

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาแบบจำลองผลกระทบจากการบดบังของร่างกายมนุษย์สำหรับ  
การสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งด้วยสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร

STUDY ON BODY-SHADOWING MODEL FOR INDOOR UWB  
COMMUNICATION ENVIRONMENT



วรภรณ์ ชีชัย

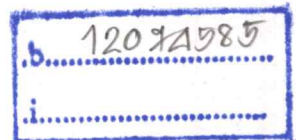
WARAPORN SEESAI

วพ.

๒ 3 2 1 ๗

- 2551

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 87879  
วัน,เดือน,ปี..... 19 ส.ค. 2552



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-230-157

**STUDY ON BODY-SHADOWING MODEL FOR INDOOR UWB  
COMMUNICATION ENVIRONMENT**

**WARAPORN SEESAI**

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

**2008**

**KMITL-2008-EN-M-230-157**

**COPYRIGHT 2008**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

## หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาแบบจำลองผลกระทบจากการบังคับของร่างกาย  
มนุษย์สำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งด้วยสภาวะแวดล้อม  
ภายในอาคาร

นักศึกษา

นางสาววรารกรณ์ ชี้อย

รหัสประจำตัว

49061009

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมสารสนเทศ

พ.ศ.

2551

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ผศ.มนต์ชัย เข้มชัย

## บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการศึกษาแบบจำลองผลกระทบจากการบังคับของร่างกายมนุษย์สำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งด้วยสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร เพื่อศึกษาถึงแบบจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง ที่ได้รับผลกระทบจากการบังคับของร่างกายมนุษย์ โดยแบบจำลองผลกระทบดังกล่าวใช้หลักการของการติดตามรังสี วิธีตามรอยภาพ เพื่อจำลองการแพร่กระจายสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งจากหลายเส้นทางที่เกิดจากสัญญาณที่เดินทางในแนวตรง สัญญาณจากการสะท้อนครั้งที่ 1 และสัญญาณจากการสะท้อนครั้งที่ 2 ด้วยการพิจารณาในสภาวะแวดล้อม 3 มิติ และได้คำนึงถึงอัตราการขยายของสายอากาศทั้งภาครับและภาคส่งร่วมอยู่ด้วย ซึ่งผลที่จำลองขึ้นมาได้มีการนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัดจริง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง และนำไปวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ของแบบจำลอง S-V เพื่อการใช้งานที่แพร่หลายและกว้างขวางต่อไป

<b>Thesis Title</b>	Study on Body-Shadowing Model for Indoor UWB Communication Environment
<b>Student</b>	MissWaraporn Seesai
<b>Student ID.</b>	49061009
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Information Engineering
<b>Year</b>	2008
<b>Thesis Advisor</b>	Asst.Prof.Monchai Chamchoy

### **ABSTRACT**

This thesis proposes studying on body-shadowing model for indoor Ultra-Wideband (UWB) communication environment based on computer simulation. An objective of the studying is to simulate human body shadowing effect influenced with channel characteristic. Image approach of ray tracing technique is used for UWB propagation simulation in various paths. The paths are results of line of sight the first reflection paths and the second reflection paths with 3-D environment consideration. Antenna gain is also considered in the simulation. The simulated results are compared with the measured results for verification of validation of the model. Then, the model results are analyzed to investigate S-V model parameters for generally using of the model.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำ ซึ่งแนะแนวทางในการแก้ปัญหาและคอยดูแลตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย รวมทั้งตรวจทานวิทยานิพนธ์นี้จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มนต์ชัย แซ่มซ้อย ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศและหัวหน้ากลุ่มงานวิจัยที่ให้คำแนะนำแนวทางในการทำงานวิจัยให้สามารถทำงานวิจัยได้ดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญ์ สุพรรณกุล ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่คอยให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการค้นคว้าหาข้อมูลการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บิดาและมารดา ที่ให้ชีวิต อบรม สั่งสอน และคอยดูแลให้กำลังใจ กำลังทรัพย์ในการทำงานมาโดยตลอดจนทำให้ผู้วิจัยมาถึงอยู่ถึงจุดนี้ได้

ขอขอบพระคุณการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนค่าลงทะเบียนเรียนในแต่ละภาคการศึกษา ตลอดจนถึงผู้บริหารของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่คอยสนับสนุนการศึกษาและการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ น้อง ๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือในการทำงานวิจัย ให้คำแนะนำมาโดยตลอดจนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วราภรณ์ ชี้อยาย

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.5 การเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....	4
1.6 ขอบเขตการศึกษา.....	5
1.7 ขั้นตอนการศึกษา.....	5
บทที่ 2 ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	7
2.1 กล่าวนำ.....	7
2.2 ประวัติของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	7
2.3 ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	9
2.3.1 ลักษณะเฉพาะของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	10
2.3.2 ข้อได้เปรียบของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง.....	11
2.4 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	13
2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา.....	13

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป.....	13
2.5 การกำหนดสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....	17
2.5.1 คำจำกัดความของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....	17
2.5.2 วิธีสร้างสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....	18
2.5.3 การออกแบบสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....	19
2.6 รูปแบบของสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	21
2.6.1 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน.....	22
2.6.2 สัญญาณพัลส์แบบ โม โน ไช เคิล.....	23
2.6.3 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเลต.....	24
2.7 วิธีการมอดูเลตสัญญาณที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	25
2.7.1 การมอดูเลตตามขนาด.....	25
2.7.2 การมอดูเลตตามตำแหน่งพัลส์.....	25
2.7.3 การมอดูเลตแบบสองเฟส.....	26
2.8 การประยุกต์และการนำระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งาน.....	27
2.8.1 การติดต่อสื่อสารและระบบเซนเซอร์.....	27
2.8.2 การระบุตำแหน่งและค้นหาตำแหน่ง.....	27
2.8.3 ระบบเรดาร์.....	27
2.9 สรุป.....	28
บทที่ 3 ช่องสัญญาณการสื่อสารระบบ UWB.....	29
3.1 กล่าวนำ.....	29
3.2 แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบกว้างยิ่ง.....	29
3.3 แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี.....	30
3.3.1 การสูญเสียในอวกาศว่าง.....	31

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.2	การสะท้อนและการหักเหของคลื่น.....	32
3.3.3	การเลี้ยวเบน.....	33
3.3.4	การคูดคลื่น.....	33
3.4	ทฤษฎีการติดตามรังสี.....	34
3.4.1	วิธีปล่อยรังสี (Ray Launching).....	35
3.4.2	วิธีตามรอยภาพ (Image) .....	35
3.5	แบบจำลองการสะท้อนพื้น UWB.....	36
3.5.1	แบบจำลองสัญญาณส่ง.....	37
3.5.2	แบบจำลองสัญญาณที่รับได้.....	37
3.6	คุณลักษณะของช่องสัญญาณ.....	39
3.6.1	การสูญเสียเชิงวิถี.....	39
3.6.2	ค่าการกระจายทางเวลา.....	40
3.6.3	ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน.....	41
3.7	แบบจำลองของ S-V.....	41
3.8	แบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐาน IEEE 803.15.3a.....	43
3.9	สรุป.....	44
บทที่ 4	แบบจำลองผลกระทบจากการบดบังของร่างกายมนุษย์สำหรับ UWB ภายในอาคาร.....	45
4.1	กล่าวนำ.....	45
4.2	หลักการทำงานของแบบจำลอง.....	45
4.3	อัลกอริทึมของแบบจำลอง.....	46
4.3.1	การหารังสีทั้งหมดที่มีอิทธิพลต่อสัญญาณที่ภาครับ .....	47
4.3.2	การหาผลกระทบของการบดบังของร่างกายมนุษย์ที่มีต่อแสงทั้งหมด .....	48
4.3.3	หาคคุณสมบัติของแต่ละรังสี.....	49

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.3.1	ค่าอัตราขยายสายอากาศของแต่ละรังสี.....	51
4.3.4	การหาพารามิเตอร์ของคุณลักษณะของช่องสัญญาณ.....	52
4.3.4.1	ระดับสัญญาณที่รับได้สำหรับแต่ละรังสี.....	52
4.3.4.2	ค่าสูญเสียเชิงวิถี .....	54
4.3.4.3	ค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ย.....	55
4.3.4.4	ภาพตัดด้านข้างการประวิงกำลังงาน.....	55
4.4	เปรียบเทียบผลจากแบบจำลองกับค่าจากการวัดสัญญาณจริง.....	55
4.4.1	ขั้นตอนการวัด.....	55
4.4.2	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดสัญญาณจริง.....	56
4.5	คุณลักษณะของช่องสัญญาณ.....	56
4.6	สรุป.....	59
บทที่ 5	ผลการวิจัยและวิเคราะห์สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง.....	61
5.1	กล่าวนำ.....	61
5.2	ผลการจำลองสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารที่พิจารณาใน 2 มิติ.....	61
5.3	ผลการจำลองสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารที่พิจารณาใน 3 มิติ และพิจารณาค่าอัตราขยายของสายอากาศร่วมด้วย.....	67
5.4	ผลการจำลองสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารที่ประยุกต์ร่วมกับแบบจำลอง S-V...	72
5.5	สรุป.....	73
บทที่ 6	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	74
6.1	กล่าวนำ.....	74
6.2	สรุปผลการจำลองสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารที่พิจารณาใน 2 มิติ.....	74

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.3 สรุปผลการจำลองสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารที่พิจารณาใน 3 มิติ และพิจารณา ค่าอัตราขยายของสายอากาศร่วมด้วย.....	75
6.4 สรุปผลการจำลองสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งด้วยแบบจำลอง S-V.....	76
6.5 ข้อเสนอแนะ.....	76
เอกสารอ้างอิง.....	77
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	80
ประวัติผู้เขียน.....	86

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 การเปรียบเทียบเทคโนโลยี UWB และเทคโนโลยีอื่น ๆ .....	2
2.1 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาสำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร.....	15
2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้ง ภายในและภายนอกอาคาร.....	15
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดสัญญาณจริง.....	56
5.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองสำหรับ 2 มิติ.....	61
5.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากการบดบังของร่างกายมนุษย์.....	72

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ตัวอย่างการเชื่อมต่ออุปกรณ์ด้วยเทคโนโลยี UWB .....	3
2.1 Heinrich Rudolf Hertz ผู้ค้นพบระบบสื่อสารคลื่นวิทยุ.....	8
2.2 เปรียบเทียบเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งกับเทคโนโลยีไร้สายระบบอื่น ๆ .....	11
2.3 ระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง โดยเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ.....	11
2.4 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาของระบบ แถบกว้างยิ่งภายในอาคาร.....	16
2.5 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาของ ระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร.....	16
2.6 จุดพิจารณาในการออกแบบสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....	17
2.7 แนวคิดในการสร้างระบบแถบกว้างยิ่ง.....	18
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชันขอบของสัญญาณกับการสร้างสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....	19
2.9 เอาท์พุทจากวงจรลอจิกที่ใช้สร้างสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....	20
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ของพัลส์ โดยการแปลงฟูรี เยร์.....	21
2.11 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่.....	22
2.12 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์โมโนไซเคิลทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่.....	23
2.13 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์คัมเบดทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่.....	24
2.14 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามขนาด 4 ระดับ.....	25
2.15 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามตำแหน่ง (PPM) .....	26
2.16 สัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตแบบสองเฟส.....	26
3.1 แบบจำลองของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งแบบหลายวิถีภายในอาคาร.....	30
3.2 แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบไอโซทรอปิก .....	32
3.3 ลักษณะการเลี้ยวเบนของคลื่น.....	33
3.4 การดูคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพลังงาน.....	34

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 กระบวนการสำหรับวิธีการปล่อยรังสี.....	35
3.6 รังสีทรงกรวย (a) รังสีเป็นลำกลิ้ง (b).....	35
3.7 การทำงานของวิธีตามรอยภาพ.....	36
3.8 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน.....	41
3.9 กำลังงานที่ลดลงของกลุ่มสัญญาณและสัญญาณตามแบบจำลองของ S-V.....	43
3.10 ผลตอบสนองของสัญญาณที่เกิดขึ้นตามแบบจำลองของแบบจำลอง S - V.....	43
3.11 ผลตอบสนองช่องสัญญาณในรูปแบบของกลุ่มคลื่นและคลื่น.....	44
4.1 อัลกอริทึมของแบบจำลองการบดบังร่างกายมนุษย์สำหรับ UWB ภายในอาคารที่ใช้หลักการการติดตามรังสี.....	46
4.2 การแบ่งบริเวณเพื่อหาคลื่นที่มีอิทธิพลต่อสัญญาณที่ภาครับทั้งหมด.....	47
4.3 การวิเคราะห์การบดบังของร่างกายมนุษย์กับรังสีสะท้อนในแต่ละมุมมอง.....	48
4.4 แบบจำลองการสะท้อนพื้น.....	49
4.5 รูปแบบการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุจากสายอากาศ.....	51
4.6 แผนผังอุปกรณ์ในการวัดสัญญาณจริง.....	56
4.7 ภาพตัดด้านเข้ากำลังงานเฉลี่ย (Average power profile) ของ 4 ห้อง ที่เส้นประแสดงถึงค่าแฟกเตอร์การลดลงของกำลังงานของคลื่นและกลุ่มคลื่น.....	59
5.1 การสูญเสียเชิงวิถีกรณีของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างตัวส่ง – ตัวรับ ค่าต่าง ๆ ในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์บดบัง.....	62
5.2 การสูญเสียเชิงวิถีกรณีของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างตัวส่ง – ตัวรับ ค่าต่าง ๆ ในกรณีมีร่างกายมนุษย์บดบัง.....	63
5.3 ค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ยช่องสัญญาณกรณีของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างตัวส่ง – ตัวรับ ค่าต่าง ๆ ในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์บดบัง.....	64
5.4 ค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ยช่องสัญญาณกรณีของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างตัวส่ง – ตัวรับ ค่าต่าง ๆ ในกรณีมีร่างกายมนุษย์บดบัง.....	65

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.5 ภาพตัดด้านข้างกำลังงานของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างตัวส่ง – รับ 2 เมตร ในกรณีไม่มี ร่างกายมนุษย์คบัง.....	66
5.6 ภาพตัดด้านข้างกำลังงานของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างตัวส่ง – รับ 2 เมตร ในกรณีมี ร่างกายมนุษย์คบัง.....	66
5.7 การสูญเสียเชิงวิถีของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างตัวส่ง – ตัวรับ ค่าต่าง ๆ ในกรณีไม่มี ร่างกายมนุษย์คบัง พิจารณาใน 3 มิติ.....	67
5.8 การสูญเสียเชิงวิถีกรณีของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างตัวส่ง – ตัวรับ ค่าต่าง ๆ ในกรณีมี ร่างกายมนุษย์คบัง พิจารณาใน 3 มิติ.....	68
5.9 ค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ยของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างตัวส่ง – ตัวรับ ค่าต่าง ๆ ในกรณีไม่มี ร่างกายมนุษย์คบัง พิจารณาใน 3 มิติ.....	69
5.10 ค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ยของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างตัวส่ง – ตัวรับ ค่าต่าง ๆ ในกรณีมี ร่างกายมนุษย์คบัง พิจารณาใน 3 มิติ.....	70
5.11 ภาพตัดด้านข้างกำลังงานของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างตัวส่ง – รับ 2 เมตร ในกรณีไม่มี ร่างกายมนุษย์คบัง พิจารณาใน 3 มิติ.....	71
5.12 ภาพตัดด้านข้างกำลังงานของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างตัวส่ง – รับ 2 เมตร ในกรณีมี ร่างกายมนุษย์คบัง พิจารณาใน 3 มิติ.....	71
5.13 การแบ่งกลุ่มสัญญาณจากแบบจำลองแบบการติดตามรังสี ด้วยหลักการของแบบจำลอง S-V.....	72

## รายการคำย่อและสัญลักษณ์

หน่วยงานวิจัยขั้นสูงของสหรัฐ (Defense Advanced Research Project Agency)	DARPA
Direct sequence spread spectrum	DSSS
กำลังงานแผ่สมมูลแบบไอโซทรอปิก (Equivalent isotropically radiated power)	EIRP
(European Telecommunications Standards Institute)	ETSI
องค์การบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Aviation Administration)	FAA
คณะกรรมการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission)	FCC
Geographic Optics	GO
ระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global Positioning Systems)	GPS
สถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	IEEE
ฟูรีเยร์ผกผันแบบเร็ว (Inverse Fast Fourier Transform)	IFFT
สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union)	ITU
ระดับแนวสายตา (Line of Sight)	LOS
Orthogonal frequency-division multiplexing	OFDM
คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)	PC
ความสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)	PL
การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามขนาดของสัญญาณ (Pulse Amplitude Modulation)	PAM
การมอดูเลตทางตำแหน่งของพัลส์ (Pulse Position Modulation)	PPM
ความถี่คลื่นวิทยุ (Radio frequency)	RF
โดเมนเวลา (Time Domain)	TD
ระบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wide Band)	UWB
เครื่องวิเคราะห์วงจรข่าย (Vector Network Analyzer)	VNA
เครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network)	WPAN
เครือข่ายไร้สายส่วนท้องถิ่น (Wireless Local Area Network)	WLAN
แอมแปร์ (Ampere)	A
เดซิเบล (Decibel)	dB
เฮิรตซ์ (Hertz)	Hz
กิกะเฮิรตซ์ (Gigahertz)	GHz

## รายการคำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

เมตร (meter)	<i>m</i>
เมกะบิตต่อวินาที (Megabit Per Second)	<i>Mbps</i>
เมกะเฮิรตซ์ (MegaHertz)	<i>MHz</i>
วินาที (Second)	<i>s</i>
นาโนวินาที (Nanosecond)	<i>ns</i>
วัตต์ (Watt)	<i>W</i>
มิลลิวัตต์ (Milliwatt)	<i>mW</i>
สัดส่วนแบนด์วิดท์ (Fractional bandwidth)	<i>B<sub>f</sub></i>
ความเร็วแสง (Velocity of light), $c = f\lambda = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0} \approx 3 \times 10^8, m/s$	<i>c</i>
ระยะทาง (distance), <i>m</i>	<i>d</i>
ความถี่ (Frequency), <i>Hz</i>	<i>f</i>
ค่าความถี่กลางของระบบการสื่อสาร	<i>f<sub>c</sub></i>
ค่าความถี่บนของระบบการสื่อสาร	<i>f<sub>H</sub></i>
ค่าความถี่ล่างของระบบการสื่อสาร	<i>f<sub>L</sub></i>
อัตรายายของสายอากาศรับ	<i>G<sub>R</sub></i>
อัตรายายของสายอากาศส่ง	<i>G<sub>T</sub></i>
ค่าสูญเสียกำลังงาน	<i>L<sub>dB</sub></i>
ค่าสูญเสียเชิงวิถี	<i>PL</i>
จำนวนจุดความถี่ (Sampling number)	<i>N<sub>smp</sub></i>
กำลังงานที่รับได้ (Receive power), <i>W</i>	<i>P<sub>R</sub></i>
กำลังงานที่ส่ง (Transmitt power), <i>W</i>	<i>P<sub>T</sub></i>
เครื่องรับ (Receiver)	<i>Rx</i>
เวลา (Time), <i>s</i>	<i>t</i>
เครื่องส่ง (Transmitter)	<i>Tx</i>
ฟังก์ชัน Dirac delta	$\delta(t)$
อิมพีแดนซ์อินทรินซิก (Intrinsic impedance), $\eta = \sqrt{\mu/\epsilon}, \Omega$	<i><math>\eta</math></i>
สภาพยอม (Permittivity), $\epsilon = \epsilon_0\epsilon_r, Fm^{-1}$	<i><math>\epsilon</math></i>
ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant)	<i><math>\epsilon_r</math></i>
สภาพยอมของอวกาศว่าง (Permittivity of free space), $\epsilon_0 \approx 1/36\pi \times 10^{-9}, Fm^{-1}$	<i><math>\epsilon_0</math></i>

## รายการคำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

ความซึมซาบได้ (Permeability), $\mu = \mu_0\mu_r, Hm^{-1}$	$\mu$
ความซึมซาบได้ของอวกาศว่าง (Permeability of free space), $\mu_0 \approx 400\pi \times 10^{-9}, Hm^{-1}$	$\mu_0$
ความซึมซาบได้สัมพัทธ์ (Relative permeability)	$\mu_r$
ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง (Mean excess delay), $s$	$\bar{\tau}$
มุมการโพลาไรซ์ของรูปคลื่น	$\Theta_i$
มุมตกกระทบ	$\theta$
สัมประสิทธิ์การสะท้อนพื้นและอัตราการมาถึงของกลุ่มสัญญาณ	$\Gamma$
อัตราการมาถึงของกลุ่มสัญญาณ	$\Lambda$
ความยาวคลื่น (Wavelength), $m$ และอัตราการมาถึงของสัญญาณ	$\lambda$

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง (Ultra-Wideband:UWB) เป็นเทคโนโลยีไร้สายที่เข้ามามีบทบาทสำหรับการสื่อสารไร้สายมากขึ้น โดยสามารถประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารประเภทต่าง ๆ เนื่องจากมีจุดเด่นหลายประการ เช่น เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อยและต้นทุนต่ำ มีระดับกำลังงานใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาซึ่งเหมาะกับการประยุกต์ใช้กับระบบติดตาม (Tracking) เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติของระบบ UWB แตกต่างจากระบบสื่อสารแบบอื่น ๆ คือ สามารถส่งสัญญาณได้โดยไม่มีผลกระทบต่อสัญญาณพาห์ และแถบความถี่ที่ใช้ส่งข้อมูลกว้างมาก จึงทำให้สามารถรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูง โดยคณะกรรมการกิจการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission:FCC) ได้กำหนดความถี่อยู่ในช่วง 3.1 - 10.6 GHz ซึ่งมีแบนวิidthเท่ากับ 7.5 GHz

หากพิจารณาถึงประสิทธิภาพของระบบ UWB เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีอื่น ได้แก่ Wi-Fi และ Bluetooth ที่มีการเปรียบเทียบอัตราการรับส่งข้อมูลและระยะทางในการส่งข้อมูลไว้ในตารางที่ 1.1 ซึ่งสังเกตได้ว่า การสื่อสารในระบบนี้ใช้พลังงานที่ต่ำกว่า และให้ความเร็วในการส่งข้อมูลสูงกว่า กล่าวคือสามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 110 Mbps ที่ระยะทาง 10 เมตร สูงกว่า Bluetooth และ Wi-Fi ถึง 100 เท่า และ 2 เท่า ตามลำดับ ดังนั้นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง จึงมีแนวโน้มที่จะได้รับความนิยมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานกับเครือข่ายไร้สายหลากหลายรูปแบบ หนึ่งในนั้นได้แก่ เครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล ( Wireless Personal Area Network: WPAN ) ที่ใช้เพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในบ้าน ดังแสดงในรูปที่ 1.1 [1]

สำหรับลักษณะการใช้งานจริงของระบบการสื่อสารไร้สายนี้ ส่วนใหญ่เป็นการสื่อสารภายในอาคาร ซึ่งมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณการสื่อสารมากมาย อาทิเช่น อุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ผง หรือกำแพง หน้าต่าง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งสามารถที่จะส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งได้เช่นกัน คือ ร่างกายมนุษย์นั่นเอง เพราะมีความเป็นไปได้ที่ร่างกายมนุษย์จะไปรบกวนหรือบดบังเส้นทางการเดินทางของคลื่น ซึ่งหากทราบถึงผลกระทบจากการบดบังจะทำให้สามารถวางแผนแก้ไขปัญหาหรือปรับปรุงระบบให้สามารถสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้การศึกษาผลกระทบจากการบดบังของร่างกายมนุษย์จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยการตรวจหาผลกระทบจากการบดบังของมนุษย์ สามารถทำได้ทั้งจากการวัดสัญญาณจริงภายในห้อง และการจำลองผลด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งผลจากการวัดสัญญาณจริงสามารถสื่อให้เห็นถึงผลกระทบของร่างกายมนุษย์เฉพาะภายในห้องที่ได้ทำการวัดเท่านั้น หาก

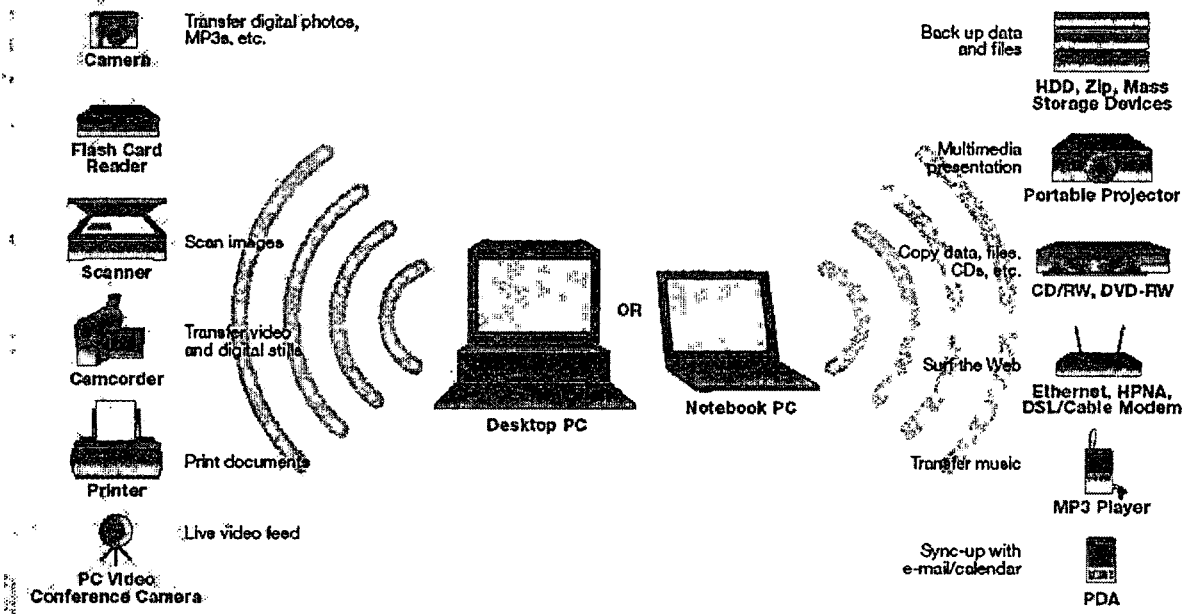
ต้องการนำผลกระทบดังกล่าวไปใช้กับห้องอื่น ที่มีสภาพแวดล้อมต่างไปจะไม่สามารถใช้ได้ ดังนั้นการจะทราบผลกระทบภายในห้องอื่น ๆ จึงต้องทำการวัดสัญญาณใหม่ ซึ่งทำให้สูญเสียค่าใช้จ่าย และเวลามาก ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นในการหาวิธีการเพื่อทำนายผลกระทบจากการบดบังของร่างกายมนุษย์โดยการจำลองและประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถทำนายผลกระทบได้หลากหลายสภาพแวดล้อมโดยใช้เวลารวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่าย

จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ [2] ได้ทำการวัดสัญญาณจริงเพื่อหาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ ในการวางแผนการแก้ไขปัญหาที่จะเกิดขึ้น อาทิเช่น อาจมีการปรับปรุงให้การส่งข้อมูลของระบบเป็นแบบ self adaptive เป็นต้น หากแต่ว่าผลการวัดนี้สามารถใช้ได้กับเฉพาะภายในห้องห้องนั้นเท่านั้น หากวิศวกรรมระบบการสื่อสารต้องการทราบผลกระทบนี้กับห้องหรืออาคารอื่น ๆ จำเป็นต้องทำการวัดผลใหม่ทั้งกระบวนการ ดังนั้นวิธีนี้จึงต้องใช้ทรัพยากรอย่างมากมาย อาทิเช่น ผู้ปฏิบัติงาน ค่าใช้จ่าย เวลา เป็นต้น

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดในการทำการวิจัย เพื่อศึกษาแบบจำลองในการทำนายผลกระทบของการบดบังของร่างกายมนุษย์ เพื่อทำการจำลองผลกระทบด้วยการประมวลผลจากคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถจำลองผลได้หลากหลายสภาพแวดล้อม ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่าย

ตารางที่ 1.1 การเปรียบเทียบเทคโนโลยี UWB และเทคโนโลยีอื่น ๆ

รายละเอียด	มาตรฐาน IEEE						
	WLAN			Bluetooth	WPAN	UWB	Zigbee
	802.11a	802.11b	802.11g	802.15.1	802.15.3	802.15.3a	802.15.4
ช่วงความถี่ที่ใช้งาน	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	3.1 – 10.6 GHz	2.4 GHz
อัตรารับส่งข้อมูล	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	1 Mbps	55 Mbps	> 100 Mbps	250 kbps
ระยะทางไกลสุด	100 เมตร	100 เมตร	100 เมตร	10 เมตร	10 เมตร	10 เมตร	50 เมตร



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างการเชื่อมต่ออุปกรณ์ด้วยเทคโนโลยี UWB [1]

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

สำหรับงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาแบบจำลองผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งยวดได้สภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ซึ่งพิจารณาอยู่บนพื้นฐานของการจำลองการแพร่กระจายของสัญญาณ UWB ที่รับส่งข้อมูลอยู่ภายในอาคารและมีโอกาสถูกบดบังสัญญาณจากร่างกายมนุษย์ และผลดังกล่าวนั้นสามารถนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ด้วยการจำลองช่องสัญญาณแบบ S-V [3]

## 1.3 ธรรมชาติฐานของการศึกษา

1. แบบจำลองสามารถจำลองให้เห็นถึงผลกระทบของการบดบังสัญญาณจากร่างกายมนุษย์สำหรับคุณลักษณะของช่องสัญญาณแบบไร้สาย เช่น ภาพหน้าตัดด้านข้างกำลังงาน (power delay profile) การประวิงเข้าถึงเฉลี่ย (mean excess delay) และค่าสูญเสียเชิงวิถี (Path loss)
2. แบบจำลองสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องใกล้เคียงกับผลจากการทดลอง โดยเมื่อมีการจำลองผลกระทบภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีการวัดผลอยู่แล้วจะมีค่าใกล้เคียงกัน
3. ผลจากแบบจำลองสามารถนำไปใช้งานได้อย่างแพร่หลาย กว้างขวาง เหมาะสมกับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งยวด

## 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

แบบจำลองที่นำเสนอนี้จะอาศัยหลักการการติดตามรังสี ( Ray tracing ) จำลองการแพร่กระจายของสัญญาณที่มีการประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลอง UWB - 2 ray เพื่อหาคุณลักษณะของช่องสัญญาณ และนำผลที่ได้มาหาพารามิเตอร์ของแบบจำลอง S-V

ในส่วนของการจำลองผลกระทบจากการบดบังของมนุษย์สำหรับระบบสื่อสาร UWB ภายใต้สภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ด้วยการประมวลผลของคอมพิวเตอร์นั้นแบบจำลองที่สร้างขึ้นได้ทำการจำลองการแพร่กระจายของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ด้วยหลักการการติดตามรังสีที่ใช้วิธีตามรอยภาพ (Image approach ) ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการจำลองการแพร่กระจายสัญญาณภายในอาคารที่มีความซับซ้อนไม่มาก และสามารถคำนวณผลได้อย่างรวดเร็ว

ด้วยหลักการของการติดตามรังสี การประมวลผลเพื่อหาสัญญาณที่ภาครับสามารถคำนวณได้โดยการคำนึงถึงการสะท้อนของห้อง ทำให้สามารถที่จะนำสัญญาณที่ได้มาประมวลหาคุณลักษณะของช่องสัญญาณต่อไป เช่น ภาพหน้าตัดด้านข้างกำลังงาน การประวิงเข้าถึงเฉลี่ย ค่าสูญเสียเชิงวิถี เป็นต้น

## 1.5 การเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

ในปี ค.ศ. 2004 มีผู้เสนองานวิจัยเรื่อง คุณสมบัติของช่องสัญญาณที่ได้รับผลกระทบจากการบดบังจากร่างกายมนุษย์สำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง [2] ซึ่งได้ทำการวัดสัญญาณโดยให้สายอากาศส่งและสายอากาศรับติดตั้งไว้ภายในห้อง และมีร่างกายมนุษย์ยืนอยู่ในตำแหน่งต่าง ๆ ของห้อง โดยการวัดได้ทำทั้งกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์และไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์ เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้น และได้ทำการวิเคราะห์โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบ เมื่อพิจารณาถึงการวัดแล้วพบว่า ทำให้เกิดปัญหาคือ ทำให้เสียเวลาในการวัด ค่าใช้จ่าย และผลดังกล่าวนี้ไม่สามารถนำไปพิจารณาภายใต้สภาพแวดล้อมแบบอื่นได้

สำหรับแบบจำลองผลกระทบจากร่างกายมนุษย์สำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งที่ประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์นั้นยังไม่เคยปรากฏผู้นำเสนองานวิจัย มีเพียงแบบจำลองสำหรับการสื่อสารแบบแถบแคบ (Narrowband) ที่มีผู้เสนอมาในปี ค.ศ.1998 เรื่อง แบบจำลองการบดบังร่างกายมนุษย์สำหรับระบบการสื่อสารวิทยุภายในอาคาร [4] โดยสร้างแบบจำลองจากการบดบังด้วยหลักการการติดตามรังสีด้วยวิธีตามรอยภาพ ซึ่งแบบจำลองที่นำเสนอให้ผลการจำลองใกล้เคียงกับความเป็นจริงหรือค่าที่ได้จากการวัดมาก และใช้เวลาในการประมวลผลน้อย สามารถนำไปใช้งานได้ทั่วไปในสภาพแวดล้อมของห้องแบบต่าง ๆ เมื่อพิจารณาถึงหลักการการติดตามรังสีที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้พบว่าเป็นวิธีการที่จำลองได้ง่ายและให้ผลใกล้เคียงกับความเป็นจริงซึ่งใช้เวลาในการคำนวณน้อย จึงได้นำหลักการนี้มาประยุกต์ใช้กับแบบจำลองสำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งได้ ซึ่งยังไม่มีผู้เสนอมาก่อน แต่เมื่อพิจารณาหลักการของการติดตามรังสีที่ใช้กับงานวิจัยสำหรับการสื่อสารแบบแถบแคบ [4] นั้น ทฤษฎีเหล่านั้นได้นำเสนอสำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบแคบ ทฤษฎีบางส่วนจึงไม่สามารถนำมาใช้ได้กับระบบการสื่อสารแบบ

