

การเพิ่มความแม่นยำของการประมาณตำแหน่งและการทำแบบจำลองช่องสัญญาณ
สำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ACCURACY ENHANCEMENTS OF POSITION ESTIMATION AND
CHANNEL MODELING FOR ULTRA WIDEBAND COMMUNICATION

ทวิชชัย จันทรรณาวร
TAWATCHAI JANTAWORN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

KMITL-2007-EN-M-230-107

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**การเพิ่มความแม่นยำของการประมาณตำแหน่งและการทำแบบจำลองช่องสัญญาณ
สำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง**

**ACCURACY ENHANCEMENTS OF POSITION ESTIMATION AND
CHANNEL MODELING FOR ULTRA WIDEBAND COMMUNICATION**

รัชชัย จันทรถาวร

TAWATCHAI JANTAWORN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **77987**
วัน,เดือน,ปี..... **12 11.พ. 2551**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

KMITL-2007-EN-M-230-107

**ACCURACY ENHANCEMENTS OF POSITION ESTIMATION AND
CHANNEL MODELING FOR ULTRA WIDEBAND COMMUNICATION**

TAWATCHAI JANTAWORN

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

2007

KMITL-2007-EN-M-230-107

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มความแม่นยำของการประมาณตำแหน่งและการทำแบบจำลองช่องสัญญาณสำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง
นักศึกษา	นาย ธวัชชัย จันทร์ถาวร
รหัสประจำตัว	48061052
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ. มนต์ชัย แซ่มซ้อย

บทคัดย่อ

การประมาณการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์สื่อสารและการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณ การสื่อสารที่มีความถูกต้องแม่นยำนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับระบบการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอวิธีการเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง และการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร โดยอาศัย อัลกอริทึมแบบ CLEAN ซึ่งอัลกอริทึมนี้จะช่วยลดผลกระทบของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นทำให้ สามารถระบุตำแหน่งของอุปกรณ์สื่อสาร และสามารถสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณการสื่อสารได้ อย่างถูกต้องแม่นยำเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการโดยทั่วไป นอกจากนี้อัลกอริทึมแบบ CLEAN ยังเป็น วิธีการที่มีความซับซ้อนน้อย ดังนั้นอัลกอริทึมนี้จึงมีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ใน ระบบการสื่อสารที่ต้องการความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์สื่อสาร หรือนำไปสร้างแบบจำลองของช่องสัญญาณที่มีความถูกต้องแม่นยำ

Thesis Title	Accuracy Enhancements of Position Estimation and Channel Modeling for Ultra wideband Communication
Student	Mr. Tawatchai Jantaworn
Student ID.	48061052
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Asst. Prof. Monchai Chamchoy

ABSTRACT

The location estimation and the indoor propagation channel model are very importance issue to design a high performance communication system. In this thesis, the accuracy of the location estimation and the channel modeling for ultra wideband (UWB) network is increased by the CLEAN algorithm. This algorithm can reduce the impact of noise due to the indoor propagation channel sounding. Based on the modified measurement channel, the location estimation and the channel modeling are accurated more than the conventional method. The results of this method provide the accuracy enhancement for position estimation and channel modeling with the low-complex algorithm.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มนต์ชัย แซ่มซ้อย เป็นที่สุด ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ เนื่องจากการอนุเคราะห์ อบรมสั่งสอน ชี้แนะแนวทางเกี่ยวกับงานวิจัยทั้งหมด ตลอดจนความเป็นห่วงที่คอยสอบถามปัญหาของงานวิจัย ผู้เขียนมีความซาบซึ้งใจต่อความเป็นอาจารย์ จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ผู้ดูแลถูกศิษย์อย่างดี ให้ความอนุเคราะห์ความรู้ต่างๆ คอยเสนอแนะการนำเสนองานวิจัยอย่างดียิ่ง ทำให้ข้าพเจ้ามีความรู้และสามารถนำเสนองานวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขอขอบคุณบิดามารดา ผู้ซึ่งสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้โดยตลอด

ขอบคุณพี่น้องและเพื่อนๆ ที่คอยให้ข้อเสนอแนะ และคอยสอบถามถึงความคืบหน้าของงานวิจัยกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ คุณความดีและประโยชน์ที่พึงบังเกิดมีจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ เป็นผลมาจากความกรุณาของบิดามารดา คณาจารย์ทุกท่าน ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และผู้สนับสนุน ข้าพเจ้าจึงขอขอบคุณความดีทั้งหลาย ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ธวัชชัย จันทร์ถาวร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XI
บทที่ 1 กล่าวนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	4
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.5 การเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....	5
1.6 ขอบเขตการวิจัย.....	6
1.7 ขั้นตอนของการศึกษา.....	6
บทที่ 2 ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	7
2.1 กล่าวนำ.....	7
2.2 ประวัติและความเป็นมาของการสื่อสารระบบแถบกว้างยิ่ง.....	8
2.3 การสื่อสารไร้สายระบบแถบกว้างยิ่ง.....	8
2.3.1 จุดเด่นของการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่ง.....	9
2.4 ข้อกำหนดของการสื่อสาร UWB.....	10
2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา.....	10
2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป.....	12
2.5 ลักษณะใช้งานของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	13
2.5.1 การติดต่อสื่อสารและระบบเซนเซอร์.....	13
2.5.2 การค้นหาตำแหน่งของวัตถุ.....	15
2.5.3 เรดาร์.....	15

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6	บทสรุป.....	16
บทที่ 3 ช่องสัญญาณการสื่อสารไร้สายภายในอาคาร.....17		
3.1	กล่าวนำ.....	17
3.2	ลักษณะของคลื่นที่เกิดขึ้นภายในช่องสัญญาณ.....	18
3.2.1	การสะท้อน.....	18
3.2.2	การหักเห.....	19
3.2.3	การเลี้ยวเบน.....	20
3.3	ช่องสัญญาณหลายวิธี.....	21
3.4	แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถี.....	22
3.5	แบบจำลองช่องสัญญาณแบบ SV	24
3.6	แบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐาน IEEE 802.15.3a.....	26
3.7	บทสรุป.....	27
บทที่ 4 การระบุตำแหน่งและการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณ.....28		
4.1	กล่าวนำ.....	28
4.2	การประมาณตำแหน่งในระบบการสื่อสารไร้สาย.....	28
4.3	เทคนิคในการระบุตำแหน่งของระบบการสื่อสารแบบไร้สาย.....	29
4.3.1	วิธีวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้	29
4.3.2	วิธีวัดมุมการมาถึงของสัญญาณ.....	30
4.3.3	วิธีวัดเวลาการมาถึงของสัญญาณ.....	30
4.3.4	วิธีวัดความแตกต่างของเวลาการมาถึงของสัญญาณ.....	30
4.3.5	การวัดแบบผสมผสาน.....	30
4.4	วิธีการคำนวณการระบุตำแหน่ง.....	30
4.5	การสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐาน IEEE802.15.3a	31
4.6	การปรับปรุงการระบุตำแหน่งและแบบจำลองช่องสัญญาณด้วยอัลกอริทึมแบบ CLEAN.....	35
4.7	บทสรุป.....	37

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 การทดสอบช่องสัญญาณและวิเคราะห์ผล.....	38
5.1 กล่าวนำ.....	38
5.2 การทดสอบช่องสัญญาณ.....	38
5.2.1 การทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่.....	39
5.2.2 การทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนเวลา.....	40
5.2.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	41
5.2.3.1 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านช่องสัญญาณ.....	41
5.2.3.2 ผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณ.....	44
5.2.3.3 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ.....	45
5.2.3.4 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน.....	46
5.2.3.5 ค่าการกระจายทางเวลา.....	47
5.2.3.6 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน.....	48
5.3 อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดสอบ.....	49
5.3.1 เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรขยายแบบเวกเตอร์.....	49
5.3.2 สายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ.....	49
5.3.2.1 สายอากาศแบบกรวยคู่.....	50
5.4 การทดสอบช่องสัญญาณเพื่อการระบุตำแหน่ง.....	52
5.4.1 รูปแบบในการทดสอบ.....	52
5.4.2 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบช่องสัญญาณ.....	53
5.4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	55
5.5 การทดสอบช่องสัญญาณเพื่อใช้ในการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณ.....	55
5.5.1 รูปแบบการทดสอบ.....	55
5.5.2 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบช่องสัญญาณ.....	56
5.5.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	58
5.6 บทสรุป.....	59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 ผลการวิจัยและวิเคราะห์สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง.....	60
6.1 กล่าวนำ.....	60
6.2 ผลการวิเคราะห์.....	60
6.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองเพื่อการประมาณการระบุตำแหน่ง.....	60
6.2.1.1 อัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวน.....	62
6.2.1.2 ผลการวิเคราะห์เพื่อการระบุตำแหน่งของสายอากาศ.....	63
6.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองเพื่อการประยุกต์สร้างแบบจำลอง ช่องสัญญาณ.....	64
6.2.2.1 ค่าคุณสมบัติของช่องสัญญาณ.....	64
6.2.2.2 ค่าพารามิเตอร์ของช่องสัญญาณสำหรับประยุกต์สร้างแบบจำลอง ช่องสัญญาณ.....	66
6.2.2.3 ผลการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณอันเนื่องมาจาก การบดบังของร่างกายมนุษย์.....	67
6.3 บทสรุป.....	68
บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	69
7.1 กล่าวนำ.....	69
7.2 สรุปผลการประมาณการระบุตำแหน่งในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	69
7.3 สรุปผลการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณในระบบการสื่อสาร แบบแถบกว้างยิ่ง โดยมีร่างกายมนุษย์มาบดบัง.....	70
7.4 ข้อเสนอแนะ.....	71
เอกสารอ้างอิง.....	72
ภาคผนวก ก. บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิตยสาร.....	75
ประวัติผู้เขียน.....	87

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารและภายนอกอาคาร.....	11
2.2 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งแบบภายในอาคารและแบบภายนอกอาคาร.....	12
4.1 คุณลักษณะช่องสัญญาณหลายวิธีและความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดในแบบจำลอง.....	34
5.1 พารามิเตอร์ในการทดสอบช่องสัญญาณเพื่อการประมาณการระบุตำแหน่ง.....	55
5.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบช่องสัญญาณเพื่อการประยุกต์สร้างแบบจำลอง.....	58
6.1 อัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวน.....	62
6.2 คุณสมบัติของช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากการบิดเบือนของร่างกายมนุษย์.....	65
6.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากการบิดเบือนของร่างกายมนุษย์.....	67
6.4 ผลของค่าคุณสมบัติที่ได้จากแบบจำลองช่องสัญญาณที่สร้างขึ้นและค่าคุณสมบัติของช่องสัญญาณจริง.....	68

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 อุปกรณ์เชื่อมต่อไร้สายที่ใช้ภายในที่พักอาศัย.....	1
2.1 ระดับความหนาแน่นของแถบกำลังงานของระบบการสื่อสารไร้สาย.....	9
2.2 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่ง ภายในอาคาร.....	12
2.3 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่ง ภายนอกอาคาร.....	13
2.4 ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่สามารถประยุกต์ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง.....	14
2.5 เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในงานค้นหาตำแหน่ง.....	15
3.1 ส่วนประกอบหลักของระบบการสื่อสารไร้สาย.....	17
3.2 ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นที่เกิดการสะท้อน.....	18
3.3 ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นสะท้อนและหักเห.....	19
3.4 ลักษณะการเลี้ยวเบนของคลื่น.....	20
3.5 เส้นทางการแพร่กระจายสัญญาณหลายวิธี.....	21
3.6 กำลังงานที่ลดลงของกลุ่มสัญญาณและสัญญาณตามแบบจำลองของ SV	25
3.7 ผลตอบสนองของสัญญาณที่เกิดขึ้นตามแบบของแบบจำลอง SV	25
3.8. ผลตอบสนองช่องสัญญาณในรูปแบบของกลุ่มคลื่นและคลื่น.....	27
4.1 ค่าความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของระบบการสื่อสารไร้สาย.....	28
4.2 คุณลักษณะของแบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐาน IEEE 802.15.3a.....	31
4.3 ผลตอบสนองช่องสัญญาณที่ได้นำเอาอัลกอริทึมแบบ CLEAN มาช่วยลดสัญญาณรบกวน.....	37
5.1 ระบบการทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่โดยเครื่อง VNA และการแปลงสู่โดเมนเวลา โดยใช้ IFFT	40
5.2 การทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนเวลาโดยใช้อิมพัลส์.....	41
5.3 ไดอะแกรมโครสซายแบบ 2 พอร์ต.....	42
5.4 บล็อกไดอะแกรมของระบบ.....	45
5.5 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่.....	45
5.6 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนเวลา.....	46
5.7 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน.....	47
5.8 เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์.....	49

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.9 ส่วนประกอบของสายอากาศแบบกรวยคู่.....	50
5.10 สายอากาศแบบกรวยคู่.....	51
5.11 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแบบกรวยคู่.....	51
5.12 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศ.....	52
5.13 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศ.....	52
5.14 ขั้นตอนในการทดสอบช่องสัญญาณเพื่อการประมาณตำแหน่ง.....	54
5.15 แบบจำลองสภาวะแวดล้อมที่ใช้การประมาณตำแหน่งแบบภายในอาคาร.....	54
5.16 รูปสัญญาณที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	56
5.17 ขั้นตอนในการทดสอบและการวิเคราะห์ช่องสัญญาณเพื่อการประยุกต์สร้างแบบจำลอง ช่องสัญญาณ.....	57
5.18 ขนาดของห้องและแบบจำลองในการทดสอบช่องสัญญาณ.....	58
6.1 แบบจำลองสภาวะแวดล้อมและตำแหน่งของสายอากาศ.....	61
6.2 ตัวอย่างผลตอบแทนของช่องสัญญาณที่ใช้และไม่ใช้อัลกอริทึมแบบ CLEAN.....	61
6.3 ค่าความผิดพลาดของการประมาณการระบุตำแหน่ง.....	63
6.4 ค่าความผิดพลาดของการประมาณการระบุตำแหน่งในรูปแบบของ CDF.....	64
6.5 แบบจำลองสภาวะแวดล้อมที่มีการบดบังอันเนื่องมาจากร่างกายมนุษย์.....	65
6.6 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณที่มีการบดบังจากร่างกายมนุษย์.....	66
6.7 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานที่ทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์.....	66
6.8 ผลตอบแทนของช่องสัญญาณที่ได้จากการจำลองช่องสัญญาณ.....	68

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

สถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	IEEE
เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network)	WLAN
เครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Networks)	WPAN
ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband)	UWB
กำลังการแพร่กระจายไอโซทรอปิกประสิทธิภาพ (Effective Isotropic Radiated Power)	EIRP
คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission)	FCC
ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม (Power Spectral Density)	PSD
เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer)	VNA
คลื่นพาหะ (Radio Frequency)	RF
สถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute)	ETSI
สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union)	ITU
หน่วยงานวิจัยขั้นสูงของสหรัฐ (Defense Advanced Research Projects Agency)	DARPA
ระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global Positioning Systems)	GPS
โดเมนความถี่ (Frequency Domain)	FD
โดเมนเวลา (Time Domain)	TD
ฟังก์ชันสหสัมพันธ์อัตโนมัติ (Auto-Correlation Function)	ACF
เครื่องออสซิลโลสโคปสุ่มตัวอย่างแบบดิจิทัล (Digital Sampling Oscilloscope)	DSO
การแปลงฟูริเยร์ผกผันแบบเร็ว (Inverse Fast Fourier Transform)	IFFT
ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power Delay Profile)	PDP
ระดับแนวสายตา (Line of Sight)	LOS
อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio)	SNR
โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM (Global System Mobile)	GSM
ความสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)	PL
ความแรงของสัญญาณที่รับได้ (Receive Signal Strength)	RSS
มุมการมาถึงของสัญญาณ (Angle of Arrival)	AOA
เวลาการมาถึงของสัญญาณ (Time of Arrival)	TOA

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

ความแตกต่างของเวลาการมาถึงของสัญญาณ (Time Difference of Arrival)	TDOA
แบบจำลองช่องสัญญาณของ Saleh-Valenzuela	S-V
แบบจำลองสถานะแวดล้อม (Channel Model)	CM
ช่องทางเพื่อการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ทั่วไป (General Purpose Interface Bus)	GPIO
เครื่องส่ง (Transmitter)	Tx
เครื่องรับ (Receiver)	Rx
จำนวนของเส้นทางในการเดินทางของคลื่น	NP
เดซิเบล (Decibel)	dB
เฮิรตซ์ (Hertz)	Hz
กิกะเฮิรตซ์ (Gigahertz)	GHz
เมตร (meter)	m
วินาที (Second)	s
นาโนวินาที (Nanosecond)	ns
มิลลิวัตต์ (Milliwatt)	mW
สัดส่วนแบนด์วิดท์ (Fractional bandwidth)	B_f
ความเร็วแสง (Velocity of light), $c = f\lambda = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0} \approx 3 \times 10^8, m/s$	c
ความถี่ (Frequency), Hz	f
ฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ (Frequency transfer function)	$H(\omega)$
สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Transmission coefficient)	S_{21}
เวลา (Time), s	t
การประวิงเข้าถึงเฉลี่ย (Mean excess delay), s	$\bar{\tau}$
การแผ่ประวิง RMS (RMS delay spread), s	σ_τ
ค่าอัตราขยายรวมกัน (Gain coefficient)	α
เส้นทางของสัญญาณที่รับได้	K
กลุ่มของสัญญาณที่รับได้	L
ขั้วของสัญญาณที่รับได้	p
ส่วนประกอบทางขนาด	β
พลังงานของสัญญาณ	E
พลังงานเฉลี่ยของเส้นทางแรกในกลุ่มคลื่นแรก	Ω_0

