSE estimators are used to estimate the channel impulse responses of the received signal, according to CM1-4 models and the combining of the channel impulse response between the S-V model and the human body shadowing. The mean square errors of the channel estimator versus the signal to noise ratio are shown in Fig. 2. From the results, the MSE decreases as the SNR increases. Therefore, the performance of MMSE estimator is higher than LS estimator. For the example, the mean square error at 10^{-1} of the MMSE and the LS estimator differ by about 5 dB of SNR.

The performances of the 3 different UWB Rake receivers namely, the Rake receiver with perfect channel estimation, MMSE and LS channel estimators, and the correlation receiver with perfect synchronization are evaluated. The CIR combination of 4 S-V channel models and the human body shadowing

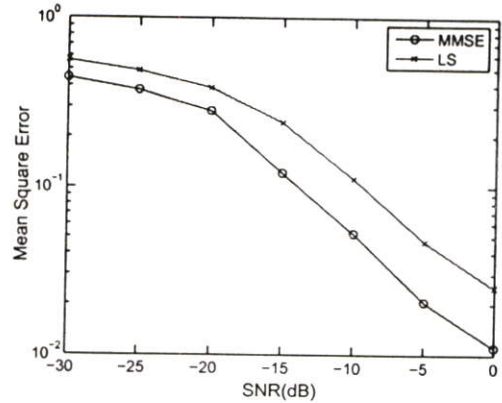


Fig. 2. Mean square errors versus SNR of the least square and minimum mean square error estimator.

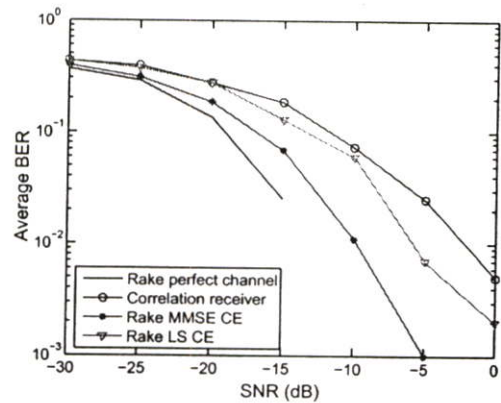


Fig. 3. Average BER performance of 4 UWB receivers in realistic indoor channel based on the combining of CM1 and human body shadowing effects.

are considered. Fig. 3- Fig. 6 show the performances of the UWB receivers for CM1-CM4 environments, respectively.

The performances of the UWB receivers based on the line-of-sight communication with the distance of 0-4 meters or the CM1 environment are shown in Fig. 3. It can be observed that the performance of Rake receiver with perfect channel estimator is best among overall and the correlation receiver with perfect synchronization is the worst for all receivers. Moreover, the performance of MMSE Rake receiver is better than LS Rake receiver by about 5 dB at BER of 10^{-2} .

Fig. 4-Fig. 6 show the performances of the UWB receivers for CM2-CM4 environments. As the results, the performances of the UWB receivers for all environments are similar with CM1 performance. Then, the performance of UWB Rake receiver with perfect channel estimator is best for all receivers, the receiver with MMSE channel estimator is better than LS channel estimator and correlation receiver, respectively. However, the UWB Rake receiver with the MMSE estimator can be used in the realistic indoor channel.

IV. CONCLUSIONS

The performances of the UWB Rake receivers with LS and MMSE channel estimators in realistic environment are investigated. The performance of the Rake receiver with perfect channel estimation, LS and MMSE channel estimations and the correlation receiver with perfect synchronization are compared, based on the combining of the channel impulse response of the human body shadowing and the S-V channel model. As the simulation results, the mean square error (MSE) for all receivers decreases as SNR increases. The performances of the Rake receiver with perfect channel estimation are best for all receivers and environments. Moreover, the performances of the Rake receiver with MMSE channel estimator are better than with the LS channel estimator for all realistic indoor environments but it has much higher complexity than the LS estimator. Therefore, the MMSE channel estimator is one of the candidate for UWB Rake receiver in realistic indoor channel.