แถบกว้างยิ่ง ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการติดตามรังสี สำหรับระบบการสื่อสาร UWB และพบว่า ในปี ค.ศ. 2005 มีผู้นำเสนองานวิจัยเรื่อง การศึกษาคุณสมบัติของแบบจำลองการสะท้อนพื้นบนพื้นฐานของการสูญเสียกำลังค่าสอดคล้องสำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง [5] ที่ได้แนะนำหลักการของแบบจำลอง UWB - 2 ray สำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งหลักการเหล่านี้เป็นหลักการพื้นฐานที่นำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันในการสร้างแบบจำลองการบดบังร่างกายมนุษย์สำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารได้

## 1.6 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาแบบจำลองผลกระทบการบดบังของร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งภายใต้สภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ซึ่งพิจารณาอยู่บนพื้นฐานของการจำลองการแพร่กระจายของสัญญาณ UWB ด้วยหลักการการติดตามรังสี โดยทำการจำลองการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณในหลายเส้นทางใน 3 มิติ และสัญญาณที่พิจารณาประกอบด้วย

1. สัญญาณจากแนวตรง (Line of sight)
2. สัญญาณจากการสะท้อนครั้งที่ 1
3. สัญญาณจากการสะท้อนครั้งที่ 2

และได้ทำการจำลองผลกระทบซึ่งให้เอาที่พูดของแบบจำลองเป็นคุณลักษณะของช่องสัญญาณการสื่อสาร UWB อันประกอบด้วย ค่าสูญเสียเชิงวิถี การประวิงเข้าถึงเฉลี่ย และภาพหน้าตัดด้านข้างกำลังงาน และผลที่ได้จากแบบจำลองมีการนำไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลอง S-V เพื่อการใช้งานที่กว้างขวางต่อไป

## 1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

จากแนวคิดและหลักการที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปเป็นขั้นตอนการศึกษา ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของเทคโนโลยี UWB
2. ศึกษาการแพร่กระจายของคลื่นสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง
3. ศึกษาการนำทฤษฎีการติดตามรังสี มาประยุกต์ใช้กับแบบจำลองการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุ
4. ศึกษาหลักการของแบบจำลอง UWB - 2 ray
5. คิดค้นแบบจำลองผลกระทบในสภาวะแวดล้อม 2 มิติ
6. ปรับปรุงแบบจำลองให้พิจารณาสภาวะแวดล้อมใน 3 มิติ
7. ปรับปรุงแบบจำลองให้มีการพิจารณาอัตราขยายของสายอากาศ
8. ศึกษาแบบจำลอง S-V
9. ปรับปรุงแบบจำลองให้สามารถใช้แบบจำลอง S-V วิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ออกมาได้

10. นำผลที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลการวัดจริงเพื่อตรวจสอบความถูกต้องการทำงานของแบบจำลอง
11. วิเคราะห์ผล
12. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

## บทที่ 2

# ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

### 2.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง หรือ Ultra Wide Band : UWB ได้รับความนิยมา โดยตลอด ทั้งในวงการการศึกษาและอุตสาหกรรม เนื่องจาก UWB มีข้อดีหลายประการ อันประกอบด้วย สามารถส่งข้อมูลในอัตราเร็วสูง ใช้ต้นทุนในการส่งสัญญาณน้อย ใช้กำลังงานในการส่งสัญญาณต่ำ และมีการแทรกสอดระหว่างสัญญาณต่ำ การสื่อสารด้วยเทคโนโลยีนี้เหมาะที่จะใช้งานกับอุปกรณ์ดิจิทัลต่าง ๆ เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา เป็นต้น ในปี ค.ศ. 2002 คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission; FCC) ได้ประกาศให้มีการใช้งานเทคโนโลยี UWB สำหรับการสื่อสารภายในอาคาร ในช่วงความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่ยังไม่ได้มีการอนุญาตให้ใช้งานกับการสื่อสารระบบอื่น มีการแนะนำมาตรฐานทางอุตสาหกรรม IEEE 802.15.3a (สำหรับใช้งานความเร็วสูง) และ IEEE 802.15.4a (สำหรับใช้งานความเร็วต่ำ) ในขณะที่ทางด้านทหามีความเป็นกังวลเรื่องความคับคั่งของข้อมูล แม้ว่าหน่วยงานทางด้านการศึกษาและวิจัยของ UWB ได้แสดงให้เห็นว่า UWB เป็นสัญญาณที่เหมาะสมกับการใช้งานที่ต้องการความเร็วสูง ตั้งแต่การสื่อสารระยะใกล้และระยะไกล ดังนั้นการค้นคว้า ศึกษาต่อมาจึงต้องแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง โดยเฉพาะแอปพลิเคชันใหม่ ๆ ของการสื่อสาร UWB ซึ่งใช้ต้นทุนต่ำ ใช้กำลังส่งต่ำ สามารถให้ความถูกต้องในระดับเซนติเมตร ทำให้เทคโนโลยี UWB เหมาะกับการใช้งานด้านการขนส่ง การรักษาความปลอดภัย การแพทย์ การสื่อสารภายในบ้าน การค้นหาและช่วยเหลือผู้ประสบภัย การสื่อสารภายในบ้าน ตลอดจนงานทางด้านทหาร เป็นต้น [6]

### 2.2 ประวัติของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ในปี ค.ศ. 1864 James Clerk Maxwell กล่าวว่า ีว่า คลื่นวิทยุ คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความเร็วเท่ากับความเร็วของแสง ซึ่งต่อมาในปี ค.ศ. 1886 Heinrich Rudolf Hertz ได้ทำการทดลองและพิสูจน์ให้เห็นว่าคลื่นวิทยุมีจริง หลังจากนั้นได้มีการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับคลื่นวิทยุ และการกระจายคลื่นวิทยุให้ก้าวหน้าต่อไป



## รูปที่ 2.1 Heinrich Rudolf Hertz ผู้ค้นพบระบบสื่อสารคลื่นวิทยุ

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ได้ถือกำเนิดตั้งแต่ปี ค.ศ. 1901 ที่ มาร์โคนี (Marconi) ได้ทดลองสาริตเครื่องส่งสปาร์กแก๊ป (Spark gap) ในการส่งสัญญาณวิทยุข้ามมหาสมุทรแอตแลนติก ต่อมาได้มีการพัฒนาการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในปี ค.ศ. 1962 ใช้หลักการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในโดเมนทางเวลา และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณในเครือข่ายไมโครเวฟ ในปี ค.ศ. 1963-1966 ซึ่งมีแนวทางในการพัฒนาว่าต้องมีรูปแบบที่ง่ายและไม่ซับซ้อน โดยใช้คุณลักษณะของการตอบสนองความถี่ เช่น ขนาดของสัญญาณ และเฟส ซึ่งในการวิเคราะห์สัญญาณนั้น ได้ใช้เครื่องออสซิลอสโคปในการสุ่มค่าของสัญญาณ เพื่อมาทำการวิเคราะห์และพัฒนาเครือข่ายในระบบไมโครเวฟ และรูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่าน โดยการวิเคราะห์และการวัด เทคนิคในการวัดค่าสัญญาณนั้นแรกเริ่ม ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับแถบความถี่กว้างในปี ค.ศ. 1968 ซึ่งทำให้เกิดการพัฒนาสัญญาณที่มีขนาดแคบได้อย่างรวดเร็ว และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณติดต่อสื่อสารแบบเรดาร์ ในปี ค.ศ. 1972 และในปี ค.ศ. 1973 เครื่องออสซิลอสโคปที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความถี่ที่สูงขึ้นก็ได้ถูกสร้างขึ้น จึงทำให้มีการกำหนดแถบความถี่กว้างยิ่งต่อมาในปี ค.ศ. 1980 นั้นได้มีการกำหนดให้เทคโนโลยีแถบความถี่กว้างยิ่งนี้ไม่จำเป็นต้องใช้คลื่นพาหะ โดยส่วนใหญ่แล้วจะนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบเรดาร์อื่นเนื่องมาจากคุณสมบัติของสัญญาณที่มีช่วงความถี่ที่กว้างมากทำให้ได้รับข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งที่มีความถูกต้องสูง และเป็นจุดที่แตกต่างจากการส่งคลื่นวิทยุแบบอื่นที่มีมาก่อนหน้านั้น แต่เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ได้ถูกนำมาใช้ในโครงการที่เป็นความลับของกองทัพสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960-1990 ซึ่งพบว่าเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งเหมาะที่จะนำมาใช้กับการสื่อสารของเรดาร์และการติดต่อสื่อสารที่ต้องการความปลอดภัยสูง [7]

เมื่อเดือนพฤษภาคมปี ค.ศ. 2000 ทางคณะกรรมการกิจการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้ออกหนังสือ Notice of Proposed Rule Making ซึ่งเชิญชวนให้หน่วยงานต่าง ๆ นำเสนอข้อคิดเห็นที่จะนำมาพัฒนาและปรับปรุงแก้ไขกฎข้อบังคับของคณะกรรมการกิจการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาเพื่อควบคุมและจำกัดกำลังส่งสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งกฎข้อบังคับใหม่นี้ได้ถูกประกาศออกมาใช้งานเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ปี ค.ศ. 2002 [8]

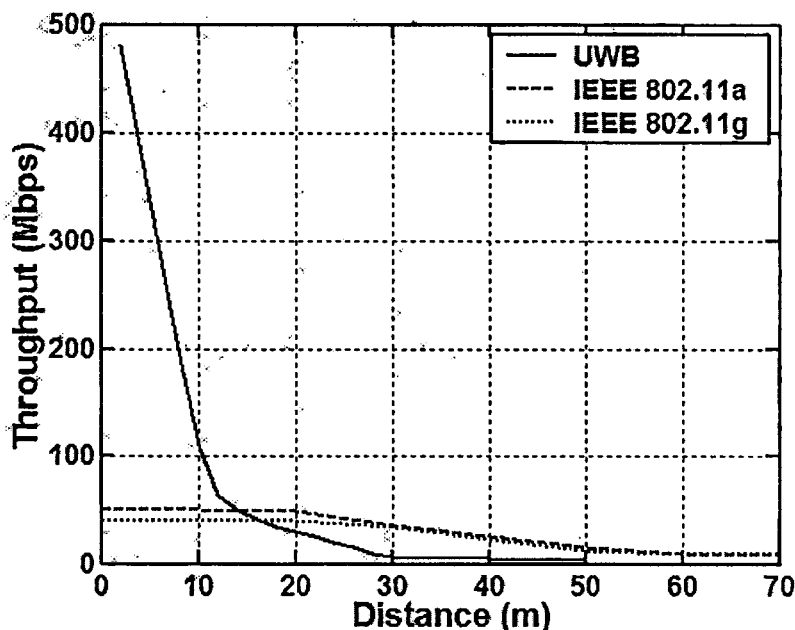
## 2.3 ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ปัจจุบันมีการพัฒนาระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งมาโดยตลอด ทำให้ได้รับความสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารประเภทต่างๆ มากขึ้น โดยการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นนับได้ว่าเป็นวิวัฒนาการของระบบการสื่อสารไร้สาย โดยมีการใช้แถบความถี่ในการส่งที่กว้างมากประกอบกับใช้กำลังส่งที่น้อย ซึ่งสัญญาณของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีความแตกต่างกับระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน 2 ประการคือ การส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งจะทำการส่งสัญญาณในลักษณะที่เป็นอิมพัลส์ โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณพาห้ อีกประการหนึ่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งจะมีสัดส่วนของแบนวิดท์ในการส่งมากกว่าหรือเท่ากับ 20 % ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz ซึ่งจะพบว่ามีค่ามากกว่าแถบความถี่ของระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก ทางคณะกรรมการกิจการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดแถบความถี่ที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง คือ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งมีแบนวิดท์เท่ากับ 7.5 GHz จากการที่ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งใช้แถบความถี่ที่กว้างมากโดยที่แถบความถี่ที่ใช้นั้นได้มีการทับซ้อนกับระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบที่มีอยู่ในปัจจุบัน จึงกำหนดระดับของความหนาแน่นของกำลังส่งต่อความถี่ ในการส่งสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งไว้ไม่เกิน  $-41.3$  dBm/MHz ซึ่งเป็นข้อกำหนดของกำลังงานที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ [9] ที่ทำให้ไม่เกิดการแทรกสอดของสัญญาณ จึงมีแนวโน้มจะได้รับความนิยมในการนำมาประยุกต์ใช้กับการสื่อสารไร้สายภายในอาคาร ที่มีผู้ปฏิบัติงานอยู่ภายในอันจะทำให้เกิดการบดบังของสัญญาณได้ ดังนั้นจึงมีผู้ทำการวิจัยศึกษาผลจากการบดบังของร่างกายมนุษย์ไว้มากมาย ทั้งแบบวัดจริงและแบบจำลองช่องสัญญาณ สำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาแบบจำลองผลกระทบจากการบดบังของร่างกายมนุษย์ ซึ่งรายละเอียดต่างๆ จะกล่าวถึงในบทต่อไป โดยบทนี้จะได้อธิบายถึงหลักการพื้นฐานและข้อกำหนดต่างๆ ของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

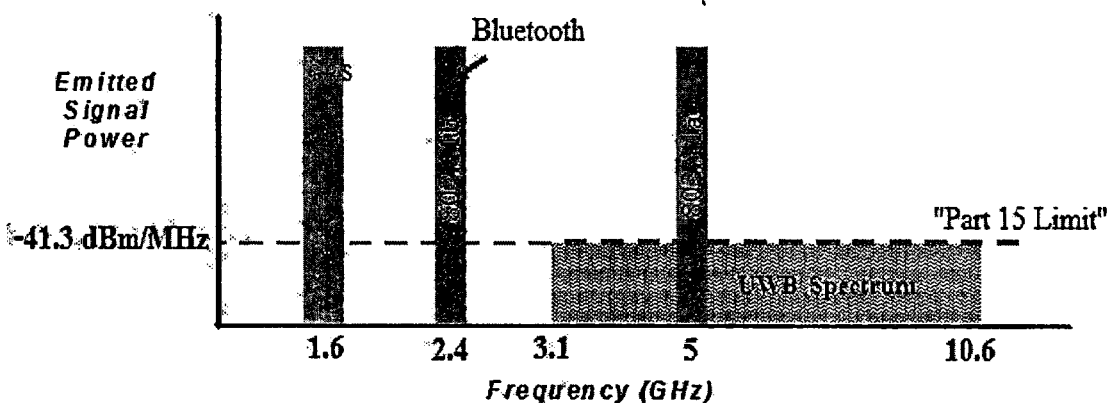
### 2.3.1 ลักษณะเฉพาะของการสื่อสารแบบกว้างยิ่ง

ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่น ๆ โดยข้อได้เปรียบของระบบแบบแถบกว้างยิ่งคือ เป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาหะ (Radio frequency : RF) เหมือนในระบบอื่น ๆ สัญญาณของระบบแบบแถบกว้างยิ่งจะเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse) โดยจะเป็นพัลส์แคบๆ ขนาด 0.2 นาโนวินาที [9] จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ (Spectral density) ที่กว้างมาก ดังนั้นจึงแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้าง และเนื่องด้วยระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงถึง 110 Mb/s ในระยะทางประมาณ 10 เมตร ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่า สัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมาก จึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบนี้มีการใช้กำลังงานในการส่งต่ำลงไปด้วย จึงนำเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งมาใช้กับระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล

หากเปรียบเทียบระบบนี้กับเทคโนโลยีอย่าง Wi-Fi ในมาตรฐาน 802.11a แล้วจะพบว่าระบบแถบกว้างยิ่งจะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าเทคโนโลยีดังกล่าวทั้งด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูล และการใช้พลังงานที่ต่ำกว่ามาก โดยระบบแถบกว้างยิ่งจะมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงถึง 480 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตรและความเร็ว 110 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 10 เมตร ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในขณะที่ Wi-Fi สามารถรับส่งข้อมูลสูงสุดที่ 54 Mbps และหากเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมสำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล ในปัจจุบันนี้คือ Bluetooth แล้วระบบแถบกว้างยิ่งจะมีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงกว่า Bluetooth ถึง 100 เท่า รูปที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งกับเทคโนโลยีไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11a และ IEEE802.11g [9] แกน x คือระยะทาง แกน y คือ อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล รูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ



รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งกับเทคโนโลยีไร้สายระบบอื่น ๆ [9]



รูปที่ 2.3 ระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ

### 2.3.2 ข้อได้เปรียบของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบกว้างยิ่งเป็นระบบที่มีข้อได้เปรียบที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ใน ระบบสื่อสาร อาทิเช่น

- มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน

เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานในการส่งต่ำทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้มี ลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวน ซึ่งทำให้การตรวจหาสัญญาณทำได้ยากและในเอกสารทางการ วิจัยกล่าวว่า การส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้น ไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อ ระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่นๆ เนื่องจากสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีการแพร่กระจายกำลัง

งานในระดับต่ำประมาณระดับของสัญญาณระบบกวน (Noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยั้งนี้คือ สัญญาณรบกวนจึงถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบ

- มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี (Multipath) และการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียง

ในระบบการมอดูเลตทางเวลา (Time modulation) แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับหลักร้อยเมกะบิตต่อวินาที อีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนของจำนวนของผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ได้จำนวนที่มากกว่าระบบทั่วไป และเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถีอย่างมาก เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้างนั้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมากซึ่งรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยั้งที่มีการมอดูเลตทางเวลานั้นมีความต้านทานต่อการแพร่กระจายของคลื่นหลายวิถีที่รุนแรง และการรบกวนหรือแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียงได้

- ระบบแถบกว้างยั้งมีความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนต่ำ

ความซับซ้อนน้อยและต้นทุนที่ต่ำของระบบแถบกว้างยั้งเกิดขึ้นจากปัจจัยทางลักษณะเบสแบนด์ (Baseband) ของการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ ในโดเมนทางเวลาซึ่งสามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือคลื่นพาห์รวมเข้าไปและในส่วนของกรรวมสัญญาณวิทยุนั้นจะเป็นการนำเอาสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห์เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดีโดยปราศจากความถี่ในการเพิ่มการแปลงความถี่ให้สูงขึ้น (Up-conversion) และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น (Amplification) โดยในการแปลงความถี่ลง (Down-conversion) และตัวผลิตความถี่ (Local oscillator) จึงไม่จำเป็นในเครื่องรับแบบแถบกว้างยั้งด้วยเช่นกันทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- มีความละเอียดสูงใน โดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ใน ระบบติดตาม (Tracking)

ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทาง โดเมนเวลาที่แคบมากๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ นั้นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยั้งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและค่านวนเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global positioning system : GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่นๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการ

แพร่กระจายผ่านวัสดุได้ดี จึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่น การช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เป็นต้น

## 2.4 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ข้อกำหนดที่สำคัญ ได้ถูกกำหนดขึ้นมาใช้ในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งคือการจัดสรรความถี่ในการใช้งานเพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนกันกับระบบเดิมที่มีใช้อยู่ ซึ่งในแต่ละประเทศได้มีการกำหนดกฎข้อบังคับในการใช้งานของระบบแถบกว้างยิ่งตามความเหมาะสมของกิจการโทรคมนาคมของประเทศนั้นๆ อาทิเช่น ประเทศญี่ปุ่น ประเทศสิงคโปร์ และอีกหลายๆ ประเทศที่กำลังพัฒนาระบบการสื่อสาร ซึ่งในสหรัฐอเมริกาเช่นกัน มีกลุ่มทำงานที่ใช้ชื่อว่า “Ultra-Wideband Working Group (UWBWG)” ได้พยายามทำการถอดถอนการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา เพื่อทำการเจรจาหาข้อตกลงร่วมกัน

### 2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ Notice of Inquiry (NOI) โดยถึงแม้ว่าจะได้คาดการณ์ถึงระดับกำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณที่มีระดับต่ำมาก ๆ แล้วก็ตาม ยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบบเดิมที่มีใช้งานกันอยู่ได้ทำการต่อต้านการนำระบบแถบกว้างยิ่งมาใช้งานสำหรับการสื่อสารของพลเรือนซึ่งข้อเรียกร้องโดยมากจะเกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการแทรกสอดในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด อาทิเช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ แถบความถี่ที่สำรองไว้สำหรับคลื่นวิทยุทางดาราศาสตร์และระบบ GPS โดยที่องค์กรบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ FAA (Federal Aviation Administration) ได้แสดงความเป็นห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน

เมื่อเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้ถูกเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใดๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่งสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์  $B_f$  ของสัญญาณโดยต้องมีค่ามากกว่า 0.25 โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 2.1 [7]

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

โดยที่

$f_L$  คือ ความถี่ต่ำสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบ  
 $f_H$  คือ ความถี่สูงสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบ

ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา ได้ออกกฎสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศ และระเบียบการฉบับที่หนึ่ง ได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งทั้ง 4 ประเภทและการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่าง ๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการลดค่าการจำกัด  $B_f$  ไม่ให้ต่ำกว่า 0.2 ตามสมการที่ 2.1 หรือต้องมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz อีกทั้งยังกำหนดความถี่กลางของระบบแถบกว้างยิ่งดังสมการที่ 2.2 [7]

$$f_C = \frac{(f_H + f_L)}{2} \quad (2.2)$$

โดยที่

$f_C$  คือความถี่กลางของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง  
 $f_L$  คือ ความถี่ต่ำสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง  
 $f_H$  คือความถี่สูงสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง

ข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงาน โดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

**ตารางที่ 2.1** ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดยคณะกรรมการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาสำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [7]

ความถี่ [MHz]	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
	EIRP in dBm	EIRP in dBm
960 – 1610	-75.3	-75.3
1610 – 1990	-53.3	-63.3
1990 – 3100	-51.3	-61.3
3100 – 10600	-41.3	-41.3
สูงกว่า 10600	-51.3	-61.3

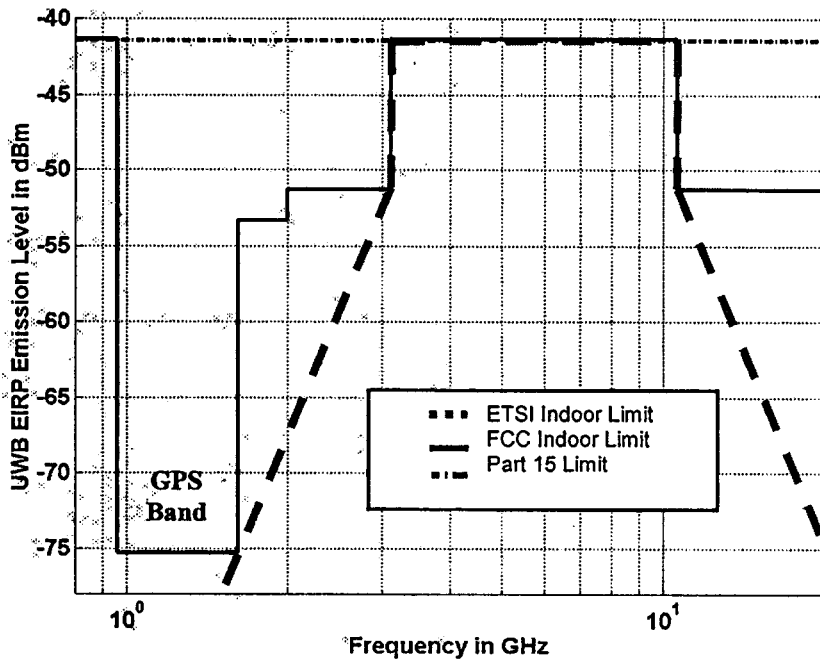
#### 2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

ปัจจุบัน โครงร่างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้น บางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่โดยข้อกำหนดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

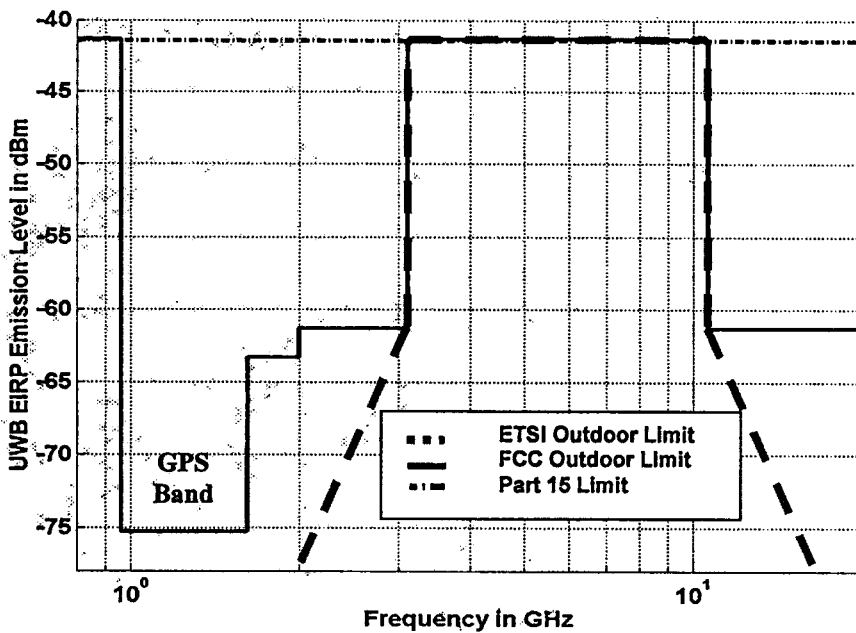
**ตารางที่ 2.2** ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [7]

	ช่วงความถี่ [GHz]		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
ภายในอาคาร	$-51.3 + 87 \log\left(\frac{f}{3.1}\right)$	-41.3	$-51.3 + 87 \log\left(\frac{10.6}{f}\right)$
ภายนอกอาคาร	$-61.3 + 87 \log\left(\frac{f}{3.1}\right)$	-41.3	$-61.3 + 87 \log\left(\frac{10.6}{f}\right)$

โดยในรูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งระหว่างคณะกรรมการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาและ ETSI ภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ



**รูปที่ 2.4** ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร [7]

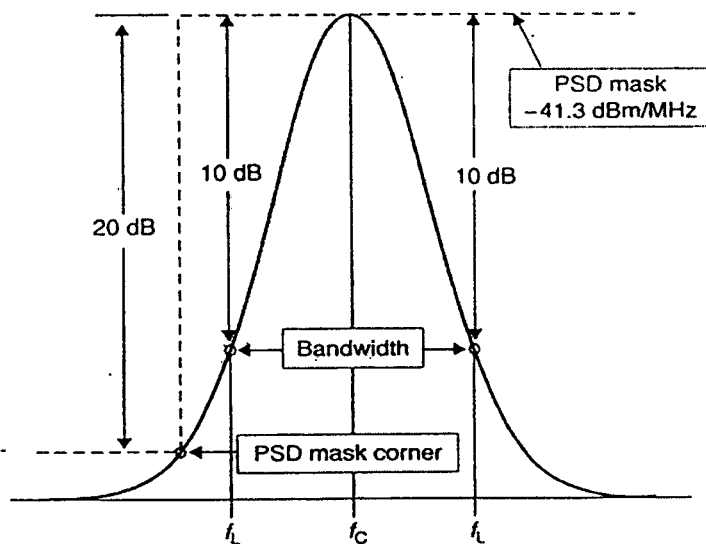


**รูปที่ 2.5** ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา ของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร [7]

## 2.5 การกำหนดสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

### 2.5.1 คำจำกัดความของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

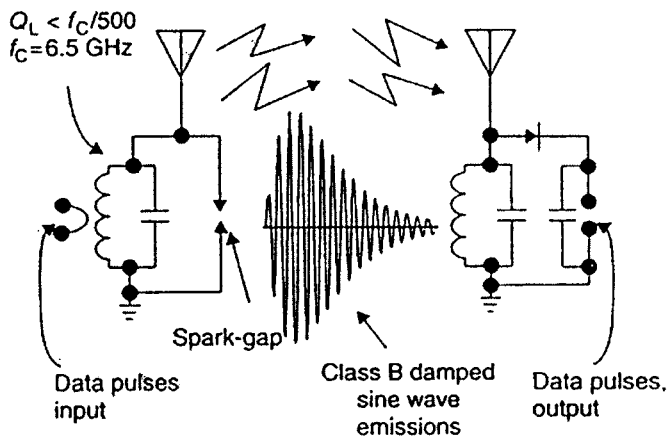
คุณลักษณะ โดยทั่วไปของสัญญาณแถบกว้างยิ่งและระบบของสัญญาณจะประกอบด้วย การสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งและระบบการทดสอบ เช่น การสื่อสารความเร็วสูงภายในบ้านหรือแม้กระทั่งอุปกรณ์เครือข่ายทางธุรกิจ โดยแต่ละอุปกรณ์นั้นต้องสามารถทำงานอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 ถึง 10.6 GHz ซึ่งอุปกรณ์นั้นจะถูกออกแบบเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถที่จะทำงานได้ในอาคารหรือต้องเข้ากันได้กับอุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งอาจจะถูกนำมาใช้ในลักษณะการสื่อสารแบบจุดต่อจุด โดยตัวแพร่กระจายคลื่นแถบกว้างยิ่งนั้นต้องทำการออกแบบและตรวจสอบเพื่อรับรองว่าการแพร่กระจายคลื่นในช่วงแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 20 dB ลงมาจากระดับสูงสุดของสเปกตรัมที่กำหนดไว้ ต้องอยู่ภายในแถบความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่ง อีกทั้งช่วงแบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดทดสอบ ณ ตำแหน่งที่ต่ำกว่าระดับสูงสุดของการแพร่กระจายลงมา 10 dB มีค่าเท่ากับ 500 MHz โดยระดับที่ยินยอมให้แพร่กระจายกำลังงานสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นถูกกำหนดไว้ที่  $-41.3$  dBm/MHz เพราะฉะนั้นในการออกแบบสัญญาณแถบกว้างยิ่งนั้นจะต้องพิจารณาร่วมกับระดับของแบนด์วิดท์ที่ 10 dB จากระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานสูงสุด (PSD mask) ซึ่งเป็นช่วงที่มีแบนด์วิดท์น้อยที่สุดและระดับแบนด์วิดท์ที่ 20 dB ซึ่งเป็นตำแหน่งจุดหักมุมในบริเวณช่วงความหนาแน่นแถบกำลังงานที่ใช้ในการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง โดยรูปที่ 2.6 จะแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดดังกล่าว [7]



รูปที่ 2.6 จุดพิจารณาในการออกแบบสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

## 2.5.2 วิธีสร้างสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

การสร้างสัญญาณแถบกว้างยิ่งนั้นสามารถสร้างขึ้นโดยใช้วิธีการต่าง ๆ กันเช่นเลือกใช้แหล่งจ่ายสัญญาณอิมพัลส์ที่มีความแคบมากๆ ส่งผ่านตัวกรองความถี่แบบช่วงที่กำหนดผ่าน (Band-pass filter) หรือสร้างจากการกำหนดรูปร่างของสัญญาณแถบกว้างยิ่งและกำหนดจุดต่างๆ ของสัญญาณให้เป็นไปตามข้อกำหนดของสเปกตรัม ทางเลือกต่อมาก็คือ ใช้วิธีการมอดูเลตแบบทั่วไปของระบบคลื่นวิทยุ อาทิเช่นระบบการแผ่กระจายความถี่ลำดับเส้นตรง (Direct sequence spread spectrum :DSSS) หรือระบบมัลติเพล็กซ์แบบตั้งฉากในโดเมนความถี่ (Orthogonal frequency-division multiplexing : OFDM) โดยรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นถึงแนวคิดของระบบที่เรียกว่า “retro-UWB” ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของตัวกรองความถี่แบบกระตุ้นด้วยอิมพัลส์ซึ่งสามารถกำหนดให้เป็นไปตามกฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งได้ [7]

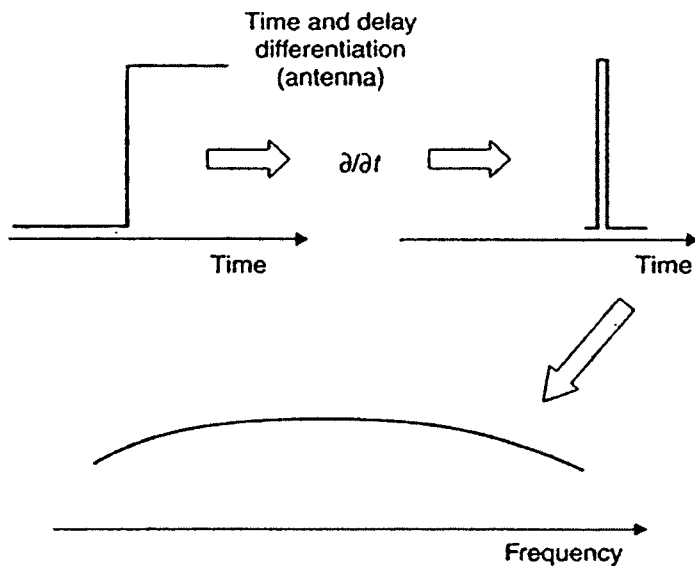


รูปที่ 2.7 แนวคิดในการสร้างระบบแถบกว้างยิ่ง [7]

ในแบบจำลองนี้ที่มีลักษณะเฉพาะของระบบกระตุ้นแบบไร้สาย (Wireless spark system) นั้นในส่วนของเครื่องส่งจะเป็นแหล่งกำเนิดข้อมูลแบบดิจิทัล ซึ่งแหล่งจ่ายพลังงานอิมพัลส์ที่ตำแหน่งอินพุตจะถูกส่งไปยังหม้อแปลงและอุปกรณ์ที่เรียกว่า “spark gap” โดยที่ค่า Q หรือ “sharpness” ของวงจรรีโซแนนซ์จะถูกกำหนดให้เป็นไปตามผลของค่าแบนด์วิดท์นั้นก็คือเท่ากับ 500 MHz ในส่วนของเครื่องรับนั้นจะเป็นตัวตรวจจับระดับของแอมพลิจูดที่เป็นไปตามตัวกรองข้อมูล ซึ่งวงจรมีแสดงให้เห็นถึงหลักการอย่างง่ายของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งภายใต้ข้อกำหนดของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา

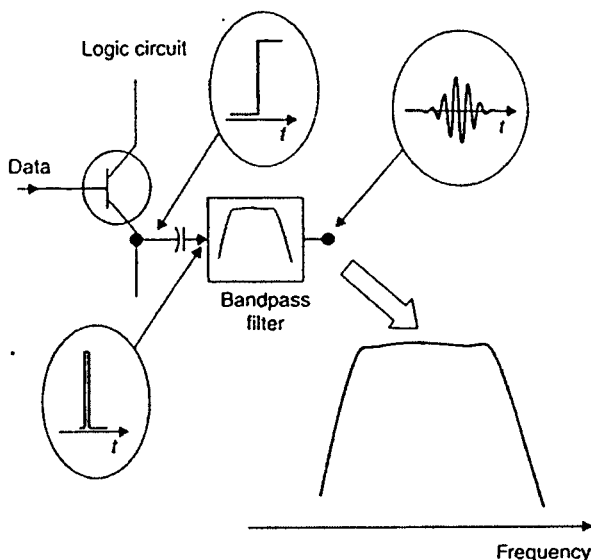
### 2.5.3 การออกแบบสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

ในการออกแบบสำหรับสัญญาณแถบกว้างยิ่งนั้นจะขึ้นอยู่กับกฎและข้อบังคับ โดยระดับการแพร่กระจายกำลังงานที่ได้รับอนุญาต (ตามข้อกำหนดของคณะกรรมการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา) สำหรับสัญญาณแถบกว้างยิ่งถูกกำหนดไว้ที่  $-41.3$  dBm/MHz ดังนั้นกำลังงานที่แพร่กระจายรวมทั้งหมดจะขึ้นตรงกับจำนวนของการใช้งานสเปกตรัมนั้นก็หมายความว่าเราต้องการใช้แบนด์วิดท์มากเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อจะทำให้เกิดการแพร่กระจายของกำลังงานมากที่สุดและในการออกแบบโดยอาศัยรูปร่างของสัญญาณนั้นจะเป็นฟังก์ชันของเวลาซึ่งความสัมพันธ์นี้จะอยู่ในลักษณะทางคณิตศาสตร์แสดงโดยการแปลงฟูริเยร์ อีกวิธีการหนึ่งของการสร้างสัญญาณแถบกว้างยิ่งก็คือใช้สัญญาณที่มีรูปร่างของขอบมุมที่ชัดเจน เมื่อพิจารณาในโดเมนเวลาเหมือนกับฟังก์ชันขั้นบันได (step function) หรือพัลส์สี่เหลี่ยมที่มีความแคบมากๆ ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะเป็นไปตามตัวกรองความถี่ที่เรียกว่า (band-shaping filter) โดยรูปที่ 2.8 จะสร้างให้เห็นถึงลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ [7]



**รูปที่ 2.8** ความสัมพันธ์ระหว่างความชันขอบของสัญญาณกับการสร้างสัญญาณแถบกว้างยิ่ง [7]

แหล่งกำเนิดสัญญาณอิมพัลส์ที่เป็นอินพุตป้อนให้กับตัวกรองความถี่แบบแถบความถี่ผ่าน นั้นเป็นวิธีที่ง่ายและได้ผลในการสร้างสัญญาณแถบกว้างยิ่งดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.9 [7]



**รูปที่ 2.9** เอาท์พุทจากวงจรลอจิกที่ใช้สร้างสัญญาณแถบกว้างยิ่ง [7]

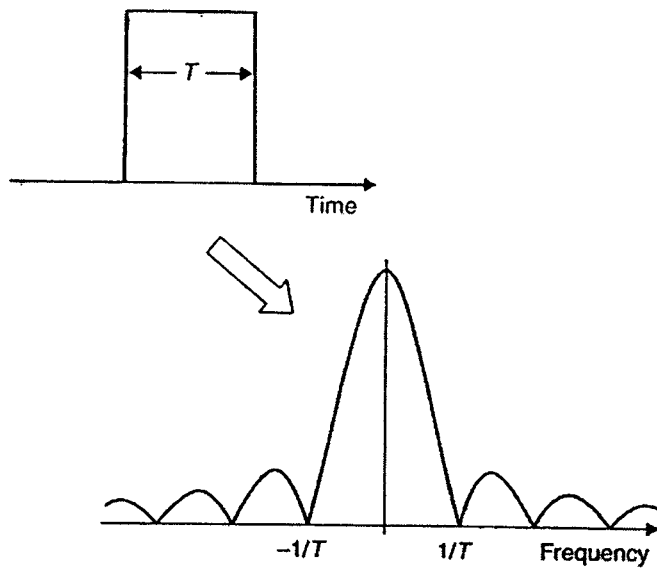
ในวิธีการอีกแบบหนึ่งนั้นยังสามารถสังเคราะห์สัญญาณแถบกว้างยิ่งที่มีความถูกต้องทั้งในรูปร่างสัญญาณและตำแหน่งของสัญญาณในสเปกตรัมความถี่ด้วยการเลือกรูปร่างของสัญญาณ อีกทั้งการกำหนดแบนวิดท์ที่เหมาะสม เพื่อให้เห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นจะทำการพิจารณาตัวอย่างของสัญญาณพัลส์มูลฐาน (Baseband pulse) ที่เรียกว่าสัญญาณที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม (Rectangular shaped signal) แทนด้วยฟังก์ชัน  $r(t)$  โดยมีจุดศูนย์กลางที่  $t=0$  และมีความกว้างเท่ากับ  $T$  พิโกวินาที (Picoseconds) โดยมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ 2.3 [7]

$$r(t) = \begin{cases} 1, & \{-\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2}\} \\ 0, & \{t < -\frac{T}{2}, t > \frac{T}{2}\} \end{cases} \quad (2.3)$$

โดยการแปลงฟูริเยร์ของ  $r(t)$  นั้นจะได้สัญญาณที่อยู่ในโดเมนความถี่  $R(f)$  ซึ่งมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ 2.4

$$R(f) = \frac{T \sin(\pi T f)}{\pi T f} \quad (2.4)$$

ในรูปที่ 2.10 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ  $r(t)$  และ  $R(f)$  โดยการแปลงฟูรีเยร์ ซึ่งจะเห็นว่ายิ่งทำให้สัญญาณมีความแคบมากเท่าไรก็จะทำให้สเปกตรัมความถี่กว้างมากเท่านั้น นั่นก็หมายความว่า การกำหนดความกว้างของสเปกตรัมความถี่นั้นสามารถทำในเทอมของความกว้างของพัลส์ในโดเมนเวลาได้



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณใน โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่ของพัลส์โดยการแปลงฟูรีเยร์ [7]

## 2.6 รูปแบบของสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

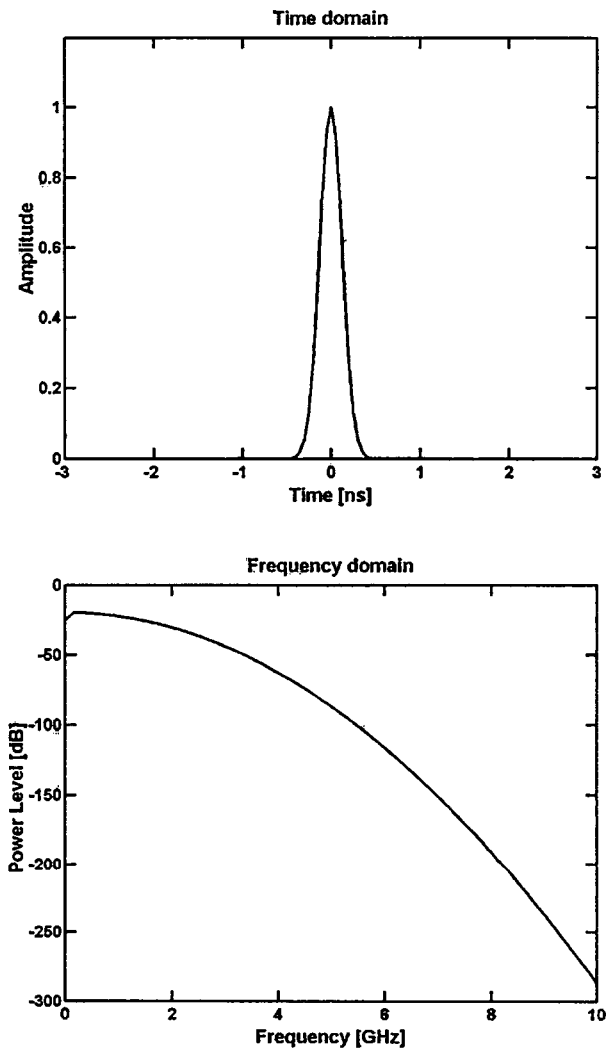
ในปัจจุบันนี้ยังไม่มีความมาตรฐานในการกำหนดรูปแบบการใช้ของสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง แต่โดยทั่วไปมักจะนิยมใช้สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน (Gaussian) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งพัลส์ที่นำมาวิเคราะห์ต้องอยู่ภายในแถบความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งและแบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดวัด ณ ตำแหน่งที่ต่ำกว่าระดับสูงสุดของการแพร่กระจายลงมา 10 dB หรือเท่ากับ 500 MHz โดยระดับที่ยินยอมให้แพร่กระจายกำลังงานสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นถูกกำหนดไว้ที่  $-41.3$  dBm/MHz สามารถที่จะแยกเป็นประเภทต่าง ๆ ของสัญญาณได้ดังนี้

### 2.6.1 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน

ประเภทของรูปคลื่นที่เรียกว่า รูปคลื่นแบบเกาส์เซียน (Gaussian waveform) นั้นได้มาจากการที่มีนิยามทางคณิตศาสตร์เหมือนกับฟังก์ชันเกาส์ ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงระฆังคว่ำ โดยส่วนสำคัญของรูปคลื่นแบบเกาส์เซียนนั้นคือพัลส์แบบเกาส์เซียนซึ่งนิยามเป็นไปตามสมการ 2.5 [7] และสามารถแสดงรูปคลื่นของสัญญาณดังรูปที่ 2.11

$$y_g(t) = K_1 e^{-(t/\tau)^2} \quad (2.5)$$

โดยที่  $-\infty < t < \infty$ ,  $t$  คือ ตัวสเกลทางเวลา (Time-scaling) และ  $K_1$  เป็นค่าคงที่ที่กำหนดขนาด



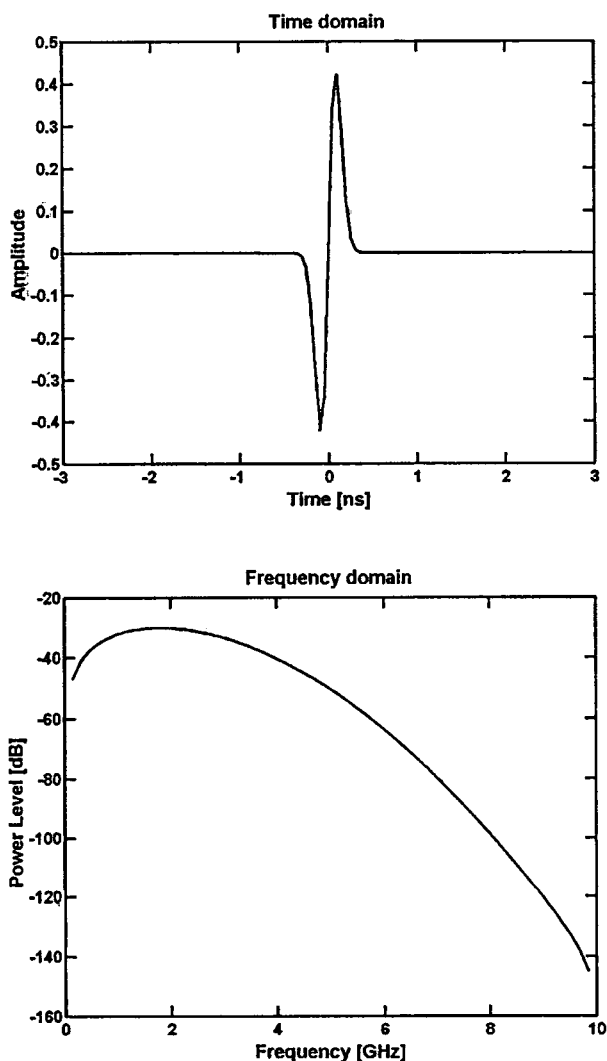
รูปที่ 2.11 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนทั้งใน โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่ [7]

## 2.6.2 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนโมนိုไซเคิล

สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนโมนိုไซเคิล (Gaussian monocycle) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อนุพันธ์อันดับหนึ่งของพัลส์แบบเกาส์เซียนโดยมีรูปแบบตามสมการที่ 2.6 [7] และแสดงรูปสัญญาณดังรูปที่ 2.12

$$y_{g_2}(t) = K_2 \frac{-2t}{\tau^2} e^{-(t/\tau)^2} \quad (2.6)$$

โดยที่  $-\infty < t < \infty$ ,  $t$  คือ ตัวสเกลทางเวลา และ  $K_2$  เป็นค่าคงที่ที่กำหนดขนาด



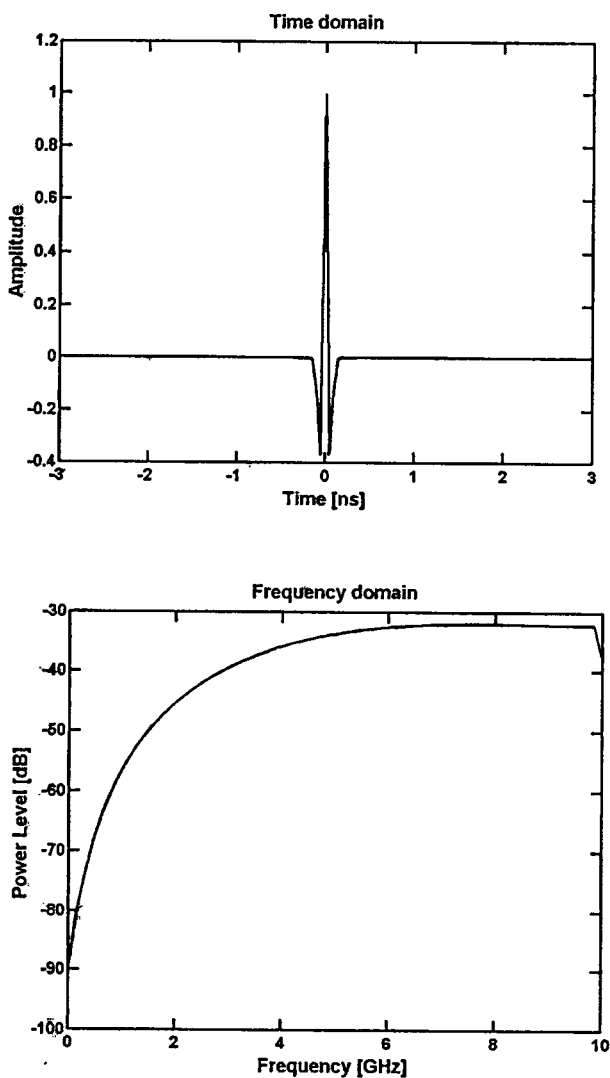
รูปที่ 2.12 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน โมนိုไซเคิลทั้งใน โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่ [7]

### 2.6.3 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเบิล

สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเบิล (Gaussian doublet) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอนุพันธ์อันดับสองของพัลส์แบบเกาส์เซียน โดยมีรูปแบบตามสมการที่ 2.7 [7] และแสดงรูปสัญญาณดังรูปที่ 2.13

$$y_{g_3}(t) = K_3 \frac{-2}{\tau^2} \left( 1 - \frac{2t^2}{\tau^2} \right) e^{-(t/\tau)^2} \quad (2.7)$$

โดยที่  $-\infty < t < \infty$ ,  $t$  คือตัวสเกลทางเวลา และ  $K_3$  เป็นค่าคงที่ที่กำหนดขนาด



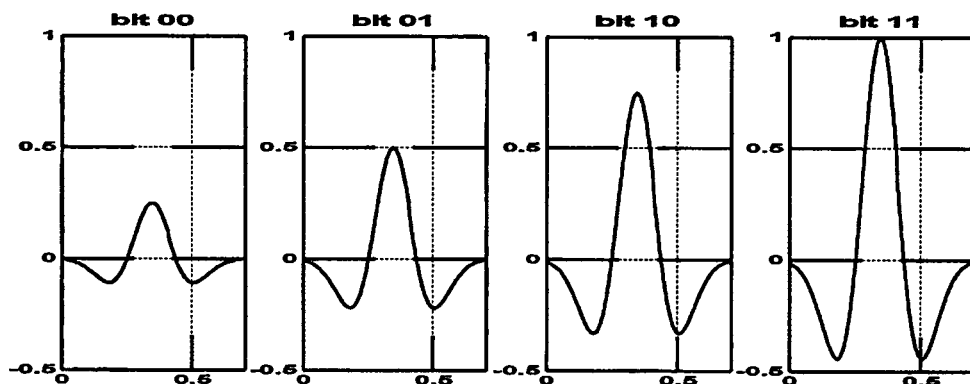
รูปที่ 2.13 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเบิลทั้งในโดเมนเวลาและ โดเมนความถี่ [7]

## 2.7 วิธีการมอดูเลตสัญญาณที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ในการส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นสามารถทำการมอดูเลตได้หลายวิธีแต่ที่นิยมนำมาใช้มีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีคือ การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามขนาดของสัญญาณ (Pulse Amplitude Modulation : PAM), การมอดูเลตพัลส์แบบตำแหน่ง (Pulse Position Modulation : PPM) และการมอดูเลตแบบสองเฟส (Bi - Phase Modulation : BPM) [7],[10] เป็นต้น

### 2.7.1 การมอดูเลตตามขนาด

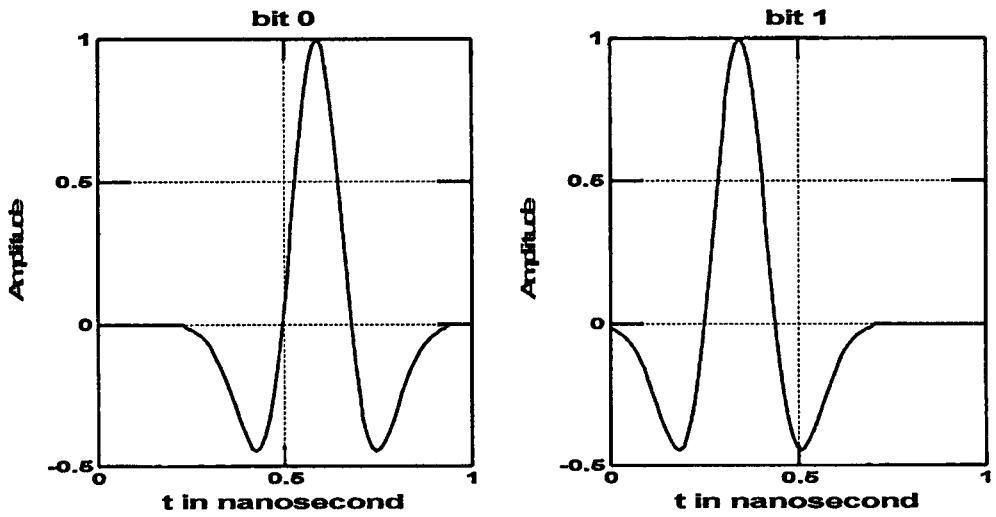
การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามขนาด (PAM) นั้นจะอยู่บนพื้นฐานการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลกับขนาดของสัญญาณพัลส์ โดยที่ในรูปที่ 2.14 แสดงสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่ทำการมอดูเลตแบบตามขนาดของพัลส์โดยมีทั้งหมด 4 ระดับ



รูปที่ 2.14 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามขนาด 4 ระดับ

### 2.7.2 การมอดูเลตตามตำแหน่งพัลส์

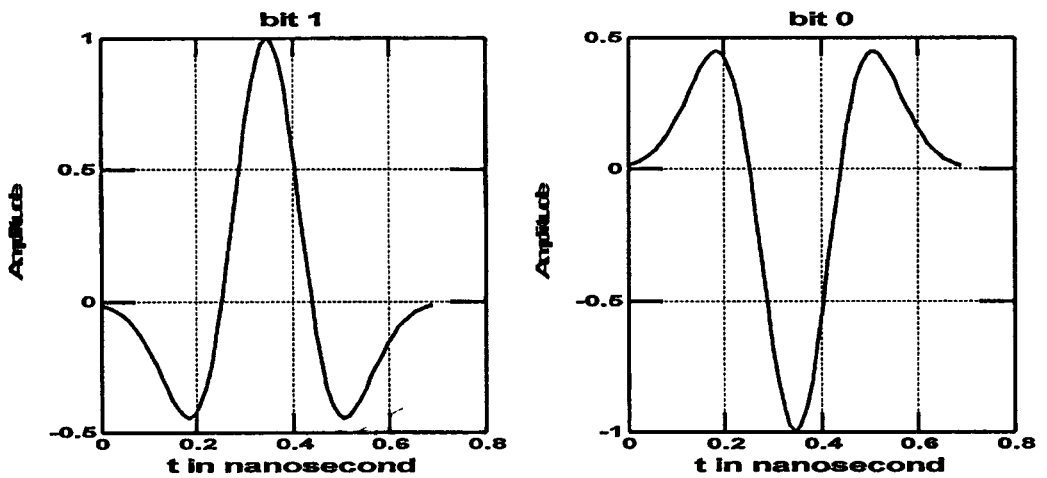
การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่ง (PPM) นั้นจะทำการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตามตำแหน่งของสัญญาณพัลส์โดยที่ตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ที่ใช้แทนสัญญาณข้อมูลสามารถมีได้สองตำแหน่งหรือมากกว่านั้น โดยที่ในรูปที่ 2.15 แสดงการมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่งแบบ 2 ตำแหน่ง บิต “0” นั้นจะแทนตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ที่อยู่หลังตำแหน่งปกติ (Nominal-Position) และบิต “1” จะแทนตำแหน่งพัลส์ที่อยู่ก่อนตำแหน่งปกติ โดยช่วงเวลาประวิงเวลาระหว่างตำแหน่งของสัญญาณทั้งสองต้องมีค่าที่มากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการแทรกสอดกันระหว่างสัญญาณอิมพัลส์



รูปที่ 2.15 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามตำแหน่ง (PPM)

### 2.7.3 การมอดูเลตแบบสองเฟส

การมอดูเลตสัญญาณแบบสองเฟสนั้นจะอยู่บนพื้นฐานของการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตามเฟสของสัญญาณพัลส์ โดยที่ในกรณีนี้จะแทนสัญญาณข้อมูลหนึ่งบิตด้วยสัญญาณพัลส์หนึ่งลูกคลื่น ซึ่งการมอดูเลตสัญญาณพัลส์แบบสองเฟสแสดงได้ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 สัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตแบบสองเฟส

## 2.8 การประยุกต์และการนำระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งาน

ระบบแถบกว้างซึ่งนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบ โดยสามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทหลักๆ ได้แก่

- การติดต่อสื่อสารและระบบเซนเซอร์
- การระบุตำแหน่งและค้นหาตำแหน่ง
- ระบบ เรดาร์

### 2.8.1 การติดต่อสื่อสารและระบบเซนเซอร์

ในการติดต่อสื่อสาร ในปัจจุบันนี้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ภายในบ้าน ไม่ว่าจะเป็น โทรศัพท์เคลื่อนที่ พีดีเอ เครื่องเล่นเพลงแบบพกพา กล้องดิจิทัล เครื่องพิมพ์ ฯลฯ ล้วนมีการติดต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันมากขึ้น ซึ่งหากอุปกรณ์ต่างๆ ล้วนสามารถนำการติดต่อสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์เพื่อการติดต่อสื่อสารได้ทั้งสิ้น เช่น การดาวโหลดตัวอย่างภาพยนตร์จากจุดให้บริการ นอกจากนี้จะนำแถบกว้างยิ่งไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ที่ใช้ภายในบ้านแล้วยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ได้ อาทิเช่น อุปกรณ์ทางการแพทย์ซึ่งแต่เดิมจะมีการใช้สายในการส่งผ่านข้อมูลที่วัดได้จากร่างกายผู้ป่วยไปยังเครื่องที่ทำการวิเคราะห์ซึ่งหากมีการนำระบบแถบกว้างยิ่งนี้ไปประยุกต์ใช้งานก็จะทำให้ความยุ่งยากเกี่ยวกับสายต่างๆ หดไป เนื่องจากข้อดีของแถบกว้างยิ่งที่ใช้กำลังส่งที่ต่ำจึงทำให้ไม่ส่งผลกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ

### 2.8.2 การระบุตำแหน่งและค้นหาตำแหน่ง

ในปัจจุบันนี้มีระบบจีพีเอสที่ใช้ในการบอกพิกัดซึ่งยังเป็นหน่วยที่สามารถบอกพิกัดได้เพียงในระดับเมตรซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในการเดินทางและบอกตำแหน่งแบบคร่าวๆ แต่เมื่อนำระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้สามารถระบุตำแหน่งได้ในระดับเซนติเมตร อาทิเช่น ช่วยในการหาสัญญาณภายในอาคาร นำไปประยุกต์ในการตรวจสอบสินค้าในคลังสินค้า ค้นหาตำแหน่งของบุคคลที่เดินอยู่ ฯลฯ ทั้งนี้สามารถใช้ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งเพราะมีความแม่นยำมากกว่า

### 2.8.3 ระบบเรดาร์

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบเรดาร์ เพราะเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาต้นทุนต่ำ เนื่องจากระบบเรดาร์เป็นระบบที่ยังมีความต้องการของตลาดในอนาคต สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของวัตถุ ตรวจสอบเพื่อหลีกเลี่ยงการชน การตรวจจับความเร็วบนถนน ใช้เป็นระบบรักษาความปลอดภัยส่วนบุคคลในการ

ตรวจสอบการเคลื่อนที่ในพื้นที่ที่เราต้องการความปลอดภัยสูงหรือพื้นที่ที่ต้องการความเข้มงวดในการตรวจสอบสูง

## 2.9 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน รวมถึงการกำหนดกฎเกณฑ์ในการใช้งาน ข้อบังคับต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งจะสัมพันธ์กับแบนด์วิธของระบบ ระดับกำลังงานที่แพร่กระจายทั้งภายในและภายนอกอาคาร ที่กำหนดโดยองค์กรที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องอาทิเช่น คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC), Ultra-Wideband Working Group (UWBWG) และสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) เป็นต้น การกำหนดสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง รวมถึงรูปแบบของสัญญาณที่จะนำมาใช้ในระบบแถบกว้างยิ่งที่ได้แบ่งตามประเภทต่างๆ เช่น พัลส์แบบเกาส์เซียน พัลส์แบบเกาส์เซียนโมโนไซเคิลและพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเลต อีกทั้งเทคนิควิธีการมอดูเลตข้อมูลข่าวสารอันประกอบไปด้วย PAM, PPM และ Bi-phase และสุดท้ายในบทนี้กล่าวถึงการประยุกต์และการนำไปใช้งานในด้านต่างๆ ของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นองค์ความรู้เบื้องต้นของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

### บทที่ 3

## ช่องสัญญาณการสื่อสารระบบ UWB

#### 3.1 กล่าวนำ

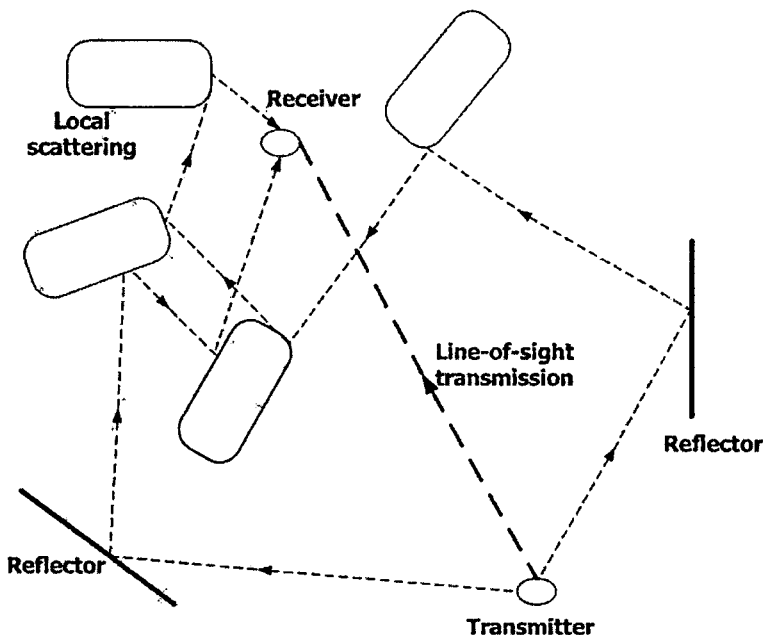
สำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งยวดได้สภาวะแวดล้อมภายในอาคาร การส่งผ่านคลื่นจากสายอากาศตัวส่งไปยังสายอากาศตัวรับภายในห้องนั้นมีความเกี่ยวข้องไปถึงลักษณะของช่องสัญญาณ ปัจจัยต่าง ๆ ภายในอาคารล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณและความสำเร็จของการสื่อสาร ถ้าช่องสัญญาณที่มีคุณลักษณะที่ดีแล้ว ผลของการรบกวนและการแทรกสอดของแหล่งกำเนิดสัญญาณอื่น ๆ จะส่งผลกระทบต่อสัญญาณได้น้อย โดยลักษณะที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของการจำลองช่องสัญญาณวิทยุคือการตรวจสอบพารามิเตอร์ของช่องสัญญาณ เช่น ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน ค่าประวิงเวลาเฉลี่ย ค่าสูญเสียเชิงวิถี เป็นต้น และในการพิจารณาคุณลักษณะของช่องสัญญาณนั้น ได้มีการศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย อันประกอบด้วย ทฤษฎีแบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถีของคลื่นวิทยุไร้สาย ซึ่งมีการอธิบายถึงปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการสื่อสารจากภาคส่งไปยังภาครับ ที่ทำให้ภาครับสามารถรับสัญญาณได้เป็นหลายสัญญาณที่เข้ามาถึงในเวลาต่าง ๆ กัน ซึ่งในการจำลองการแพร่กระจายคลื่นนี้สามารถทำได้ทั้งการจำลองโดยการพิจารณาจากสมการแมกเวลล์หรือการจำลองโดยใช้หลักการของการติดตามรังสี มาแทนการแพร่กระจายของคลื่นในแต่ละวิถี ซึ่งหลักการของการติดตามรังสีได้รับความนิยมในการจำลองการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุในการสื่อสารแบบไร้สาย เนื่องจากสามารถจำลองได้อย่างถูกต้อง มีประสิทธิภาพ และสามารถจำลองได้โดยง่าย ซึ่งที่ผ่านมามีนักวิจัยนำมาใช้กับการสื่อสารแบบแถบในการศึกษาผลกระทบการบดบังของร่างกายมนุษย์ไว้ ทฤษฎีนี้จึงได้ถูกหยิบยืมมาใช้ในการวิจัยนี้

นอกจากนี้เพื่อให้ผลจากแบบจำลองสามารถนำไปใช้งานได้โดยกว้างขวางจึงมีการนำทฤษฎีการจำลองช่องสัญญาณแบบ S-V [3] มาประยุกต์ใช้ โดยแบบจำลอง S-V มีการใช้งานอย่างแพร่หลายสำหรับการจำลองช่องสัญญาณการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

#### 3.2 แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบกว้างยิ่ง

ในการจำลองช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งยวดนั้น ไม่มีแบบจำลองเฉพาะสำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง แต่ใช้การพิจารณาถึงแบบจำลองทั่วไปที่สามารถจำลองลักษณะเฉพาะของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งได้ เช่น แบบจำลองความไม่ต่อเนื่องทางเวลา (Discrete time) แบบจำลองหลายวิถี (multipath) หรือแบบจำลองผลตอบสนองอิมพัลส์ ซึ่งสามารถจำลองช่องสัญญาณได้โดยง่ายและสะดวก สำหรับแบบจำลองหลายวิถีถูกนำมาจำลองช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งเพราะว่า ตำแหน่งของเพดาน กำแพง ประตู

เฟอร์นิเจอร์และคนที่อยู่ภายในอาคารจะส่งผลถึงการส่งผ่านสัญญาณที่เกิดขึ้นหลายเส้นทางจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับดังรูปที่ 3.1 [11]



รูปที่ 3.1 แบบจำลองของช่องสัญญาณแถบกว้างอิงแบบหลายวิถีภายในอาคาร

เพราะฉะนั้นสัญญาณแต่ละสัญญาณที่เข้ามาถึงยังเครื่องรับนั้นจะมีขนาด เฟส และเวลาประวิง (Time delay) ที่แตกต่างกัน โดยแบบจำลองนี้ในแกนของเวลาประวิงจะถูกแบ่งออกเป็นช่วงเวลาเล็ก ๆ ที่เรียกว่า “bins” ซึ่งในแต่ละ bin นั้นได้ถูกสมมุติให้ประกอบไปด้วยองค์ประกอบในแต่ละส่วนของสัญญาณแบบหลายวิถี โดยความเป็นไปได้ของเส้นทางของสัญญาณที่มากกว่าหนึ่งเส้นทางภายใน bin นั้นจะถูกแยกออกไปซึ่งความกว้างที่เหมาะสมของ bin นั้นจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของลักษณะจำเพาะในการวัดนั้น ๆ

### 3.3 แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี

การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) เป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ โดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามค่า  $d^{-n}$  โดย  $d$  คือ ระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ ส่วน  $n$  เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งมีขนาดแตกต่างกันไปตามสภาพของบริเวณที่สัญญาณส่งผ่าน [12] โดยค่าการสูญเสียเชิงวิถีนั้นอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น