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

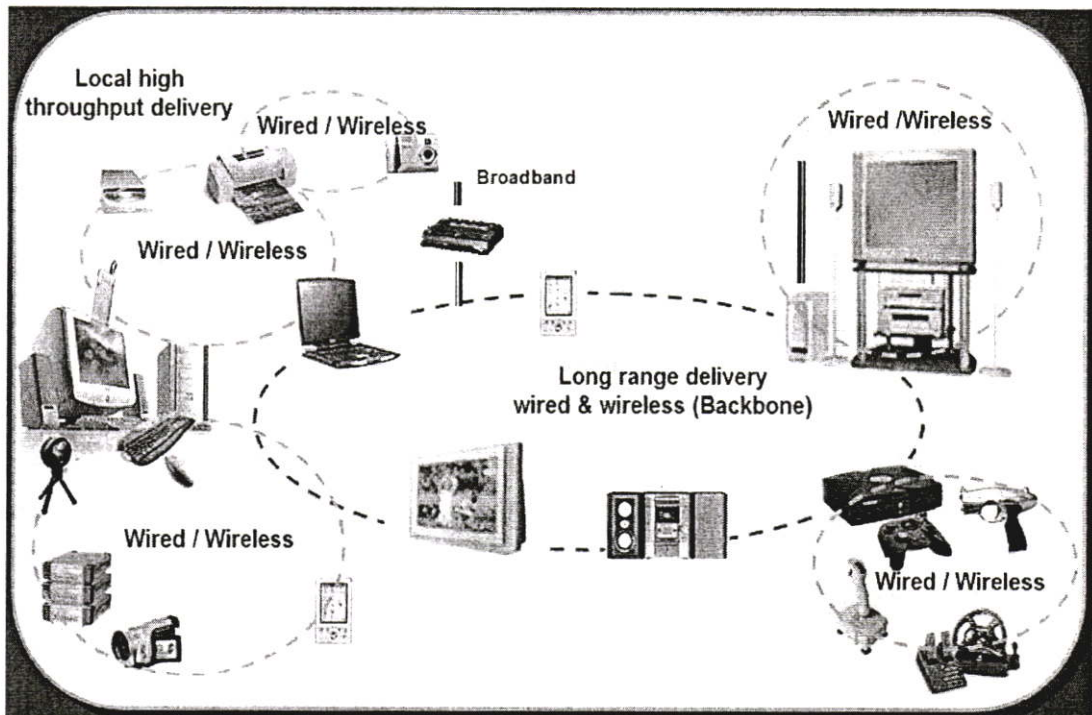
ฟังก์ชัน Dirac delta	$\delta(t)$
อัตราการมาถึงของคลื่น (Ray arrival rate)	λ
แฟกเตอร์การลดลงของคลื่น (Ray decay factor)	γ
สเกลทางเวลา (Time scaling)	τ
ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง (Mean excess delay), s	τ_m
ค่าการแผ่ประวิงสูงสุด	τ_{\max}
ค่าการแผ่ประวิง RMS (RMS delay spread), s	τ_{rms}
ส่วนประกอบทางมุม	θ
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)	σ
ค่าความซึมซาบ (Permeability)	μ
อัตราการมาถึงของกลุ่มคลื่น (Cluster arrival rate)	Λ
แฟกเตอร์การลดลงของกลุ่มคลื่น (Cluster decay factor)	Γ
ค่าความถี่บนของระบบการสื่อสาร	f_H
ค่าความถี่ล่างของระบบการสื่อสาร	f_L
ความยาวคลื่น (Wavelength), m	λ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความต้องการในการสื่อสารข้อมูลมีมากขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีระบบการสื่อสารไร้สายเข้ามามีบทบาทในการสื่อสารข้อมูลมากขึ้น เนื่องจากความสะดวกในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์สื่อสารหรือระหว่างเครือข่าย ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคาร ภายในสำนักงาน หรือแม้กระทั่งภายในบ้าน เช่นการเชื่อมต่อเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Networks: WLAN) การเชื่อมต่อเครือข่ายบริเวณส่วนบุคคลไร้สาย (Wireless Personal Area Networks: WPAN) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่งเป็นระบบการสื่อสารระยะสั้นที่มีความต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูง เพื่อรองรับระบบมัลติมีเดียที่นิยมใช้ในบ้านและสำนักงาน



รูปที่ 1.1 อุปกรณ์เชื่อมต่อไร้สายที่ใช้ภายในที่พักอาศัย [1]

ความต้องการเหล่านี้ได้ถูกนำมาพิจารณาเพื่อหาเทคโนโลยีที่สามารถรองรับความต้องการดังกล่าว จึงได้มีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra-wide Band: UWB) เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งมีจุด

ลักษณะเด่นอีกหลายประการ เช่น มีการส่งสัญญาณจะอยู่ในย่านความถี่ที่กว้างมาก มีผลการระบุตำแหน่งและการวัดระยะทางที่ให้ความแม่นยำสูง มีการจางหายของสัญญาณน้อย มีความสามารถสูงในการใช้งานกับระบบผู้ใช้จำนวนมาก และสัญญาณสามารถทะลุผ่านวัตถุได้ดี [2] ซึ่งในช่วงระยะเวลา 20 ปีที่ผ่านมา ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งได้ถูกนำมาใช้งานในการสื่อสารระบบเรดาร์ และการสื่อสารทางทหาร แต่เมื่อเดือนกุมภาพันธ์ปี ค.ศ 2002 คณะกรรมาธิการกลางการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) ได้กำหนดข้อกำหนดของการสื่อสาร UWB ให้ใช้สำหรับการสื่อสารข้อมูลบนพื้นฐานการส่งพัลส์ในช่วงเวลาสั้น ซึ่งทำให้ได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากมีราคาถูกและใช้กำลังงานในส่งที่ต่ำ ระบบการสื่อสาร UWB เป็นระบบการสื่อสารที่มีแบนด์วิดท์กว้างมาก และมีสเปกตรัมความถี่ไปทับซ้อนกับระบบการสื่อสารที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน คือเครือข่ายท้องถิ่นส่วนบุคคลไร้สาย (WLAN) ดังนั้น FCC จึงได้กำหนดข้อกำหนด PSD เพื่อใช้ในการควบคุมการแผ่กระจายของสัญญาณ แบนด์วิดท์ของสัญญาณ UWB จะพิจารณาที่ระดับลดลงมาจากระดับสูงสุด 10 dB โดยกำหนดให้แบนด์วิดท์ของสัญญาณ UWB สำหรับการสื่อสารต้องอยู่ในช่วงแถบความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz นอกจากนี้ FCC ยังได้นิยามสัญญาณ UWB เป็นสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 ของความถี่กลางและมีแบนด์วิดท์ใช้งานมากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz และใช้กำลังงานในการส่งผ่านสูงสุดเพียง -41.3 dBm/MHz [3]

การประมาณค่าการระบุตำแหน่งที่ใช้ในระบบการสื่อสารไร้สายในยุคเริ่มแรกใช้เพื่อจัดเส้นทาง (routing) การเรียกเลขหมายฉุกเฉิน 911 ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีตำรวจประจำท้องถิ่นที่เหมาะสม ซึ่งเรียกระบบนี้ว่า B-911 ต่อมาได้มีการพัฒนาในด้านกระบวนการเรียก โดยไม่มีการประวิงเวลา (delay) หรือการห้ามเรียก (block) พร้อมกับสามารถระบุตำแหน่งและบอกข้อมูลต่างๆ โดยเฉพาะเบอร์ติดต่อกลับของผู้เรียกเพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถติดต่อกลับได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งระบบนี้เรียกว่า E-911 [4] ในปัจจุบันการระบุตำแหน่งได้เข้ามามีบทบาทในการสื่อสารไร้สายมากขึ้น เช่น ในเครือข่ายแอดฮอค (Ad hoc Network) ระบบหุ่นยนต์ เครือข่ายตรวจจับ (sensor network) เช่น ระบบตรวจวัดความชื้น ระบบตรวจจับความผิดปกติของอากาศเนื่องจากสารเคมี ซึ่งระบบต่างๆ ดังที่กล่าวมานี้ อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับจำเป็นต้องทราบถึงตำแหน่งของเครือข่ายหลัก เพื่อให้สามารถส่งสัญญาณในการตรวจจับได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วที่สุด เมื่อพิจารณาถึงการระบุตำแหน่งของมนุษย์ วัตถุ หรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องการทราบตำแหน่งที่อยู่ในสถานะแวดล้อมแบบภายในอาคารแล้วคุณสมบัติต่างๆ ของการสื่อสารไร้แบบ UWB เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารไร้สายท้องถิ่นส่วนบุคคลแล้ว ระบบการสื่อสารแบบ UWB มีคุณสมบัติเด่นหลายด้าน เช่น ราคาถูก ทะลุผ่านวัตถุได้ดี ใช้พลังงานในการสื่อสารต่ำ จึงนำมาใช้ในการประมาณตำแหน่ง และที่สำคัญให้ความถูกต้องแม่นยำในการประมาณตำแหน่งมากกว่านั่นเอง

เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่และมีการศึกษาวิจัยค่อนข้างน้อย จึงต้องทำการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งขึ้น ซึ่งแบบจำลอง

ช่องสัญญาณมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการศึกษาการแพร่กระจายคลื่นที่ไม่สามารถมองเห็นได้ และเมื่อกล่าวถึงระบบการสื่อสารแบบกว้างยิ่งแล้ว ตัวแปรที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับระบบคือ คุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่น และคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นนี้ ถือว่าเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของแต่ละระบบขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่ระบบนั้นๆ ใช้งานอยู่ ฉะนั้นจึงได้พยายามที่จะประยุกต์และพัฒนาแบบจำลองช่องสัญญาณให้เป็นแบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐานเพื่อใช้เปรียบเทียบช่องสัญญาณที่ได้ทำการศึกษาและสร้างขึ้นมาก่อนหน้านี้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อนำเสนอการเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง โดยใช้วิธีในการคำนวณเพื่อระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ง่ายไม่ซับซ้อนและยังนำเอากระบวนการทางคณิตศาสตร์มาเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งนั้นคือ อัลกอริทึมแบบ CLEAN (CLEAN algorithm) [5] และในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณที่เกิดการบดบังอันเนื่องมาจากร่างกายมนุษย์บนพื้นฐานของแบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐาน IEEE 802.15.3a โดยได้พยายามเพิ่มความแม่นยำในการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณนี้ด้วยอัลกอริทึมแบบ CLEAN เช่นกัน

เนื่องจากว่าในการเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งในระบบการสื่อสารไร้สายโดยทั่วๆ ไปนั้นได้นำเอากระบวนการในการคำนวณและเทคนิคที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของวัตถุอุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนมาก ดังนั้นจึงได้พยายามลดกระบวนการและเทคนิคที่ซับซ้อนในการระบุตำแหน่งของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง และเนื่องจากว่าค่าคุณสมบัติต่างๆ ของช่องสัญญาณเป็นค่าเฉพาะขึ้นอยู่กับสถานะที่ระบบนั้นๆ ใช้งานอยู่จึงได้พยายามที่จะสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณที่จำลองคุณสมบัติของช่องสัญญาณ เช่น ค่าประวิงเข้าถึงเฉลี่ย (mean excess delay) ค่าการแผ่ประวิง RMS (RMS delay spread) ในสถานะที่เกิดการบดบังอันเนื่องมาจากร่างกายมนุษย์ ซึ่งแบบจำลองช่องสัญญาณที่ได้พยายามสร้างนี้เป็นแบบจำลองที่ได้ประยุกต์สร้างมาจากแบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐาน IEEE 802.15.3a เพื่อให้ได้ความแม่นยำในการจำลองช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นจึงได้นำเอาอัลกอริทึมแบบ CLEAN มาช่วยเพิ่มความแม่นยำในการจำลองช่องสัญญาณภายใต้สถานะที่เกิดการบดบังอันเนื่องมาจากร่างกายมนุษย์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในการจำลองการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์และการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากการบดบังของร่างกายมนุษย์ในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้น จำเป็นที่ต้องทราบถึงคุณสมบัติของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนี้เสียก่อน จึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องทำการ

ทดสอบช่องสัญญาณซึ่งในการทดสอบช่องสัญญาณนั้น ค่าที่ได้จากการทดสอบช่องสัญญาณจะรวมเอาสัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุปกรณ์ เช่น เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer : VNA) อุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆ และสัญญาณรบกวนจากภายนอก ดังนั้นจึงได้พยายามลดสัญญาณรบกวนนี้ โดยก่อนที่จะนำผลจากการทดสอบช่องสัญญาณซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ในการวิเคราะห์และจำเป็นต้องใช้ในการระบุตำแหน่งรวมถึงการสร้างแบบจำลองสัญญาณนั้นมาลดสัญญาณรบกวนเสียก่อนแล้วจึงนำเอาผลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อการระบุตำแหน่งและการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณต่อไป

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

เทคนิคในการประมาณตำแหน่งของอุปกรณ์มีอยู่มากมาย ซึ่งเทคนิคต่างๆ เหล่านี้ต้องทำการพิจารณาบนพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่นที่ใช้ในระบบการสื่อสาร ในการทดลองการประมาณตำแหน่งของอุปกรณ์จำเป็นต้องทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของช่องสัญญาณที่จำเป็นเพื่อใช้ในการประมาณตำแหน่ง ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ได้มาจากการทดสอบช่องสัญญาณ ซึ่งสัญญาณที่ทดสอบได้อาจจะถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนหรือเกิดจากอุปกรณ์ที่เราทำการทดสอบช่องสัญญาณได้ จึงได้พยายามลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเพื่อความถูกต้องของค่าพารามิเตอร์ที่จะนำมาวิเคราะห์เพื่อใช้ในการประมาณตำแหน่งและใช้ในการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณ และเช่นเดียวกันแบบจำลองช่องสัญญาณที่จะทำการประยุกต์สร้างขึ้นนี้ต่างต้องทำการศึกษาถึงลักษณะการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของช่องสัญญาณต่างๆ ก็ได้มาจากการทดสอบช่องสัญญาณเช่นกัน ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารจำเป็นต้องทราบถึงคุณลักษณะของการแพร่กระจายคลื่นภายใต้สภาวะสิ่งแวดล้อมที่ต้องการนำไปใช้งานจริง ซึ่งสภาวะแวดล้อมที่จะนำไปใช้งานจริงมีหลากหลายลักษณะ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงพยายามที่จะเพิ่มความแม่นยำให้กับการประมาณตำแหน่งและการประยุกต์ใช้แบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐานแบบแถบกว้างยิ่งให้มีความถูกต้องในการจำลองช่องสัญญาณ เนื่องจากแบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐานนี้ได้สร้างมาจากพื้นฐานของการทดสอบช่องสัญญาณแล้วนำเอาค่าที่ได้จากการทดสอบช่องสัญญาณนำไปพิจารณาหาค่าพารามิเตอร์ ซึ่งในการทดสอบช่องสัญญาณอาจจะเกิดสัญญาณรบกวนขึ้นได้ เมื่อใช้แบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐานนี้ความถูกต้องในการคาดคะเนคุณสมบัติต่างๆ ของการแพร่กระจายคลื่นในการสื่อสารจึงไม่ถูกต้องเท่าที่ควร ดังนั้นจึงได้เพิ่มความถูกต้องของสัญญาณที่ได้นำมาวิเคราะห์นี้ โดยการนำเอาอัลกอริทึมแบบ CLEAN มาช่วยในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นเพื่อใช้ในการประมาณตำแหน่งและใช้ในการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณ

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

มีนักวิจัยจำนวนมากพยายามที่จะนำเอาวิธีการต่างๆ มาใช้เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์สัญญาณ เพื่อเพิ่มความถูกต้องของการประมาณตำแหน่งและเพิ่มความถูกต้องในการสร้างแบบจำลองของช่องสัญญาณ แต่ได้มาซึ่งความยุ่งยากในกระบวนการ เพิ่มภาระให้กับหน่วยประมวลผลและจำนวนของอุปกรณ์ที่ใช้มีมากขึ้น เช่น สายอากาศ โดยทั่วไปภายใต้การใช้งานจริงสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารจะเกิดการรบกวนจากปัจจัยหลายๆ ด้าน ทำให้ความผิดพลาดในการวิเคราะห์สัญญาณเพื่อนำไปใช้ในการประมาณตำแหน่งและประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณมีมากขึ้น เพื่อลดความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นจึงได้นำเอาอัลกอริธึมทางคณิตศาสตร์มาช่วยยกระดับสัญญาณให้มีความถูกต้องและยังลดระดับของสัญญาณรบกวนเพื่อให้อุปกรณ์สามารถตรวจจับสัญญาณที่มาถึงได้อย่างถูกต้อง เมื่อสามารถตรวจจับสัญญาณได้ดีแล้ว ความถูกต้องในการประมาณตำแหน่งและการจำลองช่องสัญญาณจึงมีมากขึ้น ในการสร้างแบบจำลองของช่องสัญญาณนั้น จำเป็นต้องทราบถึงค่าคุณสมบัติต่างๆ และค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้าง ซึ่งค่าต่างๆ เหล่านี้ได้มาจากการทดสอบช่องสัญญาณภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ต้องนำเอาระบบไปใช้งานและมีกลุ่มนักวิจัยกลุ่มหนึ่งได้พยายามสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณสำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งขึ้น โดยทำการทดสอบช่องสัญญาณในสภาวะแวดล้อมทั้งหมด 4 แบบ ซึ่งแบบจำลองช่องสัญญาณนี้เป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ต่อมาจำนวนผู้ใช้แบบจำลองช่องสัญญาณนี้มีมากขึ้นและยังเป็นที่ยอมรับกันในหมู่ของนักวิจัยด้วยกัน จึงยกย่องให้แบบจำลองช่องสัญญาณนี้เป็นแบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐาน IEEE 802.15.3a เมื่อนำเอาแบบจำลองช่องสัญญาณที่เป็นมาตรฐานนี้ไปใช้อาจจะจำลองการแพร่กระจายคลื่นและได้คุณสมบัติต่างๆ ของช่องสัญญาณที่ไม่ถูกต้องมากนัก ส่งผลให้การประเมินประสิทธิภาพของระบบผิดพลาดไป จึงได้พยายามเพิ่มความถูกต้องของการจำลองช่องสัญญาณ โดยการเพิ่มความแม่นยำในการหาคุณสมบัติต่างๆ และพารามิเตอร์ของช่องสัญญาณให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น เสมือนกับว่าคุณลักษณะและพารามิเตอร์ที่ได้วิเคราะห์ออกมานั้นเป็นค่าของช่องสัญญาณนั้นจริงๆ เพื่อนำไปประเมินประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารให้เกิดความแม่นยำขึ้น

1.6 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง และได้สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากร่างกายมนุษย์สำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งในการเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งและเพิ่มความแม่นยำในการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากร่างกายมนุษย์ด้วยอัลกอริธึมแบบ CLEAN และสุดท้ายค่าที่ได้จากการระบุตำแหน่งโดยใช้อัลกอริธึมแบบ CLEAN จะนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการ

ระบุตำแหน่งโดยไม่ใช่อัลกอริทึมนี้ ในการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากการบดบังของร่างกายมนุษย์จะได้นำเอาคุณลักษณะของช่องสัญญาณมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติที่ได้จากการทดสอบช่องสัญญาณ

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 7 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ ซึ่งประกอบไปด้วยความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน ขอบเขตการวิจัย และขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงระบบการสื่อสาร UWB ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ ลักษณะเฉพาะของการสื่อสาร UWB จุดเด่นของระบบการสื่อสาร UWB กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสาร UWB นิยามของสัญญาณ UWB รูปคลื่น UWB และบทสรุป

บทที่ 3 กล่าวถึงช่องสัญญาณการสื่อสารไร้สายภายในอาคาร ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ ลักษณะของสัญญาณที่เกิดขึ้น ช่องสัญญาณหลายวิถี แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถี แบบจำลองช่องสัญญาณแบบ SV แบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐาน IEEE 802.15.3a และบทสรุป

บทที่ 4 กล่าวถึงการประมาณการระบุตำแหน่งและการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณ ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ การประมาณตำแหน่งในระบบการสื่อสารไร้สาย เทคนิคในการระบุตำแหน่งของระบบการสื่อสารแบบไร้สาย วิธีการคำนวณเพื่อหาค่าตำแหน่งของอุปกรณ์ การสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐาน IEEE 802.15.3a การปรับปรุงการระบุตำแหน่งและแบบจำลองช่องสัญญาณด้วยอัลกอริทึมแบบ CLEAN และบทสรุป