REFERENCES

- [1] Federal Communications Commission, First order and report: Revision of part 15 of the Commission's rules regarding UWB transmission systems, Apr. 22, 2002.
- [2] D. Wang, D. Liu, and G. Yue, "Performance comparison of two kinds of UWB Rake receiver," *Proc. IEEE Circuits and Systems*, vol. 1, pp. 329-332, 2004.
- [3] W. Q. Malik, D. J. Edwards, and C. J. Stevens, "Experimental evaluation of RAKE receiver performance in a line-of-sight ultra-wideband channel," *UWBST&IWUWBS*, pp. 217-220, 2004.
- [4] A. Rajeswaran, V. S. Somayazulu, J. R. Foerster, "RAKE performance for a pulse based UWB system in a realistic UWB indoor channel," *IEEE Int. Conf. Communications*, vol. 4, pp. 2879-2883, 2003.
- [5] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse radio: how it works," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, pp. 36-38, Feb. 1998.
- [6] F. Ramirez-Mireles and R. A. Scholtz, "System performance analysis of impulse radio modulation," *RAWCON 98*, pp. 67-70, 1998.
- [7] R. A. Scholtz and M. Z. Win, *Impulse Radio in Wireless Communication TDMA versus CDMA*, Kluwer Academic Publishers, Chapter 7, pp.245-267, 1997.
- [8] A. Pradabphon, N. Kaewboonruan, M. Chamchoy, P. Supanakoon, and S. Promwong, "Experimental evaluation scheme of UWB radio propagation channel with human body," *Proc. ISCIT 2005*, pp. 638-641, 2005.
- [9] A. Pradabphon, W. Doungdeun, M. Chamchoy, P. Supanakoon, and S. Promwong, "Investigation of Ultra-Wideband Pulse Distortion Due to the Body Shadowing," *Proc. ICICS 2005*, pp. 831-835, 2005.
- [10] A. Saleh and R. Valenzuela, "A statistical model for indoor multi-path propagation," *IEEE Journal on Select. Areas Commun.*, vol. 5, pp. 128-137, Feb. 1987.
- [11] J. Foerster et al., "Channel model sub-committee report final," *IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks, P802.15-02/490r1-SG3a*, Feb. 2003.
- [12] W. duangdeun M. Chamchoy, and S. Promwong, "Performance Investigation of UWB Rake Receiver with the Human Body Shadowing Effect," *The 21st International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications*, pp. 11-261-11-264, 2006.
- [13] Steven M. Kay, *Fundamentals of Statistical Signal Processing: Estimation Theory*, Prentice-Hall, 1993.
- [14] T. Kailath, "Adaptive matched filters", In: R. Bellman (ed.), *Mathematical Optimization Techniques*, University of California Press, pp. 109-140, 1963
- [15] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 3rd Edition, Prentice-Hall, 1996.

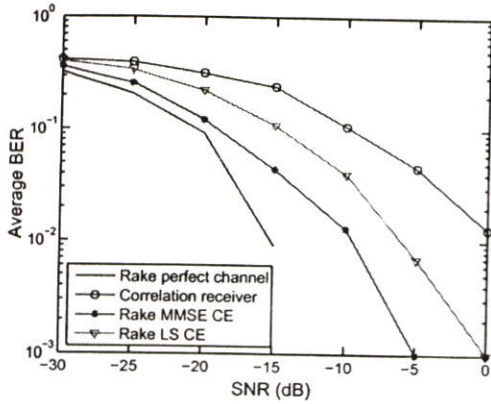


Fig. 4. Average BER performance of 4 UWB receivers in realistic indoor channel based on the combining of CM2 and human body shadowing effects.

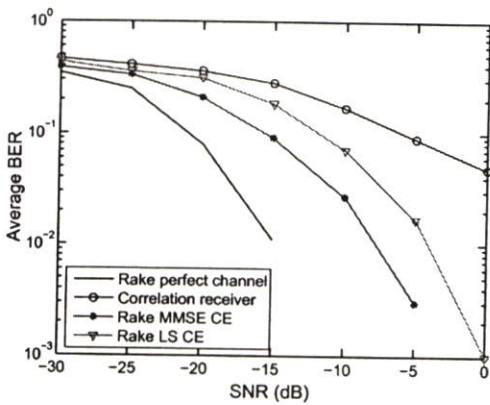


Fig. 5. Average BER performance of 4 UWB receivers in realistic indoor channel based on the combining of CM3 and human body shadowing effects.

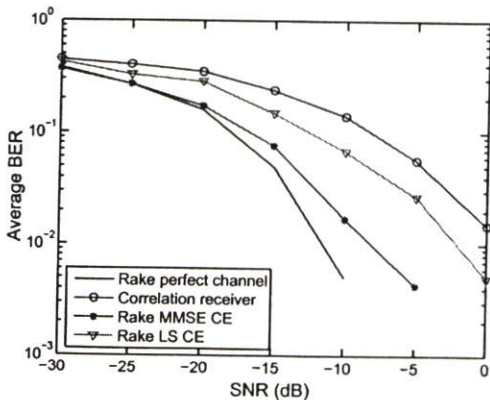


Fig. 6. Average BER performance of 4 UWB receivers in realistic indoor channel based on the combining of CM4 and human body shadowing effects.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายวรวุฒิ ดวงเดือน

วัน เดือน ปีเกิด 3 กรกฎาคม 2524

ที่อยู่ 1 หมู่ 8 ต.ไร่จิง อ.สามพราน จ.นครปฐม 73210

ประวัติการศึกษา

ปวส. สาขาวิชาเทคนิคคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตพระนครเหนือ

ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานวิจัยนอกเหนือวิทยานิพนธ์

พ.ศ. 2548 - **Measurement and Modeling of UWB Path Loss for Single-Band and Multi-Band Propagation Channel**, International Symposium on Communications and Information Technologies 2005 (ISCIT 2005), 12-14 October 2005, Fragrant Hill Hotel, Beijing, China.

- **Investigation of Ultra-Wideband Pulse Distortion Due to the Body Shadowing**, International Conference on Information, Communications and Signal Processing (ICICS 2005), 6-9 December 2005, Grand Hotel, Bangkok, Thailand.

ผลงานวิจัยในวิทยานิพนธ์

พ.ศ. 2549 - **Performance Investigation of UWB RAKE Receiver with the Human Body Shadowing Effects**, International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communication (ITC-CSCC 2006), 10-13 July 2006, Chiang mai, Thailand.

พ.ศ. 2550 - **Performance Investigation of UWB Rake Receiver in Realistic Indoor Channels**, Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI 2007), 9-11 May 2007, Mae Fah Luang University, Chiang rai, Thailand.