### 3.3.1 การสูญเสียในอวกาศว่าง

ในระบบสื่อสาร ไร้สาย สัญญาณที่กำเนิดขึ้นจากภาคส่งที่จะต้องนำไปป้อนเข้าสายอากาศ เพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) สำหรับแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณซึ่งโดยทั่วไปก็คืออากาศ เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงภาครับก็จะมีสายอากาศรับสัญญาณซึ่งทำหน้าที่กลับกันจากภาคส่ง คือทำการแปลงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกครั้ง ในการศึกษาเรื่องการแพร่กระจายคลื่นจะเริ่มพิจารณาจากแหล่งกำเนิดที่มีการแผ่พลังงานแบบไอโซทรอปิก (Isotropic radiator) ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.2 โดยในการส่งคลื่นสัญญาณผ่านอวกาศว่างนั้น มักจะนิยามให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีในอวกาศว่าง (Free space path loss) มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อกำลังงานของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 3.1 โดยสมการความสัมพันธ์ที่ได้จะเรียกกันทั่วไปว่าสมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis transmission equation)

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left[ \frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad (3.1)$$

โดยที่

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

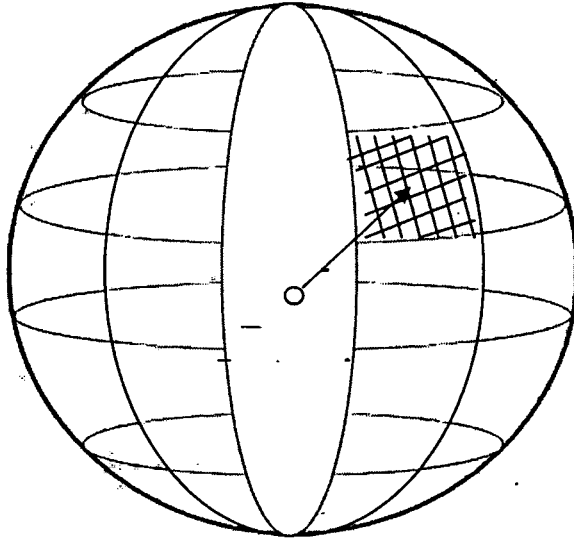
ค่าการสูญเสียกำลังงานของสัญญาณในอวกาศว่างโดยทั่วไปแล้วจะคิดค่าเป็นหน่วยของเดซิเบล (dB) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} L_{dB} &= 10 \log(P_T) - 10 \log(P_R) \\ &= 32.44 + 20 \log(f) + 20 \log(d) - 10 \log(G_T) - 10 \log(G_R) \quad (dB) \end{aligned} \quad (3.2)$$

โดยที่  $d$  มีหน่วยเป็น m และ  $f$  มีหน่วยเป็น MHz จากสมการนี้จะเห็นได้ว่าค่าการสูญเสียของสัญญาณจะเพิ่มตามระยะทางและค่าความถี่ของคลื่นสัญญาณ จากรูปที่ 3.2 ถ้า  $P_T$  จุดกำเนิดกำลังงาน (point source) แล้วความหนาแน่นกำลังงานของสัญญาณที่ตำแหน่งห่างออกไป  $d$  จะมีค่าเท่ากับ

$$p(d) = \frac{P_T}{4\pi d^2} \quad \text{วัตต์/ตารางเมตร} \quad (3.3)$$

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



รูปที่ 3.2 ตัวแผ่พลังงานแบบไอโซทรอปิก

### 3.3.2 การสะท้อนและการหักเหของคลื่น

เมื่อพิจารณาการเดินทางของคลื่นผ่านตัวกลางใด ๆ จะพบว่าคลื่นมีความเร็วที่แตกต่างกันไป เนื่องจากค่าความต้านทานภายใน (Intrinsic impedance) ของตัวกลางนั้นแตกต่างกัน โดยจะนิยามว่าเป็นรากที่สองของอัตราส่วนระหว่างค่าความสามารถในการซาบซึมได้ของตัวกลาง ( $\mu$ ) และสภาพยอมของตัวกลาง ( $\epsilon$ ) ดังแสดงในสมการที่ 3.4 โดยในส่วนของสัมประสิทธิ์การหักเหหรือสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน ( $\Gamma^b$ ) และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของคลื่นในตัวกลางใด ๆ ( $\Gamma^b$ ) จะนิยาม ให้เป็นไปตามสมการที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ [13]

$$\eta_n = \sqrt{\frac{\mu_n}{\epsilon_n}} \quad (3.4)$$

ถ้าพิจารณาในอวกาศว่างนั้นค่า  $\epsilon$ , เท่ากับ 1 ส่วนค่า  $\epsilon_0$  เท่ากับ  $8.854 \times 10^{-12}$  หรือประมาณ  $\frac{10^{-9}}{36\pi}$  หน่วยเป็น farads/meter และ  $\mu$ , เท่ากับ 1 ส่วนค่า  $\mu_0$  เท่ากับ  $4\pi \times 10^{-7}$

$$\Gamma^b = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} \quad (3.5)$$

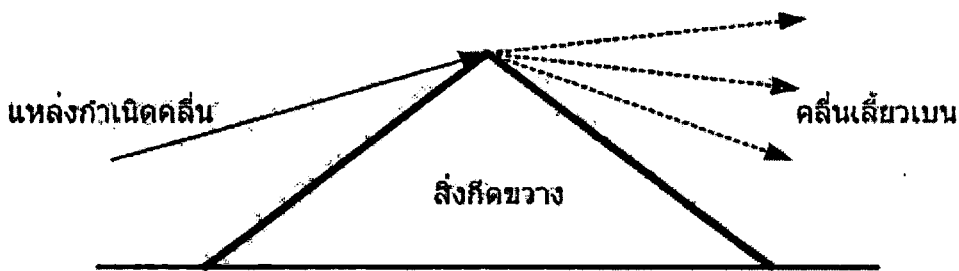
$$\Gamma^b = \frac{2\eta_2}{\eta_1 + \eta_2} = 1 + \Gamma^b \quad (3.6)$$

โดยที่

- $\eta_1$  คือ ค่าความต้านทานภายในของตัวกลางที่หนึ่ง  
 $\eta_2$  คือ ค่าความต้านทานภายในของตัวกลางที่สอง

### 3.3.3 การเลี้ยวเบน

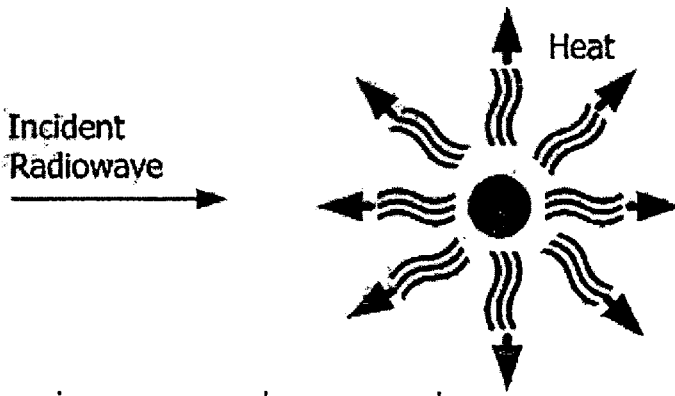
การเลี้ยวเบน (Diffraction) ของคลื่นเกิดขึ้นในกรณีที่มีวัตถุบางอย่างที่มีขอบกั้นขวางอยู่ระหว่างภาครับและภาคส่งสัญญาณ ทำให้ไม่มีเส้นทางตรงระหว่างจุดทั้งสองที่คลื่นสัญญาณสามารถส่งผ่านได้ โดยปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นคือ คลื่นจะเลี้ยวอ้อมวัตถุนั้น ๆ การเลี้ยวเบนของสัญญาณนี้เองที่ทำให้ยังสามารถรับสัญญาณได้บางส่วนและถูกลดทอนไปบางส่วนถึงแม้ว่าภาครับจะถูกบดบังด้วยสิ่งกีดขวาง รูปที่ 3.3 แสดงให้เห็นการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว [8]



รูปที่ 3.3 ลักษณะการเลี้ยวเบนของคลื่น

### 3.3.4 การดูดกลืน

ในการส่งสัญญาณไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือสัญญาณเสียงนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ถูกส่งออกไปในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งเรียกว่า การดูดกลืน (Absorption) โดยการดูดกลืนนี้เป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณ อันเนื่องด้วยผลของการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานความถี่วิทยุไปเป็นพลังงานความร้อนที่ถูกลดทอนในระดับอนุภาคเล็ก ๆ อาทิเช่น หยตน้ำฝน เป็นต้น [8]



รูปที่ 3.4 การดูดกลืนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพลังงาน

### 3.4 ทฤษฎีการติดตามรังสี ( Ray Tracing )

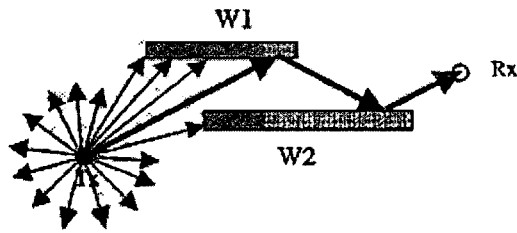
การแพร่กระจายคลื่นแบบหลายวิถีสามารถคำนวณได้โดยละเอียดด้วยสมการแมกเวลล์ซึ่งมีความซับซ้อนมากทำให้ไม่สามารถนำมาใช้คำนวณในการใช้งานแบบทั่ว ๆ ไปได้ เทคนิคการติดตามรังสี จึงถูกนำมาใช้งานในการประมาณการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการแทนหน้าคลื่นด้วยส่วนของเส้นตรงซึ่งสามารถประมาณการปรากฏการณ์ต่าง ๆ ของคลื่นอันได้แก่ การสะท้อน การเบี่ยงเบน การกระเจิงได้อย่างง่าย โดยเฉพาะง่ายกว่าวิธีการคำนวณด้วยสมการแมกเวลล์อย่างมากและความผิดพลาดที่เกิดจากการประมาณการด้วยหลักการการติดตามรังสีนี้มีน้อยมาก โดยเฉพาะในกรณีที่มีความยาวคลื่นมีค่าใกล้เคียงกับวัตถุที่ทำให้เกิดการกระเจิงของคลื่น ที่ทราบตำแหน่งและคุณสมบัติความเป็นฉนวนที่แน่นอน สำหรับหลักการการติดตามรังสีนี้ใช้ได้ดีในสภาวะแวดล้อมของพื้นที่ชนบท หรือถนนในเมืองที่สายอากาศตัวรับกับสายอากาศตัวส่งติดตั้งอยู่ใกล้พื้นดินมาก และในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารที่มีค่าสัมประสิทธิ์การเบี่ยงเบนของผนัง หรือกำแพง และอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในห้องที่เหมาะสม [14]

การติดตามรังสีเป็นหลักการทางเรขาคณิตที่เกี่ยวกับแสง ซึ่งหมายถึงลำแสงที่เดินทางในแนวตรงจะมีกำลังงานลดลงเป็นส่วนกลับของระยะทางกำลังสอง ซึ่งในทฤษฎีนี้ได้ทำการจำลองบ้านเรือน ถนน และสิ่งกีดขวางโดยใช้โครงสร้างแบบพื้นผิวเรียบที่มีระนาบเดียวกันตลอดทั้งพื้นผิว หมายความว่า ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้จากการสะท้อนสามารถแทนด้วย ค่าสนามที่เกิดจากรูปภาพที่มาจากการสะท้อนที่คำนึงถึงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนร่วมด้วย ซึ่งแบบจำลองสองเส้นทาง ( Two-path model ) นั้นเป็นตัวอย่างของการพัฒนาแบบจำลองโดยใช้ทฤษฎีการติดตามรังสีนี้ [15] ซึ่งหลักการการติดตามรังสีสามารถจำลองคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้หลายวิธี อันได้แก่

#### 3.4.1 วิธีปล่อยรังสี ( Ray launching )

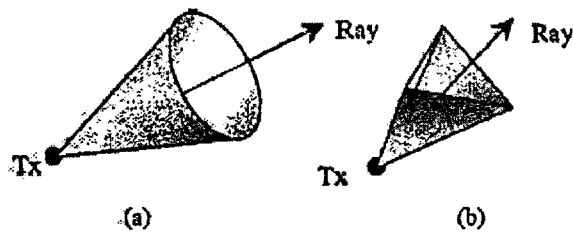
สำหรับวิธีปล่อยรังสีมีกระบวนการทำงานคือ รังสีหนึ่ง ๆ จะถูกปล่อยจากตัวส่งไปยังตัวรับแล้วรังสีนี้ก็จะถูกติดตามเผ่าดูการเดินทางว่ามีการปะทะกับวัตถุใดหรือสายอากาศตัวรับหรือไม่ หากปะทะกับวัตถุใดก็จะเกิดปรากฏการณ์การสะท้อน หักเห เลี้ยวเบน หรือกระเจิงขึ้น ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะรูปทรงและ

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัตถุนั้นๆ เมื่อรังสีเดินทางไปถึงสายอากาศตัวรับ ค่ากำลังงานทางไฟฟ้าก็จะถูกคำนวณขึ้น ขั้นตอนกระบวนการทำงานในวิธีนี้ แสดงไว้ในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 กระบวนการสำหรับวิธีการปล่อยรังสี

สำหรับวิธีการนี้มีประเด็นหลัก ๆ ที่ต้องพิจารณาคือ 1). ต้องทราบว่ารังสีถูกแผ่ออกไปอย่างไร 2). ต้องทราบว่าหว่ารังสีหนึ่ง ๆ ไปปะทะกับวัตถุหนึ่ง ๆ ได้อย่างไร 3). ต้องทราบอีกด้วยว่าหากมีวัตถุหลายชั้นที่มีโอกาสในการปะทะกับรังสีนั้นแล้ว วัตถุชั้นใดที่มีการปะทะกับรังสีจริง ๆ และ 4). ต้องทราบว่ารังสีนี้สามารถรับได้โดยสายอากาศรับหรือไม่ อย่างไร ซึ่งสำหรับการพิจารณาว่าสายอากาศรับจะสามารถรับรังสีหนึ่ง ๆ ได้หรือไม่ พิจารณาโดยกำหนดให้รังสีที่ปล่อยจากตัวรับออกไปในลักษณะทรงกรวย หรือเป็นลำกล้อง ดังรูปที่ 3.6 หากตำแหน่งของสายอากาศรับอยู่ในรูปทรงกรวยหรือลำกล้องนี้ แสดงว่ารังสีนี้สามารถเดินทางไปถึงสายอากาศรับได้

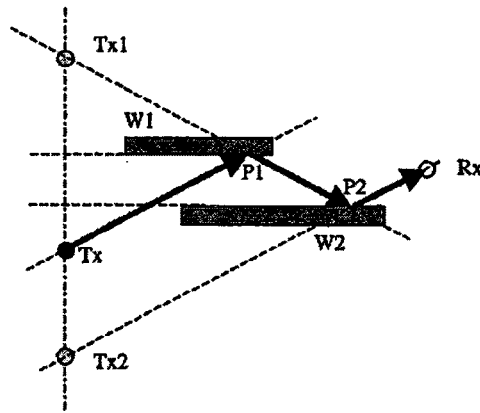


รูปที่ 3.6 รังสีทรงกรวย (a) รังสีเป็นลำกล้อง (tube) (b)

### 3.4.2 วิธีตามรอยภาพ ( Image )

วิธีตามรอยภาพเป็นวิธีการที่ใช้รูปภาพแทนตำแหน่งของสายอากาศส่งที่สัมพันธ์กับทุกพื้นผิวภายในห้องนั้น ซึ่งพิคต์ของรูปภาพทั้งหมดจะถูกคำนวณขึ้น หลังจากนั้นจึงหารังสีที่เดินทางไปยังตำแหน่งของรูปภาพเหล่านี้ การคำนวณในวิธีการนี้สามารถทำได้รวดเร็วมาก เมื่อใช้จำนวนครั้งของการสะท้อนเป็น 1 หรือ 2 ครั้ง เนื่องจากไม่ได้คิดรังสีทุกทิศทางเหมือนวิธีการปล่อยรังสี แต่เมื่อเพิ่มจำนวนการสะท้อนมากขึ้น จะทำให้เวลาในการทำงานสูงมาก โดยที่จำนวนการคำนวณจะเพิ่มขึ้นในลักษณะเอกซ์โพเนนเชียล ดังนั้นวิธีการตามรอยภาพ จึงเหมาะกับแบบจำลองที่เป็นแบบกึ่งข้อเท็จจริง (semi-deterministic) คือมีการคำนวณแบบตามข้อจริง สำหรับรังสีเส้นทางตรง เส้นทางการสะท้อนที่สำคัญและรังสีเลี้ยวเบน ส่วนปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนอื่น ๆ ก็สามารถคำนวณได้จากค่าที่กำหนดไว้ เช่น ผลจากชั้นวางหนังสือ หรือตู้

ภายในห้อง คำนวณจากคุณสมบัติของผนังที่ทำให้มีการเพิ่มค่าการสูญเสียที่ดูดซับเพิ่มขึ้นประมาณ 3 dB เป็นต้น



รูปที่ 3.7 การทำงานของวิธีตามรอยภาพ

แนวความคิดพื้นฐานของวิธีการนี้ สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.7 คือรูปภาพของตัวส่ง Tx เมื่อใช้ผนัง W1 เป็นพื้นผิวสะท้อน จะได้ Tx1 และ Tx1 เมื่อใช้ผนัง W2 เป็นตัวสะท้อน จะได้ Tx2 ซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับตัวรับ Rx ได้ นั่นคือ เราสามารถหาจุดสะท้อน P1 และ P2 บนผนัง W1 และ W2 ได้ตามลำดับ [16]

### 3.5 แบบจำลองการสะท้อนพื้น UWB

ทฤษฎีแบบจำลองการสะท้อนพื้นที่มีพื้นฐานอยู่บนการสูญเสียกำลังค่าออกสำหรับการสื่อสาร UWB โดยการศึกษาเริ่มต้นจากแบบจำลองของสัญญาณส่ง แบบจำลองช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น และแบบจำลองช่องสัญญาณที่รับได้

#### 3.5.1 แบบจำลองสัญญาณส่ง [16]

รูปคลื่น UWB ที่ใช้ส่งกำหนดให้เป็นพัลส์สี่เหลี่ยมแถบผ่านซึ่งสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของสมการโดเมนเวลา  $v_t$  และความหนาแน่นของสเปกตรัม  $V_t$  ได้ดังนี้

$$v_t(t) = \frac{1}{f_b} [f_H \text{sinc}(2f_H t) - f_L \text{sinc}(2f_L t)] \quad (3.7)$$

$$V_t(f) = \begin{cases} \frac{1}{2f_b}, & |f| - f_c \leq \frac{f_b}{2} \\ 0, & |f| - f_c > \frac{f_b}{2} \end{cases} \quad (3.8)$$

เมื่อ  $t$  คือเวลา  $f$  คือความถี่  $f_c$  คือความถี่กลาง  $f_b$  คือสเปกตรัมแบนด์วิดท์  $f_L = \frac{f_c - f_b}{2}$  คือความถี่ต่ำสุด  $f_H = \frac{f_c + f_b}{2}$  คือความถี่สูงสุด และ  $\text{sinc}(x) = \sin(\pi x)/(\pi x)$  รูปคลื่นนี้มีแอมพลิจูดสูงสุดเป็นหนึ่งเป็นเวลาเป็นศูนย์

เนื่องจากคุณสมบัติการสะท้อนพื้นของรูปคลื่นจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพื้นและการโพลาไรซ์ของรูปคลื่น ในที่นี้จะแยกพิจารณาคุณสมบัติของพื้นเป็นสองกรณี คือ กรณีตัวนำสมบูรณ์ และกรณีไดอิเล็กตริกที่ไม่มีความสูญเสีย ในกรณีที่พื้นเป็นตัวนำสมบูรณ์ รูปคลื่นจะมีคุณสมบัติการสะท้อนที่เหมือนกันโดยไม่ขึ้นอยู่กับการโพลาไรซ์ของรูปคลื่น ดังนั้น ในกรณีนี้เราสามารถพิจารณาความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นสัญญาณส่งให้เป็น

$$V_{i,c}(f) = V_i(f) \quad (3.9)$$

โดยไม่คำนึงถึงการโพลาไรซ์ของรูปคลื่นที่ใช้ส่ง

สำหรับกรณีที่พื้นเป็นไดอิเล็กตริกที่ไม่มีความสูญเสียจะต้องพิจารณาการโพลาไรซ์ของรูปคลื่นด้วย ในการพิจารณาการโพลาไรซ์ของรูปคลื่นจะแยกพิจารณาความหนาแน่นของสเปกตรัมเป็นการโพลาไรซ์แนวตั้ง  $V_{i,\parallel}$  (ขนานกับระนาบตกกระทบ) และการโพลาไรซ์แนวนอน  $V_{i,\perp}$  (ตั้งฉากกับระนาบตกกระทบ) ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} V_{i,\parallel}(f) &= V_i(f) \cos \Theta_i \\ V_{i,\perp}(f) &= V_i(f) \sin \Theta_i \end{aligned} \quad (3.10)$$

เมื่อ  $\Theta_i$  เป็นมุมการโพลาไรซ์ของรูปคลื่นที่ใช้ส่งเมื่อเทียบกับระนาบตกกระทบ ดังนั้น ถ้า  $\Theta_i = 0^\circ$  และ  $\Theta_i = 90^\circ$  จะเป็นการโพลาไรซ์ในแนวตั้งและแนวนอนของรูปคลื่นส่งตามลำดับ

### 3.5.2 แบบจำลองสัญญาณที่รับได้

แอมพลิจูดของรูปคลื่นสัญญาณที่รับได้จากแบบจำลองสะท้อนพื้นในกรณีที่พื้นเป็นตัวนำสมบูรณ์และพื้นเป็นไดอิเล็กตริกที่ไม่มีการสูญเสียหาได้จาก

กรณีเป็นตัวนำสมบูรณ์

$$\begin{aligned}
 V_r(t, d) &= V_{r,c}(t, d) \\
 &= \begin{cases} \frac{1}{4\pi f_b} \left[ \frac{1}{t'} \ln\left(\frac{f_H}{f_L}\right) + \frac{\Gamma_c}{t''} C_i(2\pi f_H \Delta t) - \frac{\Gamma_c}{t''} C_i(2\pi f_L \Delta t) \right] & t = t' \\ \frac{1}{4\pi f_b} \left[ \frac{\Gamma_c}{t''} \ln\left(\frac{f_H}{f_L}\right) + \frac{1}{t'} C_i(2\pi f_H \Delta t) - \frac{1}{t'} C_i(2\pi f_L \Delta t) \right] & t = t'' \\ \frac{1}{4\pi f_b} \left[ \frac{1}{t'} C_i(2\pi f_H |t-t'|) - \frac{1}{t'} C_i(2\pi f_L |t-t'|) \right. \\ \left. + \frac{\Gamma_c}{t''} C_i(2\pi f_H |t-t'|) - \frac{\Gamma_c}{t''} C_i(2\pi f_L |t-t'|) \right] & t \neq t', t'' \end{cases} \quad (3.11)
 \end{aligned}$$

เมื่อ  $t' = d'/c$  เป็นเวลาการประวิงของเส้นทางตรง  $c$  เป็นความเร็วของแสง  $d'$  เป็นระยะทางของเส้นทางตรง  $t'' = d''/c$  เป็นเวลาการประวิงของเส้นทางสะท้อนพื้น  $d''$  เป็นระยะทางของเส้นทางสะท้อนพื้น และ

$$C_i(x) = -\int_x^{\infty} \frac{\cos y}{y} dy$$

กรณีพื้นเป็นไดอิเล็กตริกไม่มีการสูญเสีย

$$V_r(t, d) = \sqrt{v_{r,\parallel}^2(t, d) + v_{r,\perp}^2(t, d)}$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\frac{\cos^2 \Theta_i}{16\pi^2 f_b} \left[ \frac{1}{t'} \ln\left(\frac{f_H}{f_L}\right) + \frac{\Gamma_{\parallel}}{t''} C_i(2\pi f_H \Delta t) - \frac{\Gamma_{\parallel}}{t''} C_i(2\pi f_L \Delta t) \right]^2} \\ + \frac{\sin^2 \Theta_i}{16\pi^2 f_b} \left[ \frac{1}{t'} \ln\left(\frac{f_H}{f_L}\right) + \frac{\Gamma_{\perp}}{t''} C_i(2\pi f_H \Delta t) - \frac{\Gamma_{\perp}}{t''} C_i(2\pi f_L \Delta t) \right]^2} \quad t = t' \\ \\ \sqrt{\frac{\cos^2 \Theta_i}{16\pi^2 f_b} \left[ \frac{\Gamma_{\parallel}}{t''} \ln\left(\frac{f_H}{f_L}\right) + \frac{1}{t'} C_i(2\pi f_H \Delta t) - \frac{1}{t'} C_i(2\pi f_L \Delta t) \right]^2} \\ + \frac{\sin^2 \Theta_i}{16\pi^2 f_b} \left[ \frac{\Gamma_{\perp}}{t''} \ln\left(\frac{f_H}{f_L}\right) + \frac{1}{t'} C_i(2\pi f_H \Delta t) - \frac{1}{t'} C_i(2\pi f_L \Delta t) \right]^2} \quad t = t'' \\ \\ \sqrt{\frac{\cos^2 \Theta_i}{16\pi^2 f_b} \left[ \frac{1}{t'} C_i(2\pi f_H |t-t'|) - \frac{1}{t'} C_i(2\pi f_L |t-t'|) \right]^2} \\ + \frac{\Gamma_{\parallel}}{t''} C_i(2\pi f_H |t-t'|) - \frac{\Gamma_{\parallel}}{t''} C_i(2\pi f_L |t-t'|)} \quad t \neq t', t'' \\ + \frac{\sin^2 \Theta_i}{16\pi^2 f_b} \left[ \frac{1}{t'} C_i(2\pi f_H |t-t'|) - \frac{1}{t'} C_i(2\pi f_L |t-t'|) \right]^2} \\ + \frac{\Gamma_{\perp}}{t''} C_i(2\pi f_H |t-t'|) - \frac{\Gamma_{\perp}}{t''} C_i(2\pi f_L |t-t'|)} \quad t \neq t', t'' \end{array} \right. \quad (3.12)$$

$$\text{เมื่อ } C_i(x) = -\int_x^{\infty} \frac{\cos y}{y} dy$$

### 3.6 คุณลักษณะของช่องสัญญาณ

พารามิเตอร์ที่สามารถแสดงถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณการสื่อสารไร้สาย ได้แก่

#### 3.6.1 การสูญเสียเชิงวิถึ [17]

นิยามการสูญเสียเชิงวิถึ UWB ของแบบจำลองการสะท้อนพื้น  $PL_{2ray}$  ที่มีพื้นฐานอยู่บนการสูญเสียกำลังค่ายอด ได้จากอัตราส่วนระหว่างขนาดแอมพลิจูดค่าสมบูรณสูงสุดของสัญญาณส่งต่อขนาดแอมพลิจูด

สูงสุดของสัญญาณรับ ดังนั้นการสูญเสียเชิงวิถีของแบบจำลองการสะท้อนพื้น UWB ในหน่วย dB สามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned}
 PL_{2ray}(d) &= 20 \log \left( \frac{\max |v_i(t, d)|}{\max |v_r(t, d)|} \right) \\
 &= -10 \log \left( \frac{\cos^2 \Theta_i \left[ \frac{1}{16\pi^2 f_b^2} \left[ \frac{1}{t'} \ln \left( \frac{f_H}{f_L} \right) + \frac{\Gamma_{\parallel}}{t'} C_i(2\pi f_H \Delta t) - \frac{\Gamma_{\parallel}}{t'} C_i(2\pi f_L \Delta t) \right]^2 \right]}{\sin^2 \Theta_i \left[ \frac{1}{16\pi^2 f_b^2} \left[ \frac{1}{t'} \ln \left( \frac{f_H}{f_L} \right) + \frac{\Gamma_{\perp}}{t'} C_i(2\pi f_H \Delta t) - \frac{\Gamma_{\perp}}{t'} C_i(2\pi f_L \Delta t) \right]^2 \right]} \right) \quad (3.13)
 \end{aligned}$$

### 3.6.2 ค่าการกระจายทางเวลา [18]

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าเส้นทางการแพร่กระจายของสัญญาณระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ มีได้หลายทิศทาง และสัญญาณแต่ละส่วนมักจะส่งผ่านในเส้นทางที่มีระยะทางไม่เท่ากัน สัญญาณบางส่วนอาจจะเดินทางเป็นเส้นตรง (Line of sight : LOS) ระหว่างภาคส่งและภาครับ สัญญาณส่วนนี้มักจะเดินทางถึงภาครับได้เร็ว ในขณะที่สัญญาณส่วนอื่นที่มีการตกกระทบพื้นผิวของวัสดุและเกิดการสะท้อนหลายครั้งกว่าจะเดินทางถึงภาครับ สัญญาณมักจะใช้เวลาการแพร่กระจายที่ยาวนานกว่า ความล่าช้าในการเดินทางของสัญญาณแต่ละส่วนก่อให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า การแผ่ประวิง (Delay spread) ขึ้น นั่นคือสัญญาณแต่ละส่วนใช้เวลาเดินทางถึงจุดหมายไม่เท่ากัน ในหัวข้อนี้ได้พิจารณาถึงเวลาที่ถูกลื่อนออกไปของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับ ซึ่งในส่วนของ การกระจายทางเวลา (Time dispersion) นั้นสามารถที่จะวิเคราะห์โดยใช้พารามิเตอร์ที่เรียกว่า ค่าเฉลี่ยของเวลาที่เลื่อนเกินออกไปจากค่าเวลาเดิมหรือค่าเฉลี่ยของเวลาประวิง (Mean excess delay:  $\bar{\tau}$ ) ถูกนิยามไว้ดังสมการที่ 3.14

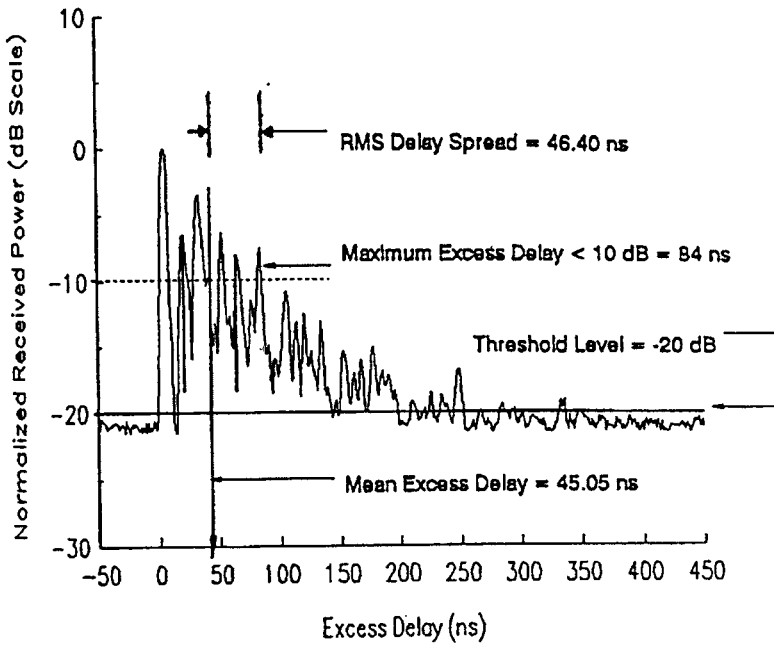
$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^2 \tau_i}{\sum_{i=1}^n a_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^n P(\tau_i) \tau_i}{\sum_{i=1}^n P(\tau_i)} \quad (3.14)$$

โดยที่

- $a_i$  คือ ระดับของสัญญาณเส้นทางที่  $i$
- $\tau_i$  คือ เวลาประวิงที่เกิดขึ้นของสัญญาณเส้นทางที่  $i$
- $P(\tau_i)$  คือ ระดับกำลังงานของสัญญาณเส้นทางที่  $i$

### 3.6.3 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน [18]

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่นิยมนำมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับที่เวลาต่าง ๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสัญญาณที่มีการสะท้อนในหลายทิศทางหรือที่เรียกว่าสัญญาณหลายวิถีโดยจะเรียกว่า ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power delay profile: PDP) ซึ่งตัวอย่างของ PDP ได้แสดงดังรูปที่ 3.8 โดยจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อเวลาที่เข้ามาถึง



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน

### 3.7 แบบจำลอง S-V [9]

แบบจำลองช่องสัญญาณแบบ S-V ได้ถูกนำเสนอมานานกว่า 20 ปีแล้ว ซึ่งแบบจำลองช่องสัญญาณดังกล่าวเป็นแบบจำลองช่องสัญญาณที่นำเอาผลการทดสอบช่องสัญญาณจริงแบบภายในอาคาร มาวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ในการทดสอบช่องสัญญาณนี้ใช้สัญญาณพัลส์ความถี่ 15 GHz ซึ่งแบบจำลองช่องสัญญาณนี้ได้อธิบายการคาดคะเนการมาถึงของกลุ่มสัญญาณและอัตราการมาถึงสัญญาณด้วย ค่าความน่าจะเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential probability density functions) แสดงดังนี้

$$\begin{aligned}
 p(T_l | T_{l-1}) &= \Lambda \exp[-\Lambda(T_l - T_{l-1})], \quad l > 0 \\
 p(\tau_{k,l} | \tau_{(k-1),l}) &= \lambda \exp[-\lambda(\tau_{k,l} - \tau_{(k-1),l})], \quad k > 0
 \end{aligned}
 \tag{3.15}$$

โดยที่

$\Lambda$  คือ อัตราการมาถึงของกลุ่มสัญญาณ

$\lambda$  คืออัตราการมาถึงของสัญญาณ

$T_l$  เวลาการมาถึงของกลุ่มสัญญาณ

$\tau_k$  คือ เวลาการมาถึงของสัญญาณ

$l$  คือ ลำดับของกลุ่มสัญญาณ

$k$  คือ ลำดับของสัญญาณ

เนื่องจากช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นเป็นช่องสัญญาณหลายวิถีลักษณะการเดินทางของสัญญาณจึงเกิดผลตอบสนองของช่องความถี่สัญญาณดังนี้

$$h(t) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \beta_{kl} e^{j\theta_{kl}} \delta(t - T_l - \tau_{kl}) \quad (3.16)$$