บทที่ 5 กล่าวถึงขั้นตอนในการทดสอบช่องสัญญาณและการวิเคราะห์ผล ประกอบด้วย บทนำ อุปกรณ์การทดสอบช่องสัญญาณ แบบแผนการทดสอบ ขั้นตอนการทดสอบทั้งสองแบบจำลอง รวมถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบละบทสรุป

บทที่ 6 กล่าวถึงผลของการทดลอง และผลของการวิจัย และบทสรุป

บทที่ 7 กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.1 กล่าวนำ

ในอนาคตเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband: UWB) มีแนวโน้มว่าจะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless personal area network : WPAN) เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในหลายๆ ด้าน เช่น เมื่อใช้ในระยะทางใกล้ๆ สามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงโดยเชื่อมต่อด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่สูงประมาณ 110 Mb/s ในระยะทาง 10 เมตรและมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นในระยะทางที่สั้นลงโดยอัตราการส่งสูงถึง 480 Mb/s ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตร ต้องการกำลังงานในการส่งต่ำซึ่งมีค่าสูงสุดไม่เกิน -41.3 dBm ซึ่งเป็นข้อกำหนดของกำลังงานที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Part 15 limit) ทำให้ไม่มีผลกระทบต่อระบบอื่นๆ ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน สัญญาณของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีความแตกต่างกับระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน 2 ประการคือ การส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะทำการส่งสัญญาณในลักษณะที่เป็นอิมพัลส์ โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณพาห้ (carrierless) เหมือนกับการสื่อสารไร้สายแบบแถบแคบทั่วไป อีกประการหนึ่งสัญญาณแถบกว้างยิ่งจะใช้แบนด์วิดท์ที่กว้างมากคือช่วงความถี่ระหว่าง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz มีขนาดแบนด์วิดท์คือ 7.5 GHz. ซึ่งจะพบว่ามีความมากกว่าแถบความถี่ของระบบการสื่อสารไร้สายแบบแคบที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก ซึ่งช่วงความถี่ที่ใช้นี้ถูกกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) จากปัจจัยต่างๆ นี้จึงได้มีการนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่งนี้มาใช้ในระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล ซึ่งกำหนดออกมาเป็นมาตรฐานคือ IEEE 802.15.3a โดยการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่งนั้นคาดว่าจะถูกนำมาใช้เป็นการสื่อสารไร้สายแบบภายในอาคาร ซึ่งมีอุปกรณ์มากมายสามารถใช้งานเทคโนโลยีนี้ได้ ตัวอย่างเช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) เครื่องพิมพ์ (Printer) เครื่องสแกนเนอร์ (Scanner) กล้องดิจิทัล พ็อกเก็ตพีซี (Pocket PC) วิทยุไอพีริเจคเตอร์ เป็นต้น โดยในบทนี้จะกล่าวถึงประวัติความเป็นมาของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งและรายละเอียดของข้อกำหนดต่างๆ ของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.2 ประวัติและความเป็นมาของการสื่อสารระบบแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่งโดยพื้นฐานแล้วแตกต่างจากระบบการสื่อสารอื่นๆ เนื่องจากเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนั้นใช้พัลส์ที่แคบมากในการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยัง

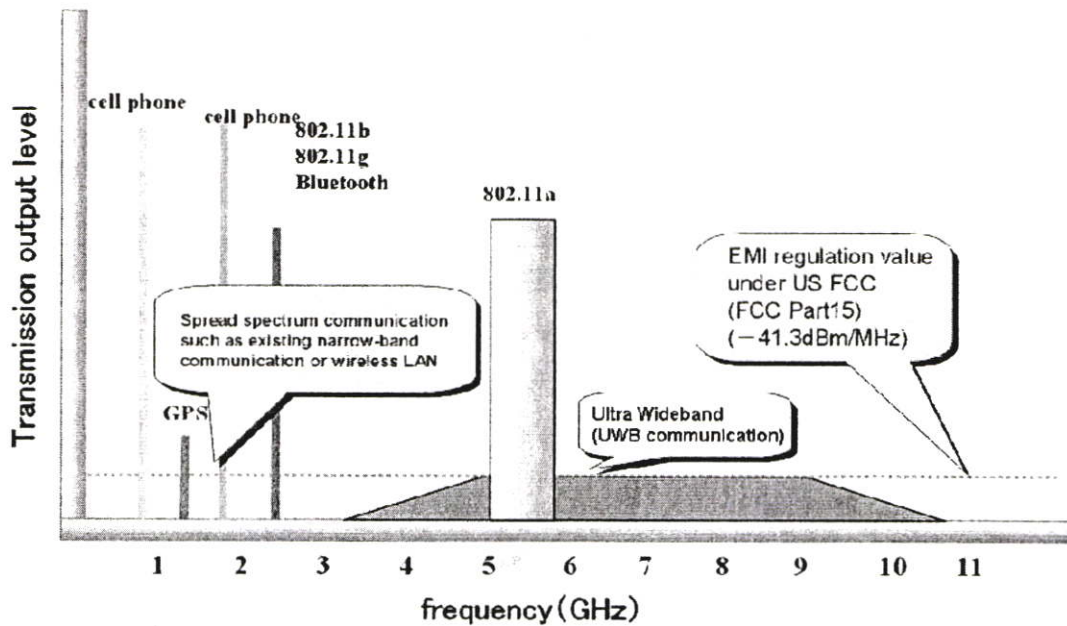
ภาครับ จากพัลส์ที่มีช่วงเวลาแคบมากนี้เองทำให้เทคโนโลยีแถบกว้างยังมีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากๆ ทำให้มีความเร็วในการสื่อสารข้อมูลสูงอีกทั้งยังสามารถใช้งานระบบการสื่อสารไร้สายพร้อมกันกับระบบการสื่อสารไร้สายเดิมที่มีอยู่แล้วได้

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยังมีใช้เป็นเทคโนโลยีที่คิดค้นเทคนิคในการสื่อสารขึ้นมาใหม่ เพียงแต่ใช้หลักการพื้นฐานเดิมของการสื่อสารที่ถูกค้นพบครั้งแรกโดยนาย มาร์โคนี (Guglielmo Marconi) ในปี ค.ศ.1901 นั่นคือรหัสมอส (Morse code) โดยได้ทำการทดลองส่งสัญญาณต่อเนื่องข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกโดยใช้เครื่องส่งสปาร์กแก๊ป (Spark gap) ซึ่งในการทดลองสื่อสารครั้งนี้เป็นจุดเริ่มต้นของการใช้ประโยชน์ของการสื่อสารที่มีแบนด์วิดท์กว้างแต่ความสามารถในการใช้งานสื่อสารแบบหลายคน (multi-user) ยังไม่เกิดขึ้น ต่อมาอีกประมาณ 15 ปี การสื่อสารโดยการใช้พัลส์ในการส่งสัญญาณได้ถูกผลักดันให้ทดสอบใช้ในทางการสื่อสารทางด้านต่างๆ ของทหารในรูปแบบของอิมพัลส์เรดาร์ (impulse radar) ต่อมาได้มีการพัฒนาการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในปี ค.ศ. 1962 โดยใช้หลักการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในโดเมนทางเวลา และต่อมาได้ถูกพัฒนานำไปใช้ในการส่งสัญญาณการสื่อสารในเครือข่ายไมโครเวฟ ในปี ค.ศ. 1963-1966 ซึ่งยึดหลักการในการพัฒนาการสื่อสารว่าต้องมีรูปแบบที่ง่ายและไม่ซับซ้อน โดยใช้คุณลักษณะของการตอบสนองความถี่ เช่น ขนาดของสัญญาณ และเฟส ซึ่งในการวิเคราะห์สัญญาณนั้นได้ใช้เครื่อง ออสซิลอสโคปในการสุ่มค่าของสัญญาณ และได้ทำการวิเคราะห์เพื่อพัฒนาระบบการสื่อสารให้เป็นแบบเครือข่ายในระบบไมโครเวฟ ในปี ค.ศ. 1968 มีการพัฒนารูปแบบของสัญญาณให้รูปแบบของสัญญาณมีขนาดแคบลงได้อย่างรวดเร็ว และได้นำไปใช้ในการส่งสัญญาณติดต่อสื่อสารแบบเรดาร์ได้ ในปี ค.ศ. 1972 และในปี ค.ศ. 1973 เครื่องออสซิลอสโคปที่ใช้การวิเคราะห์ความถี่ที่ความถี่สูงมากๆ ก็ได้ถูกสร้างขึ้น จึงทำให้ต้องมีการกำหนดช่วงของแถบความถี่กว้างยิ่งขึ้น ต่อมาในปี ค.ศ.1980 นั้นได้มีการกำหนดให้เทคโนโลยี แถบกว้างยิ่งนี้ไม่จำเป็นต้องใช้คลื่นพาหะในการสื่อสาร โดยส่วนใหญ่แล้วการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งจะนำไปประยุกต์ใช้งานด้านระบบเรดาร์ อันเนื่องมาจากคุณสมบัติของสัญญาณที่มีช่วงความถี่ที่กว้างมากทำให้ทราบข้อมูลในด้านการระบุตำแหน่งที่มีความถูกต้องสูง และเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ยังนำมาประยุกต์ใช้ในการสื่อสารขององค์กรที่ต้องปกปิดข่าวสารข้อมูลในการสื่อสารเพื่อให้ข้อมูลข่าวสารนั้นๆ เป็นความลับมากที่สุด ซึ่งกองทัพสหรัฐอเมริกาได้ใช้เทคนิคในการสื่อสารนี้เพื่อปกปิดข้อมูลข่าวสารของคน

2.3 การสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่น โดยจุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่งก็คือ เป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่น

พาหะ (Radio Frequency: RF) เหมือนเช่นกับในระบบอื่น สัญญาณของระบบแบบกว้างยิ่งจะเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse) โดยจะเป็นพัลส์แคบๆ ขนาด ประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ (Spectral density) ที่สูงมาก ดังนั้นจึงแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับกิกะเฮิรตซ์ GHz และเนื่องด้วยระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งผ่านข้อมูลได้สูงถึง 480 Mb/s ในระยะทางประมาณ 2 เมตร ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีความแคบมากจึงทำให้ช่วงใช้งาน (duty cycle) มีค่าต่ำจึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบนี้มีการใช้กำลังที่ต่ำลงไปด้วย ในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแบบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบอื่น



รูปที่ 2.1 ระดับความหนาแน่นของแถบกำลังงานของระบบการสื่อสารไร้สาย

2.3.1 จุดเด่นของระบบการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่ง

ระบบการสื่อสารไร้สายแบบแถบความถี่กว้างยิ่งนั้นเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารในหลายๆ ประการอาทิเช่น

- เป็นระบบที่มีต้นทุนต่ำ

ระบบการสื่อสารไร้สายแบบแถบความถี่กว้างยิ่งเป็นระบบที่มีต้นทุนที่ต่ำ เนื่องจากการส่งสัญญาณนั้นไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่น โดยเครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่สูงทำให้ความกว้างของสัญญาณแคบลง และสามารถแพร่กระจายคลื่นโดยไม่จำเป็นต้องมีคลื่นพาห้ ซึ่งโดยปกติแล้วในการสื่อสารไร้สายทั่วไปต้องมีคลื่นพาห้ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีวงจรในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุกับคลื่นพาห้ในเครื่องส่ง และไม่จำเป็นต้องมีวงจรเพิ่มกำลังของสัญญาณให้สูงขึ้นก่อนทำการแพร่กระจายสัญญาณออกไปและในส่วนของ

ภาครับไม่จำเป็นต้องมีมิกเซอร์ (Mixer) ทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- กำลังงานในการส่งต่ำ

จากข้อกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้กำลังงานในการส่งนั้นมีค่าสูงสุดไม่เกิน -41.3 dBm ซึ่งเป็นข้อกำหนดของกำลังงานที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Part 15 limit) ทำให้สัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารของระบบแถบกว้างยั้งนั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำ โดยอยู่ในระดับของสัญญาณรบกวน (Noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณการสื่อสารแบบแถบกว้างยั้งเป็นเพียงสัญญาณรบกวนในระบบตามปกติ

- มีอัตราการส่งผ่านข้อมูลสูง

ในระบบแถบความถี่กว้างยั้งนั้นมีการส่งข้อมูลด้วยความถี่ในย่าน 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งเห็นได้ว่าเป็นแถบความถี่ที่กว้างมากและมีความถี่สูงจึงทำให้อัตราการส่งผ่านข้อมูลสูงประมาณ 110 Mb/s ในระยะทาง 10 เมตร และมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นในระยะทางที่สั้นลงโดยอัตราการส่งผ่านข้อมูลที่สูงถึง 480 Mb/s ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตร

2.4 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยั้ง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ต้องกำหนดขึ้นในการใช้งานสื่อสารแบบแถบกว้างยั้งนั้นคือการจัดสรรความถี่ที่ใช้ในการสื่อสาร ซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการถอดถอนการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยั้งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มทำงานนี้ได้ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการโดยใช้ชื่อว่า Ultra-Wideband Working Group (UWBWG) เพื่อทำการเจรจาข้อตกลงร่วมกับคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาและในทวีปยุโรปก็ได้มีการเจรจาข้อตกลงในเรื่องการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของคลื่นวิทยุเช่นกัน ในปัจจุบันยังมีการกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างยั้ง ซึ่งการเจรจาข้อตกลงในเรื่องนี้ได้มีสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute : ETSI) และสหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union : ITU) เป็นผู้เจรจาและได้ตกลงกันแล้ว

2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยั้งในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ Notice of Inquiry (NOI) เนื่องจากมีความเป็นห่วงว่าจะเกิดการแทรกสอดของสัญญาณต่อระบบการสื่อสารที่มีอยู่เดิมและระบบความปลอดภัยในกิจการทางอากาศและทิศทาง ขอบเขตในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งที่จะใช้งานในระบบแถบกว้างยั้ง

ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 FCC ได้ออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานในการสื่อสารและยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้เพื่อการพาณิชย์ได้อีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตให้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งไว้ 4 ประเภทและกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่าง ๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการลดค่าการจำกัดแบนด์วิดท์ (B_f) ไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 0.25 ตามสมการที่ (2.1) และข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 เพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลแบบภายในอาคารและภายนอกอาคาร

เมื่อเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่งได้ถูกเสนอเพื่อใช้ในกิจการการสื่อสารของประชาชนทั่วไป ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดลักษณะสัญญาที่จะนำมาใช้ในการสื่อสาร จึงมอบหมายให้หน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่งสำหรับสัญญาที่ใช้ในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ B_f ของสัญญาโดยต้องมีค่ามากกว่า 25% โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ (2.1) [6]

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

โดยที่ f_L คือ ความถี่ต่ำสุดและ f_H คือความถี่สูงสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารและภายนอกอาคาร [7]

ความถี่ [MHz]	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
	EIRP in dBm	EIRP in dBm
960 – 1,610	-75.3	-75.3
1,610 – 1,990	-53.3	-63.3
1,990 – 3,100	-51.3	-61.3
3,100 – 10,600	-41.3	-41.3
สูงกว่า 10,600	-51.3	-61.3

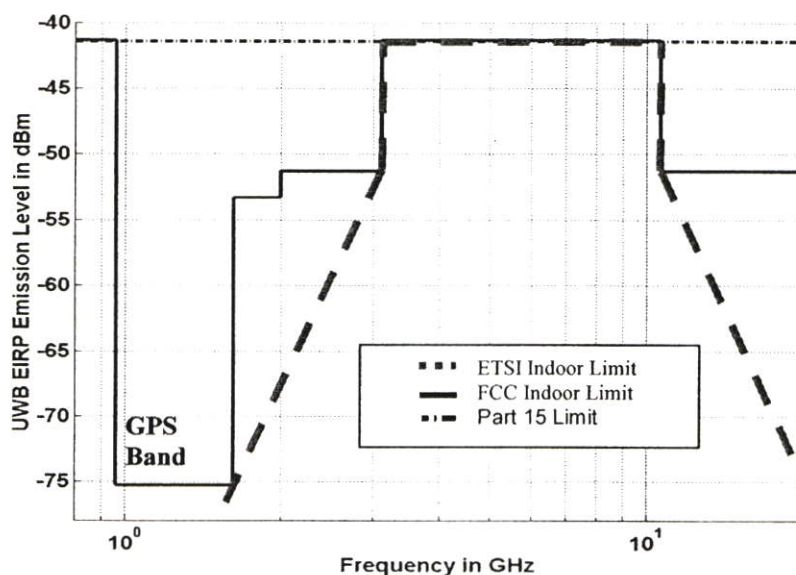
2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

ปัจจุบัน โครงร่างของข้อกำหนดระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปนั้น อยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งกับระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่ โดยข้อกำหนดบางส่วนของทางยุโรปนั้นจะมีความรัดกุมกว่าข้อกำหนดของทางสหรัฐอเมริกา เนื่องจากว่าทางทวีปยุโรปนั้นต้องแสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีใหม่ต้องส่งผลกระทบต่อเทคโนโลยีที่ใช้งานอยู่ก่อนน้อยที่สุดหรือไม่เกิดผลเสียใดๆ ต่อระบบเดิมที่มีอยู่ โดยข้อกำหนดของการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งแบบภายในอาคารและแบบภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

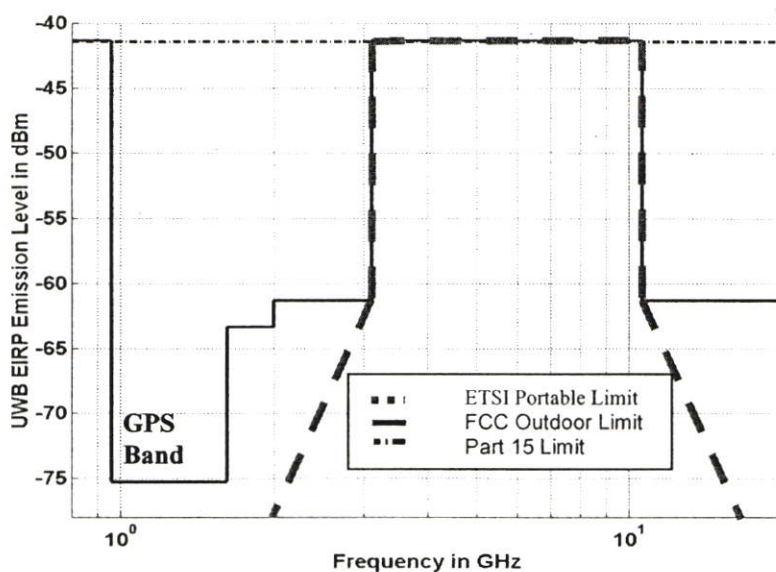
ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งแบบภายในอาคารและแบบภายนอกอาคาร [7]