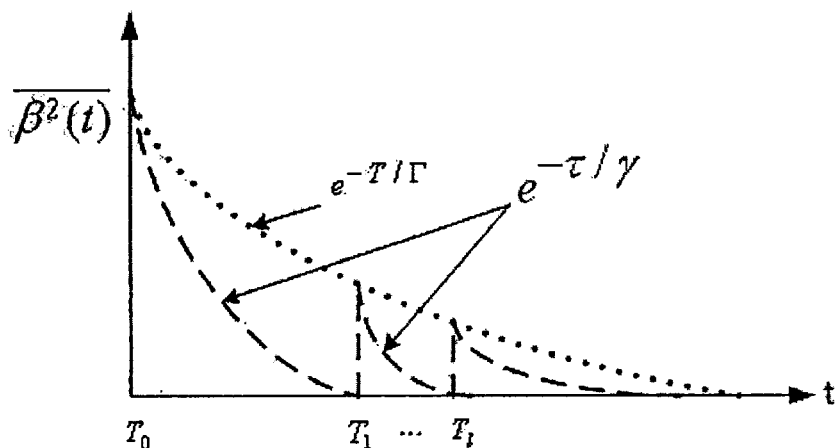
เมื่อ  $\theta_{kl}$  คือมุมเฟสของสัญญาณมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง  $2\pi$  และค่าของขนาดสัญญาณ  $\beta_{kl}$  สามารถคาดคะเนได้โดยการกำหนดให้มีค่าเป็นสัดส่วนกับเวลาการมาถึงของกลุ่มสัญญาณและเวลามาถึงของสัญญาณอธิบายได้ดังสมการ 3.17 และดังรูป 3.9 และรูปที่ 3.10 เป็นลักษณะของกลุ่มสัญญาณและสัญญาณที่มีลักษณะของขนาดเป็นสัดส่วนกับเวลาการมาถึงของสัญญาณในแต่ละเส้นทางซึ่งเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล

$$\begin{aligned} \overline{\beta_{kl}^2} &= \overline{\beta^2(T_l, \tau_{kl})} \\ &= \overline{\beta^2(0,0) e^{-T_l/\Gamma} e^{-\tau_{kl}/\gamma}} \end{aligned} \quad (3.17)$$

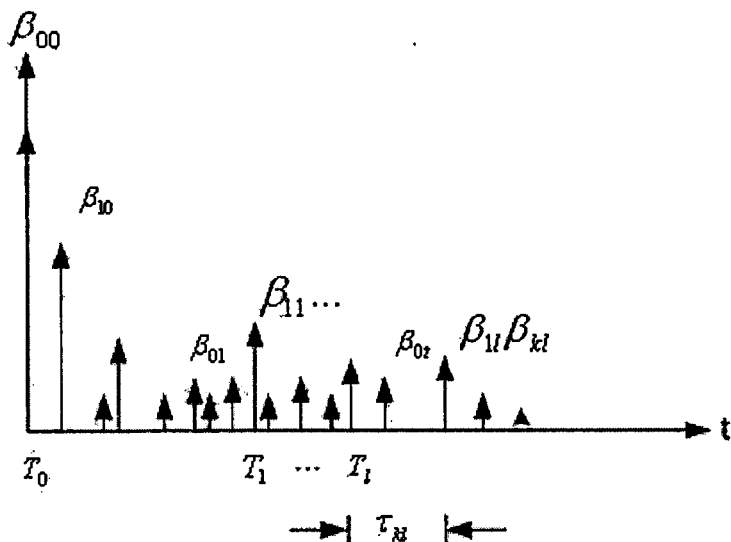
โดยที่  $\overline{\beta^2(0,0)} = \overline{\beta_{00}^2}$  คือค่าของขนาดในเส้นทางแรกของกลุ่มสัญญาณแรก

$\Gamma$  คือแฟกเตอร์การลดลงของกลุ่มสัญญาณ

$\gamma$  คือแฟกเตอร์การลดลงของสัญญาณ



รูปที่ 3.9 กำลังงานที่ลดลงของกลุ่มสัญญาณและสัญญาณตามแบบจำลอง S-V

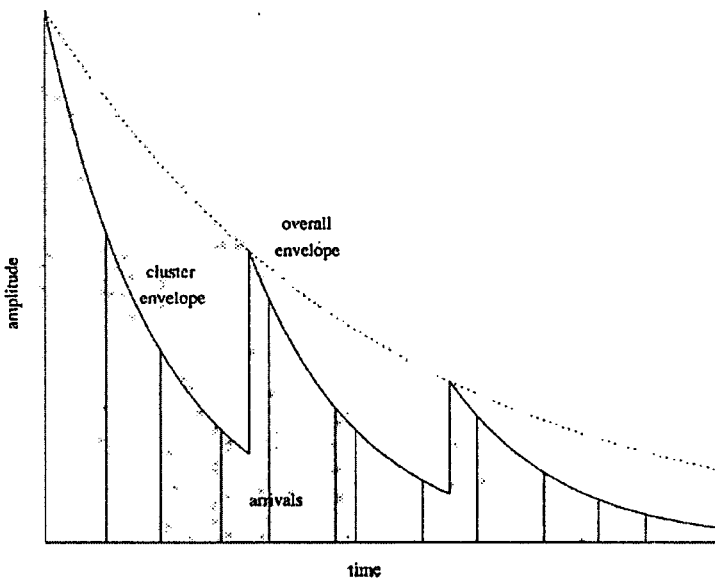


รูปที่ 3.10 ผลตอบสนองของสัญญาณที่เกิดขึ้นตามแบบจำลองของแบบจำลอง S-V

### 3.8 แบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐาน IEEE 803.15.3a [19]

การเดินทางของสัญญาณที่มีลักษณะการเดินทางแบบหลายวิถีดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นซึ่งลักษณะการเดินทางของคลื่นที่เกิดขึ้นนี้ไม่สามารถมองเห็นได้จึงคาดการณ์ลักษณะการเดินทางของสัญญาณได้ยาก ซึ่งในการเดินทางของสัญญาณหลายวิถีเกิดจากหลายๆ ปัจจัยไม่ว่าจะเป็นปัจจัยจากสภาพแวดล้อมจากสัญญาณในระบบการสื่อสารอื่น ทำให้การสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณยากลำบากมาก ซึ่งจากในอดีตจนถึงปัจจุบันมีนักวิจัยหลายๆ ท่านได้ทำการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณไปใช้งานแล้วนั้น นักวิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณภายใต้เงื่อนไขของการทดสอบช่องสัญญาณภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีความแตกต่างกัน ทำให้เมื่อนำเอาแบบจำลองช่องสัญญาณไปทดสอบประสิทธิภาพของระบบโดยการทดสอบช่องสัญญาณจริงแล้ว ยังมีความแตกต่างกันอยู่พอสมควร และในบางกรณีแบบจำลองนั้นได้สร้างจากการทดสอบช่องสัญญาณที่แตกต่างกันมากในหลายปัจจัย ดังนั้นจึงมีกลุ่มนักวิจัยกลุ่มหนึ่งได้ทำการทดสอบและวิเคราะห์ช่องสัญญาณภายในอาคารสำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งหรือมาตรฐานการ

สื่อสารแบบ IEEE 802.15.3a เพื่อสร้างออกมาเป็นแบบจำลองช่องสัญญาณแบบช่องสัญญาณมาตรฐาน ดังนั้นแบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐานนี้จึงเป็นที่ยอมรับและใช้งานในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเกิดจากการทดสอบช่องสัญญาณจริง โดยแบบจำลองช่องสัญญาณอ้างอิงผลตอบสนองช่องสัญญาณหลายวิธีตามแบบจำลองช่องสัญญาณของ Saleh-Velenzuela (S-V) เป็นหลัก โดยเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของผลตอบสนองช่องสัญญาณ S-V จากที่มีการกระจายตัวแบบ Rayleigh มาเป็นการกระจายแบบ log-normal เพื่อให้เหมาะสำหรับช่องสัญญาณในการระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง แต่ยังคงมีส่วนประกอบที่เป็นกลุ่มคลื่น หรือคลื่น วั้ดั้งเดิม โดยที่กลุ่มคลื่นจะเปรียบได้ว่าเป็นกลุ่มสัญญาณแรกที่รับได้ในแต่ละชุดของผลตอบสนองช่องสัญญาณและคลื่นคือสมาชิกภายในกลุ่มคลื่น ซึ่งในแต่ละกลุ่มคลื่นจะมีขนาด (magnitude) ของกลุ่มคลื่นและคลื่นมีการเปลี่ยนแปลงตามแนวโน้มในรูปแบบเอกซ์โพเนนเชียล ดังแสดงในรูป 3.11 และเมื่อนำเอาผลที่ได้จากแบบจำลองช่องสัญญาณมาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพระหว่างช่องสัญญาณที่ได้จากแบบจำลองและผลที่ได้จากการทดสอบสัญญาณจริง จะเกิดความผิดพลาดในการประเมินประสิทธิภาพของระบบไม่มากนัก



รูปที่ 3.11 ผลตอบสนองช่องสัญญาณในรูปแบบของกลุ่มคลื่นและคลื่น

### 3.9 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการที่เกี่ยวข้องกับการจำลองช่องสัญญาณในการสื่อสารซึ่งเป็นส่วนสำคัญในวิทยานิพนธ์นี้อันประกอบด้วยรายละเอียดของคุณลักษณะของช่องสัญญาณ ปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณลักษณะของช่องสัญญาณรวมไปถึงการจำลองช่องสัญญาณด้วยหลักการการติดตามรังสี จำลองพารามิเตอร์ต่างๆ ของช่องสัญญาณอันได้แก่ ค่าสูญเสียเชิงวิถี ค่าเวลาประวิงเข้าถึงเฉลี่ย ภาพตัดด้านข้างการประวิงกำลังงาน อีกทั้งได้แนะนำถึงหลักการของแบบจำลอง S-V ที่ได้ถูกประยุกต์ใช้ด้วย

## บทที่ 4

# แบบจำลองผลกระทบจากการบังคับของร่างกายมนุษย์ สำหรับ UWB ภายในอาคาร

### 4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของแบบจำลองที่ได้ทำการศึกษาและวิธีการที่ได้คิดค้นขึ้นมาเพื่อจำลองผลกระทบจากการบังคับของร่างกายมนุษย์ที่มีต่อสัญญาณ UWB โดยที่ผลลัพธ์ของแบบจำลองผลกระทบดังกล่าวนี้แสดงผลในรูปแบบของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของคุณลักษณะของช่องสัญญาณที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งถูกโปรแกรมขึ้นมาด้วยหลักการของการติดตามรังสี วิธีตามรอยภาพที่พิจารณาการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าในหลายวิธี อันได้แก่ วิธีตรง วิธีที่เกิดจากการสะท้อน เมื่อได้สัญญาณในวิธีต่าง ๆ แล้วแบบจำลองได้นำเอาหลักการของ UWB- 2 Ray มาประยุกต์ใช้เพื่อหาสัญญาณที่ถูกรับ หลังจากนั้นได้มีการตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำลองด้วยการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัด (Measurement) โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ ซึ่งเป็นการตรวจสอบบนโดเมนความถี่ เมื่อแบบจำลองสามารถให้ผลใกล้เคียงกับผลจากการวัดผลที่ได้ดังกล่าวถือว่าเป็นผลที่น่าเชื่อถือได้ สามารถนำไปหาพารามิเตอร์ของแบบจำลอง S-V เพื่อการใช้งานได้อย่างกว้างขวางต่อไป

### 4.2 หลักการทำงานของแบบจำลอง

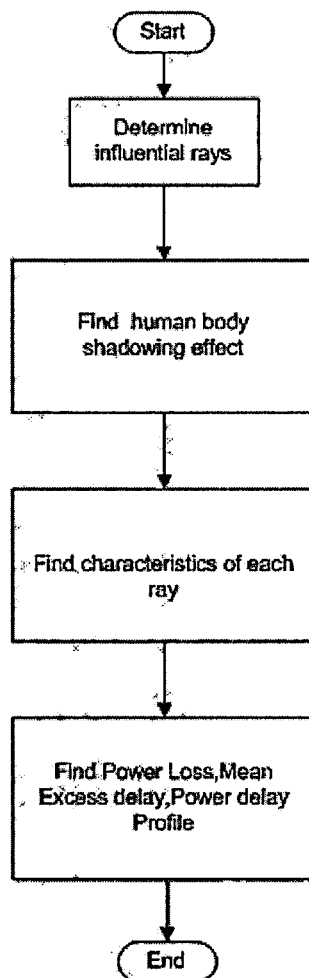
สำหรับการจำลองการแพร่กระจายคลื่นในวิทยานิพนธ์นี้ ได้จำลองโดยใช้หลักการการติดตามรังสีที่มีการจำลองคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายจากสายอากาศตัวส่งไปยังสายอากาศตัวรับ ผ่านอากาศว่าง ทำให้สัญญาณสามารถเดินทางไปยังสายอากาศตัวรับได้หลายทิศทาง อันประกอบด้วย สัญญาณที่เกิดจากการสะท้อน การหักเห การเบี่ยงเบน การดูดกลืน การกระเจิง เป็นต้น เนื่องจากการจำลองได้จำลองภายใต้สภาวะแวดล้อมภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวางต่างๆ มากมายและผนังห้องที่ใกล้ชิดติดกัน จึงได้เกิดปรากฏการณ์การสะท้อนของคลื่นเด่นชัดกว่าปรากฏการณ์อื่นๆ ดังนั้น แบบจำลองจึงได้เลือกสัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนและสัญญาณที่เดินทางในแนวตรงเป็นสัญญาณที่จำลองขึ้น โดยกำหนดให้รังสี (Ray) 1 รังสี แทนสัญญาณที่มาจากเส้นทาง 1 เส้นทาง สำหรับสัญญาณที่เดินทางในแนวตรงมี 1 เส้นทาง แต่สัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนนั้นมีหลากหลายเส้นทาง ซึ่งเริ่มต้นจากสัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 จนถึงจำนวนครั้งของการสะท้อนเป็นอนันต์

สำหรับแบบจำลองภายในแบบจำลองนี้ ได้พิจารณาสัญญาณต่างๆ ได้แก่ สัญญาณจากแนวตรง สัญญาณจากการสะท้อนครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ตามลำดับ ซึ่งสัญญาณในทิศทางต่าง ๆ เหล่านี้สามารถถูกบด

บังด้วยร่างกายมนุษย์ได้ หากมีการบดบังเกิดขึ้นสัญญาณที่ส่งถูกลดทอนกำลังลง เกิดการหน่วงเวลาของสัญญาณมากขึ้น ทำให้ภาครับสามารถรับสัญญาณได้ช้าขึ้นกว่าเคิมส่งผลกระทบต่อการใช้งานได้

อินพุตของแบบจำลอง ประกอบด้วย 1). ขนาดของห้องใน 3 มิติ 2). ลักษณะสภาพยอมทางไฟฟ้าของผนัง 3). ตำแหน่งของตัวส่งและรับสัญญาณ 4). ความถี่ของคลื่นวิทยุ 5). กำลังส่งของตัวส่ง 6). ความสูงและขนาดของร่างกายมนุษย์ แบบจำลองจะนำพารามิเตอร์เหล่านี้ไปคำนวณหาคุณสมบัติต่างๆของสัญญาณที่ภาครับ เช่น ความแรงของสัญญาณที่รับได้ ค่าการประวิงเข้าถึงเฉลี่ย ค่าการสูญเสียเชิงวิถี เป็นต้น

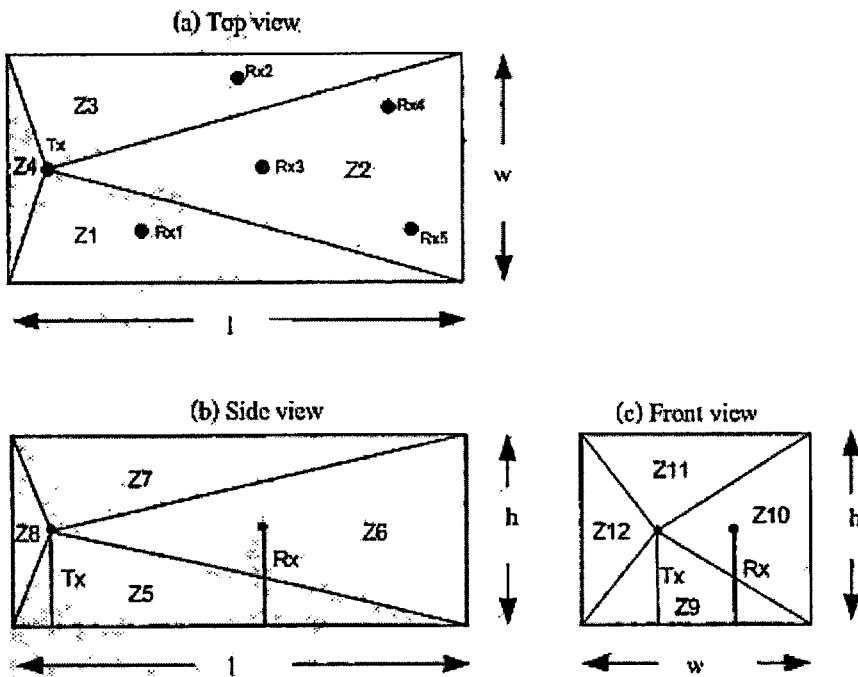
### 4.3 อัลกอริธึมของแบบจำลอง



**รูปที่ 4.1** อัลกอริธึมของแบบจำลองการบดบังร่างกายมนุษย์สำหรับ UWB  
ภายในอาคารที่ใช้หลักการของการติดตามรังสี

### 4.3.1 การหารังสีทั้งหมดที่มีอิทธิพลต่อสัญญาณที่ภาครับ (Determine Influential Rays)

การหารังสีทั้งหมดที่มีอิทธิพลต่อสัญญาณที่ภาครับ เป็นขั้นตอนสำหรับหารังสีทั้งหมดที่สามารถเดินทางไปยังตัวรับได้ ณ ตำแหน่งของตัวส่งและตัวรับหนึ่ง ๆ โดยที่รังสีนั้นต้องเป็นรังสีจากการสะท้อนครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 และรังสีจากการส่งสัญญาณในแนวตรง เริ่มต้นจากการพิจารณาคำแหน่งของตัวรับว่าอยู่ในบริเวณใดของห้อง จากพื้นที่ทั้งหมดที่ได้แบ่งไว้จำนวน 12 พื้นที่ ดังแสดงในรูป 4.2 ซึ่งเป็นการแบ่งพื้นที่ของห้องแบบ 3 มิติ โดยแยกพิจารณาเป็นการแบ่งบริเวณจากมุมมองด้านบน (Top view) ด้านข้าง (Side view) และด้านหน้า (Front view) เมื่อพิจารณาได้แล้วว่า ตำแหน่งของตัวรับอยู่ในบริเวณใดสำหรับแต่ละมุมมอง ทำให้ทราบได้ว่ารังสีที่สามารถเดินทางไปยังตัวรับได้มีรังสีใดบ้าง โดยใช้รังสีของแต่ละพื้นที่ที่จะสามารถมีรังสีเดินทางไปยังตัวรับที่แตกต่างกัน



**รูปที่ 4.2** การแบ่งบริเวณเพื่อหาคลื่นที่มีอิทธิพลต่อสัญญาณที่ภาครับทั้งหมด

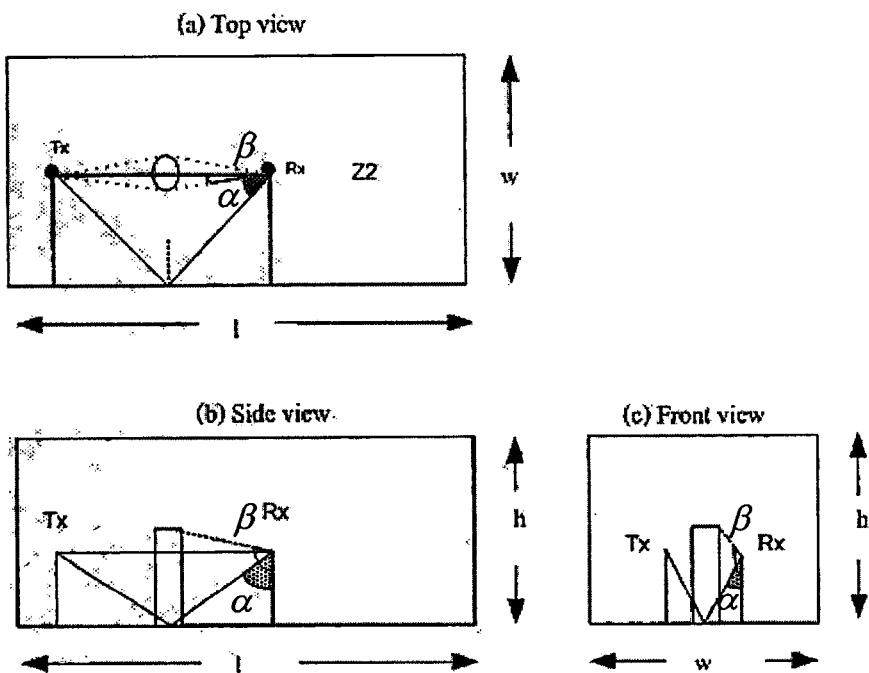
จากรูปที่ 4.2 แสดงการแบ่งพื้นที่ของห้องพิจารณา รูป 4.2(a) Top view หรือด้านบน รูป 4.2(b) Side view หรือด้านข้าง รูป 4.2(c) Front view หรือด้านหน้า ของห้องที่ต้องการจำลองผลกระทบจากบดบังของร่างกายมนุษย์ ซึ่งมีสายอากาศตัวส่งและตัวรับใช้งานอยู่ภายในห้องนั้น ในการพิจารณาสัญญาณที่ภาครับนั้นจำเป็นจะต้องทราบตำแหน่งของสายอากาศภาครับ เนื่องจากที่ตำแหน่งภาครับที่ต่างกันจะสามารถรับสัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนจากผนังห้องที่แตกต่างกัน ซึ่งตำแหน่งของสายอากาศตัวรับสามารถแปรเปลี่ยนได้ตามอินพุตของผู้ใช้งาน ดังนั้นแบบจำลองจึงได้ทำการรับค่าตำแหน่งสายอากาศ

ภาครับจากผู้ใช้งาน แล้วมาพิจารณาว่า อยู่ในบริเวณใดของห้องใน 4 บริเวณ สำหรับแต่ละมุมมอง ซึ่งได้จากการใช้ตำแหน่งของสายอากาศภาคส่งเป็นตัวแบ่งบริเวณ เมื่อได้บริเวณแล้วแบบจำลองจะกำหนดรังสีที่สามารถเดินทางไปยังภาครับได้หรือสัญญาณที่รับได้ด้วยรังสีของบริเวณนั้น ๆ

#### 4.3.2 การหาผลกระทบของการบดบังของร่างกายมนุษย์ที่มีต่อตำแหน่งทั้งหมด (Find human body shadowing effect)

สำหรับขั้นตอนนี้ เป็นการหาผลกระทบจากการบดบังของร่างกายมนุษย์ ด้วยหลักการหักเหของคลื่นที่กล่าวไว้ว่าเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางต่างชนิดกันจะทำให้เกิดการหักเหเกิดขึ้นด้วยมุมหักเห ดังนั้นหากพิจารณารังสีที่สามารถเดินทางไปยังตัวรับได้ เมื่อเกิดการบดบังของร่างกายมนุษย์จะทำให้รังสีเหล่านั้นหักเห ไม่สามารถเดินทางไปยังสายอากาศตัวรับได้ ดังนั้นสำหรับการพิจารณาผลจากการบดบังของร่างกายมนุษย์นี้จึงทำได้โดยพิจารณาแนวของรังสีที่สามารถเดินทางไปยังภาครับได้แต่ละรังสีว่ามีแนวการเดินทางพาดผ่านตำแหน่งของร่างกายมนุษย์หรือไม่ หากพาดผ่านรังสีเหล่านั้นก็จะไม่สามารถเดินทางไปยังภาครับได้ แต่หากไม่มีการพาดผ่าน รังสีจะเดินทางไปยังภาครับได้ ทำให้ได้รังสีที่รับได้ ณ ภาครับหลังจากการบดบังของร่างกายมนุษย์ สำหรับการพิจารณาคุณลักษณะของช่องสัญญาณต่อไป

สำหรับการพิจารณาการพาดผ่านของแนวการเดินทางของรังสีกับตำแหน่งของร่างกายมนุษย์ได้พิจารณาด้วยหลักการติดตามรังสีด้วยเช่นกัน รายละเอียดแสดงไว้ดังรูป

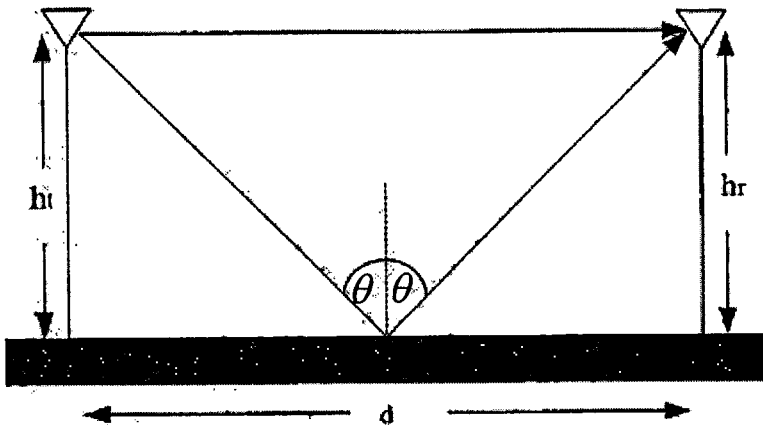


รูปที่ 4.3 การวิเคราะห์การบดบังของร่างกายมนุษย์กับรังสีสะท้อนในแต่ละมุมมอง

จากรูปที่ 4.3 แสดงการพิจารณาการบดบังรังสีด้วยร่างกายมนุษย์ใน 3 มิติ ซึ่งประกอบด้วย รูป 4.3(a) Top view หรือด้านบน 4.3 (b) Side view หรือด้านข้าง และ 4.3 (c) Front view หรือด้านหน้า ของห้องที่ต้องการจำลองผลกระทบจากบดบังของร่างกายมนุษย์ สำหรับการพิจารณาการบดบังมุมมองด้านบน แบบจำลองได้กำหนดให้ร่างกายมนุษย์เป็นวงกลม พิจารณามุมที่รังสีทำกับภาคครึ่ง ( $\alpha$ ) กับมุมที่ร่างกายมนุษย์ทำกับภาคครึ่ง ( $\beta$ ) หากมุมของร่างกายมนุษย์น้อยกว่ามุมของรังสีตั้งรูป จะไม่เกิดการพาดผ่านร่างกายมนุษย์ของรังสี รังสีสามารถเดินทางไปยังภาคครึ่งได้ สำหรับมุมมองด้านข้างและด้านหน้าจะพิจารณาโดยใช้หลักการเดียวกันคือ พิจารณาด้วยมุมที่รับได้ของแต่ละรังสี หรือมุมที่รังสีทำกับสายอากาศภาคครึ่ง เปรียบเทียบกับมุมที่ร่างกายมนุษย์ทำกับสายอากาศภาคครึ่ง หากมุมของรังสีมีมากกว่ามุมของร่างกายมนุษย์เมื่อเทียบจากจุดเดียวกัน แสดงว่าได้มีการพาดผ่านร่างกายของรังสีขึ้น รังสีดังกล่าวไม่สามารถเดินทางไปยังภาคครึ่งได้

#### 4.3.3 หาคุณสมบัติของแต่ละรังสี ( Find characteristic of each ray )

สำหรับการหาคุณสมบัติของช่องสัญญาณ ได้แก่ การสูญเสียเชิงวิถี ค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ย ภาพหน้าตัดด้านข้างกำลังงาน ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ 4 นั้น มีการคำนวณโดยใช้พารามิเตอร์ของรังสีที่พิจารณา ซึ่งประกอบด้วย มุมตกกระทบของรังสี เวลาและระยะทางในการเดินทางของรังสี ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนพื้น อัตราขยายของสายอากาศตัวส่งและตัวรับ เป็นต้น โดยค่าต่างๆ เหล่านี้สามารถหาได้จากสมการ (4.1) - (4.5) [5]



รูปที่ 4.4 แบบจำลองการสะท้อนพื้น

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{d}{ht + hr}\right) \quad (4.1)$$

$$s = \sqrt{d^2 + (ht + hr)^2} \quad (4.2)$$

$$t = \frac{S}{c} \quad (4.3)$$

$$\Gamma_{\parallel} = \frac{\cos(\theta) - \sqrt{\frac{1}{\epsilon_r} - \frac{1}{\epsilon_r^2} \sin^2(\theta)}}{\cos(\theta) + \sqrt{\frac{1}{\epsilon_r} - \frac{1}{\epsilon_r^2} \sin^2(\theta)}} \quad (4.4)$$

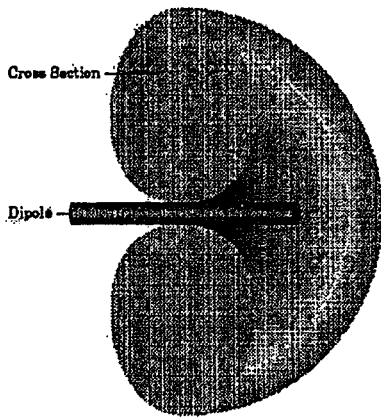
$$\Gamma_{\perp} = \frac{\cos(\theta) - \sqrt{\epsilon_r - \sin^2(\theta)}}{\cos(\theta) + \sqrt{\epsilon_r - \sin^2(\theta)}} \quad (4.5)$$

เมื่อ

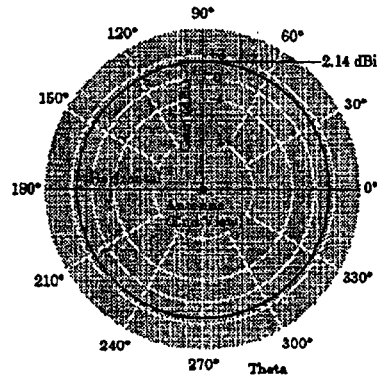
- $\theta$  คือ มุมตกกระทบหรือมุมสะท้อน
- $d$  คือ ระยะทางระหว่างสายอากาศเครื่องส่งกับเครื่องรับ
- $ht, hr$  คือ ความสูงของสายอากาศส่ง และรับตามลำดับ
- $S, t$  คือ ระยะทาง และเวลาในการเดินทางของรังสี ตามลำดับ
- $C$  คือ ความเร็วของรังสี คือมีค่าเท่ากับ  $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที
- $\Gamma_{\parallel}$  คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนของเฟสเนลล์ของสนามไฟฟ้าในแนวนอน
- $\Gamma_{\perp}$  คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนของเฟสเนลล์ของสนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉากกับ  
ระนาบของการตกกระทบ
- $\epsilon_r$  คือ ค่าสภาพความยอมของตัวกลาง

#### 4.3.3.1 ค่าอัตราขยายสายอากาศของแต่ละรังสี

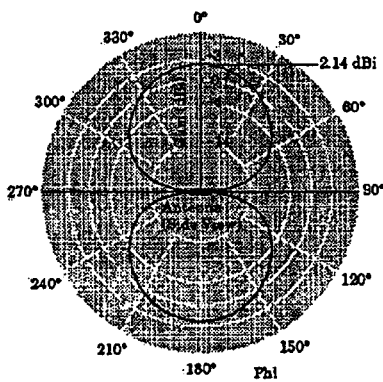
การพิจารณาอัตราขยายของแต่ละรังสี ขึ้นอยู่กับรูปแบบการแพร่กระจายสัญญาณของสายอากาศที่ถูกกำหนดโดยชนิดของสายอากาศ ซึ่งสำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนิยมใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical) เนื่องจากสามารถรองรับสัญญาณในช่วงความถี่ที่กว้าง ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสร้างชิ้นใช้งานได้ง่าย ดังนั้นแบบจำลองจึงเลือกใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ที่เป็นสายอากาศประเภทไดโพล การพิจารณาจึงได้ทำการหารูปแบบการแพร่กระจายของสัญญาณของสายอากาศ เพื่อหาอัตราการขยายของสายอากาศออกมาสำหรับแต่ละรังสี เพื่อสามารถนำไปคำนวณหาแอมพลิจูดที่ภาครับได้ ซึ่งรูปแบบการแพร่กระจายที่พิจารณาดังแสดงในรูปที่ 4.5



(a) Three-Dimensional Sketch



(b) Vertical Plane



(c) Horizontal Plane

#### รูปที่ 4.5 รูปแบบการแผ่กระจายของสายอากาศ (Antenna radiation pattern)

จากรูปแสดงการพิจารณาอัตราขยายที่เกิดจากสายอากาศ หากพิจารณาจากมุมมองด้านบน พบว่าการแผ่กระจายของสายอากาศจะเป็นแบบรอบทิศทาง (Omnidirectional) นั่นคือ ค่าอัตราขยายที่ดูบนออร์มอลโลซ์ให้เป็น 1 ดังนั้น พารามิเตอร์นี้จึงไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับแอมพลิจูดที่สัญญาณภาครับนั่นเอง

พิจารณามุมมองด้านข้าง พบว่าทิศทางที่สัญญาณออกจากภาคส่งและเข้าไปสู่ภาครับนั้นมีผลสัญญาณที่ภาครับ เนื่องจากค่ากำลังงานของสัญญาณในทิศทางต่าง ๆ สายอากาศจะส่งไปได้ในอัตราขยายที่ต่างกัน ดังนั้นแบบจำลองจึงได้ทำการพิจารณาหามุมที่รังสีแต่ละรังสีทำต่อภาครับและภาคส่ง เพื่อจะทราบได้ว่ามีอัตราขยายของสายอากาศเท่าใด เพื่อนำไปคำนวณหาค่าแอมพลิจูดของสัญญาณแต่ละรังสีในสมการ (4.9) ต่อไป