	ช่วงความถี่ [GHz]		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
ภายในอาคาร	$-51.3 + 87\log(f / 3.1)$	-41.3	$-51.3 + 87\log(10.6 / f)$
ภายนอกอาคาร	$-61.3 + 87\log(f / 3.1)$	-41.3	$-61.3 + 87\log(10.6 / f)$

โดยในรูปที่ 2.2 และ รูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อกำหนดของการจำกัดสเปกตรัมความถี่ของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งระหว่าง FCC และ ETSI แบบภายในอาคารและแบบภายนอกอาคารตามลำดับ



รูปที่ 2.2 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร [7]



รูปที่ 2.3 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร [7]

2.5 ลักษณะการใช้งานของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นเป็นระบบที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบโดยสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทหลักๆ ได้แก่

- ใช้ในการติดต่อสื่อสารและระบบเซนเซอร์
- ใช้ในการค้นหาตำแหน่งของวัตถุ
- ใช้ในระบบเรดาร์

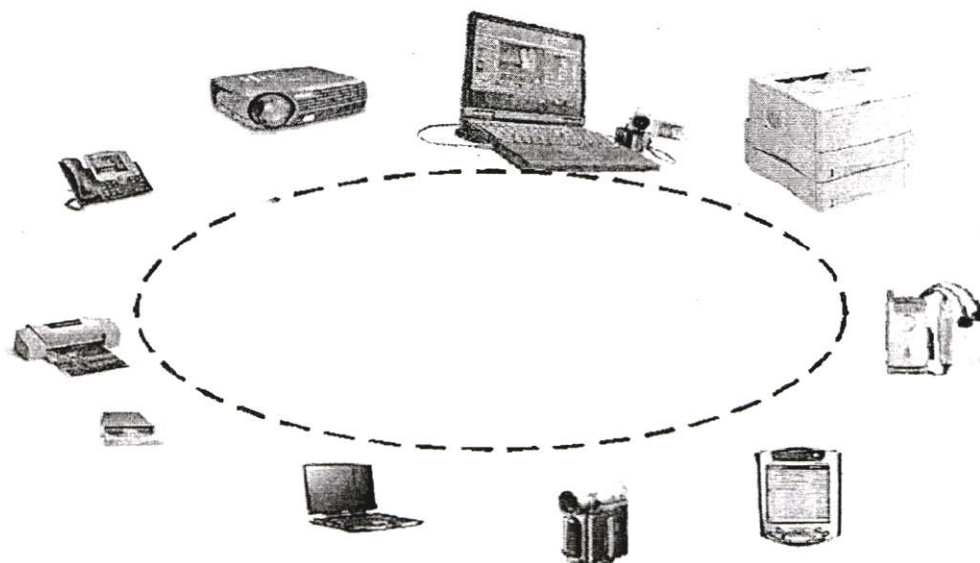
2.5.1 การติดต่อสื่อสารและระบบเซนเซอร์ [7]

ในอนาคตนั้นมีแนวโน้มว่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เครื่องใช้ภายในบ้านชนิดต่างๆ นั้นต้องการติดต่อสื่อสารข้อมูลกันระหว่างตัวอุปกรณ์มากขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานภายในบ้านที่ต้องการการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันเพื่อใช้งานกันแบบโครงข่ายแล้วสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ ได้แก่

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป เช่น โทรทัศน์ วิทยุ วีดีโอเกมส์ กล้องดิจิทัล เครื่องขยายเสียง ลำโพง และเครื่องเล่นดีวีดี

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดพกพา เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ พีดีเอ และเครื่องเล่นเพลง

อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เช่น เครื่องพิมพ์ เครื่องฉายภาพ อุปกรณ์เก็บข้อมูล คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ และคอมพิวเตอร์แบบพกพา



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่สามารถประยุกต์ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง

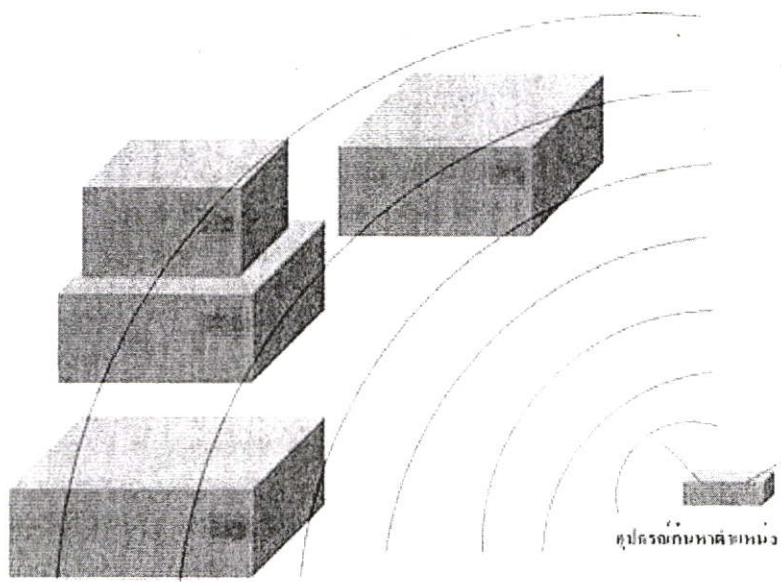
ซึ่งอุปกรณ์เหล่านั้นล้วนสามารถนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ เพื่อให้สามารถติดต่อสื่อสาร แลกเปลี่ยนข้อมูลและส่งผ่านข้อมูลได้อย่างรวดเร็วมาก เช่น มีการส่งสัญญาณภาพจากเครื่องเล่นดีวีดีไปยังเครื่องฉายภาพเพื่อทำการฉายภาพ หรืออาจทำการส่งข้อมูลวีดีโอจากกล้องถ่ายภาพวีดีโอไปยังคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะเพื่อบันทึกและตัดต่อภาพวีดีโอ นั่นๆ เป็นต้น

นอกจากจะนำระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ภายในบ้านแล้วนั้นยังสามารถนำไปประยุกต์กับระบบเซนเซอร์ต่างๆ ได้ดังตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ทางการแพทย์ซึ่งแต่เดิมจะมีการใช้สายในการส่งผ่านข้อมูลที่วัดได้จากร่างกายผู้ป่วยไปยังเครื่องที่ทำการวิเคราะห์ซึ่งหากมีการนำการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนี้ไปประยุกต์ใช้งานก็จะทำให้ความยุ่งยากเกี่ยวกับสายสัญญาณต่างๆ หดไปและเนื่องจากข้อดีของแถบกว้างยิ่งที่ใช้กำลังส่งที่ต่ำ จึงทำให้ไม่ไปรบกวนอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ

2.5.2 การค้นหาตำแหน่งของวัตถุ

ในปัจจุบันระบบการค้นหาตำแหน่งที่นิยมใช้งานกันมากนั้นจะเป็นระบบ GPS ซึ่งจะใช้งานในการระบุตำแหน่งที่ยังให้ความถูกต้องในการบอกพิกัดที่ยังไม่มีความละเอียดมากนัก ระบบ GPS บอกพิกัดของตำแหน่งที่ต้องการทราบได้เพียงในระดับเมตรเท่านั้น ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในการเดินทางและระบบที่ต้องการการบอกตำแหน่งแบบคร่าวๆ แต่เมื่อต้องการนำมาประยุกต์ใช้งานภายในอาคารนั้นความต้องการความถูกต้องในการระบุตำแหน่งมีมากขึ้น เป็นต้นว่าต้องการทราบ

ว่าสินค้าที่ต้องการจะตรวจสอบอยู่ที่ตำแหน่งใดภายในคลังเก็บสินค้า ระบบการระบุตำแหน่งแบบแถบกว้างยิ่งจะช่วยค้นหาสินค้าที่ต้องการ ได้ด้วยความแม่นยำมากกว่าระบบ GPS [8]



รูปที่ 2.5 เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในงานค้นหาตำแหน่ง

2.5.3 เรดาร์

ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาต้นทุนต่ำซึ่งเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้กับเรดาร์ ซึ่งอุปกรณ์เรดาร์ในอนาคตนั้นยังมีแนวโน้มที่จะเจริญเติบโตทางด้านยอดขายอีกมาก อุปกรณ์เรดาร์นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของวัตถุ ตรวจสอบสภาพการณ์ข้างหน้าเพื่อหลีกเลี่ยงการชน การตรวจวัดความเร็วของรถยนต์บนท้องถนน ใช้เป็นระบบเตือนภัยเพื่อรักษาความปลอดภัยภายในสถานที่ส่วนบุคคลเพื่อตรวจสอบการเคลื่อนไหวของวัตถุในพื้นที่ที่เราต้องการความปลอดภัยสูง พื้นที่ที่มีทรัพย์สินที่มีมูลค่าสูงหรือพื้นที่ที่ต้องการความเข้มงวดในการตรวจสอบสูง และอาจนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบเพื่อหาวัตถุต้องสงสัยได้เนื่องจากสัญญาณทะลุผ่านวัสดุที่ใช้ทำสิ่งปลูกสร้างต่างๆ เช่น ไม้ อิฐ อิฐบล็อก ไฟเบอร์ คอนกรีต เป็นต้น ดังนั้นเรดาร์จึงได้ถูกพัฒนาขึ้นและใช้เพื่อกิจการทางทหารแต่ในอนาคตอันใกล้นี้อาจถูกนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ และการช่วยชีวิตเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

2.6 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันรวมถึงการกำหนดกฎเกณฑ์ในการใช้งาน ข้อบังคับต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งจะสัมพันธ์กับแบนด์วิธท์ของระบบ ระดับกำลังงานที่แพร่กระจายทั้งแบบภายในและแบบภายนอกอาคาร ที่กำหนดโดยองค์กรที่มีหน้าที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น คณะกรรมการ

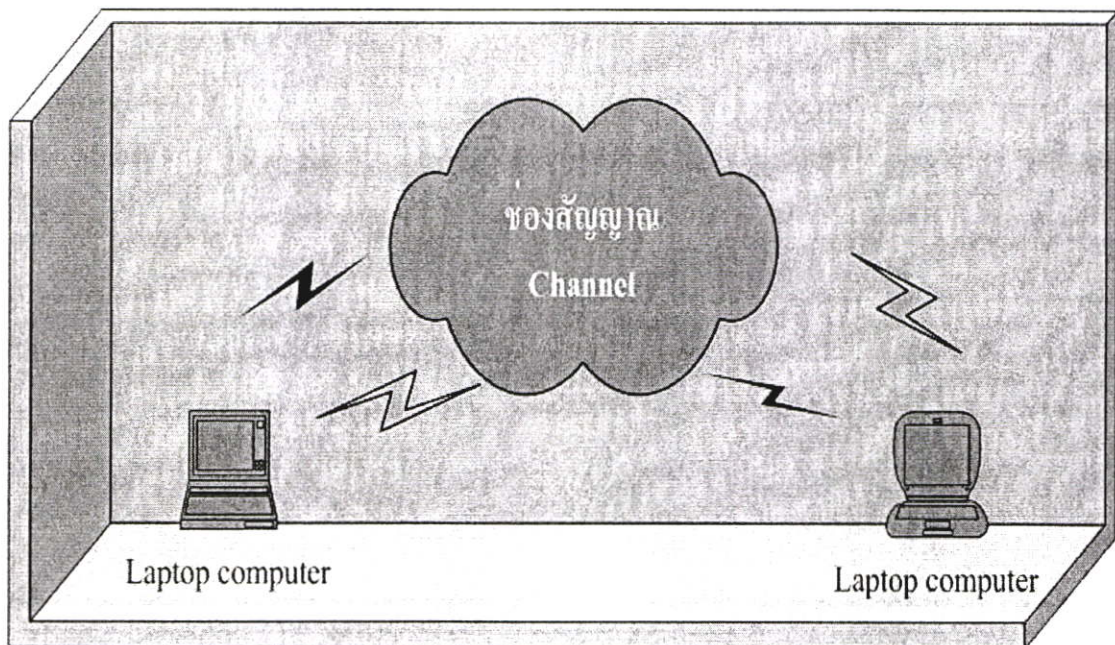
การสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) สถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (ETSI) และสหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) เป็นต้น รวมถึงการนำเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งานในลักษณะต่างๆ ซึ่งเป็นหลักการเบื้องต้นของเทคโนโลยีการสื่อสารนี้เท่านั้น

บทที่ 3

ช่องสัญญาณการสื่อสารไร้สายภายในอาคาร

3.1 กล่าวนำ

ในการสื่อสารไร้สายโดยทั่วไปนั้นระบบจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบที่สำคัญๆ อยู่ทั้งหมด 3 ส่วนด้วยกันคือ 1. เครื่องส่ง (Transmitter) 2. ช่องสัญญาณ (Channel) 3. เครื่องรับ (Receiver) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งทั้ง 3 ส่วนนี้ล้วนมีความสำคัญทั้งสิ้น ในการวิเคราะห์และการออกแบบระบบการสื่อสาร จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ทั้ง 3 ส่วนเพื่อความถูกต้องและประสิทธิภาพโดยรวมของระบบว่า ระบบที่ได้ออกแบบนั้นมีประสิทธิภาพเป็นเช่นใด ในการใช้งานของระบบใดๆ การแพร่กระจายคลื่นจากภาคส่งก่อนจะมาถึงภาครับนั้นสัญญาณข้อมูลที่ต้องการต้องเดินทางผ่านช่องสัญญาณเสียก่อน ซึ่งช่องสัญญาณในการสื่อสารนี้จะมีคุณสมบัติของช่องสัญญาณที่แตกต่างกันและเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวขึ้นอยู่กับสถานะแวดล้อมที่ได้นำเอาระบบการสื่อสารแบบไร้สายนั้นๆ ไปใช้งาน



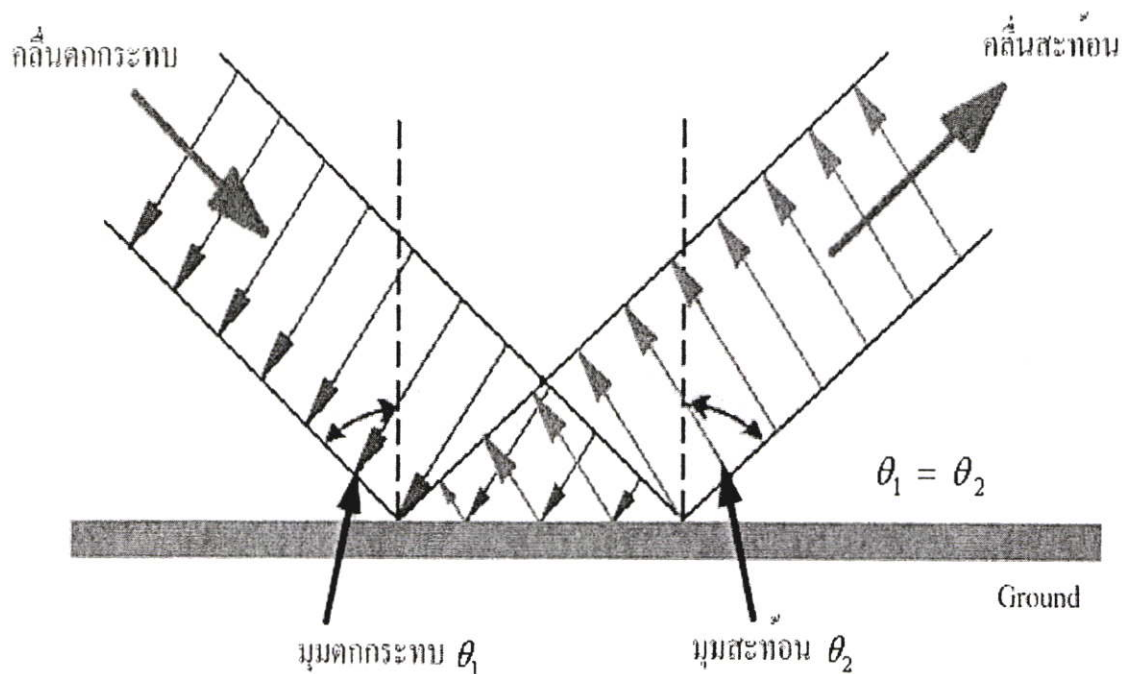
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบหลักของระบบการสื่อสารไร้สาย

3.2 ลักษณะของคลื่นที่เกิดขึ้นภายในช่องสัญญาณ

ลักษณะของคลื่นที่เกิดขึ้นในช่องสัญญาณ โดยทั่วไปแล้วจะเกิดเนื่องจากคลื่นได้แพร่กระจายเข้ามายังช่องสัญญาณซึ่งเป็นอากาศและช่องสัญญาณนั้นๆ อาจมีวัตถุที่อยู่บริเวณที่ระบบนั้นใช้งานอยู่ ซึ่งทำให้ลักษณะการเดินทางของคลื่นในช่องสัญญาณมีความแตกต่างกันได้จึงอธิบายลักษณะของคลื่นที่ได้แพร่กระจายภายในช่องสัญญาณดังนี้

3.2.1 การสะท้อน (Reflection)

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



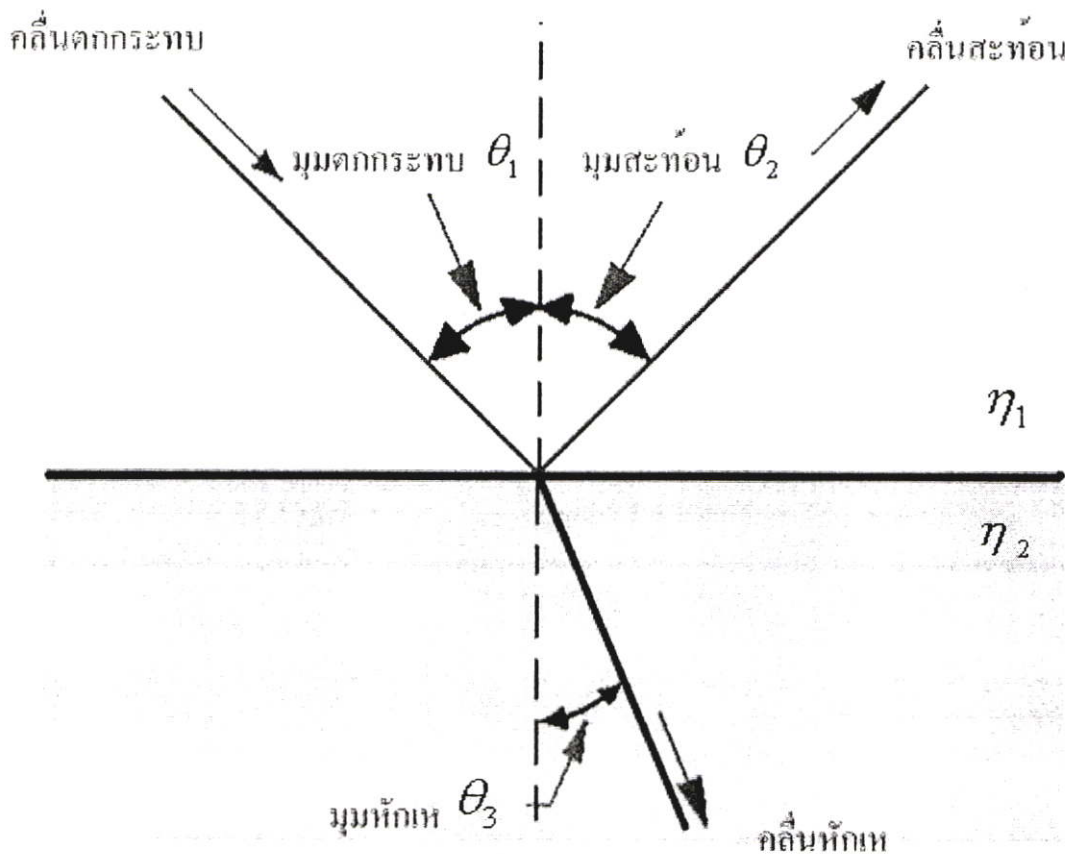
รูปที่ 3.2 ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นที่เกิดการสะท้อน

3.2.2 การหักเห (Refraction)

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

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

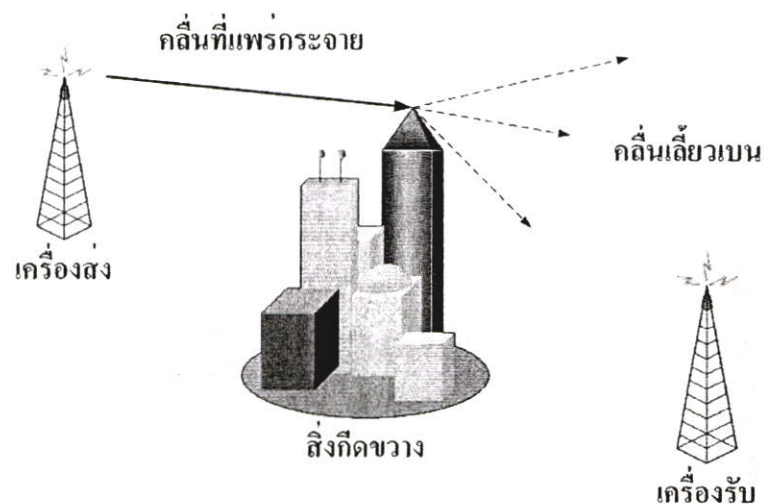
โดยที่ η_x คือดัชนีหักเหของตัวกลาง x ส่วน θ_1 และ θ_3 คือมุมตกกระทบและมุมหักเหตามลำดับ



รูปที่ 3.3 ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นสะท้อนและหักเห

3.2.3 การเลี้ยวเบน (diffraction)

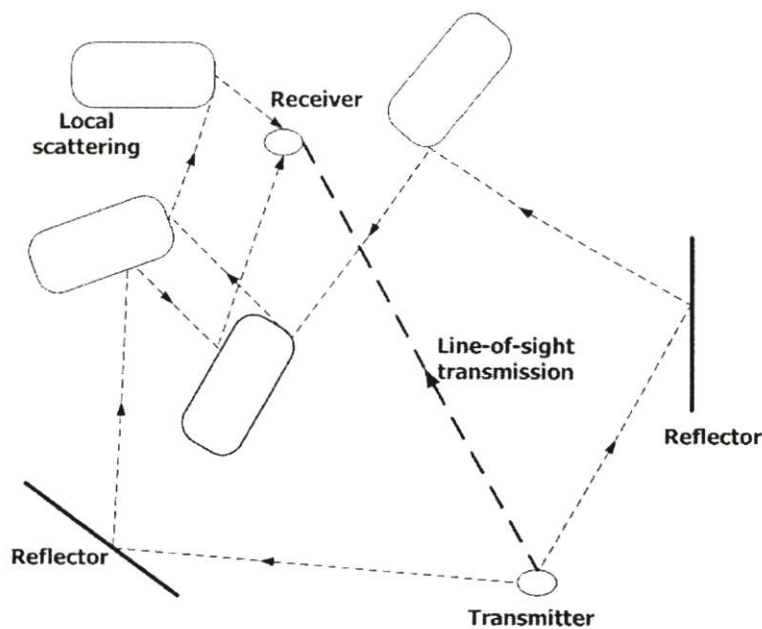
การเลี้ยวเบนของคลื่นเกิดขึ้นในกรณีที่มีวัตถุบางอย่างที่มีขอบของวัตถุนั้นกีดขวางทางอยู่ระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณ ทำให้ไม่เกิดการเดินทางของคลื่นแบบเส้นทางตรง (line of sight: LOS) ระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ แต่สัญญาณยังสามารถส่งผ่านไปยังเครื่องรับได้ โดยปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้คือ การเลี้ยวเบน คลื่นจะเดินทางโดยการเลี้ยวอ้อมวัตถุนั้นๆ การเลี้ยวเบนของคลื่นนี้เองที่ทำให้เครื่องรับยังสามารถรับสัญญาณได้บางส่วนและบางส่วนก็ถูกลดทอนลงไปบ้างในขณะที่เครื่องรับถูกบดบังด้วยสิ่งกีดขวาง รูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว



รูปที่ 3.4 ลักษณะการเลี้ยวเบนของคลื่น

3.3 ช่องสัญญาณหลายวิธี

ในระบบการสื่อสารไร้สาย เมื่อเครื่องส่งได้ทำการส่งสัญญาณแพร่กระจายออกมาจากเครื่องส่ง สัญญาณได้เดินทางผ่านช่องสัญญาณ ซึ่งสัญญาณที่ได้เดินทางผ่านช่องสัญญาณมานี้ได้เดินทางมายังเครื่องรับในลักษณะหลายเส้นทาง อันเนื่องมาจากสัญญาณที่แพร่กระจายออกมานั้นได้เดินทางออกมาในลักษณะหลายทิศทางประกอบกับสถานะแวดล้อมของช่องสัญญาณที่สัญญาณได้เดินทางผ่านมานั้นได้มีสิ่งกีดขวางต่างๆ ทำให้สัญญาณเดินทางได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับสถานะแวดล้อมที่ระบบนั้นใช้งานอยู่ จึงขออธิบายไว้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เส้นทาง การแพร่กระจายสัญญาณหลายวิธี [10]

จากรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าเส้นทางในการเดินทางของสัญญาณที่เดินทางผ่านช่องสัญญาณเมื่อเดินทางมาถึงเครื่องรับแล้วมีหลายเส้นทางมาก อันเนื่องมาจากปัจจัยหลายด้าน เช่น การหักเหของคลื่น การสะท้อนของคลื่น การเลี้ยวเบนของคลื่น ทำให้เกิดเป็นช่องสัญญาณหลายวิธีนั่นเอง ช่องสัญญาณหลายวิธีสามารถอธิบายโดยใช้ผลตอบสนองของช่องสัญญาณแสดงดังนี้สมการที่ (3.2)

$$h(t) = \sum_k \beta_k e^{j\theta_k} \delta(t - \tau_k) \quad (3.2)$$

โดยที่

$\delta(x)$ คือฟังก์ชัน Dirac delta

β_k คือขนาดของสัญญาณ

τ_k คือ เวลาในการประวิงของสัญญาณ

θ_k คือมุมเฟสของสัญญาณ

k คือ ลำดับของสัญญาณมีค่าตั้งแต่ 0 จนถึง ∞

3.4 แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถี [11]

ช่องสัญญาณในการแพร่กระจายคลื่นไร้สายมีมานานกว่า 50 ปีแล้ว ซึ่งแบบจำลองช่องสัญญาณจำนวนมากได้นำถูกนำเสนอในวารสารต่างๆ [12]-[13] สัญญาณที่แพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณไร้สายประกอบด้วยคลื่นที่สะท้อนหรือหักเหจากสัญญาณเดิมที่ทำการส่ง ซึ่งปรากฏการณ์ธรรมชาติเหล่านี้จะเกิดขึ้นเป็นปกติจึงเรียกเหตุการณ์เหล่านี้ว่า การแพร่กระจายคลื่นแบบหลายวิถี ด้วยความแตกต่างกันของเส้นทางที่ใช้เดินทางของสัญญาณ องค์ประกอบต่างๆ ของเส้นทางหลายวิถีจึงทำให้เกิดการประวิง (delay) และการลดทอน (attenuation) ซึ่งการประวิงและการลดทอนนี้ มีค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่ถูกต้องซึ่งสามารถอธิบายองค์ประกอบของสัญญาณที่เดินทางหลายวิถีได้และจัดเป็นศิลปะของการจำลองช่องสัญญาณ

ในยุคแรกของการใช้งานแบบจำลองช่องสัญญาณการสื่อสารไร้สายนั้นจะนิยมใช้แบบจำลองช่องสัญญาณการจางหายแบบราบเรียบของเรย์ลี (The flat Rayleigh-fading channel) ซึ่งสมมุติให้ช่องสัญญาณมีการจางหายแบบราบเรียบสามารถใช้งานได้เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์แคบ การประวิงขององค์ประกอบเส้นทางหลายวิถียังไม่มีผลกระทบกับเสถียรภาพของระบบ ดังนั้นที่ภาครับสัญญาณองค์ประกอบของเส้นทางหลายวิถีทั้งหมดสามารถรับกวนหรือเสริมกันได้ ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดผลดีกับสัญญาณหลายวิถีหรือเกิดผลเสียกับสัญญาณหลายวิถีนี้ได้ และถ้ามีจำนวนของส่วนองค์ประกอบของเส้นทางหลายวิถีมาก ค่าแอมพลิจูดเชิงซ้อนจะมีการกระจายตัวแบบเกาส์ (Gaussian distribution) มีผลทำให้แอมพลิจูดเกิดการกระจายตัวแบบเรย์ลี (Rayleigh distribution) หรือมีการกระจายตัวแบบไรเซียน (Rician distribution) ได้ ดังนั้นแบบจำลองนี้จึงเหมาะสำหรับการสื่อสารไร้สายแบบแถบแคบ

ในยุคที่ 2 และ 3 เป็นยุคของการสื่อสารไร้สายแบบระบบรังผึ้ง (cellular systems) ซึ่งเป็นระบบการสื่อสารไร้สายที่มีแบนด์วิดท์กว้างขึ้นกว่าเดิม ดังนั้นการประวิงที่แตกต่างกันขององค์ประกอบของเส้นทางหลายวิถีของคลื่นจึงมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของระบบมาก โดยมีรูปแบบของกำลังงานในแต่ละเส้นทางของการเดินทางของสัญญาณในช่องสัญญาณที่มาถึงจะมีการประวิงที่แน่นอน สำหรับการวิเคราะห์ระบบแล้ว การประวิงที่เกิดขึ้นโดยปกติจะแยกออกไปเป็น bin ซึ่งในแต่ละ bin นั้นได้ถูกสมมุติให้ประกอบไปด้วยองค์ประกอบของสัญญาณหลายวิถีขนาดของสัญญาณหลายวิถีจะเทียบได้กับส่วนผกผันของแบนด์วิดท์ของระบบ ถ้าองค์ประกอบของ

เส้นทางหลายวิถีอยู่ในช่วงประวิงพอดีการรบกวนกันระหว่างองค์ประกอบของเส้นทางหลายวิถีในเวลาประวิงจะเกิดขึ้น ค่าสถิติของแอมพลิจูดที่อยู่ในแต่ละช่วงการประวิงจะมีการแจกแจงแบบเรย์ลีหรือ แบบไรท์ (Rice) ดังนั้นจึงสามารถที่จะคาดคะเนได้ว่าองค์ประกอบของเส้นทางหลายวิถีที่เดินทางมาถึงจะใช้ช่วงเวลาการประวิงมากน้อยเท่าใด เพื่อให้สามารถคาดคะเนผลกระทบของสัญญาณที่เดินทางผ่านช่องสัญญาณที่มีลักษณะหลายวิถีมาซึ่งภาครับจึงจำเป็นต้องทำการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณขึ้นและนำไปใช้งานในการออกแบบระบบไร้สาย วิเคราะห์ระบบไร้สายให้มีประสิทธิภาพได้ องค์กรรมมาตรฐานหลายที่จึงได้มีการพัฒนาแบบจำลองช่องสัญญาณของตนเองขึ้นมาเพื่อนำมาใช้สำหรับจำลองช่องสัญญาณจริงของระบบการสื่อสารไร้สาย อาทิเช่น ระบบ GSM ระบบ W-CDMA ระบบการสื่อสารมาตรฐาน IEEE802.11 เพื่อใช้ในการออกแบบระบบการสื่อสาร ส่วนการสื่อสารแบบแถบกว้างยังมีแบบจำลองช่องสัญญาณอยู่มากมายหลายแบบด้วยกันจึงขอยกตัวอย่างแบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถีที่เป็นรู้จักกันในหมู่นักวิจัยที่ทำการวิเคราะห์และออกแบบระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งดังนี้

- แบบจำลองช่องสัญญาณแบบ Rayleigh tap delay line (Rayleigh tap delay line model)

แบบจำลองนี้จะอาศัยการทำงานของตัวดีเลย์เพื่อจำลองเวลาการประวิงของสัญญาณในแต่ละเส้นทาง

- แบบจำลองช่องสัญญาณแบบ $\Delta - k$ ($\Delta - k$ model) แบบจำลองชนิดนี้จะอาศัยการคาดคะเนการกระจายตัวของกลุ่มคลื่นแบบเอกซ์โพเนนเชียลเพียงอย่างเดียวว่าการประวิงของแต่ละกลุ่มคลื่นว่าเป็นเช่นใด

- แบบจำลองช่องสัญญาณแบบ SV (S-V model) แบบจำลองชนิดนี้จะอาศัยการคาดคะเนการมาถึงของกลุ่มคลื่นและคลื่นย่อยที่เกิดในกลุ่มนั้นๆ ด้วย โดยอาศัยการคาดคะเนการกระจายตัวแบบเอกซ์โพเนนเชียลสองชั้น ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

3.5 แบบจำลองช่องสัญญาณแบบ SV (S-V model) [14]

แบบจำลองช่องสัญญาณแบบ SV ได้ถูกนำเสนอมานานกว่า 20 ปีแล้ว ซึ่งแบบจำลองช่องสัญญาณเป็นแบบจำลองช่องสัญญาณที่นำเอาผลการทดสอบช่องสัญญาณจริงแบบภายในอาคาร มาวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ในการทดสอบช่องสัญญาณนี้ใช้สัญญาณพัลส์ความถี่ 15 GHz ซึ่งแบบจำลองช่องสัญญาณนี้ได้อธิบายการคาดคะเนการมาถึงของกลุ่มสัญญาณและอัตราการมาถึงสัญญาณด้วยค่าความน่าจะเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (exponential probability density functions) แสดงดังนี้

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

โดยที่

Λ คือ อัตราการมาถึงของกลุ่มสัญญาณ

λ คือ อัตราการมาถึงของสัญญาณ

T_l คือ เวลาการมาถึงของกลุ่มสัญญาณ

τ_k คือ เวลาการมาถึงของสัญญาณ

l คือ ลำดับกลุ่มสัญญาณ

k คือ ลำดับสัญญาณ

เนื่องจากช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นนี้เป็นช่องสัญญาณหลายวิถีลักษณะการเดินทางของสัญญาณจึงเกิดผลตอบสนองของช่องสัญญาณดังนี้

$$h(t) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \beta_{kl} e^{j\theta_{kl}} \delta(t - T_l - \tau_{kl}) \quad (3.4)$$

โดยที่

θ_{kl} คือ มุมเฟสของสัญญาณมีค่าตั้งแต่ 0 จนถึง 2π

และค่าของขนาดของสัญญาณ (β_{kl}) สามารถคาดคะเนได้โดยกำหนดให้มีค่าเป็นสัดส่วนกับเวลาการมาถึงของกลุ่มสัญญาณและเวลามาถึงสัญญาณอธิบายได้ดังสมการที่ (3.5) และดังรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.6 เป็นลักษณะของกลุ่มสัญญาณและสัญญาณที่มีลักษณะของขนาดเป็นสัดส่วนกับเวลาการมาถึงของสัญญาณในแต่ละเส้นทางซึ่งเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล

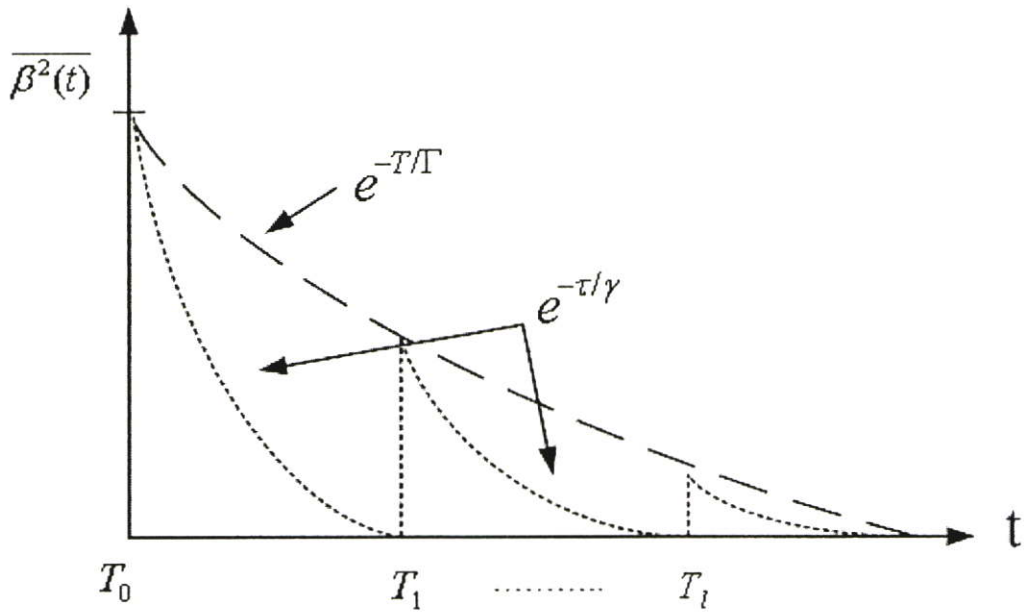
$$\begin{aligned}\overline{\beta^2_{kl}} &\equiv \overline{\beta^2(T_l, \tau_{kl})} \\ &= \overline{\beta^2(0, 0)} e^{-T_l/\Gamma} e^{-\tau_{kl}/\gamma}\end{aligned}\quad (3.5)$$

โดยที่

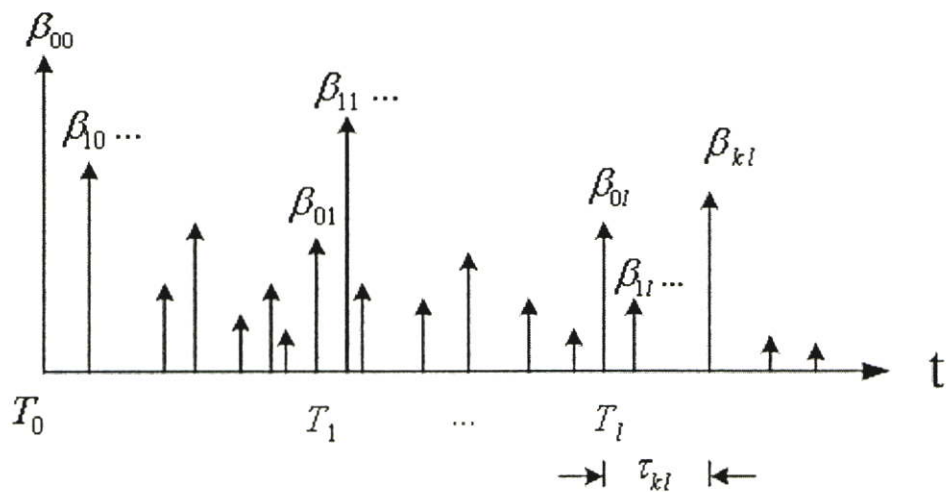
$\overline{\beta^2(0, 0)} = \overline{\beta^2_{00}}$ คือค่าของขนาดในเส้นทางแรกของกลุ่มสัญญาณแรก