#### 4.3.4 การหาพารามิเตอร์ของคุณลักษณะของช่องสัญญาณ (Find Channel characteristic parameter)

##### 4.3.4.1 ระดับสัญญาณที่รับได้สำหรับแต่ละรังสี

แบบจำลองได้ทำการจำลองสัญญาณโดยให้สายอากาศส่งส่งสัญญาณแถบกว้างยังเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม นิพจน์ของสัญญาณนี้ในโดเมนเวลา  $v_t$  และฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัม  $V_t$  คือ [5]

$$v_t(t) = \frac{1}{f_b} [f_H \text{sinc}(2f_H t) - f_L \text{sinc}(2f_L t)] \quad (4.6)$$

$$V_t(f) = \begin{cases} \frac{1}{2f_b}, & ||f| - f_c| \leq \frac{f_b}{2} \\ 0, & ||f| - f_c| > \frac{f_b}{2} \end{cases} \quad (4.7)$$

เมื่อ  $t$  เป็นเวลา  $f$  เป็นความถี่  $f_c$  เป็นความถี่กลาง  $f_b$  เป็นแบนด์วิดท์  $f_L = f_c - f_b/2$  เป็นความถี่ต่ำสุด  $f_H = f_c + f_b/2$  เป็นความถี่สูงสุด และ  $\text{sinc}(x) = \sin(\pi x)/(\pi x)$  สัญญาณนี้มีแอมพลิจูดสูงสุดเป็น  $A$  V ที่เวลาเท่ากับศูนย์และมีความหนาแน่นสเปกตรัมเป็นค่าจริงคงที่เท่ากับ  $1/(2f_b)$  ในช่วงความถี่ตั้งแต่  $-f_H$  ถึง  $-f_L$  และ  $f_L$  ถึง  $f_H$

สัญญาณเดินทางผ่านอากาศว่างทำให้สัญญาณสามารถเดินทางไปยังภาครับได้หลายเส้นทาง ดังนั้นแบบจำลองจึงพิจารณาสัญญาณที่สามารถรับได้ ณ ภาครับ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. สัญญาณที่เดินทางในแนวตรง
2. สัญญาณที่เกิดจากการสะท้อน

ทั้ง 2 ประเภทสามารถหาแอมพลิจูดของสัญญาณได้จากแบบจำลองสัญญาณที่รับได้ของ UWB [5]

$$v_r(t, d) = \begin{cases} \sqrt{\frac{\cos^2 \Theta_t \left[ \frac{1}{t'} \ln \left( \frac{f_H}{f_L} \right) + \frac{\Gamma_{\parallel}}{t'} C_i(2\pi f_H \Delta t) - \frac{\Gamma_{\parallel}}{t'} C_i(2\pi f_L \Delta t) \right]^2}{16\pi^2 f_b} + \frac{\sin^2 \Theta_t \left[ \frac{1}{t'} \ln \left( \frac{f_H}{f_L} \right) + \frac{\Gamma_{\perp}}{t'} C_i(2\pi f_H \Delta t) - \frac{\Gamma_{\perp}}{t'} C_i(2\pi f_L \Delta t) \right]^2}{16\pi^2 f_b}} & t = t' \\ \sqrt{\frac{\cos^2 \Theta_t \left[ \frac{\Gamma_{\parallel}}{t''} \ln \left( \frac{f_H}{f_L} \right) + \frac{1}{t''} C_i(2\pi f_H \Delta t) - \frac{1}{t''} C_i(2\pi f_L \Delta t) \right]^2}{16\pi^2 f_b} + \frac{\sin^2 \Theta_t \left[ \frac{\Gamma_{\perp}}{t''} \ln \left( \frac{f_H}{f_L} \right) + \frac{1}{t''} C_i(2\pi f_H \Delta t) - \frac{1}{t''} C_i(2\pi f_L \Delta t) \right]^2}{16\pi^2 f_b}} & t = t'' \\ \sqrt{\frac{\cos^2 \Theta_t \left[ \frac{1}{t'} C_i(2\pi f_H |t-t'|) - \frac{1}{t'} C_i(2\pi f_L |t-t'|) \right]^2}{16\pi^2 f_b} + \frac{\Gamma_{\parallel}}{t''} C_i(2\pi f_H |t-t'|) - \frac{\Gamma_{\parallel}}{t''} C_i(2\pi f_L |t-t'|)}{16\pi^2 f_b}} & t \neq t', t'' \\ \sqrt{\frac{\sin^2 \Theta_t \left[ \frac{1}{t'} C_i(2\pi f_H |t-t'|) - \frac{1}{t'} C_i(2\pi f_L |t-t'|) \right]^2}{16\pi^2 f_b} + \frac{\Gamma_{\perp}}{t''} C_i(2\pi f_H |t-t'|) - \frac{\Gamma_{\perp}}{t''} C_i(2\pi f_L |t-t'|)}{16\pi^2 f_b}} & \end{cases} \quad (4.8)$$

เมื่อ

$$C_i(x) = - \int_x^{\infty} \frac{\cos(y)}{y} dy$$

โดยที่  $\Theta_t$  เป็นมุมโพลาไรซ์ของรูปคลื่นที่ใช้ส่งเมื่อเทียบกับระนาบคกรกระทบ,  $t$  เป็นเวลา  $t'$  เป็นเวลาการประวิงของเส้นทางตรง  $t''$  เป็นเวลาการประวิงของเส้นทางสะท้อนพื้น  $\Delta t = t'' - t'$   $f$  เป็นความถี่  $f_c$  เป็นความถี่กลาง  $f_b$  เป็นแบนด์วิดท์  $f_L = f_c - f_b/2$  เป็นความถี่ต่ำสุด  $f_H = f_c + f_b/2$  เป็นความถี่สูงสุด  $\Gamma_{\parallel}$  คือสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเฟสเนลล์ของสนามไฟฟ้าในแนวนอน  $\Gamma_{\perp}$  คือสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเฟสเนลล์ของสนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉากกับระนาบของการตกกระทบ

แบบจำลองได้มีการนำเอาหลักการของแบบจำลองสัญญาณที่ภาครับของ UWB มาประยุกต์ใช้กับหลักการของการติดตามรังสี ทำให้ได้สัญญาณที่ภาครับเป็น

$$v_r(t, d) = \begin{cases} \sqrt{G(\Phi, \theta) \left( \frac{\cos^2 \Theta_t}{16\pi^2 f_b} \left[ \frac{1}{t'} \ln \left( \frac{f_H}{f_L} \right) + \sum_{n=1}^k \left( \frac{\Gamma_{\parallel, n}}{t_n} C_i(2\pi f_H \Delta t_n) - \frac{\Gamma_{\parallel, n}}{t_n} C_i(2\pi f_L \Delta t_n) \right) \right]^2 \right.} & t = t' \\ \left. + \frac{\sin^2 \Theta_t}{16\pi^2 f_b} \left[ \frac{1}{t'} \ln \left( \frac{f_H}{f_L} \right) + \sum_{n=1}^k \left( \frac{\Gamma_{\perp, n}}{t_n} C_i(2\pi f_H \Delta t_n) - \frac{\Gamma_{\perp, n}}{t_n} C_i(2\pi f_L \Delta t_n) \right) \right]^2 \right)} & \\ \sqrt{G(\Phi, \theta) \left( \frac{\cos^2 \Theta_t}{16\pi^2 f_b} \left[ \frac{\Gamma_{\parallel}}{t''} \ln \left( \frac{f_H}{f_L} \right) + \frac{1}{t'} C_i(2\pi f_H \Delta t) - \frac{1}{t'} C_i(2\pi f_L \Delta t) \right]^2 \right.} & t = t'' \\ \left. + \frac{\sin^2 \Theta_t}{16\pi^2 f_b} \left[ \frac{\Gamma_{\perp}}{t''} \ln \left( \frac{f_H}{f_L} \right) + \frac{1}{t'} C_i(2\pi f_H \Delta t) - \frac{1}{t'} C_i(2\pi f_L \Delta t) \right]^2 \right)} & \end{cases} \quad (4.9)$$

เมื่อ  $G(\Phi, \theta)$  อัตราขยายของสายอากาศภาครับและภาคส่ง  $G = G_r \times G_t$  เมื่อ  $G_r$  คืออัตราขยายของภาครับ  $G_t$  คืออัตราขยายของภาคส่ง

#### 4.3.4.2 ค่าสูญเสียเชิงวิถี ( Path loss )

สามารถหาได้จากสูตร UWB 2 - ray Model คือ [17]

$$PL_{UWB}(d)[dB] = 20 \log \left[ \frac{\max |v_i(0)|}{\max |v_r(t)|} \right] \quad (4.10)$$

โดยที่

$v_i(0)$  คือ ค่าแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณที่ส่ง

$v_r(t)$  คือ ค่าแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณที่รับได้

ซึ่งเป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับสัญญาณ โดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังสองของสัญญาณจะลดลงตามค่า  $d^{-n}$  โดย  $d$  คือระยะทางระหว่างภาครับและภาคส่ง ส่วน  $n$  เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งมีขนาดแตกต่างกันไปตามสภาพของบริเวณที่สัญญาณส่งผ่าน โดยในการวิเคราะห์การสูญเสียของกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง เนื่องด้วยการถูกบดบังจากร่างกายมนุษย์ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารนั้น เราได้พิจารณาที่ตัวกำลังงานสูงสุดของสัญญาณที่ส่งและกำลังสูงสุดของสัญญาณที่รับได้

#### 4.3.4.3 ค่าประวิง เข้าถึงเฉลี่ย ( Mean excess delay)

สามารถหาได้จากสมการ

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^N a_i^2 \tau_i}{\sum_{i=1}^N a_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^N p_i \tau_i}{\sum_{i=1}^N p_i} \quad (4.11)$$

เมื่อ  $a_i$  คือแอมพลิจูดของสัญญาณเส้นทางที่  $i$

$\tau_i$  คือค่าเวลาประวิงของสัญญาณเส้นทางที่  $i$

$p_i$  คือค่ากำลังงานของสัญญาณเส้นทางที่  $i$

#### 4.3.4.4 ภาพตัดด้านข้างการประวิงกำลังงาน ( Power delay profile :PDP)

สำหรับภาพตัดด้านข้างกำลังงานสามารถเป็นพารามิเตอร์ที่แสดงให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับที่เวลาต่าง ๆ สามารถหาได้การคิดกำลังงานของแต่ละรังสี ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$p_i = v_n^2(t, d) \quad (4.12)$$

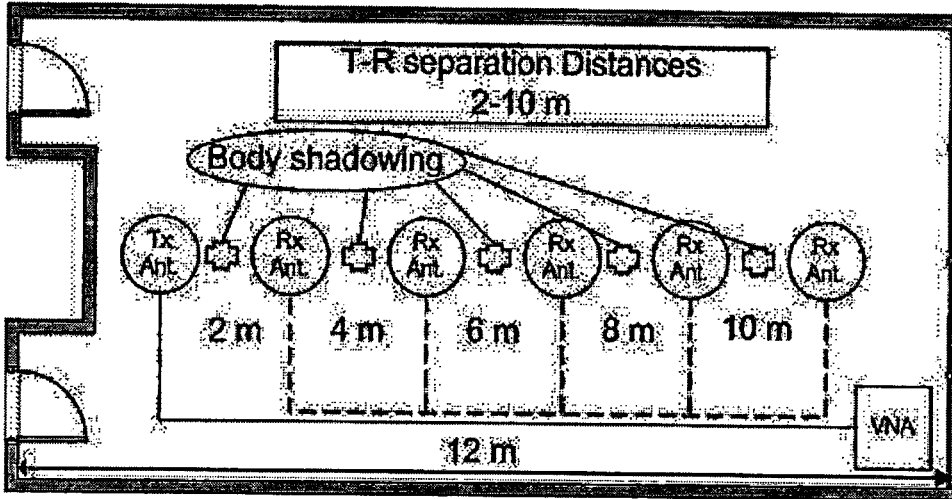
เมื่อ  $p_i$  คือค่ากำลังงานของสัญญาณเส้นทางที่  $i$

$v_n(t, d)$  คือค่าระดับสัญญาณที่รับได้ของเส้นทางที่  $i$

### 4.4 เปรียบเทียบผลจากแบบจำลองกับค่าจากการวัดสัญญาณจริง

#### 4.4.1 ขั้นตอนการวัด

สำหรับการวัดสัญญาณจริงเพื่อศึกษาผลกระทบจากการบดบังของร่างกายมนุษย์ที่มีต่อช่องสัญญาณ สำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งได้มีผู้เสนองานวิจัยไว้ในปี ค.ศ.2004 ซึ่งได้ทำการวัดสัญญาณโดยใช้สายอากาศส่งและสายอากาศรับที่มีชนิดเป็นสายอากาศไฮโคนิคอล และมีความสูง 1.5 เมตร ติดตั้งไว้ในห้อง ทำการวัดสัญญาณที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศตั้งแต่ 2 ถึง 10 เมตร โดยเพิ่มระยะห่างครั้งละ 2 เมตร ซึ่งทุกระยะจะมีการวัดสัญญาณทั้งกรณีที่ไม่มียุทธศาสตร์บดบังและกรณีที่มีมนุษย์บดบังสัญญาณ โดยกำหนดระยะห่างระหว่างร่างกายมนุษย์กับสายอากาศรับเป็น 1 เมตร ดังแผนผังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แผนผังอุปกรณ์ในการวัดสัญญาณจริง [2]

#### 4.4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดสัญญาณจริง

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการทดลอง ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดสัญญาณจริง

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	3 GHz- 11 GHz
จำนวนจุดของความถี่	1601 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.5 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.5 เมตร
ระยะห่างระหว่างด้านส่งกับด้านรับ	2,4,6,8,10 เมตร
การวางตัวของสายอากาศ	แนวตั้ง

#### 4.5 คุณลักษณะของช่องสัญญาณ [3]

ในการจำลองคุณลักษณะของช่องสัญญาณด้วยแบบจำลอง S-V เป็นการแสดงผลการตอบสนองอิมพัลส์แบบไม่ต่อเนื่องที่ได้จากสมการ

$$h(t) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \beta_{kl} e^{j\theta_{kl}} \delta(t - T_l - \tau_{kl}) \quad (4.13)$$

ซึ่ง  $\theta_k$  คือมุมเฟสที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง  $2\pi$  ซึ่งจำเป็นต้องหาค่าอัตราขยายเชิงวิถี (path gain :  $\beta_k$ ) และค่าเวลาการมาถึงของสัญญาณ  $\tau_k$  เพื่อแทนในสมการ (4.13) ได้ออกมาเป็นคุณลักษณะของช่องสัญญาณ

โดยแบบจำลอง S-V ได้มีการกำหนดค่าเวลาการมาถึงของสัญญาณ ด้วยลำดับปัวร์ซองที่มีค่าอัตราเวลาการมาถึงเฉลี่ยของสัญญาณเป็น  $\lambda$  และค่าอัตราเวลาการมาถึงเฉลี่ยของกลุ่มสัญญาณเป็น  $\Lambda$  สำหรับค่า  $\beta_{ik}$  สามารถหาได้จากโมเมนต์ฟังก์ชันของค่าเวลาการมาถึงของสัญญาณ เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยกำลังสอง เป็นต้น หากต้องการจำลองคุณลักษณะของช่องสัญญาณภายในอาคารที่มีระยะทางระหว่างตัวรับและตัวส่งเป็น  $r$  เมตร ในการหาค่า  $\tau_k$  และ  $\beta_{ik}$  มีขั้นตอนคือ

1. เริ่มจากการสร้างสัญญาณที่มีค่าเวลาการมาถึงของสัญญาณเป็น  $T_1, T_2, \dots$  โดยใช้การกระจายแบบเอกซ์โพเนนเชียล ดังสมการ

$$p(T_l | T_{l-1}) = \Lambda \exp[-\Lambda(T_l - T_{l-1})] \quad l > 0 \quad (4.14)$$

ด้วยค่า  $T_0 = 0$  โดยที่  $p(n) = (T_l - T_{l-1})^n \Lambda \exp[-\Lambda(T_l - T_{l-1})] / n!$  โดยที่  $n = 1, 2, 3, \dots$  เมื่อ  $n$  เป็นจำนวนกลุ่มสัญญาณ

2. สร้างสัญญาณที่มีค่าเวลาการมาถึงของสัญญาณเป็น  $\tau_1, \tau_2, \dots$  โดยสัญญาณเหล่านี้เป็นสัญญาณแต่ละสัญญาณที่อยู่ในกลุ่มสัญญาณเดียวกัน โดยใช้การกระจายแบบเอกซ์โพเนนเชียลสร้างสัญญาณจากสมการ

$$p(\tau_k | \tau_{k-1}) = \lambda \exp[-\lambda(\tau_k - \tau_{k-1})] \quad k > 0 \quad (4.15)$$

3. ประมาณค่ากำลังงานเฉลี่ยของรังสีแรกของกลุ่มสัญญาณแรก ที่สามารถหาได้จากสูตร

$$\overline{\beta^2(0,0)} = (\gamma\lambda)^{-1} G(1m)r^{-\alpha} \quad (4.16)$$

ซึ่ง ค่า  $G(1m)$  หาได้จาก สมการ

$$P_{rec} / P_{trans} = G_t G_r [\lambda_0 / 4\pi r]^2 \quad (4.17)$$

เมื่อ  $P_{rec}, P_{trans}$  คือค่ากำลังงานที่ภาครับและภาคส่งตามลำดับ และ  $G_t, G_r$  คืออัตราขยายของสายอากาศภาครับและภาคส่ง ตามลำดับ

โดยค่าอัตราขยายกำลังงานเฉลี่ยของสัญญาณจากหลายเส้นทาง (Gr) มีความสัมพันธ์กับค่าอัตราขยายเชิงวิถี คือ

$$\begin{aligned}\overline{G(r)} &= \lambda \int_0^{\infty} \overline{\beta^2(t)} dt \\ &= \gamma \lambda \overline{\beta^2(0,0)} \sum_{l=0}^L e^{-T_l/\Gamma}\end{aligned}\quad (4.18)$$

ซึ่งความสัมพันธ์นี้สามารถนำไปพล็อตเพื่อพิจารณาถึงความใกล้เคียงของแบบจำลองกับค่าจากการวัดได้ต่อไป เมื่อได้กลุ่มของสัญญาณที่ให้ผลใกล้เคียงกับผลจากการวัดแล้ว จะทำให้เราสามารถทราบค่าที่ใช้ในความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้น โดยจากความสัมพันธ์ดังกล่าวทำให้เราได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่

**1. อัตราการมาถึงของกลุ่มคลื่น (cluster arrival rate :  $\Lambda$ )** หมายถึง การมาถึงของกลุ่มคลื่นแรกของกลุ่มสัญญาณทั้งหมด ซึ่งเส้นทางที่มาอันดับแรกอาจจะไม่ใช่เส้นทางตรงก็ได้ เนื่องจากลักษณะทางเดินจากตัวส่งไปยังตัวรับอาจเป็นเส้นทางเดินที่ไม่เป็นเส้นตรง หลังจากนั้นกลุ่มถัดมาจะสามารถเดินทางมาถึงตัวรับโดยจำนวนของกลุ่มคลื่นและเวลาที่มาถึงจะขึ้นอยู่กับสถานที่ภายในห้องที่กำหนดไว้ให้ ซึ่งเราสามารถสังเกตได้จากการทดลอง

**2. อัตราการมาถึงของคลื่น (ray arrival rate :  $\lambda$ )** โดยการดูแต่ละรังสีจากภาพตัดด้านข้างประวิงกำลังงานเมื่อปรับให้ค่าอัตราการมาถึงของคลื่นมากขึ้น จะทำให้ค่าอัตราขยายเชิงวิถีเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้นจะต้องทำการหาค่าอัตราการมาถึงของคลื่นด้วยการกระจายแบบ Rayleigh ที่สามารถให้ค่ากำลังสองเฉลี่ยที่เหมาะสมได้

**3. แฟกเตอร์การลดลงของกลุ่มคลื่นและกลุ่มคลื่น ( $\gamma, \Gamma$ )** เป็นตัวแปรที่สามารถหาได้จากสมการ

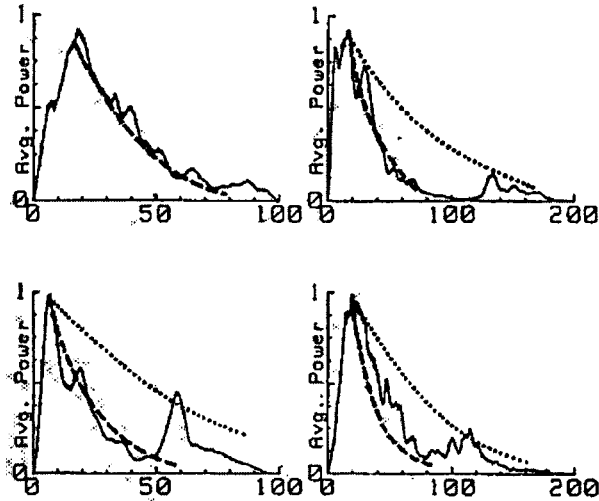
$$\frac{\overline{\beta_m^2(t)}}{\overline{\beta^2(0,0)} e^{-T_l/\Gamma} e^{-\tau_m/\gamma}} = \overline{\beta^2(T_l, \tau_m)} \quad (4.19)$$

และสมการ

$$\overline{\beta^2(t)} = \overline{\beta^2(0,0)} \sum_{l=0}^L e^{-T_l/\Gamma} e^{-\tau_m/\gamma} U(t - T_l) \quad (4.20)$$

เมื่อ  $U(t)$  เป็นฟังก์ชันหนึ่งหน่วย ซึ่งเท่ากับ 1 ที่  $t > 0$

จะเห็นว่าสมการทั้งสองได้แสดงถึงการลดลงของกำลังงานที่เป็นฟังก์ชันของเวลา โดยหาได้โดยการปรับแต่งรูปกราฟให้เข้าใกล้ผลจากการทดลองในแต่ละกลุ่มสัญญาณมากที่สุด ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.6



**รูปที่ 4.7** ค่าภาพตัดด้านข้างกำลังงานเฉลี่ย (average power profile) ของ 4 ห้อง ที่เส้นประแสดงถึงค่าเฟกเตอร์การลดลงของกำลังงานของคลื่นและกลุ่มคลื่น[3]

หลังจากที่ได้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 4 มาแล้วสามารถนำไปใช้แทนในสมการ (4.13) เพื่อสร้างผลตอบสนองของช่องสัญญาณได้ต่อไป

## 4.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงวิธีการทำนายผลการบดบังจากร่างกายมนุษย์สำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร ที่ได้มีการคิดค้นและศึกษาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย ซึ่งจะเห็นว่าการจะทราบถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งได้นั้นสามารถทำได้ด้วยวิธีต่างๆ มากมายแต่วิธีที่นิยมใช้กับสภาพแวดล้อมภายในอาคารคือใช้แบบจำลอง S-V งานวิจัยนี้จึงได้ใช้แบบจำลองนี้มาประยุกต์ใช้ ซึ่งในแบบจำลองนี้การกำหนดการสร้างสัญญาณโดยจำเป็นต้องอาศัยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของช่องสัญญาณ เช่น ค่าเวลาการมาถึงของกลุ่มสัญญาณ เป็นต้น โดยค่าเหล่านี้ได้จากการจำลองแบบ S-V กับสัญญาณที่ได้จากการทำนายผลการบดบังของร่างกายมนุษย์ด้วยหลักการของการติดตามรังสี ที่พิจารณาจากวิถีต่าง ๆ อันเกิดจากการส่งสัญญาณในแนวตรงและการสะท้อนจากผนังและกำแพง ด้วยหลักการของแบบจำลอง UWB 2-ray ที่พิจารณาคุณสมบัติต่าง ๆ ของสัญญาณ ได้แก่ ระดับสัญญาณของแต่ละรังสี เวลาและระยะในการเดินทางไปยังภาครับของแต่ละรังสี เป็นต้น และค่าต่างๆ ที่ได้จากแบบจำลองมีการเปรียบเทียบกับผลจาก

การทดลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของแบบจำลอง อันจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้กับ  
สภาวะแวดล้อมอื่น ๆ ได้ต่อไป

## บทที่ 5

# ผลการวิจัยและวิเคราะห์สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง

### 5.1 กล่าวนำ

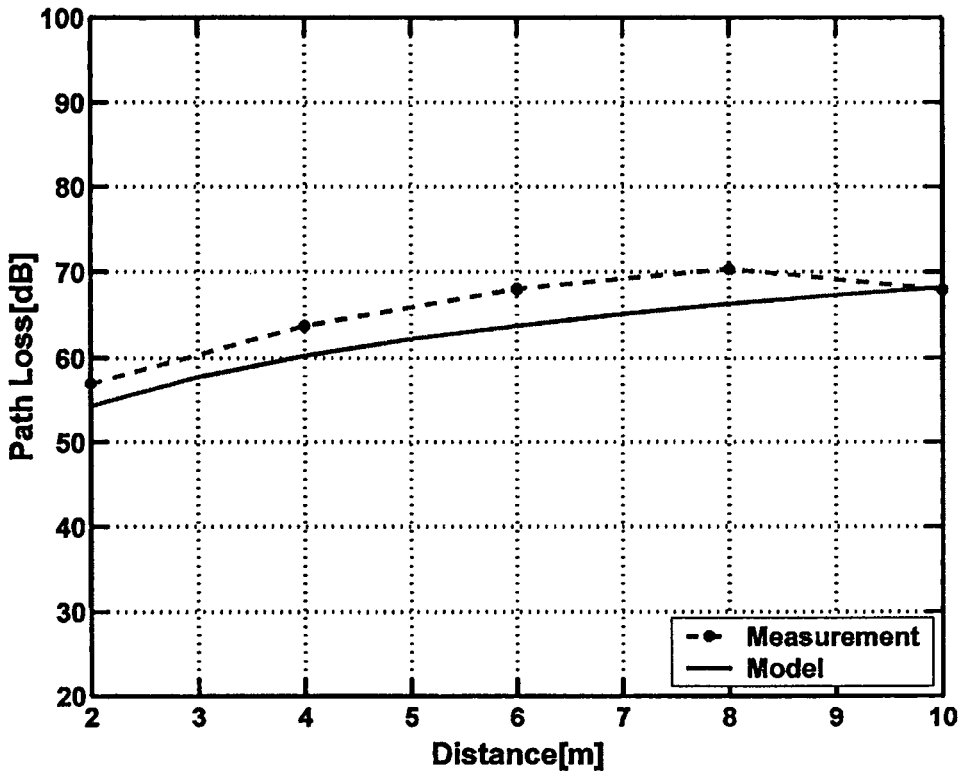
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลของการทำนายผลกระทบจากการบังคับของร่างกายมนุษย์สำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งภายใต้สภาวะแวดล้อมภายในอาคาร โดยใช้การจำลองแบบการติดตามรังสีวิธีตามรอยภาพ ซึ่งจะทำให้การจำลองการแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในอาคาร เริ่มต้นด้วยการหาวิธีการทำนายผลของการบังคับของร่างกายมนุษย์ด้วยหลักการของการติดตามรังสี ใน 2 มิติ หลังจากนั้นมีการปรับปรุงแบบจำลองให้พิจารณาสภาพแวดล้อมใน 3 มิติ รวมทั้งพิจารณาถึงอัตราการขยายของสายอากาศร่วมด้วย เพื่อให้สามารถทำนายผลกระทบดังกล่าวได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดจริงมากยิ่งขึ้นอันจะส่งผลให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น โดยผลที่ได้จากแบบจำลองตามหลักการการติดตามรังสีได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลอง S - V ด้วยการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ค่าคุณสมบัติทางเวลาของช่องสัญญาณ ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน อัตราการมาถึงของคลื่นและกลุ่มคลื่น แฟกเตอร์การลดลงของกลุ่มคลื่นและคลื่น ซึ่งรายละเอียดของผลการวิเคราะห์จะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

### 5.2 ผลการจำลองสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารที่พิจารณา 2 มิติ

ในแบบจำลองแรกนี้ได้ทำการจำลองสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งด้วยหลักการการติดตามรังสี ที่พิจารณาใน 2 มิติ ที่ใช้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง 5.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองสำหรับ 2 มิติ

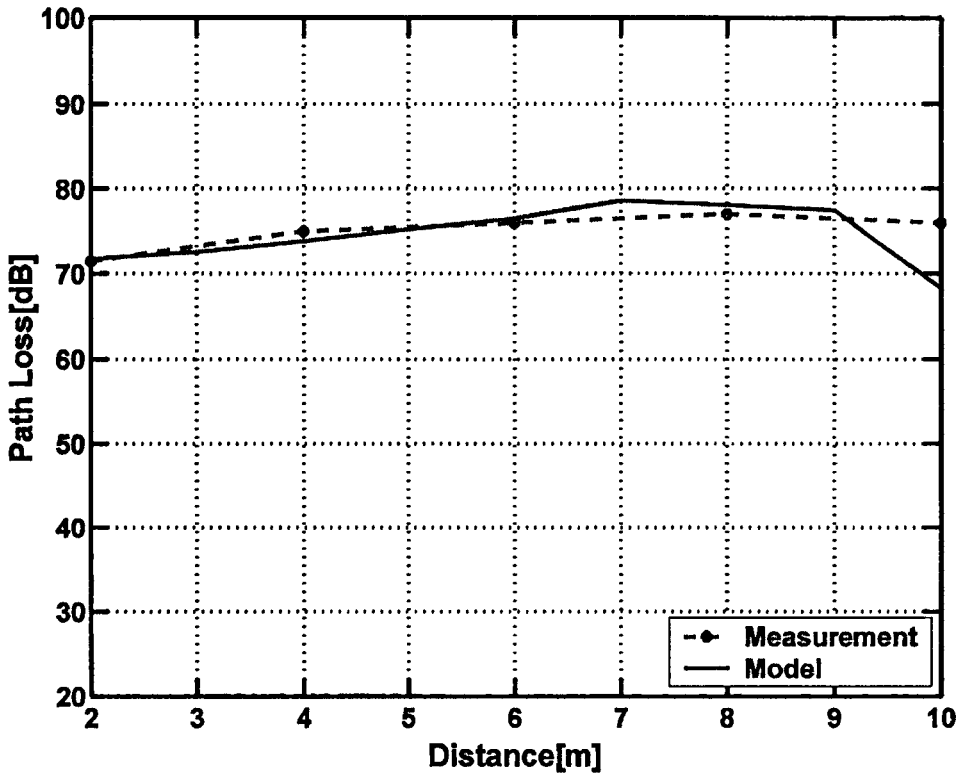
ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองสำหรับ 2 มิติ

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	3 GHz- 11 GHz
จำนวนจุดของความถี่	1601 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.5 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.5 เมตร
ระยะห่างระหว่างด้านส่งกับด้านรับ	2,4,6,8,10 เมตร
การวางตัวของสายอากาศ	แนวตั้ง



**รูปที่ 5.1** การสูญเสียเชิงวิถีกรณีของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่ง – เครื่องรับ ค่าต่าง ๆ ในกรณี  
ไม่มีร่างกายมนุษย์บดบัง

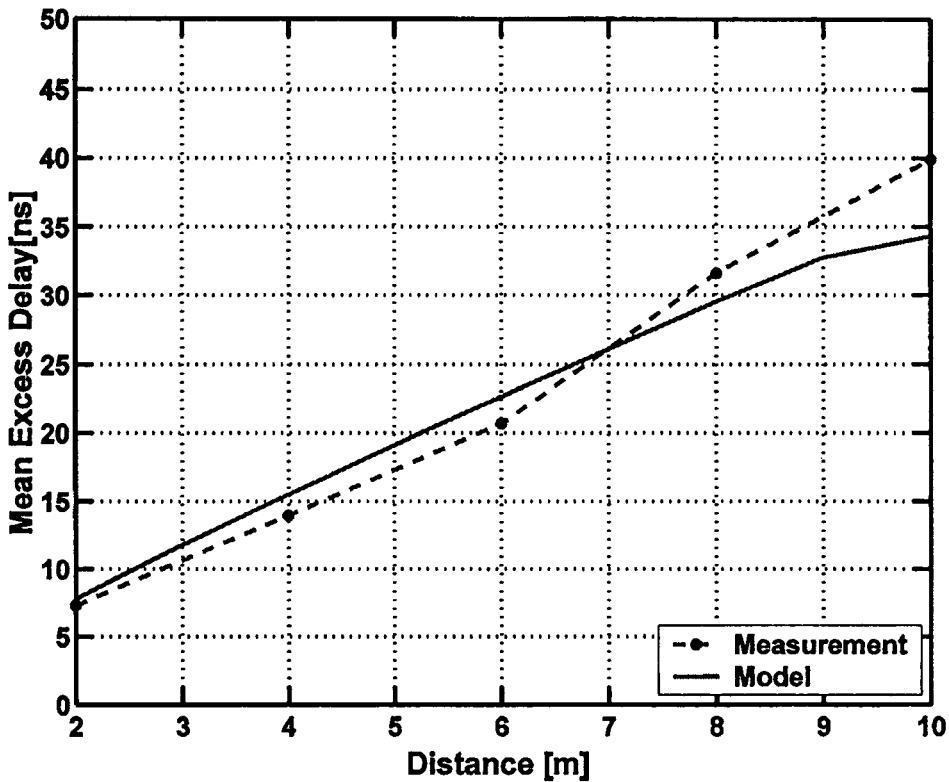
รูปที่ 5.1 แสดงการสูญเสียเชิงวิถีที่ได้มาจากแบบจำลองซึ่งจำลองด้วยหลักการการติดตามรังสีเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัดจริง สำหรับกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์บดบังสัญญาณ ซึ่งทำที่ระยะทางระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่ง 2-10 เมตร จากรูปจะเห็นว่า การสูญเสียเชิงวิถีที่ได้จากแบบจำลองการติดตามรังสี นั้นมีค่าใกล้เคียงกันมากกับค่าที่ได้จากการวัดจริง โดยมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดเพียง 4.21 dB ผิดพลาดน้อยที่สุดเพียง 0.27 dB และค่าเฉลี่ยความผิดพลาดเท่ากับ 2.94 dB ดังนั้นจึงสามารถยืนยันได้ว่าการจำลองด้วยหลักการการติดตามรังสี จึงสามารถใช้ในการจำลองการสูญเสียเชิงวิถีของช่องสัญญาณได้อย่างน่าเชื่อถือ