Γ คืออัตราการมาถึงของกลุ่มสัญญาณ

γ คืออัตราการมาถึงของสัญญาณ



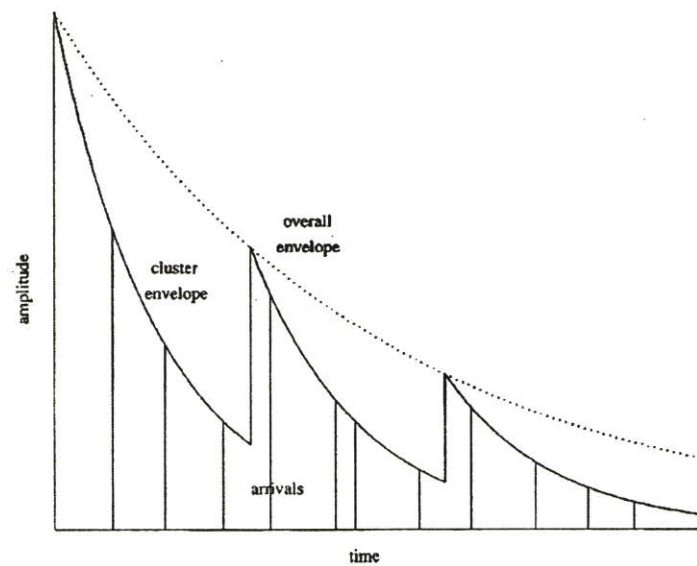
รูปที่ 3.6 กำลังงานที่ลดลงของกลุ่มสัญญาณและสัญญาณตามแบบจำลองของ SV [14]



รูปที่ 3.7 ผลตอบสนองของสัญญาณที่เกิดขึ้นตามแบบของแบบจำลอง SV [14]

3.6 แบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐาน IEEE 802.15.3a [15]

การเดินทางของสัญญาณที่มีลักษณะการเดินทางแบบหลายวิถีดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งลักษณะการเดินทางของคลื่นที่เกิดขึ้นนี้ไม่สามารถมองเห็นได้จึงคาดการณ์ลักษณะการเดินทางของสัญญาณได้ยาก ซึ่งในการเดินทางของสัญญาณหลายวิถีเกิดจากหลายๆ ปัจจัยไม่ว่าจะเป็นปัจจัยจากสภาพแวดล้อม จากสัญญาณในระบบการสื่อสารอื่น ทำให้การสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณยากลำบากมาก ซึ่งจากในอดีตจนถึงปัจจุบันมีนักวิจัยหลายๆ ท่าน ได้ทำการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณขึ้นเพื่อที่จะใช้ในการวิเคราะห์ช่องสัญญาณแทนการทดสอบช่องสัญญาณและเก็บค่าพารามิเตอร์หลักๆ ของช่องสัญญาณจริง ในการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณไปใช้งานแล้วนั้น นักวิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณภายใต้เงื่อนไขของการทดสอบช่องสัญญาณภายใต้สถานะแวดล้อมที่มีความแตกต่างกัน ทำให้เมื่อนำเอาแบบจำลองช่องสัญญาณไปทดสอบประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารจึงเกิดการเปรียบเทียบกันขึ้นว่าแบบจำลองช่องสัญญาณของนักวิจัยท่านใดให้ความถูกต้องของคุณสมบัติช่องสัญญาณได้มากกว่ากัน และเมื่อนำเอาผลของการทดสอบประสิทธิภาพระบบจากการใช้แบบจำลองช่องสัญญาณมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้ทดสอบประสิทธิภาพของระบบโดยการทดสอบช่องสัญญาณจริงแล้ว ยังมีความแตกต่างกันอยู่พอสมควร และในบางกรณีแบบจำลองช่องสัญญาณยังไม่สามารถจำลองลักษณะของช่องสัญญาณ ได้ถูกต้องเพียงพอเนื่องจากแบบจำลองนั้น ได้สร้างมาจากการทดสอบช่องสัญญาณที่แตกต่างกันมากในหลายปัจจัย ดังนั้นจึงได้มีกลุ่มนักวิจัยกลุ่มหนึ่งได้ทำการทดสอบและวิเคราะห์ช่องสัญญาณภายในอาคารสำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งหรือมาตรฐานการสื่อสารของ IEEE 802.15.3a เพื่อสร้างออกมาเป็นแบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐาน ดังนั้นแบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐานนี้จึงเป็นที่ยอมรับและใช้งานในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเกิดจากการทดสอบช่องสัญญาณจริง โดยแบบจำลองช่องสัญญาณอ้างอิงผลตอบสนองช่องสัญญาณหลายวิถีตามแบบจำลองช่องสัญญาณของ Saleh-Valenzuela Model (SV) เป็นหลัก โดยเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของผลตอบสนองช่องสัญญาณแบบ SV จากที่มีการกระจายตัวแบบ Rayleigh มาเป็นการกระจายแบบ log-normal เพื่อให้เหมาะสมสำหรับช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง แต่ยังคงมีส่วนประกอบที่เป็นกลุ่มคลื่น (cluster) และคลื่น (ray) ไว้ดั้งเดิม โดยที่กลุ่มคลื่นจะเปรียบได้ว่าเป็นกลุ่มสัญญาณแรกที่รับได้ในแต่ละชุดของผลตอบสนองช่องสัญญาณและคลื่นคือสมาชิกภายในกลุ่มคลื่น ซึ่งในแต่ละกลุ่มคลื่นจะมีขนาด (magnitude) ของกลุ่มคลื่นและคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงที่มีแนวโน้มในรูปแบบของเอกซ์โพเนนเชียล (exponential function) ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และเมื่อนำเอาผลที่ได้จากแบบจำลองช่องสัญญาณมาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพระหว่างช่องสัญญาณที่ได้จากแบบจำลองและผลที่ได้จากการทดสอบสัญญาณจริงจะเกิดความผิดพลาดในการประเมินประสิทธิภาพของระบบไม่มากนัก [15]



รูปที่ 3.8 ผลตอบสนองช่องสัญญาณในรูปแบบของกลุ่มคลื่นและคลื่น [16]

3.7 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการที่เกี่ยวข้องกับช่องสัญญาณในการสื่อสารไร้สายซึ่งเป็นส่วนสำคัญในวิทยานิพนธ์นี้ อันประกอบด้วยรายละเอียดของคุณลักษณะของช่องสัญญาณ ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณลักษณะของช่องสัญญาณ ซึ่งเป็นหลักการที่เกิดช่องสัญญาณหลายวิถี แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถี ในบทต่อไปจะได้กล่าวถึง การประมาณตำแหน่งในระบบการสื่อสารและการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณภายใต้สภาวะแวดล้อมอันเนื่องมาจากร่างการมนุษย์มาบดบังเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น

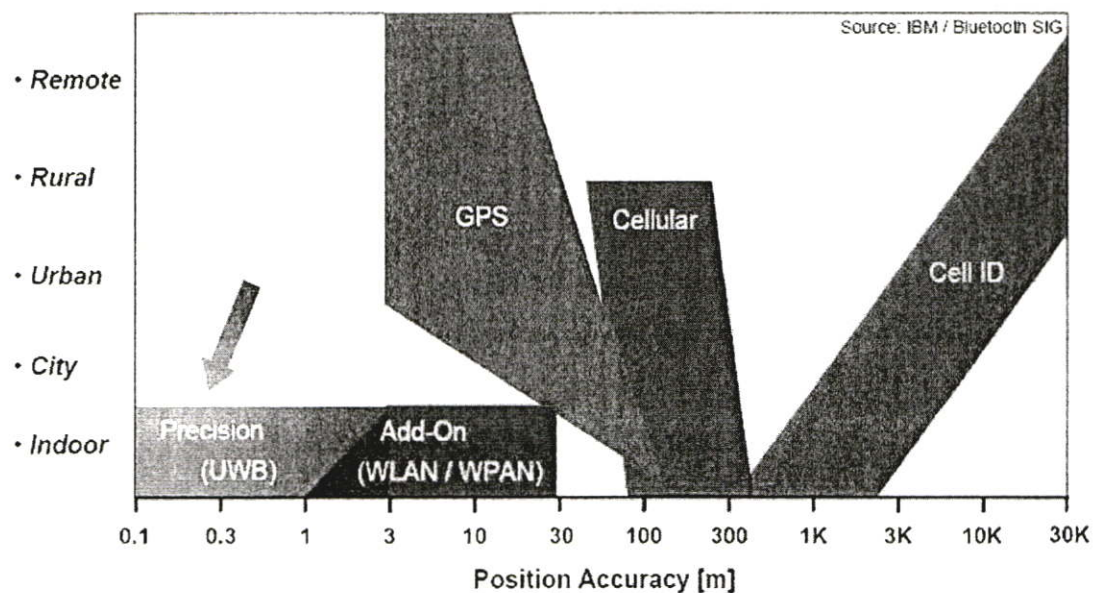
บทที่ 4

การระบุตำแหน่งและการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณ

4.1 กล่าวนำ

การระบุตำแหน่งและการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณสำหรับการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยังมีความเกี่ยวเนื่องโดยตรงกับช่องสัญญาณหลายวิธีที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแพร่กระจายสัญญาณที่มีหลายทิศทางนั่นเอง โดยช่องสัญญาณในการสื่อสารนี้จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสถานะแวดล้อมที่ระบบนั้นใช้งานอยู่ ในการระบุตำแหน่งและการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณนี้จะต้องทำการหาค่าคุณสมบัติของช่องสัญญาณ รวมถึงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญๆ ที่ต้องนำมาใช้ในการระบุตำแหน่งและการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณ โดยการทดสอบช่องสัญญาณในการสื่อสารและในการทดสอบช่องสัญญาณมักจะเกิดผลกระทบจากสัญญาณรบกวนทั้งที่เกิดในระบบการทดสอบเองและเกิดจากปัจจัยอื่นรอบข้าง ดังนั้นในการที่จะสร้างความถูกต้องแม่นยำให้กับผลของการทดสอบช่องสัญญาณจึงต้องอาศัยอัลกอริทึมแบบ CLEAN มาช่วยลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นด้วย ในบทนี้จะได้กล่าวถึง เทคนิคการระบุตำแหน่ง วิธีที่ใช้คำนวณในการระบุตำแหน่ง พารามิเตอร์ต่างๆ ของการจำลองช่องสัญญาณ และสุดท้ายจะกล่าวถึงการปรับปรุงการระบุตำแหน่งและช่องสัญญาณด้วยอัลกอริทึมแบบ CLEAN

4.2 การประมาณตำแหน่งในระบบการสื่อสารไร้สาย



รูปที่ 4.1 ค่าความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของระบบการสื่อสารไร้สาย [8]

ในระบบการสื่อสารไร้สายมีเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายมากมายที่สามารถใช้ในการระบุตำแหน่งได้ ซึ่งมีค่าความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งแตกต่างกันออกไป และข้อจำกัดของสภาวะแวดล้อมที่ระบบนั้นๆ ใช้ในการระบุตำแหน่งทั้งที่เป็นแบบภายในอาคารและแบบภายนอกอาคาร เช่น ระบบ GPS (Global positioning system: GPS) ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless local area network: WLAN) ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเซลลูลาร์ (cellular) และระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM (Global system mobile: GSM) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 เมื่อพิจารณาถึงการระบุตำแหน่งของมนุษย์ วัตถุ หรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องการทราบตำแหน่งแล้ว เทคโนโลยีการระบุตำแหน่งแบบ GPS เป็นเทคโนโลยีที่ตอบสนองความต้องการระบุตำแหน่งได้ไม่ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ เนื่องจากว่าเทคโนโลยีนี้ใช้การติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ทางด้านส่งคือดาวเทียมที่โคจรอยู่บนฟากฟ้าและอุปกรณ์รับสัญญาณที่อยู่บนพื้นดินซึ่งเมื่อท้องฟ้ามีเมฆหนาและประกอบด้วยอุปกรณ์ทางด้านรับอยู่ในอาคารที่มีจุดอับของสัญญาณทำการสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารเพื่อการระบุตำแหน่งนั้นอาจจะขาดหายหรือไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ทำให้การระบุตำแหน่งไม่สามารถทำได้ ดังนั้นเมื่อต้องการระบุตำแหน่งในสภาวะแวดล้อมแบบภายในอาคารแล้วคุณสมบัติต่างๆ ของเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งแบบ GPS จึงยังไม่แม่นยำพอ เนื่องจากข้อจำกัดหลายประการดังที่กล่าวมาแล้ว เมื่อต้องการระบุตำแหน่งภายใต้สภาวะแบบภายในอาคารจึงต้องใช้เทคโนโลยีการสื่อสารแบบภายในอาคารคือการสื่อสารไร้สายท้องถิ่นส่วนบุคคล ซึ่งความแม่นยำของระบบยังไม่เพียงพอต่อความต้องการในการระบุตำแหน่ง ดังนั้นจึงได้นำเอาการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างเข้ามาใช้งาน เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วระบบการสื่อสารแบบ UWB มีคุณสมบัติเด่นหลายด้านที่น่าสนใจมากที่สุดที่สามารถนำมาใช้ในการระบุตำแหน่ง เช่น ราคาถูก ทะลุผ่านวัตถุได้ดี ใช้พลังงานในการสื่อสารต่ำ ในอนาคตการระบุตำแหน่งแบบภายในอาคารการสื่อสารไร้สายแบบ UWB มีแนวโน้มที่จะใช้เทคโนโลยีนี้ในการประมาณตำแหน่งมากขึ้น และที่สำคัญให้ความถูกต้องแม่นยำในการประมาณตำแหน่งมากกว่านั่นเอง

4.3 เทคนิคในการระบุตำแหน่งของระบบการสื่อสารแบบไร้สาย [17-18]

ในการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ของการสื่อสารไร้สายที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันมีมากมายหลายวิธีซึ่งจุดประสงค์เดียวกันของการระบุตำแหน่งคือความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง ในการที่จะทราบถึงตำแหน่งของอุปกรณ์ วัตถุใดๆ ได้นั้นวิธีที่ใช้ในการระบุตำแหน่งต่างมีวิธีการพื้นฐานในการระบุตำแหน่งดังนี้

4.3.1 วิธีวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ (Receive signal strength method: RSS Method) คือการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ ซึ่งสามารถวัดได้ทั้งที่อุปกรณ์ด้านส่งและรับ แล้วนำ

ระดับของสัญญาณที่วัดได้มาคำนวณหาระยะทางระหว่างอุปกรณ์จากค่าการลดทอนเนื่องจากการสูญเสียในวิถี (Path loss: PL)

4.3.2 วิธีวัดมุมการมาถึงของสัญญาณ (Angle of arrival method: AOA Method) คือการใช้ อุปกรณ์ที่มีสายอากาศจำนวนมากมาทำการวัดค่ามุมของสัญญาณที่ได้รับจากอุปกรณ์ด้านส่ง ซึ่งสายอากาศในด้านรับจะวางตัวแบบแถวลำดับ (Array antenna)

4.3.3 วิธีวัดเวลาการมาถึงของสัญญาณ (Time of arrival Method: TOA Method) คือการวัดเวลาที่มาถึงของสัญญาณซึ่งเวลาการมาถึงของสัญญาณที่วัดได้จะเป็นเวลาที่ใช้ในการเดินทางของสัญญาณที่มาถึงเป็นสัญญาณแรก (First arrival)

4.3.4 วิธีวัดความแตกต่างของเวลาการมาถึงของสัญญาณ (Time difference of arrival method: TDOA Method) คือการวัดความแตกต่างของเวลาการมาถึงของสัญญาณจากอุปกรณ์ที่ใช้ส่งมาที่อุปกรณ์ตัวรับซึ่งมีลักษณะคล้ายกับวิธีการวัดการมาถึงของสัญญาณ แต่จะแตกต่างกันตรงที่ใช้ค่าความต่างกันของเวลาในการคำนวณหาค่าตำแหน่งของอุปกรณ์

4.3.5 วิธีวัดแบบผสมผสาน (Hybrid) คือการนำเอาการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ การวัดมุมการมาถึงของสัญญาณ การวัดเวลาการมาถึงของสัญญาณ และการวัดความแตกต่างของเวลาการมาถึงของสัญญาณ มาใช้ร่วมกันเพื่อให้เกิดความแม่นยำการระบุตำแหน่งมากขึ้นแต่เกิดความซับซ้อนในการกระบวนการมากขึ้น

4.4 วิธีการคำนวณการระบุตำแหน่ง

การระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ต้องการต่างมีวิธีการคำนวณที่หลากหลายวิธีการ ซึ่งแต่ละวิธีที่ใช้คำนวณต่างมีความยุ่งยากซับซ้อนในการคำนวณที่แตกต่างกัน รวมถึงค่าพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดให้ก่อนที่จะสามารถเริ่มคำนวณหาค่าตำแหน่งของอุปกรณ์ได้ เพื่อง่ายต่อการทดสอบการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์จึงเลือกใช้วิธีการคำนวณแบบตรง (direct calculation method) [19] ซึ่งเป็นวิธีการคำนวณการระบุตำแหน่งที่ไม่จำเป็นต้องทราบค่าของการแปรปรวนของค่าผิดพลาดของเวลาการมาถึงและค่าการกระจายของค่าผิดพลาดของเวลาการมาถึงของสัญญาณอีกทั้งยังไม่ต้องการทราบถึงตำแหน่งเริ่มต้นที่ใช้ในการประมาณการระบุตำแหน่งด้วย ซึ่งวิธีการคำนวณในการระบุตำแหน่งแบบตรงมีสมการดังนี้

$$\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} = c(t_i - t_0) \quad (4.1)$$

- โดยที่ x, y คือจุดอ้างอิงที่อยู่บนระนาบของ x-y Plane
 x_i, y_i คือจุดที่ต้องการหาระยะห่างจากจุดอ้างอิงบนระนาบของ x-y Plane
 c คือความเร็วแสง 3×10^8 เมตรต่อวินาที
 t_i คือเวลาการมาถึงของสัญญาณ (TOA) ที่จุด i
 t_0 คือเวลาเริ่มทำการทดสอบสัญญาณ