**รูปที่ 5.2** การสูญเสียเชิงวิถีกรณีของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่ง – เครื่องรับ ค่าต่าง ๆ ในกรณีมีร่างกายมนุษย์บัง

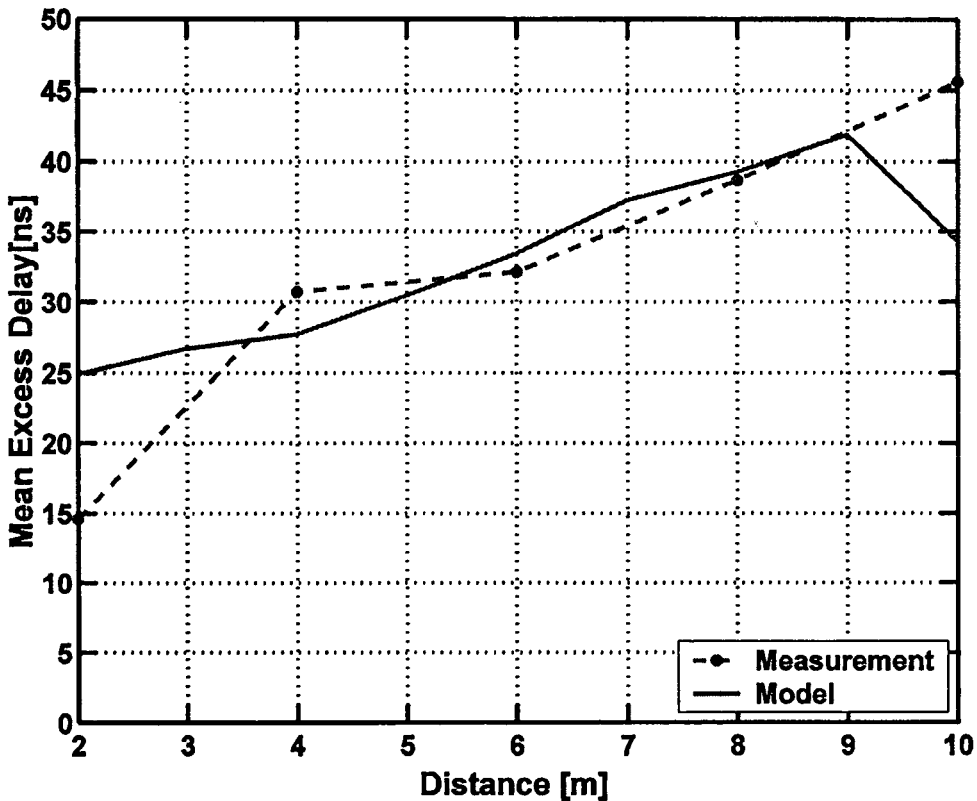
รูปที่ 5.2 แสดงการสูญเสียเชิงวิถีที่ได้มาจากแบบจำลองซึ่งจำลองด้วยหลักการการติดตามรังสีเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัดจริง สำหรับกรณีที่มีร่างกายมนุษย์บังสัญญาณ ที่ทำที่ระยะทางระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่ง 2 - 10 เมตร จากรูปจะเห็นว่า การสูญเสียเชิงวิถีที่ได้จากแบบจำลองด้วยหลักการติดตามรังสี นั้นมีค่าใกล้เคียงกันมากกับค่าที่ได้จากการวัดจริง โดยมีค่าความผิดพลาดมากที่สุด 7.73 dB ผิดพลาดน้อยที่สุดเพียง 0.28 dB และค่าเฉลี่ยความผิดพลาดเท่ากับ 2.16 dB ดังนั้นจึงสามารถยืนยันได้ว่าการจำลองการติดตามรังสี จึงสามารถใช้ในการจำลองการสูญเสียเชิงวิถีของช่องสัญญาณได้อย่างน่าเชื่อถือ

หากจะเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างกรณีมีร่างกายมนุษย์บังสัญญาณกับกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์บังสัญญาณ เพื่อหาผลกระทบจากการบังของร่างกายมนุษย์ที่เกิดขึ้น พบว่า กรณีวัดจริงการบังของร่างกายมนุษย์ทำให้เกิดการสูญเสียเชิงวิถีที่เพิ่มมากขึ้น ตั้งแต่ 6.68 dB ถึง 14.49 dB หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยของค่าการสูญเสียเชิงวิถีเพิ่มมากขึ้น 9.67 dB ส่วนกรณีการจำลองสัญญาณแบบการติดตามรังสีการบังของร่างกายมนุษย์ทำให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน โดยอยู่ในช่วง 0.01 dB ถึง 17.47 dB หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยของค่าการสูญเสียเชิงวิถีเพิ่มมากขึ้น 11.10 dB ซึ่งจะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยของค่าการสูญเสียเชิงวิถีจากการจำลองนี้ แตกต่างกับค่าที่ได้จากการวัดจริงเพียง 1.43 dB แสดงว่าแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ



**รูปที่ 5.3** ค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ยช่องสัญญาณกรณีของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่ง – เครื่องรับ  
ค่าต่างๆ ในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์บดบัง

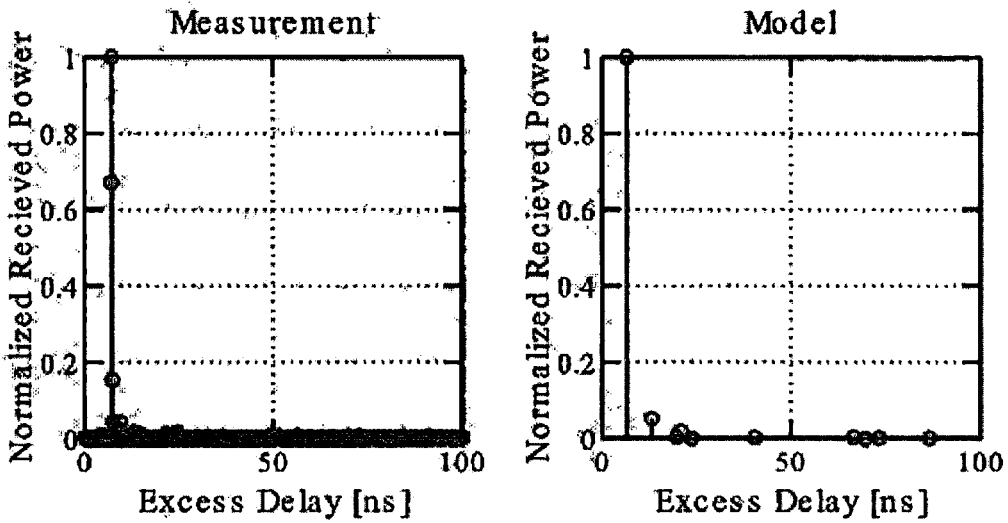
รูปที่ 5.3 แสดงค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ยที่ได้มาจากแบบจำลองซึ่งจำลองด้วยหลักการการติดตามรังสีเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัดจริง สำหรับกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์บดบังสัญญาณ ที่ทำที่ระยะทางระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่ง 2-10 เมตร จากรูปจะเห็นว่า ค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง การติดตามรังสี นั้นมีค่าใกล้เคียงกันมากกับค่าที่ได้จากการวัดจริง โดยมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดเพียง 5.55 นาโนวินาที ผิดพลาดน้อยที่สุดเพียง 0.48 นาโนวินาที และค่าเฉลี่ยความผิดพลาดเท่ากับ 2.33 นาโนวินาที ดังนั้นจึงสามารถยืนยันได้ว่าการจำลองการติดตามรังสี จึงสามารถใช้ในการจำลองค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ยของช่องสัญญาณได้อย่างน่าเชื่อถือ



**รูปที่ 5.4** ค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ยของสัญญาณกรณีของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่ง – เครื่องรับ ค่าต่างๆ ในกรณีมีร่างกายมนุษย์บัง

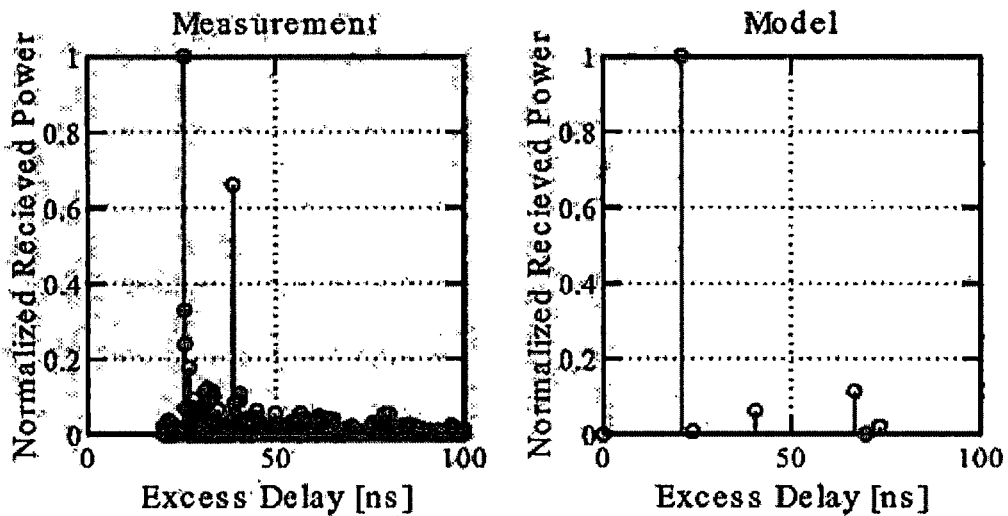
รูปที่ 5.4 แสดงค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ยของสัญญาณที่ได้มาจากแบบจำลองแบบ การติดตามรังสี เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัดจริง สำหรับกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์บังสัญญาณ ที่ทำที่ระยะทาง ระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่ง 2-10 เมตร จากรูปจะเห็นว่าค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองด้วย หลักการการติดตามรังสี นั้นมีค่าใกล้เคียงกันมากกับค่าที่ได้จากการวัดจริง โดยมีค่าความผิดพลาดมากที่สุด 11.32 นาโนวินาที ผิดพลาดน้อยที่สุดเพียง 0.58 นาโนวินาที และค่าเฉลี่ยความผิดพลาดเท่ากับ 5.32 นาโนวินาที

หากจะเปรียบเทียบค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ยระหว่างกรณีมีร่างกายมนุษย์บังสัญญาณกับกรณีไม่มี ร่างกายมนุษย์บังสัญญาณ เพื่อหาผลกระทบจากการบดบังของร่างกายมนุษย์ที่เกิดขึ้น พบว่า กรณีการวัด สัญญาณจริงนั้น การบดบังของร่างกายมนุษย์ทำให้เกิดค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ยที่เพิ่มมากขึ้น 5.72 นาโนวินาที ถึง 11.46 นาโนวินาที หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยของค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น 9.66 นาโนวินาที ส่วนกรณี การจำลองสัญญาณตามหลักการการติดตามรังสี การบดบังของร่างกายมนุษย์ทำให้ค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ย เพิ่ม มากขึ้นด้วยเช่นกัน โดยอยู่ในช่วง 0.05 ถึง 17.13 นาโนวินาที หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยของค่าประวิงเข้าถึง เฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น 9.97 นาโนวินาที ซึ่งจะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยของค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ยจากการจำลองนี้ แตกต่าง กับค่าที่ได้จากการวัดจริงเพียง 0.31 นาโนวินาที แสดงว่าแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือสูง



รูปที่ 5.5 ภาพตัดด้านข้างกำลังงานของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่ง – รับ 2 เมตร ในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์คบัง

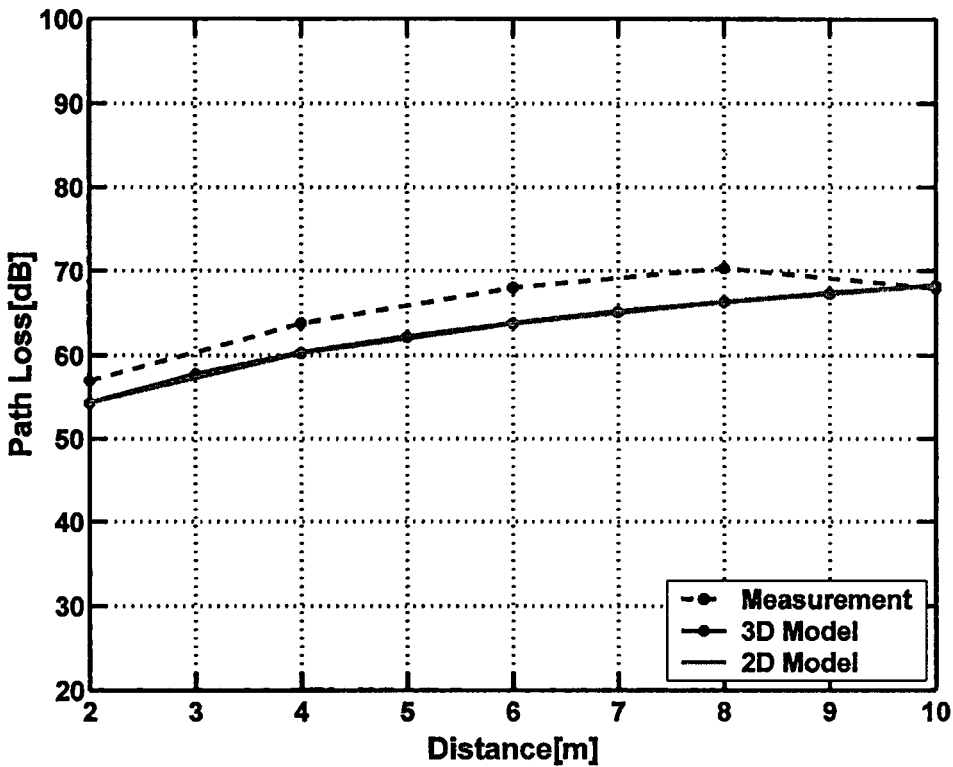
รูปที่ 5.5 แสดงภาพตัดด้านข้างกำลังงานช่องสัญญาณที่จำลองด้วยหลักการการติดตามรังสี โดยมีระยะห่างระหว่างเครื่องส่งถึงเครื่องรับ เป็น 2 เมตร ส่งสัญญาณโดยภายในห้องไม่มีร่างกายมนุษย์คบัง เมื่อพิจารณาผลจากแบบจำลองแล้วพบว่า สัญญาณสำคัญซึ่งเป็นสัญญาณที่มีค่ากำลังมากที่สุดได้เดินทางมายังภากรับ ด้วยเวลา 10 นาโนวินาที เช่นเดียวกับผลที่ได้จากการวัดจริง



รูปที่ 5.6 ภาพตัดด้านข้างกำลังงานของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่ง – รับ 2 เมตร ในกรณีมีร่างกายมนุษย์คบัง

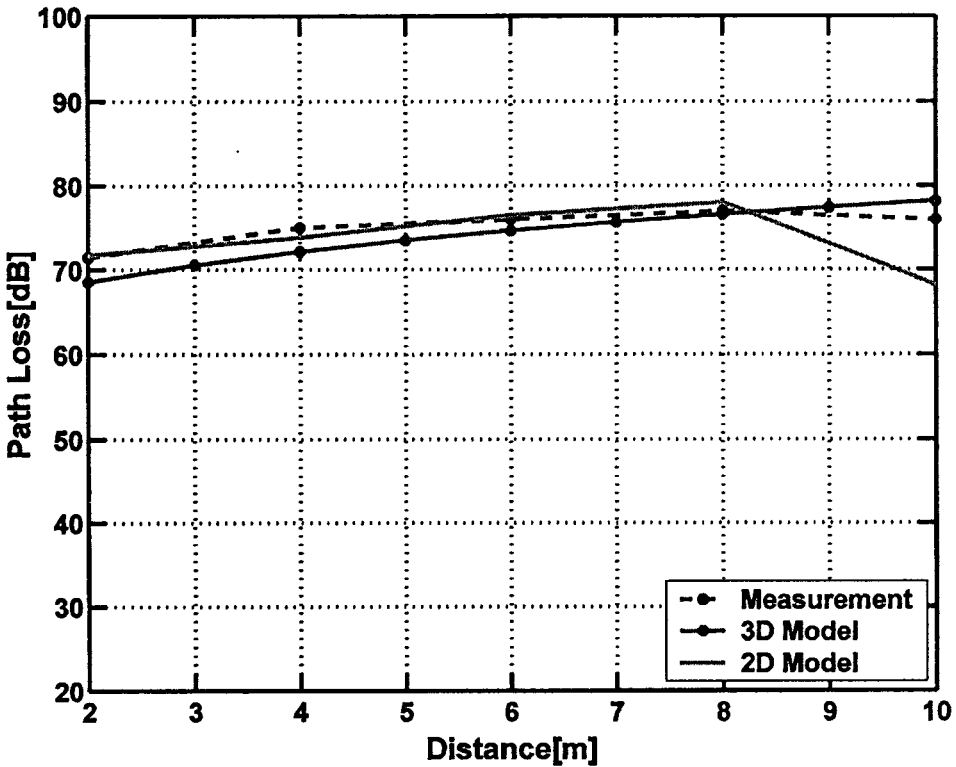
รูปที่ 5.6 แสดงภาพตัดด้านข้างกำลังงานช่องสัญญาณที่จำลองแบบ การติดตามรังสี โดยมีระยะห่างระหว่างเครื่องส่ง ถึงเครื่องรับ เป็น 2 เมตร ส่งสัญญาณโดยภายในห้องมีร่างกายมนุษย์คบัง เมื่อพิจารณาผลจากแบบจำลองแล้วพบว่า สัญญาณสำคัญซึ่งเป็นสัญญาณที่มีค่ากำลังมากที่สุดได้เดินทางมายังภากรับ ด้วยเวลา 20 นาโนวินาที เช่นเดียวกับผลที่ได้จากการวัดจริง

### 5.3 ผลการจำลองสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารที่พิจารณา 3 มิติ และพิจารณาค่าอัตราขยายของสายอากาศ



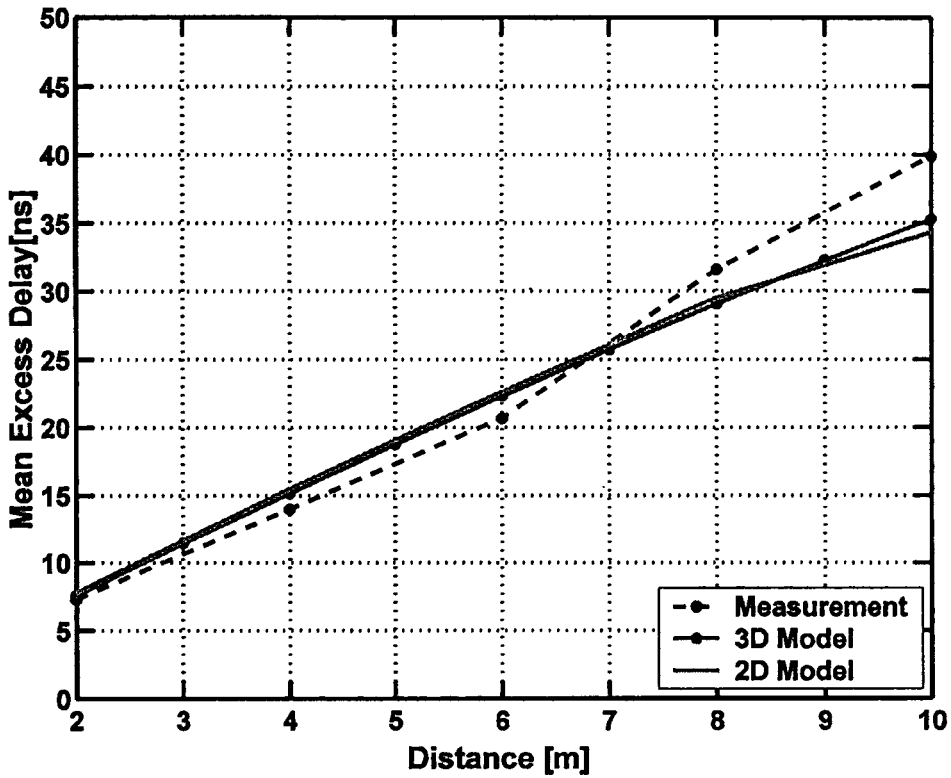
**รูปที่ 5.7** การสูญเสียเชิงวิถีของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่ง – เครื่องรับ ค่าต่าง ๆ ในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์คบัง พิจารณาใน 3 มิติ

รูปที่ 5.7 แสดงการสูญเสียเชิงวิถีของช่องสัญญาณในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์คบัง ซึ่งพิจารณาในสภาวะแวดล้อม 3 มิติ จะเห็นว่า ค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่ได้ในที่นี้มีค่าเท่ากับค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่ได้จากการพิจารณาในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารแบบ 2 มิติ ทั้งนี้เนื่องจากการปรับปรุงการพิจารณาดังกล่าวเป็น 3 มิติ เป็นการเพิ่มรังสีที่สามารถเดินทางไปยังสายอากาศภาครับให้มีจำนวนมากขึ้นเพื่อความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น และในการพิจารณาค่าสูญเสียเชิงวิถีของช่องสัญญาณในแต่ละระยะจะพิจารณาจากค่ากำลังงานที่มากที่สุดที่สามารถรับได้ ซึ่งเป็นสัญญาณในที่เกิดทางมาในวิถีตรง ดังนั้นการเพิ่มเป็น 3 มิติจึงไม่มีผล เนื่องจากรังสีที่เพิ่มในส่วนของ 3 มิติไม่ได้เป็นรังสีที่มีค่ากำลังงานสูงจึงไม่ได้ส่งผลให้การสูญเสียเชิงวิถีเปลี่ยนไป



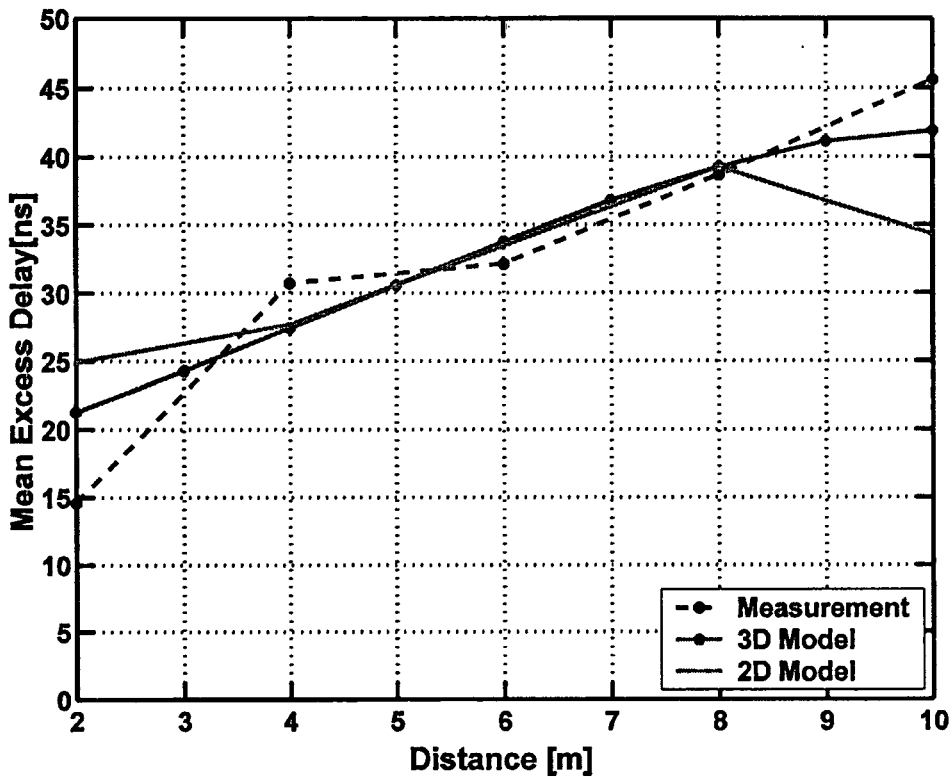
รูปที่ 5.8 การสูญเสียเชิงวิถีกรณีของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่ง – เครื่องรับ ค่าต่าง ๆ ในกรณี มีร่างกายมนุษย์บัง พิจารณาใน 3 มิติ

รูปที่ 5.8 การสูญเสียเชิงวิถีกรณีของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่ง – เครื่องรับ ค่าต่าง ๆ ในกรณีมีร่างกายมนุษย์บัง พิจารณาใน 3 มิติ เมื่อพิจารณาค่าที่ได้จาก 2 มิติ พบว่า ค่าความแตกต่างระหว่างผลจาก 2 มิติกับผลจากการวัดจริงมีค่ามากที่สุดเป็น 7.73 dB และคิดเป็นค่าเฉลี่ย 2.16 dB ส่วนผลจาก 3 มิติ ห่างจากค่าจากการวัดจริงมากที่สุด 2.88 dB และคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.94 dB จะเห็นว่า มีค่าน้อยกว่าค่าจากแบบจำลอง 2 มิติอยู่มาก นั่นคือการปรับปรุงเป็น 3 มิติทำให้การจำลองใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่ง – เครื่องรับมีค่า 10 เมตร ค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่พิจารณาใน 3 มิติมีค่าใกล้เคียงกับค่าจากการวัดจริงมากกว่ากรณี 2 มิติอยู่มาก



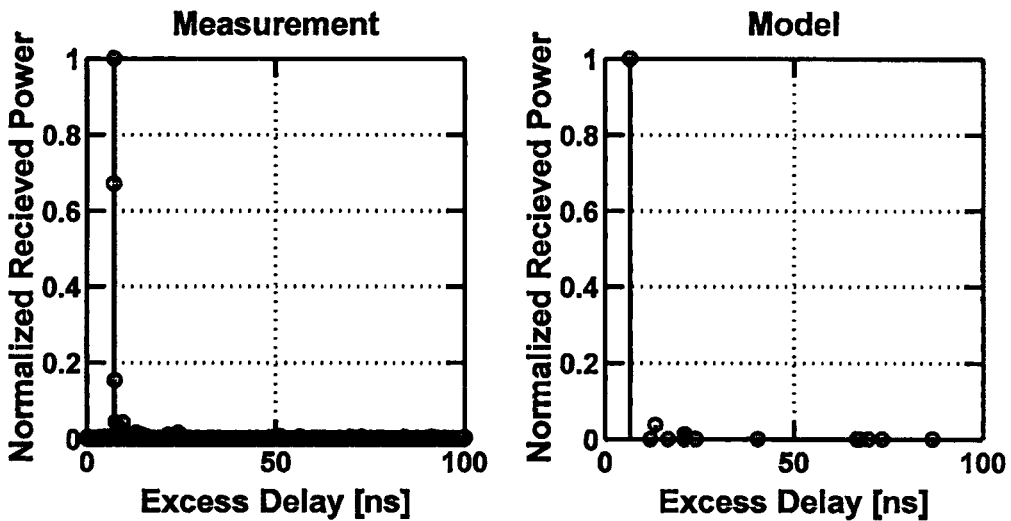
รูปที่ 5.9 ค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ยของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่ง – เครื่องรับ ค่าต่าง ๆ ในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์คบัง พิจารณาใน 3 มิติ

รูปที่ 5.9 ค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ยของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่ง – เครื่องรับ ค่าต่าง ๆ ในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์คบัง พิจารณาใน 3 มิติ จะเห็นว่าเมื่อปรับปรุงแบบจำลองเป็น 3 มิติจะให้ผลใกล้เคียงกับค่าจากการวัดมากขึ้นคือ ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างระหว่างการจำลอง 2 มิติกับผลการวัดมีค่าเป็น 2.33 นาโนวินาที แต่เมื่อปรับปรุงแบบจำลองเป็น 3 มิติแล้วพบว่าค่าความแตกต่างลดลงเหลือ 2.04 นาโนวินาที



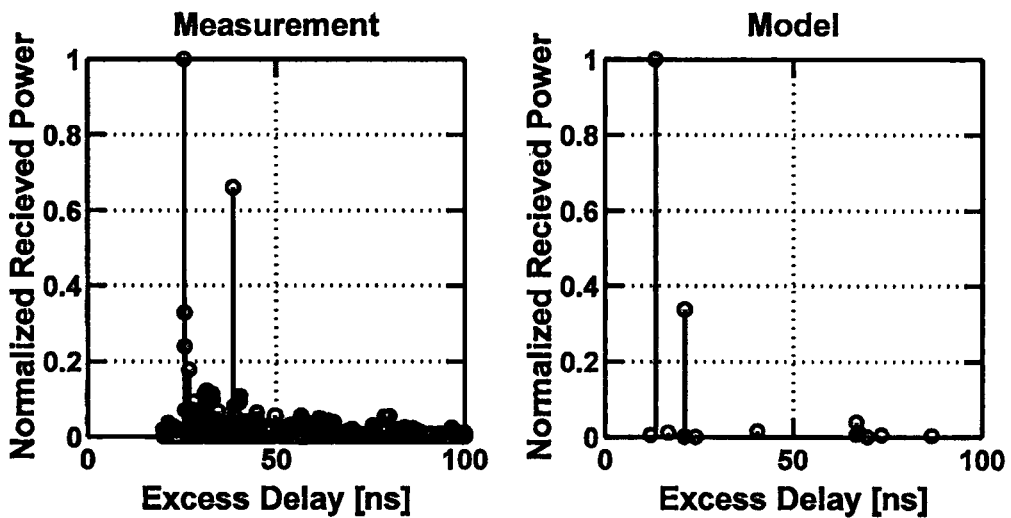
**รูปที่ 5.10** ค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ยของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่ง – เครื่องรับ ค่าต่าง ๆ ในกรณีมีร่างกายมนุษย์คบัง พิจารณาใน 3 มิติ

รูปที่ 5.10 ค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ยของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่ง – เครื่องรับ ค่าต่าง ๆ ในกรณีมีร่างกายมนุษย์คบัง พิจารณาใน 3 มิติ จะเห็นว่าเมื่อปรับปรุงแบบจำลองเป็น 3 มิติจะให้ผลใกล้เคียงกับค่าจากการวัดมากขึ้นคือ ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างระหว่างการจำลอง 2 มิติกับผลการวัดมีค่าเป็น 5.32 นาโนวินาที แต่เมื่อปรับปรุงแบบจำลองเป็น 3 มิติแล้วพบว่าค่าความแตกต่างลดลงเหลือ 3.18 นาโนวินาที



รูปที่ 5.11 ภาพตัดด้านข้างกำลังงานของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่ง – รับ 2 เมตร ในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์คบัง พิจารณาใน 3 มิติ

รูปที่ 5.11 แสดงภาพตัดด้านข้างกำลังงานของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่ง – รับ 2 เมตร ในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์คบัง พิจารณาใน 3 มิติ สังเกตจากรูปพบว่า จำนวนสัญญาณที่เดินทางมายังภาครับมีหลายสัญญาณ โดยเฉพาะสัญญาณสำคัญ เดินทางมาถึงภาครับโดยใช้เวลาประมาณ 10 นาโนวินาที ที่ใกล้เคียงกับผลจากการวัดมาก

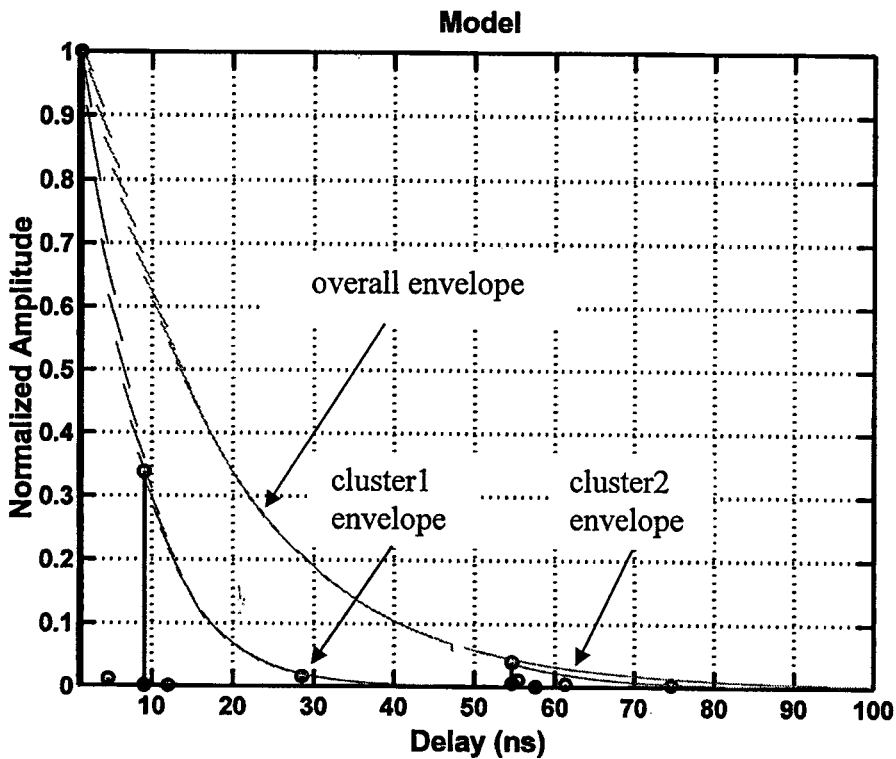


รูปที่ 5.12 ภาพตัดด้านข้างกำลังงานของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่ง – รับ 2 เมตร ในกรณีมีร่างกายมนุษย์คบัง พิจารณาใน 3 มิติ

รูปที่ 5.12 แสดงภาพตัดด้านข้างกำลังงานของช่องสัญญาณ ที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่ง – รับ 2 เมตร ในกรณีมีร่างกายมนุษย์คบัง พิจารณาใน 3 มิติ สังเกตจากรูปพบว่า จำนวนสัญญาณที่เดินทางมายัง

ภาครับมีหลายสัญญาณ โดยเฉพาะสัญญาณสำคัญซึ่งค่ากำลังงานสูงจำนวน 2 สัญญาณ ซึ่งมีลักษณะเดียวกับสัญญาณที่ได้จากการวัด โดยเวลาที่ทั้งสองสัญญาณเดินทางมายังภาครับก็ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการวัดจริง

#### 5.4 ผลการจำลองสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารที่ประยุกต์ร่วมกับแบบจำลอง S-V



รูปที่ 5.13 การแบ่งกลุ่มสัญญาณจากแบบจำลองแบบ การติดตามรังสี ด้วยหลักการของแบบจำลอง S-V

รูปที่ 5.13 แสดงการแบ่งกลุ่มสัญญาณจากแบบจำลองแบบการติดตามรังสี ด้วยหลักการของ S-V model ที่ได้แบ่งกลุ่มสัญญาณออกเป็น 2 กลุ่ม แล้วหาค่าพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลอง S-V ซึ่งมีค่าต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากการบดบังของร่างกายมนุษย์

พารามิเตอร์ของแบบจำลองช่องสัญญาณ	ค่า
อัตราการมาถึงของกลุ่มคลื่น (cluster arrival rate) $\Lambda$ (1/nsec)	1.1
อัตราการมาถึงของคลื่น (ray arrival rate) $\lambda$ (1/nsec)	1.2
แฟกเตอร์การลดลงของกลุ่มคลื่น (cluster decay factor) $\Gamma$	17
แฟกเตอร์การลดลงของคลื่น (Ray decay factor) $\gamma$	7
เบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)	25.13

## 5.5 สรุป

ในบทนี้ได้ทำแบบจำลองการแพร่กระจายภายในอาคารของช่องสัญญาณ UWB ด้วยหลักการติดตามรังสี ในการจำลองการแพร่กระจายสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่เดินทางจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับในแนวตรง แนวสะท้อน 1 ครั้งและ 2 ครั้ง โดยเริ่มต้นที่การพิจารณาสิ่งแวดล้อมใน 2 มิติ ที่ให้ผลใกล้เคียงกับผลจากการทดลอง หลังจากนั้นได้ทำการปรับปรุงแบบจำลองให้พิจารณาสิ่งแวดล้อมใน 3 มิติ ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับค่าจากการทดลองมากขึ้น เนื่องจากมีสัญญาณที่สามารถเดินทางมายังภาครับมีมากขึ้น เมื่อได้สัญญาณต่าง ๆ ที่สามารถเดินทางมาภาครับได้แล้ว คุณลักษณะของช่องสัญญาณนี้ได้ถูกแบ่งเป็นกลุ่มของสัญญาณด้วยหลักการของแบบจำลอง S-V เพื่อหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองออกมา ดังนั้นผลที่ได้นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการพิจารณาคูณลักษณะของช่องสัญญาณต่อไปได้

## บทที่ 6

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 6.1 กล่าวนำ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอถึงแบบจำลองการบดบังของร่างกายมนุษย์สำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งด้วยสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร โดยที่แบบจำลองนี้ได้อาศัยหลักการของการติดตามรังสีและแบบจำลอง S-V ในการทำนายผลกระทบจากการบดบังของร่างกายมนุษย์ออกมาในรูปแบบของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของคุณลักษณะของช่องสัญญาณ ซึ่งการจำลองนี้สามารถทำได้อย่างง่าย สะดวก ประหยัดและรวดเร็วกว่าการวัดสัญญาณจริง และผลที่ได้มีความใกล้เคียงกับผลจากการวัดสัญญาณจริง อีกทั้งยังสามารถใช้จำลองสัญญาณได้แม้ว่าสภาพแวดล้อมภายนอกจะเปลี่ยนไป เนื่องจากในแบบจำลองมีการกำหนดตัวแปรที่สามารถแปรเปลี่ยนค่าได้ เช่น ขนาดของห้อง วัสดุของผนังห้อง ขนาดและความสูงของคน เป็นต้น และเพื่อให้ผลลัพธ์จากแบบจำลองสามารถนำไปใช้งานได้อย่างแพร่หลาย จึงได้มีการประยุกต์ใช้กับแบบจำลอง S-V ซึ่งจะสามารถสร้างเป็นผลตอบสนองของช่องสัญญาณหรือคุณลักษณะของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งต่อไปได้

### 6.2 สรุปผลการจำลองสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารที่พิจารณาใน 2 มิติ

การจำลองสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง เพื่อการศึกษาถึงผลกระทบจากการบดบังของร่างกายมนุษย์นั้นสามารถแสดงผลด้วยคุณลักษณะของช่องสัญญาณในรูปแบบของพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ค่าการสูญเสียเชิงวิถี ค่าการประวิงเข้าถึงเฉลี่ย ภาพตัดด้านข้างกำลังงาน เป็นต้น ซึ่งจากการจำลองคุณลักษณะของช่องสัญญาณทั้งในกรณีพิจารณาร่างกายมนุษย์บดบังและไม่มีร่างกายมนุษย์ที่บดบัง พบว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถีและค่าการประวิงเข้าถึงเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางระหว่างตัวรับและตัวส่งเพิ่มขึ้น ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าที่ได้จากการวัดจริง และผลจากการจำลองจะมีความแตกต่างจากผลที่ได้จากการวัดจริงเพียงเล็กน้อย โดยเฉพาะกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์บดบังจะให้ค่าความแตกต่างระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าจากการวัดจริงของค่าการสูญเสียเชิงวิถีโดยเฉลี่ย 2.16 dB ซึ่งผลมีความใกล้เคียงกับผลจากการวัดจริงมากกว่ากรณีที่ไม่มีมนุษย์บดบังสัญญาณอยู่ประมาณ 2.9 dB และหากจะวิเคราะห์หาผลกระทบที่เกิดจากการบดบังของร่างกายมนุษย์ที่ได้จากการจำลอง พบว่า การบดบังของร่างกายมนุษย์ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศรับกับส่งระยะต่าง ๆ ทำให้เกิดการสูญเสียเชิงวิถีเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 11.10 dB และทำให้ค่าการประวิงเข้าถึงเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 9.97 นาโนวินาที ซึ่งมีความใกล้เคียงกับผลกระทบที่วิเคราะห์ได้จากการวัดจริงมาก กล่าวคือ ผลกระทบจากการบดบังจากร่างกายมนุษย์ที่ได้จากการจำลองแตกต่างกับผลที่ได้จากการวัดจริงน้อยมากแตกต่างกันเพียง 1.43 dB สำหรับค่าการสูญเสียเชิงวิถี และ 0.37 นาโนวินาที สำหรับค่าประวิง

เข้าถึงเฉลี่ย สำหรับภาพตัดด้านข้างกำลังงานของช่องสัญญาณ พบว่า เวลาที่สัญญาณหลักเดินทางมาถึง สายอากาศตัวรับ มีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดจริง กล่าวคือ ในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์บดบัง เวลา การมาถึงของสัญญาณแรกเป็น 10 นาโนวินาที และกรณีมีร่างกายมนุษย์บดบังค่าเวลาดังกล่าวเป็น 20 นาโน วินาที ซึ่งผลทั้งสองนี้ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการวัดจริงอยู่มาก

หากพิจารณาจากผลที่ได้ จะพบว่า แบบจำลองสามารถให้ผลการจำลองใกล้เคียงกับผลจากการวัดจริงค่อนข้างสูง แต่จะพบข้อผิดพลาดของแบบจำลองในกรณีที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งและ ตัวรับมีค่าสูงซึ่งจะให้ผลการจำลองค่อนข้างผิดพลาดไปจากค่าจากการวัดจริง ทำให้ต้องมีการปรับปรุง แบบจำลองเป็นการพิจารณาที่ทำในสภาวะแวดล้อม 3 มิติ รวมทั้งพิจารณาถึงค่าอัตราขยายของสายอากาศ ด้วย

### 6.3 สรุปผลการจำลองสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารที่พิจารณาใน 3 มิติ และพิจารณา ค่าอัตราขยายของสายอากาศร่วมด้วย

หลังจากที่พบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการจำลองผลกระทบจากการบดบังของร่างกายมนุษย์ใน 2 มิติ ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงการจำลองผลกระทบให้พิจารณาสัญญาณในสภาวะแวดล้อม 3 มิติ เพื่อให้ แบบจำลองสามารถจำลองผลได้ใกล้เคียงกับผลจากการวัดจริงมากยิ่งขึ้น อันจะส่งผลให้แบบจำลองมีความ น่าเชื่อถือมากขึ้น รวมทั้งได้มีการพิจารณาถึงตัวแปรที่สำคัญของการพิจารณาการแพร่กระจายของคลื่น ซึ่ง ได้แก่ ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่มีผลต่อการรับส่งสัญญาณ ไร้สาย และเมื่อปรับปรุงให้แบบจำลอง พิจารณาสัญญาณใน 3 มิติแล้ว แบบจำลองสามารถจำลองผลกระทบจากการบดบังของร่างกายมนุษย์ได้ ใกล้เคียงกับค่าจากการวัดจริงมากกว่าการจำลองที่ทำใน 2 มิติ กล่าวคือ แบบจำลองที่พิจารณาใน 3 มิติ สามารถจำลองค่าการสูญเสียเชิงวิถีแตกต่างจากค่าจากการวัดจริงโดยเฉลี่ยเป็น 1.94 dB ใกล้เคียงกว่าที่ แบบจำลอง 2 มิติสามารถทำได้อยู่ 0.22 dB และสามารถจำลองค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ยเข้าใกล้ค่าจากการวัดจริงมากกว่าที่แบบจำลอง 2 มิติทำได้ด้วยเช่นกัน กล่าวคือ แบบจำลอง 3 มิติสามารถจำลองค่าประวิงเข้าถึง เฉลี่ยแตกต่างจากค่าจากการวัดจริงโดยเฉลี่ยเป็น 3.18 นาโนวินาที ใกล้เคียงกับค่าจากการวัดจริงที่ แบบจำลอง 2 มิติ สามารถทำได้อยู่ 2.14 นาโนวินาที และหากพิจารณาถึงภาพตัดด้านข้างกำลังงานของ ช่องสัญญาณที่จำลองด้วยแบบจำลอง 3 มิติ พบว่าจำนวนสัญญาณที่เข้ามาสู่ภาครับมีมากขึ้นกว่าการจำลอง ใน 2 มิติ และจำนวนสัญญาณหลักที่เดินทางมาถึงภาครับที่จำลองได้ใน 3 มิติ ใกล้เคียงกว่าการจำลองใน 2 มิติ ซึ่งจะเห็นได้ชัดในกรณีของการพิจารณาช่องสัญญาณเมื่อมีร่างกายมนุษย์บดบังสัญญาณจะให้สัญญาณที่มี กำลังงานสูงจำนวน 2 สัญญาณ และมีสัญญาณกำลังต่ำอีกมากมาย ซึ่งมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดจริงมากกว่าการจำลองด้วยแบบจำลอง 2 มิติ เมื่อได้ผลที่ใกล้เคียงกับผลจากการวัดจริงแล้วทำให้สรุปได้ว่า แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือค่อนข้างสูง โดยผลเหล่านี้สามารถนำไปใช้งานได้อย่างแพร่หลายกว้างขวาง หากมีการพิจารณาด้วยแบบจำลอง S-V ซึ่งรายละเอียดได้นำเสนอในหัวข้อถัดไป

## 6.4 สรุปผลการจำลองสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งด้วยแบบจำลอง S – V

จากผลการทดลองพบว่า แบบจำลองได้ทำการจำลองผลจากการบังคับของร่างกายมนุษย์ออกมาในลักษณะของคุณลักษณะช่องสัญญาณ ซึ่งพารามิเตอร์ที่สามารถแสดงให้เห็นถึงจำนวนสัญญาณที่สามารถเดินทางมายังสายอากาศภาครับได้และเวลาที่แต่ละสัญญาณนั้นใช้ในการเดินทางได้แก่ ภาพตัดด้านข้างกำลังงาน แบบจำลองได้ทำการวิเคราะห์จากการกระจายตัวของสัญญาณและระดับกำลังงานในแต่ละสัญญาณพบว่ากลุ่มของสัญญาณถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม และสัญญาณเหล่านี้ถูกคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ออกมาอันประกอบด้วย อัตราการมาถึงของกลุ่มคลื่น อัตราการมาถึงของคลื่น แฟกเตอร์การลดลงของกลุ่มคลื่น แฟกเตอร์การลดลงของคลื่น และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งค่าเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการจำลองผลตอบสนองของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งได้ต่อไป

## 6.5 ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแบบจำลองช่องสัญญาณเมื่อได้รับผลกระทบจากการบังคับของร่างกายมนุษย์ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ได้ เช่น เมื่อต้องการออกแบบระบบใหม่ ซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย สามารถใช้แบบจำลองเพื่อจำลองสัญญาณได้ จะทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับการวัดจริง แบบจำลองที่นำเสนอนี้มุ่งเน้นศึกษาถึงผลกระทบจากการบังคับของร่างกายมนุษย์ด้วยการจำลองช่องสัญญาณเพื่อจะได้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการบังคับของมนุษย์ที่ขึ้นหุคหนึ่งจำนวน 1 คน เมื่อพิจารณาถึงจุดนี้นำไปเปรียบเทียบกับสภาพแวดล้อมภายในอาคารสำนักงานทำให้เกิดแนวความคิดว่า หากต้องการให้แบบจำลองสามารถจำลองผลกระทบดังกล่าวได้ถูกต้องใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริงมากขึ้น ผู้สนใจสามารถวิจัยต่อไปในประเด็นของการเคลื่อนที่ของร่างกายมนุษย์ว่าจะส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณอย่างไร หรือหากมีผู้คนมากมายภายในห้องจะทำให้เกิดผลกระทบอย่างไร หากสามารถจำลองโดยคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังกล่าวได้จะทำให้แบบจำลองเป็นแบบจำลองที่สมบูรณ์แบบมากยิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Intel, Ultra-Widebanda (UWB Technology), USA: Intel Corporation. 2005
- [2] A.Pradabphon, N.Kaewboonruan, M.Chamchoy, P.Supanakoon and S.Promwong, "Experimental evaluation scheme of UWB propagation channel with human body," **International Symposium on Communications and Information Technologies 2005 (ISCIT 2005)**, Vol. 1, October 2005. pp.660 – 663.
- [3] 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.
- [4] S. Obayashi and J. Zander, "A Body-Shadowing Model for Indoor communication Environments", **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, Vol.46, No. 6, JUNE 1998, pp.920-927.
- [5] P. Supanakoon, S. Tanchotikul, S. Promwong and J. Takada, "Ground reflection path loss considering waveform polarization and ground characteristic for UWB communication," **The 2005 ECTI International Conference**, pp. 630-633, May 2005.
- [6] X. Shen, M. Guizani, R. C. Qiu, T. Le-Nqoc, **Ultra-wideband and wireless communications and networks**, England : John Wiley & Sons Ltd. 2006.
- [7] Kazimierz S, and Debra M, **Ultra-Wideband Radio Technology**, England : John Wiley & Sons Ltd. 2004.
- [8] James D. Taylor, **Introduction to Ultra-Wideband Radar Systems**, USA : CRC Press. 1995.
- [9] Bob Heile, 2001, **IEEE 802.15 Working Group for WPAN**, [Online]. Available : <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/>
- [10] Ian O., Matti H. and Jari I, **UWB Theory and Applications**, England : John Wiley & Sons Ltd. 2004.
- [11] M. Ghavami, L.B. Michael and R. Kohno. **Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering**. England : John Wiley & Sons Ltd. 2004.
- [12] Theodore S. Rappaport. **Wireless Communications Principles and Practice**. USA : Prentice-Hall Inc. 1996.
- [13] Joseph H. **Microwave Engineering: Passive, Active and Non-Reciprocal Circuits**. USA : McGraw Hill Inc. 1992.

## เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [14] A. Goldsmith, **Wireless Communications**, USA:Cambridge University Press 2005.
- [15] R. Vaughan, J. B. Andersen, **Channels,propagation and antennas for mobile communications**, United Kingdom: MPG Books limited
- [16] M.F. Iskander, and Z. Yun “Propagation Prediction Models for Wireless Communication Systems”, **IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques**, Vol. 50 , No.3, March 2002, pp. 662-673.
- [17] S. Promwong, J. Takada, P. Supanakoon, and P. Tangtisanon , “Path loss and mathched filter gain for UWB system,” *in Proc.ISAP’04*, pp. 97-100,2004.
- [18] Theodore S. Rappaport, **Wireless Communications Principles And Practice**, United States of America : Prentice-Hall PTR, Inc. 2002.
- [19] J. Foerster et al., “UWB Channel Modeling Contribution from Intel,” **IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks, P802.15-02/490r1-SG3a**, Feb. 1993

**ภาคผนวก**

## ภาคผนวก ก

### ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

- [1] **Waraporn Seesai**, Monchai Chamchoy, and Sathaporn Promwong. "A Body-Shadowing Model for Indoor UWB Communication Environments" The 2008 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication, and Information Technology International Conference (ECTI-CON 2008), Vol. 1, pp. 261-264, 14 -17 May 2008.

# ECTI-CON 2008

## Volume 1

Proceedings of the 2008 Electrical Engineering/ Electronics, Computer  
Telecommunications and Information Technology (ECTI)  
International Conference

March 4-17, 2008

Maritime Park and Spa Resort, Krabi, THAILAND



# A Body-Shadowing Model for Indoor UWB Communication Environments

Waraporn Seesai, Monchai Chamchoy, and Sathaporn Promwong

Department of Information Engineering, Faculty of Engineering,  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand  
E-mail: s9061009@kmitl.ac.th

**Abstract**—Radio channel characteristic is a very important factor for designing indoor UWB communication network. As we know, the indoor communication channel is limited by geometry of room and some obstruction in that room such as furniture, human operator, etc. These obstructions directly affect to quality of received signal, especially human who usually obstruct receiving signal. To efficient the network designing, the influence of human body shadowing on radio propagation in building UWB communication is investigated by involving propagation prediction model. This model will predict characteristics of the received signal affected from body shadowing by considering many wave propagation phenomenons such as reflection, refraction, absorption, etc. based on ray-tracing technique. The predicted results are shown in various forms such as power loss of received signal, mean excess delay and power delay profile. To verify the validation of the model, these results will be compared with the measured results. It is found that the measurement and prediction results are closely related.

**Index Terms**—Ultra wideband (UWB), Human body shadowing, ray tracing, propagation prediction.

## I. INTRODUCTION

Ultra wideband (UWB) is an attracted technology to apply in wireless network like wireless personal area network (WPAN). Because there are many advantages such as low cost, low complexity, low interference, very good time domain resolution allowing for tracking application, etc. The different characteristics between UWB and other technologies include of wider bandwidth and no carrier modulated signal. The bandwidth is defined by Federal Communications Commission (FCC) with 3.1-10.6 GHz frequency range. The bandwidth can support very high data rate about 110 Mbps at 10-m Rx-Tx distance. The rate is higher than Wi-Fi and Bluetooth about 2 times and 100 times, respectively. And the UWB signal are transmitted without carrier modulation lead to lower cost and complexity because no requirement of some procedure such as frequency conversion, power amplification, etc. Accordingly, UWB will be outstanding candidate for wireless communication, in the future.

Human body around a transmitter and/or a receiver is a significant factor affected to indoor UWB communication, especially when propagated signal is shadowed by the body. Body shadowed propagation loss greatly affects to the received signal strength and/or quality. More delay time will decrease data rate until wireless system may could not transmit data at

the guaranteed rate, the important issue of high data rate UWB application. The body shadowed effects were investigated by measurement method [1]. If the environment is changed, then the body shadowing effect can not be considered based on the measurement results. If the simulation model is used, however, the effects in various environment can be considered. Unfortunately, there are no report on the effect of body shadowing by prediction model with ray-tracing technique for UWB communication which is a favorite propagation simulation technique in narrow band communication [2]. Therefore, the UWB human body-shadowing simulation model for indoor communication by using ray-tracing technique is presented.

## II. RAY TRACING

Ray-tracing techniques approximate the propagation of electromagnetic waves by representing the wavefronts as simple particles. Thus, the effects of reflection, diffraction, scattering on the wavefront are approximated using simple geometric equations instead of Maxwell's more complex wave equations. Ray-tracing is applied in many application such as simulator of radio propagation. There are many techniques use ray tracing concept like finite difference time domain (FDTD), geometrical optics (GO), etc. GO technique has more computer efficient than the FDTD. Consequently, the GO technique is include of two approaches such as ray launching and image approach.

### A. Ray Launching Approach

The ray launching approach involves a number of rays launched at the transmit antenna in specified directions. For each ray is launched from the transmitting antenna (TX), then the ray is traced along path for checking can it reach a receive antenna and have any object does it hit. When an object is hit, reflection, transmission, diffraction, or scattering will occur, depending on the geometry and electric properties of the object. When a ray is received by a receiving antenna, the electric field (power) associated with the ray is calculated.

### B. Image Approach

The image approach makes images of the transmit antenna location relative to all the surfaces of the environment. The coordinates of all the images is calculated and the rays are traced towards these images. First and second order reflections

can be calculated very fast but more order reflection consume computation time grows exponentially. Therefore, the image approach is suitable for semi-deterministic modeling which use deterministic model for the important specularly reflected and diffracted rays and use statistic model for more complicated phenomena like effect of bookshelves.

### III. UWB HUMAN BODY SHADOWING MODEL

#### A. Model Description

We investigate in-building UWB propagation influenced from human body shadowing. The prediction model can be used for several applications, for example, UWB network designing, communication quality improving, etc. The model uses ray-tracing technique with image approach, because this technique appropriates with indoor environment which is small and low complexity environment.

Model concept involves electromagnetic waves propagated from transmitter to receiver in several directions. For example, line of sight, the first and second reflection of wave, etc. Some directions are shadowed by human body. Therefore, more power loss and delay time are occurred due to absorption or refraction. Model uses many inputs included of 1) 2-D geometry of room 2) wall permittivity 3) location of transmit antenna 4) frequency of UWB wave 5) power of UWB wave 6) shape of a human, for determination the characteristics of received signal in many forms like signal strength, mean excess delay, power delay profile, etc.

#### B. Model Algorithm

In this section, the basic steps to predict the effect from human body shadowing in UWB environments are described in Fig. 1 which have more details are

1) *Determine influential ray*: A transmitter send signal based on Eq. (1) [3] to a receiver through free space channel, therefore, the signal can reach to receiver in multipath. Some path can travel to receiver and some path can not. Therefore, the first step is determination the influential rays by finding out which zone of current receiver position falling in zone1 (z1), zone2 (z2), zone3 (z3) or zone4 (z4) as shown in Fig. 2. Then model use predefined rays of the particular zone to be the influential rays. The predefined rays depend on zone of the receiver. These rays are the composition of line of sight ray, first and second reflection rays.

The pass band rectangular pulse can be expressed as

$$v_t(t) = \frac{1}{f_b} [f_H \text{sinc}(2f_H t) - f_L \text{sinc}(2f_L t)], \quad (1)$$

where  $t$  is the time,  $f_H$  and  $f_L$  is the maximum and minimum frequencies, respectively,  $f_b = f_H - f_L$  is the spectral bandwidth, and  $\text{sinc}(x) = \sin(\pi x)/(\pi x)$ .

2) *Find characteristics of each ray*: To calculate the channel characteristics like power loss, excess delay, etc., the model must know various necessary variable values such as travel distance of ray ( $d$ ), delay time ( $t$ ) and reflection coefficient ( $\Gamma$ ), etc. These parameter values can find with ground reflection

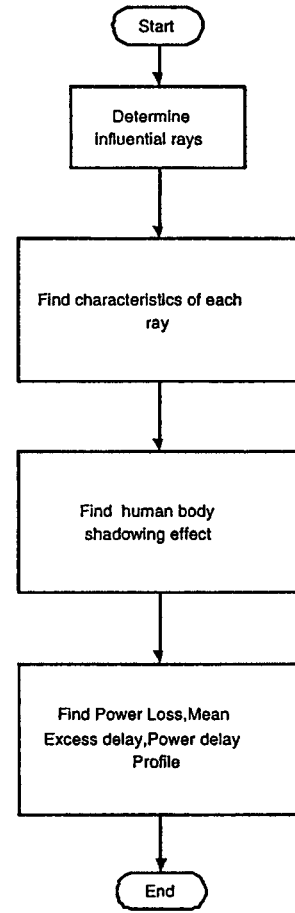


Fig. 1. Ray-tracing algorithm with human body shadowing effect.

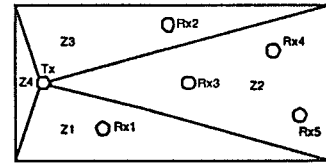


Fig. 2. Model zoning to determine influential ray.

model. For example, the reflection coefficient in vertical and horizontal polarization which are defined as [4]

$$\Gamma_{\parallel} = \frac{\cos \theta - \sqrt{\frac{1}{\epsilon_r} - \frac{1}{\epsilon_r^2} \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \sqrt{\frac{1}{\epsilon_r} - \frac{1}{\epsilon_r^2} \sin^2 \theta}}, \quad (2)$$

$$\Gamma_{\perp} = \frac{\cos \theta - \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}}, \quad (3)$$

where  $\epsilon_r$  is relative permittivity of ground and  $\theta$  is the incident angle.

3) *Find the effect of human body shadowing*: In this step, the model will consider ability of signal shadowing of human

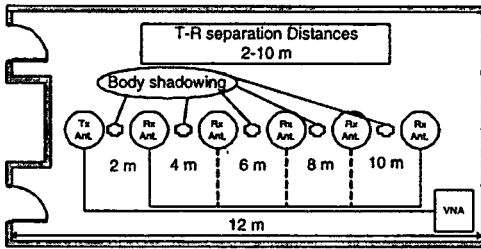


Fig. 3. Layout of room in the measurement.

at the current position with considering which ray, in the influential rays received from step 1, is shadowed then ignored it. Because it can not reach to receiver since it changed direction after refraction through body due to refraction of different medium law. Therefore, the receiver reachable rays are all of the influential rays except the shadowed rays.

4) *Find channel characteristics:* The UWB path loss can be defined as the ratio between the maximum amplitude of the transmitted and received signal waveforms [5]

$$PL_{UWB}(d)[dB] = 20\log\left[\frac{v_t(0)}{\max|v_r(t)|}\right], \quad (4)$$

where  $v_t(0)$  is the maximum amplitude of the transmitted signal waveform and  $v_r(t)$  is maximum amplitude of the received signal waveform which can be defined from Eq. (13)-(18) of [3].

#### IV. MODEL AND MEASUREMENT RESULT COMPARISONS

To verify the model, the model results are compared with measurement results. These results include of path loss, mean excess delay and power delay profile. We apply the model with room already measured signal. The room has layout as shown in Fig. 3 and parameters are listed in Table I.

TABLE I  
MEASUREMENT PARAMETERS

Parameter	Value
Frequency range	3 GHz ~ 11 GHz
Number of frequency point	1601
Tx antenna height	1.5 m
Rx antenna height	1.5 m
Tx and Rx separate	2,4,6,8 and 10 m
Grid dimension	0.6 m × 0.6 m
Polarization	Vertical

Fig. 4 is shown comparison of path loss between model and measurement for no human body shadowing case. The both have same manner that will be vary follow increasing distance. And they are very closely related by having gap about 2 dB. Comparison of path loss between model and measurement for human body shadowing case are shown in Fig. 5. The both are very close too, especially between 2-m and 8-m distance. At 10-m distance, model and measurement are similar. They are less than 8-m distance results a little bit. Because the occurred error may be vary follow increasing distance.

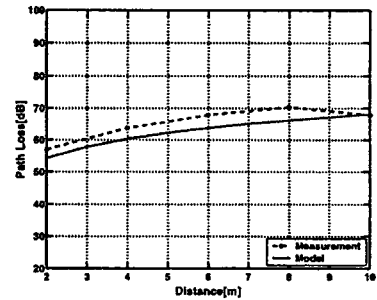


Fig. 4. Comparison of path loss between model and measurement for no human body shadowing case.

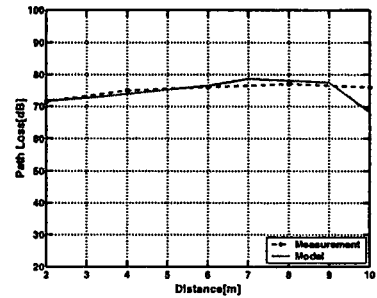


Fig. 5. Comparison of path loss between model and measurement for human body shadowing case.

Fig. 6 is shown comparison of mean excess delay between model and measurement for no human body shadowing case. They are very similar, especially at the low distance. Gap between them is very little. Comparison of mean excess delay between model and measurement for human body shadowing case are shown in Fig. 7. Both of them are very similar, especially at 4-8 m distance and at 10-m distance, they are quite far because more distance will lead to more error.

Fig. 8 is shown comparison of power delay profile between model and measurement at 2-m distance for no human body shadowing case. The arrival of the main ray of model and measurement is the same time about 10 ns. And the other paths have the same arrival. Comparison of power delay profile between model and measurement at 2-m distance for human body shadowing case are shown in Fig. 9. The arrival of the main ray of the model and the measurement is the same time about 20 ns.

Table II is shown the numerical power loss comparison. The average gap between model and measurement are equal 1.393 dB and 2.828 dB, for no body shadowing and body shadowing case, respectively. Numerical mean excess delay comparison are shown in Table III. They are very close. The average gaps between the model and the measurement are 0.427 ns and 0.722 ns, for no human body shadowing and human body shadowing case, respectively.

#### V. CONCLUSION

This paper presented indoor UWB propagation prediction model to investigate the effect from human body shadowing

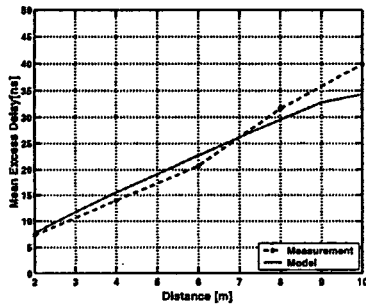


Fig. 6. Comparison of mean excess delay between model and measurement for no human body shadowing case.

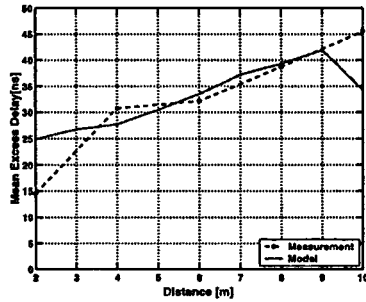


Fig. 7. Comparison of mean excess delay between model and measurement for human body shadowing case.

based on ray-tracing technique. Model concept begins with finding reachable receiver rays from direct and reflection path rays then ignoring human body shadowed rays and using the remain rays for determination the channel characteristic like path loss, excess delay, etc. These results are compared between model and measurement for model verification. As

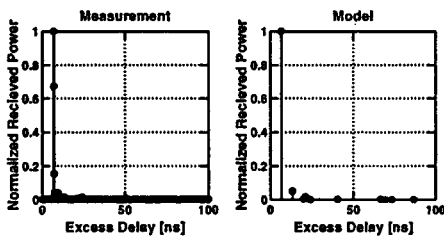


Fig. 8. Comparison of power delay profile between model and measurement for no human body shadowing case at 2-meter Tx-Rx separation.

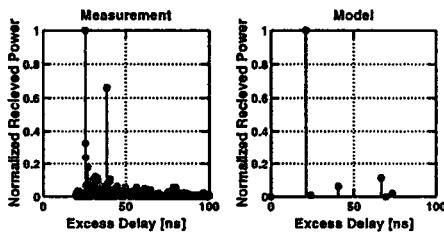


Fig. 9. Comparison of power delay profile between model and measurement for human body shadowing case at 2-meter Tx-Rx separation.

TABLE II  
POWER LOSS COMPARISON

Distance [m]	w/o human [dB]		with human [dB]	
	Model	Measurement	Model	Measurement
2	54.250	56.949	71.720	71.440
4	60.271	63.766	73.825	74.978
6	63.793	68.002	76.511	75.949
8	66.291	70.301	78.060	76.977
10	68.212	67.940	68.217	75.951

TABLE III  
MEAN EXCESS DELAY COMPARISON

Distance [m]	w/o human [dB]		with human [dB]	
	Model	Measurement	Model	Measurement
2	7.781	7.300	24.909	14.580
4	15.500	13.948	27.690	30.720
6	22.664	20.669	33.434	32.126
8	29.510	31.595	39.242	38.658
10	34.310	39.864	34.258	45.585

the results, average gap between model and measurement of path loss and mean excess delay, affected from human body shadowing, are 2.828 dB and 0.722 ns., respectively. They are closely related. In order to analyze human body shadowing effect, the channel characteristic for no human body shadowing case is predicted also, to compare with human body shadowing case. It is found that the body shadowing leads to lower signal strength and more delay time, directly impact with high data rate application. Therefore, the designer has to prepare solutions of this problem. Results from the model can help the designer in considering overall UWB network by presenting in various forms.

REFERENCES

- [1] A. Pradubphon, N. Keawboonruan, M. Chamchoy, P. Supanakoon and S. Promwong, "Experimental evaluation scheme of UWB radio propagation channel with human body," *Proc. ISCIT 2005*, pp. 638-641, Oct. 2005.
- [2] S. Obayashi and J. Zander, "A body-shadowing model for indoor communication environments," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 46, no. 6, pp. 920-927, June 1998.
- [3] P. Supanakoon, S. Tanchotikul, S. Promwong and J. Takada, "Ground reflection path loss considering waveform polarization and ground characteristic for UWB communication," *The 2005 ECTI International Conference*, pp. 630-633, May 2005.
- [4] C. A. Balanis, *Advance Engineering Electromagnetics*, John Wiley & Sons, 1989.
- [5] S. Promwong, J. Takada, P. Supanakoon, and P. Tangtisanon, "Path loss and matched filter gain for UWB system," in *Proc. ISAP'04*, pp. 97-100, 2004.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาววราภรณ์ ชี้อย่าง
วัน เดือน ปีเกิด	12 ธันวาคม 2522 ที่ อ.ระโนด จ.สงขลา
ที่อยู่	212 หมู่ที่ 1 ต.พังยาง อ.ระโนด จ.สงขลา 90140
ประวัติการศึกษา	2544 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ประวัติการทำงาน	วิศวกร ระดับ 5 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 ภาคเหนือ จ.ลพบุรี

### ผลงานวิจัย

พ.ศ.2551	<b>A Body-Shadowing Model for Indoor UWB Communication Environments</b> , ECTI-CON 2008, May 14-17, Maritime park & spa resort, Krabi, Thailand
----------	---