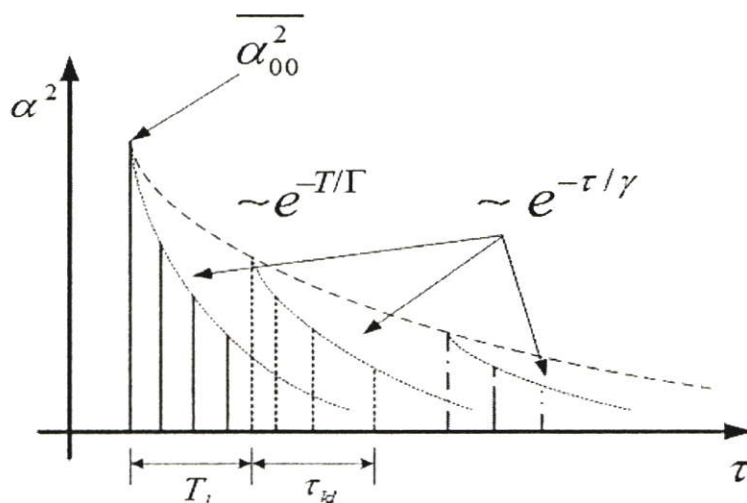
4.5 การสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐาน 802.15.3a [15]

แบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐานนี้ เริ่มต้นจากนักวิจัยกลุ่มหนึ่งของบริษัทอินเทลได้ทำการทดสอบช่องสัญญาณแบบภายในอาคารและได้พยายามจำลองช่องสัญญาณให้มีคุณสมบัติช่องสัญญาณที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบมากที่สุด โดยในการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณจะได้อธิบายดังนี้

ในระบบการสื่อสาร ไร้สายพบว่าช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารมีการเดินทางของสัญญาณในลักษณะหลายวิถี ซึ่งสามารถเขียนอธิบายให้อยู่ในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการที่ (4.2)

$$h(t) = \sum_{l=0}^L \sum_{k=0}^K \alpha_{k,l} \delta(t - T_l - \tau_{k,l}) \quad (4.2)$$

- โดยที่ $\alpha_{k,l}$ คือ ค่าอัตราขยายรวม (gain coefficient) ของแต่ละผลตอบสนองช่องสัญญาณ
 T_l คือ ค่าการหน่วงเวลาของแต่ละ cluster (l^{th})
 $\tau_{k,l}$ คือ ค่าการหน่วงเวลาของแต่ละ ray (k^{th})



รูปที่ 4.2 คุณลักษณะของแบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐาน IEEE 802.15.3a

จากสมการที่ (4.3) จะเห็นได้ว่าการมาถึงของสัญญาณในแต่ละเส้นทางจะมีการมาถึงที่ไม่เท่ากัน โดยการมาถึงของสัญญาณเหล่านี้จะสามารถค่าคะเนได้ ซึ่งการคาดคะเนการมาถึงของสัญญาณและกลุ่มสัญญาณรวมถึงขนาดของสัญญาณที่มาถึงทางทำได้โดยใช้ค่าความน่าจะเป็นแบบปัวส์ซง (poisson) ซึ่งจะเป็นการคาดคะเนของ 2 เหตุการณ์ร่วมกัน (conditional joint probability) ในการคาดคะเนอัตราการมาถึงของกลุ่มสัญญาณและสัญญาณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 และสามารถคาดการณ์ได้จาก

$$\begin{aligned} p(T_l|T_{l-1}) &= \Lambda \exp[-\Lambda(T_l - T_{l-1})], \quad l > 0 \\ p(\tau_{k,l}|\tau_{(k-1),l}) &= \lambda \exp[-\lambda(\tau_{k,l} - \tau_{(k-1),l})], \quad k > 0 \end{aligned} \quad (4.3)$$

โดยที่ Λ คือ อัตราการมาถึงของกลุ่มสัญญาณ

λ คือ อัตราการมาถึงของสัญญาณ

สำหรับอัตราขยาย (gain) ของแต่ละเส้นทางหาได้จาก

$$\alpha_{k,l} = p_{k,l} \beta_{k,l} \quad (4.4)$$

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

ดังนั้น

$$E[\beta_{k,l}^2] = \Omega_0 e^{-T_l/\Gamma} e^{-\tau_{k,l}/\gamma} \quad (4.5)$$

โดยที่ T_l คือ ส่วนหน่วงเวลาของแต่ละ l^{th} เส้นทาง

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

Ω_0 คือ พลังงานเฉลี่ยของเส้นทางแรกของกลุ่มคลื่นแรก

$p_{k,l}$ คือ ขั้วของสัญญาณที่คาดคะเน

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

Γ คือ แฟกเตอร์การลดลงของกลุ่มคลื่น (cluster decay factor)

γ คือ แฟกเตอร์การลดลงของคลื่น (ray decay factor)

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ log-normal

ในการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐาน IEEE802.15.3a จำเป็นต้องหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณ ซึ่งแบบจำลองช่องสัญญาณนี้มีพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องใช้เพื่อสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณดังแสดงในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.1 แสดงค่าคุณสมบัติของช่องสัญญาณที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองช่องสัญญาณที่ได้สร้างออกมาและคุณสมบัติเหล่านี้มีความสำคัญในการวิเคราะห์ระบบการสื่อสารและในการออกแบบระบบที่มีประสิทธิภาพ

สำหรับแบบจำลองที่สร้างขึ้นมาจากกลุ่มนักวิจัยของบริษัทอินเทลนี้เป็นแบบจำลองช่องสัญญาณพื้นฐานของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง สามารถใช้จำลองช่องสัญญาณในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร โดยในการสร้างแบบจำลองนี้ได้ทำการทดสอบช่องสัญญาณโดยแบ่งกลุ่มสภาพแวดล้อมแบบภายในอาคารออกเป็น 4 กลุ่ม เพื่อหาค่าพารามิเตอร์และกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับแบบจำลองช่องสัญญาณให้จำลองคุณสมบัติของช่องสัญญาณตามสภาพแวดล้อมที่ได้ทำการทดสอบให้ออกมาใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งสถานะที่ทำการทดสอบช่องสัญญาณทั้ง 4 กลุ่มสถานะแวดล้อมนี้จะเรียกกันว่าสถานะแวดล้อมที่ 1-4 หรือเรียกว่า CM1-CM4 โดยที่แต่ละสภาพแวดล้อมจะมีข้อกำหนดที่แตกต่างกันออกไปดังต่อไปนี้ [11]

- สถานะแวดล้อมที่ 1 (CM1)

สถานะแวดล้อมแบบที่ 1 CM1 เป็นสภาพแวดล้อมที่มีระยะทางในการส่งผ่านระหว่างเครื่องส่งไปยังเครื่องรับไม่ไกลมากนัก คือระยะไม่เกิน 4 เมตร ลักษณะการสื่อสารเป็นแบบระดับแนวสายตา (line-of-sight: LOS)

- สถานะแวดล้อมที่ 2 (CM2)

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

- สถานะแวดล้อมที่ 3 (CM3)

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

- สภาพแวดล้อมที่ 4 (CM4)

สถานะแวดล้อมแบบที่ 4 หรือ CM4 ลักษณะการสื่อสารจะเป็นแบบไม่เป็นระดับแนวสายตา (NLOS) เช่นเดียวกับ CM3 ต่างกันที่อัตราการแผ่ประวิง RMS มีการจำกัดอยู่ที่ 25 ns หรือมีจำนวนสัญญาณที่มาถึงยังเครื่องรับเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะช่องสัญญาณหลายวิถีและความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดในแบบจำลอง [11]

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

Model Parameters	CM 1	CM 2	CM 3	CM 4
Cluster arrival rate Λ (1/nsec)	0.0233	0.4	0.0667	0.0667
Ray arrival rate λ (1/nsec)	2.5	0.5	2.1	2.1
Cluster decay factor Γ	7.1	5.2	14	24
Ray decay factor γ	4.3	6.7	7.9	12
Stand. dev. of cluster lognormal fading term in dB (σ_c (dB))	3.3941	3.3941	3.3941	3.3941
Stand. dev. of ray lognormal fading term in dB (σ_r (dB))	3.3941	3.3941	3.3941	3.3941
Stand. dev. of lognormal fading term for total multipath realizations in dB (σ_x (dB))	3	3	3	3

Model Characteristics	CM 1	CM 2	CM 3	CM 4
Mean excess delay (nsec) (τ_m)	5.0	9.9	15.9	30.1
RMS delay (nsec) (τ_{rms})	5	8	15	25
NP_{10dB}	12.5	15.3	24.9	41.2
NP (85%)	20.8	33.9	64.7	123.3
Channel energy mean (dB)	-0.4	-0.5	0	0.3
Channel energy standard (dB)	2.9	3.1	3.1	2.7

จากตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้วิเคราะห์จากผลการทดสอบช่องสัญญาณในแต่ละสถานะ ทำให้สามารถจำลองช่องสัญญาณได้ทั้ง 4 สถานะ โดยการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองจำเป็นต้องมีความถูกต้องแม่นยำ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้ได้มาโดยการทดสอบช่องสัญญาณจริงที่มีการรบกวนของสัญญาณรบกวนอยู่ในระบบนั้นๆ ดังนั้นควรมีการลดผลกระทบอันเกิดจากสัญญาณรบกวนก่อนแล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์

4.6 การปรับปรุงการระบุตำแหน่งและแบบจำลองช่องสัญญาณด้วยอัลกอริธึมแบบ

CLEAN (CLEAN algorithm)

ในการวิเคราะห์หรือออกแบบระบบการสื่อสารนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องคำนึงถึงช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารด้วย ซึ่งคุณสมบัติของช่องสัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับสถานะแวดล้อมที่ระบบใช้งานอยู่ และในการประเมินประสิทธิภาพของระบบเพื่อหาค่าคุณสมบัติของช่องสัญญาณจึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่ต้องทำการทดสอบช่องสัญญาณ ซึ่งในการทดสอบช่องสัญญาณใดๆ นั้นมักจะเกิดการรบกวนจากสิ่งแวดล้อมหรือเกิดการรบกวนจากระบบที่ใช้ในการทดสอบช่องสัญญาณจึงได้พยายามลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าพารามิเตอร์และค่าคุณสมบัติของช่องสัญญาณที่ถูกต้องมากที่สุด จึงได้นำเอาอัลกอริธึมแบบ CLEAN มาช่วยลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น เริ่มแรกเป็นเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงค่าความคมชัดของภาพถ่ายทางดาราศาสตร์ [19] และต่อมาถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาทางคุณลักษณะของการสื่อสารแถบแคบ [20] เช่น ช่วยลดสัญญาณรบกวนด้านข้าง (side lobe) อีกทั้งอัลกอริธึมแบบ CLEAN ยังสามารถใช้เพิ่มอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) ได้ เนื่องจากว่าอัลกอริธึมแบบ CLEAN ได้ทำการลดระดับสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับสัญญาณที่ต้องการได้ ซึ่งสัญญาณรบกวนดังกล่าวนี้เกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ทั้งจากระบบเองและจากสิ่งอื่นรอบข้าง ดังนั้นเราจึงได้นำเอาอัลกอริธึมแบบ CLEAN มาช่วยในการประมาณค่าหาผลตอบสนองของสัญญาณที่รับได้ให้มีความถูกต้องตรงกับสัญญาณที่เราต้องการ อีกทั้งอัลกอริธึมแบบ CLEAN ยังสามารถทำงานได้รวดเร็วซึ่งเหมาะสมกับอุปกรณ์ที่ทำงานแบบ real time โดยทั่วไปอัลกอริธึมแบบ CLEAN มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) ทำการสร้างผลตอบสนองอิมพัลส์ของสัญญาณที่รับเข้ามา
- 2) หาค่าสัญญาณสูงสุดจากผลตอบสนองอิมพัลส์ของสัญญาณในเวลาต่างๆ
- 3) เลือกผลตอบสนองอิมพัลส์ที่มีค่าสูงสุดและทำการเก็บค่าแอมพลิจูดและเวลาของผลตอบสนองอิมพัลส์สูงสุด
- 4) กำหนดเงื่อนไขในการทำงานของการสร้างผลตอบสนองอิมพัลส์
- 5) สร้างผลตอบสนองอิมพัลส์ทางอุดมคติจากค่าที่ได้ทำการบันทึกไว้ ตามเงื่อนไขที่แสดงไว้

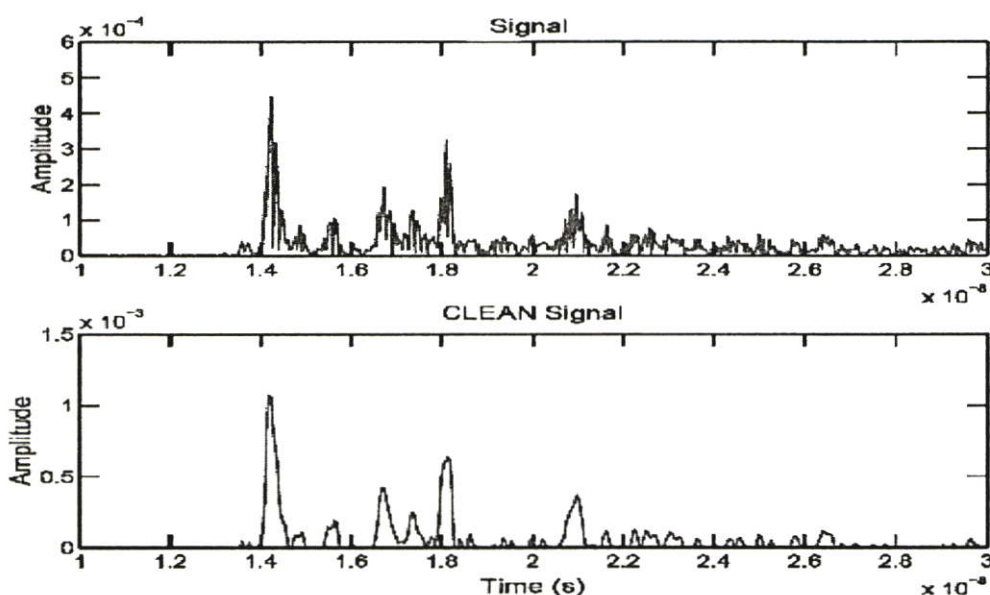
$$C_n(t) = C_{n-1}(t) - \gamma \hat{C}_{k,n-1}(t) \quad (4.6)$$

โดยที่ k	คือค่าชี้ของผลตอบสนองอิมพัลส์ตัวที่มากที่สุด
$C_n(t)$	คือผลตอบสนองอิมพัลส์ในแต่ละช่วงเวลา
$\hat{C}_{k,n-1}(t)$	คือผลตอบสนองอิมพัลส์ตัวที่มากที่สุด
γ	คือค่าขนาดของผลตอบสนองอิมพัลส์ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 (Gain factor)

- 6) ถ้าเงื่อนไขการทำงานตรงตามเงื่อนไขแล้วให้หยุดการทำงาน เช่นระดับของสัญญาณที่กำหนดถูกต้อง หรือถ้าเงื่อนไขยังไม่ถูกต้องให้กลับไปเริ่มทำข้อ 2 อีกครั้ง
- 7) จัดลำดับของผลตอบสนองอิมพัลส์ซึ่งประกอบด้วยแอมพลิจูดและเวลา
- 8) สร้างสัญญาณที่ได้ด้วยการจัดลำดับสัญญาณที่ได้จากสัญญาณทางอุดมคติกับสัญญาณเดิม

รูปที่ 4.3 เป็นตัวอย่างผลตอบสนองอิมพัลส์ของสัญญาณเมื่อนำเอาอัลกอริทึมแบบ CLEAN มาใช้และไม่ใช้ จะเห็นได้ว่า รูปบนจะเป็นผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณที่ได้จากการทดสอบช่องสัญญาณจริง ส่วนรูปล่างจะเป็นผลตอบสนองอิมพัลส์ของสัญญาณจริงแล้วผ่านอัลกอริทึมแบบ CLEAN สังเกตได้ว่าค่าแอมพลิจูดของผลตอบสนองทางอิมพัลส์ของสัญญาณทางรูปบนและรูปล่างมีค่าที่แตกต่างกันมาก ซึ่งผลตอบสนองอิมพัลส์ของสัญญาณที่ใช้อัลกอริทึมแบบ CLEAN จะมีค่าสูงกว่ามาก นั่นคือโดยทั่วไปแล้วในระบบการสื่อสารพบว่าสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นเสมอจากหลายๆ ปัจจัย ดังนั้นเมื่อนำเอาอัลกอริทึมแบบ CLEAN มาใช้จึงช่วยลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ทำให้การตรวจจับสัญญาณที่ไม่ถูกต้องของอุปกรณ์ในกรณีที่อุปกรณ์ตัวรับและส่งอยู่ห่างกันมากนั้นมีประสิทธิภาพในการตรวจจับสัญญาณได้ดีขึ้น คือเมื่ออุปกรณ์ตัวส่งและอุปกรณ์ตัวรับอยู่ใกล้กัน ระดับของสัญญาณที่รับได้จะอยู่เหนือกว่าระดับของสัญญาณรบกวนมากจึงไม่เกิดผลกระทบอันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนนี้ แต่เมื่อใดที่ระยะห่างระหว่างตัวอุปกรณ์ตัวส่งและอุปกรณ์ตัวรับมีค่ามากขึ้นจนระดับของสัญญาณที่รับได้นั้นต่ำกว่าหรือเท่ากับระดับของสัญญาณรบกวน ผลกระทบที่เกิดจากสัญญาณรบกวนนี้จะเข้ามารบกวนทำให้สัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารนี้ไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นเมื่อใช้ในการประมาณตำแหน่งของอุปกรณ์จะเกิดความผิดพลาดและยิ่งไปกว่านั้นคือไม่สามารถจะหาตำแหน่งของอุปกรณ์ได้ กรณีเดียวกันในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์เพื่อประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง ก็ต้องทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ ค่าคุณสมบัติต่างๆ ของช่องสัญญาณเช่น อัตราการมาถึงของกลุ่มคลื่น (cluster arrival rate) อัตราการมาถึงของคลื่น (ray arrival rate) ค่าแฟกเตอร์การลดของกลุ่มคลื่น (cluster

decay factor) ค่าแฟกเตอร์การลดของคลื่น (ray decay factor) ค่าเฉลี่ยของเวลาประวิง (mean excess delay) และค่าการแผ่ประวิง RMS (RMS delay spread) ซึ่งค่าต่างๆ เหล่านี้ได้มาจากช่องสัญญาณจริงที่ได้ทำการทดสอบช่องสัญญาณ ซึ่งค่าพารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณอาจเกิดความผิดพลาดได้เนื่องจากสัญญาณที่เรานำมาวิเคราะห์เป็นสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงภายในช่องสัญญาณที่มีการเดินทางคลื่นแบบหลายวิถี และเกิดการรบกวนจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเองในระบบ และจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เพื่อความถูกต้องยิ่งขึ้นจึงได้นำเอาอัลกอริทึมแบบ CLEAN มาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นเดียวกันในการวิเคราะห์สัญญาณเพื่อนำไปใช้ในการประมาณตำแหน่งสามารถเพิ่มความแม่นยำในการประมาณตำแหน่งได้



รูปที่ 4.3 ผลตอบสนองช่องสัญญาณที่ได้นำเอาอัลกอริทึมแบบ CLEAN มาช่วยลดสัญญาณรบกวน

4.7 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงเทคนิคที่ใช้ในการระบุตำแหน่ง การคำนวณเพื่อระบุตำแหน่ง การสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณ ซึ่งจะเห็นว่าในการระบุตำแหน่งและสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณจำเป็นต้องอาศัยค่าคุณสมบัติของช่องสัญญาณที่ได้มาจากการทดสอบช่องสัญญาณทั้งสิ้น ซึ่งวิธีการทดสอบช่องสัญญาณและขั้นตอนในการทดสอบจะได้กล่าวในบทต่อไป และส่วนท้ายของบทนี้ได้ทราบถึงการปรับปรุงการระบุตำแหน่งและแบบจำลองช่องสัญญาณด้วยอัลกอริทึมแบบ CLEAN ซึ่งเป็นการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในการทดสอบช่องสัญญาณก่อนที่จะนำเอาผลการทดสอบมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งและประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณต่อไป

บทที่ 5

การทดสอบช่องสัญญาณและวิเคราะห์ผล

5.1 กล่าวนำ

บทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของขั้นตอนในการทดสอบช่องสัญญาณการสื่อสาร ซึ่งเป็น การตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่ง โดยใช้เครื่องมือในการทดสอบที่เรียกว่า เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (vector network analyzer: VNA) ซึ่งเป็นการตรวจสอบบน โดเมนความถี่ โดยวิทยานิพนธ์นี้จะทำการทดสอบ ช่องสัญญาณอยู่ 2 ลักษณะเพื่อใช้ในการประมาณการระบุตำแหน่งและใช้การประยุกต์สร้าง แบบจำลองช่องสัญญาณในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง สำหรับขั้นตอนในการทดสอบ การจัด สภาวะแวดล้อมของระบบ และรายละเอียด พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบนั้นจะกล่าวในหัวข้อ ต่อไป

จากที่ได้ทำการทดสอบช่องสัญญาณทั้ง 2 ลักษณะแล้ว โดยทั่วไปแล้วการเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติของช่องสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะสภาพแวดล้อมครอบคลุมถึงการถูกบด บังด้วยวัสดุสิ่งก่อสร้างหรืออาจจะเป็นร่างกายมนุษย์ส่งผลกระทบต่อระดับของสัญญาณบน ช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารได้ ผลที่ได้จากการทดสอบช่องสัญญาณนี้จะ มีการรวมเอาสัญญาณรบกวนเข้ามาด้วยจึงได้นำเอาอัลกอริทึมแบบ CLEAN ดังกล่าวมาแล้วมาทำ การลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นนี้ก่อน จะนำเอาผลที่ได้จากการทดสอบช่องสัญญาณมาทำการ วิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติทางด้านเวลา ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งและ การประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากการบดบังของร่างกายมนุษย์ รายละเอียด ของขั้นตอนการจำลองนั้นจะแสดงในหัวข้อต่อไป

5.2 การทดสอบช่องสัญญาณ

การทดสอบช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นเทคนิคที่ใช้ในการ ทดสอบนั้นสามารถทำการทดสอบได้ 2 โดเมน คือ แบบแรกใช้เทคนิคการกวาดด้านความถี่ (frequency sweeping technique) ซึ่งสามารถทำการทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่ (frequency domain : FD) ซึ่งการใช้วิธีนี้ผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณนั้นสามารถทดสอบ ได้จากการทดสอบพารามิเตอร์ S_{21} หรือสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (transmission coefficient) ซึ่งจะใช้ เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ เป็นอุปกรณ์ในการกวาดความถี่และในแบบที่สองเป็นการ ทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนเวลา (time domain : TD) โดยใช้เครื่องทดสอบช่องสัญญาณซึ่งอยู่ บนพื้นฐานในการส่งสัญญาณแบบอิมพัลส์หรือสัญญาณแบบ DSSS (direct sequence spread

spectrum : DSSS) ซึ่งประสิทธิภาพของสัญญาณแบบ DSSS ขึ้นอยู่กับฟังก์ชันสหสัมพันธ์ตัวเอง (auto-correlation function : ACF) ด้วยวิธีการนี้พัลส์แคบๆ จะถูกส่งออกไปยังช่องสัญญาณและผลตอบสนองอิมพัลส์ช่องสัญญาณจะถูกทดสอบโดยใช้เครื่อง DSO (digital sampling oscilloscope) [21] ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีที่ต้องใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถผลิตสัญญาณพัลส์ที่มีขนาดแคบมากๆ ที่ช่วงเวลาของพัลส์เป็นนาโนวินาทีซึ่งเป็นไปได้ยากที่จะสามารถทดสอบช่องสัญญาณด้วยวิธีนี้ เนื่องจากปัจจัยหลายๆ ด้านเช่น ราคาของอุปกรณ์ที่สูง ความสะดวกในการทดสอบช่องสัญญาณ เป็นต้น

5.2.1 การทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่

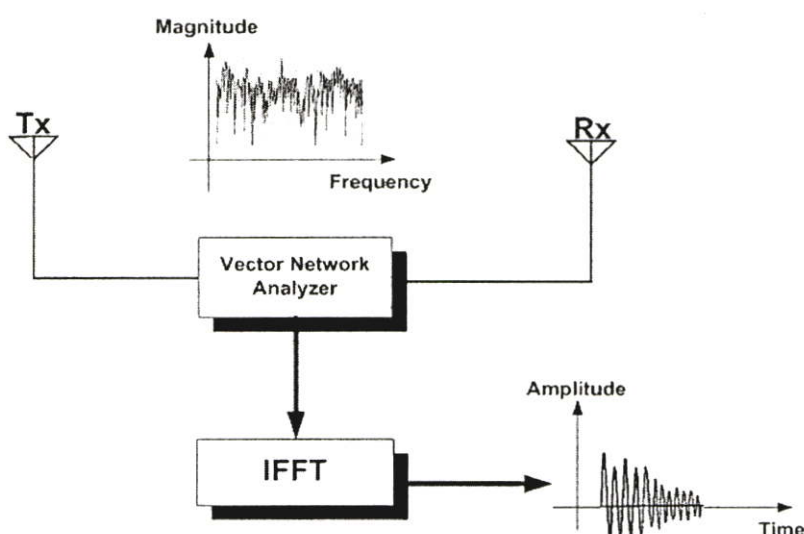
อุปกรณ์หลักในการสร้างและรับสัญญาณเพื่อทำการทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่นั้นคือเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่จัดการเกี่ยวกับการทดสอบทั้งหมดโดยสัญญาณที่ใช้ตรวจสอบนั้นจะเป็นกลุ่มของสัญญาณแถบแคบรูปไซน์ (sinusoid) ซึ่งทำการกวาดตลอดแถบความถี่ที่ต้องการพิจารณาประกอบกับการใช้สายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบแถบกว้าง โดยในการจำลองช่องสัญญาณแถบกว้างยี่งั้นสามารถที่จะทำได้ในส่วนของการประมวลผลข้อมูลและเมื่อใช้วิธีการทดสอบสัญญาณในโดเมนความถี่ช่วงเวลาของช่องสัญญาณที่ทำการทดสอบต้องถูกกำหนดให้คงที่เพื่อรักษาเงื่อนไขของช่องสัญญาณในช่วงการกวาดความถี่ โดยที่ค่าสูงสุดของเวลาการกวาดความถี่ถูกจำกัดโดยเวลาร่วมกัน (coherence time) ของช่องสัญญาณ ถ้าเวลาการกวาดนานกว่าเวลาร่วมกันของช่องสัญญาณแล้วช่องสัญญาณอาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาในการกวาดความถี่สำหรับการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วนั้นจำเป็นต้องใช้เทคนิควิธีการอื่นเข้ามาทำการตรวจสอบแทน ซึ่งประสิทธิภาพของการทดสอบในโดเมนความถี่นั้นจะถูกกำหนดโดยค่าสูงสุดของเวลาประวิงของช่องสัญญาณ ซึ่งขอบเขตด้านบนของเวลาประวิงที่ตรวจพบ τ_{\max} สามารถกำหนดโดยจำนวนจุดของความถี่ที่ใช้ในการกวาดแต่ละครั้งและแบนด์วิดท์ B ซึ่งนิยามตามสมการที่ (5.1) [21]

$$\tau_{\max} = (N_{\text{cmp}} - 1) / B \quad (5.1)$$

โดยที่

- N_{cmp} คือ จำนวนจุดความถี่
- B คือ แบนด์วิดท์

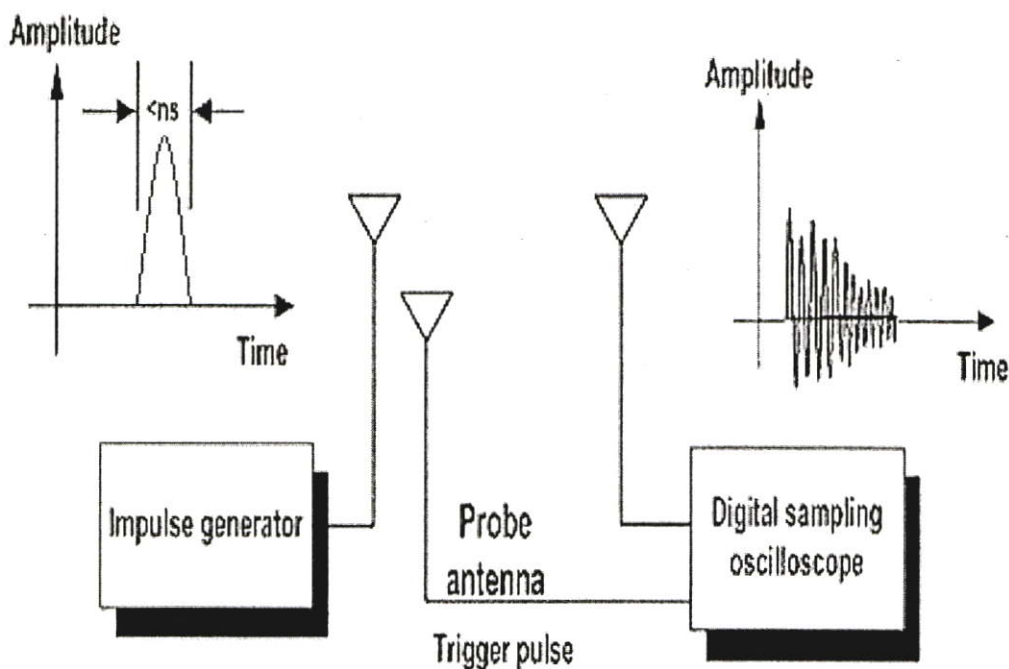
ในการที่จะทำการทดสอบสัญญาณโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์นั้นผลที่ได้จากการทดสอบคือ ผลตอบสนองทางความถี่ของช่องสัญญาณที่ทำการทดสอบจากนั้นจะใช้ฟูรีเยร์ผกผันแบบเร็ว (inverse fast Fourier transform : IFFT) การแปลงข้อมูลจากการทดสอบในโดเมนความถี่ให้อยู่ในรูปแบบผลตอบสนองอิมพัลส์ของโดเมนเวลาดังแสดงในรูปที่ 5.1 [21]



รูปที่ 5.1 ระบบการทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่โดยเครื่อง VNA และการแปลงสู่โดเมนเวลา โดยใช้ IFFT [21]

5.2.2 การทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนเวลา

ข้อเสียของการทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่นั้นคือไม่สามารถที่จะทำการทดสอบช่องสัญญาณในลักษณะที่ไม่คงที่ได้ (non-stationary) จึงมีอีกวิธีการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เรียกว่าการทดสอบในโดเมนเวลาที่สามารถใช้ประโยชน์สำหรับระบบแถบกว้างยิ่งได้ การทดสอบช่องสัญญาณการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในโดเมนเวลานั้นจะเป็นลักษณะการส่งสัญญาณในทิศทางเดียวโดยใช้พัลส์ที่มีขนาดแคบมากๆ ซึ่งเครื่องรับนั้นจะใช้ฮอสซิลโลสโคปที่มีการสุ่มแบบดิจิทัล (DSO) โดยแบนด์วิดท์ของการทดสอบนั้นจะขึ้นอยู่กับรูปร่างและความกว้างของพัลส์ที่ใช้ ซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงความกว้างพัลส์นี้ยังส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมด้วย อย่างไรก็ตามการที่จะทราบถึงผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณนั้นจำเป็นต้องทำการแยกรูปสัญญาณพัลส์ที่ส่งออกจากผลการทดสอบโดยผลการจำลองช่องสัญญาณที่ถูกต้องนั้นสามารถทำได้ถ้ารูปสัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการตรวจสอบมีลักษณะเช่นเดียวกับรูปสัญญาณที่ถูกนำมาใช้งานจริง ซึ่งโครงสร้างสำหรับการทดสอบในโดเมนเวลานั้นแสดงในรูปที่ 5.2 [21]



รูปที่ 5.2 การทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนเวลาโดยใช้อิมพัลส์ [21]

5.2.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการสื่อสารแบบไร้สายนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณ ไม่ว่าจะเป็นระดับของกำลังงาน เวลาประวิงที่เกิดขึ้นปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อสัญญาณที่รับได้ทั้งสิ้นเมื่อทำการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยังภาครับ โดยผลที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะต้องทำการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยวิธีการทดสอบจากนั้นผลที่ได้จากการทดสอบ นั้นจำเป็นต้องนำมาวิเคราะห์ตามขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบหรือการเปลี่ยนแปลงดังที่ได้กล่าวไปแล้วโดยในขั้นตอนนี้มีความสำคัญพอ ๆ กับขั้นตอนการทดสอบซึ่งมีความจำเป็นต้องทำความเข้าใจในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะพารามิเตอร์ที่สำคัญ ๆ ดังนี้

5.2.3.1 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านช่องสัญญาณ

ในขั้นตอนของการทดสอบนั้นจะเป็นลักษณะการหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (S_{21}) สัญญาณจากพอร์ตที่หนึ่งไปยังพอร์ตที่สองของเครื่อง VNA โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวนี้สามารถหาได้จากหลักการของ พารามิเตอร์การกระจัดกระจาย (scattering parameter) หรือเรียกว่า S-parameter ซึ่งมีนิยามตามเมตริกซ์การกระจัดกระจาย (scattering matrix) ของโครงข่ายแบบ 2 พอร์ตดังสมการที่ (5.2) และแสดงในรูปที่ 5.3 [22]

$$\bar{b} = \bar{S} \bar{a} \quad (5.2)$$

โดยที่

\bar{a} คือ เวกเตอร์การส่งผ่าน

\bar{b} คือ เวกเตอร์การสะท้อน

\bar{S} คือ เวกเตอร์การกระจัดกระจาย



รูปที่ 5.3 ไคอะแกรมโครงข่ายแบบ 2 พอร์ต [22]

ซึ่งสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ดังสมการที่ (5.3) และสมการที่ (5.4)

$$\bar{a} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

$$\bar{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

โดยที่

a_1 คือ สัญญาณที่ส่งผ่านเข้าไปยังพอร์ตหนึ่ง

b_1 คือ สัญญาณที่สะท้อนกลับมายังพอร์ตหนึ่ง

a_2 คือ สัญญาณที่ส่งผ่านเข้าไปยังพอร์ตสอง

b_2 คือ สัญญาณที่สะท้อนกลับมายังพอร์ตสอง

ซึ่งสัมประสิทธิ์ดังกล่าวนี้สามารถหาได้จาก

$$a_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{\sqrt{Z_0}} + \sqrt{Z_0} I_1 \right) \quad (5.5a)$$

$$b_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{\sqrt{Z_0}} - \sqrt{Z_0} I_1 \right) \quad (5.5b)$$

$$a_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_2}{\sqrt{Z_0}} + \sqrt{Z_0} I_2 \right) \quad (5.5c)$$

$$b_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_2}{\sqrt{Z_0}} - \sqrt{Z_0} I_2 \right) \quad (5.5d)$$

$$\bar{S} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

จากสมการที่ (5.2), (5.3), (5.4) และ (5.6) สามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปสมการกระจายดังสมการที่ (5.7) และ (5.8)

$$b_1 = a_1 S_{11} + a_2 S_{12} \quad (5.7)$$

$$b_2 = a_1 S_{21} + a_2 S_{22} \quad (5.8)$$

โดยที่

- S_{11} คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พอร์ตหนึ่ง
- S_{22} คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พอร์ตสอง
- S_{21} คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (forward)
- S_{12} คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านผกผัน (reverse)

พารามิเตอร์ของการกระจายของโครงข่ายแบบสองพอร์ตนั้นยังสามารถที่จะกำหนดในรูปแบบของคลื่นส่งผ่านและคลื่นสะท้อนได้ดังนี้

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (5.9a)$$

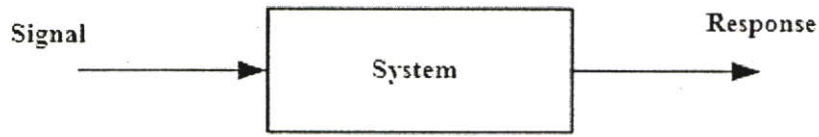
$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (5.9b)$$

$$S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad (5.9c)$$

$$S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad (5.9d)$$

5.2.3.2 ผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณ

เมื่อทดสอบช่องสัญญาณโดยใช้เครื่อง VNA สิ่งที่ต้องทำความเข้าใจคือ ระบบและสัญญาณ โดยระบบคือกลุ่มที่อยู่รวมกัน ซึ่งสามารถทำงานร่วมกันเพื่อให้สำเร็จตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการและสัญญาณคือปริมาณทางกายภาพบางอย่างที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบเรียกว่า สัญญาณเข้าหรือสัญญาณอินพุต (input signal) ของระบบ และจะมีสัญญาณออกหรือสัญญาณเอาต์พุต (output signal) ซึ่งเป็นปริมาณทางกายภาพที่ออกมาจากระบบ หรือเรียกว่าผลตอบสนอง (response) ของระบบ โดยสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบดังรูปที่ 5.4 ซึ่งผลตอบสนองดังกล่าวนั้นจะเป็นสิ่งที่ใช้แสดงถึงคุณสมบัติของระบบ และจากการทดสอบผลที่ได้ก็คือค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสัญญาณซึ่งแปรผันตรงกับฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ (frequency transfer function : $H(\omega)$) ของช่องสัญญาณ โดยฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ดังกล่าวนี้จะแสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณที่ทำการพิจารณาอยู่ซึ่งประกอบด้วยขนาดสัญญาณที่ส่งผ่าน (magnitude) และผลตอบสนองทางเฟส (phase response) ของสัญญาณ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสัญญาณกับฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณนั้นกำหนดตามสมการที่ (5.10) [23] และแสดงดังรูปที่ 5.5



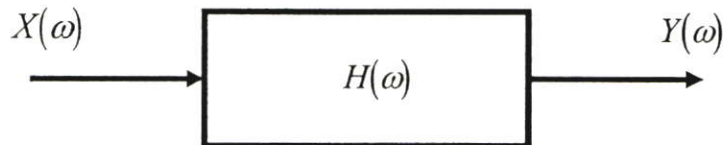
รูปที่ 5.4 บล็อกไดอะแกรมของระบบ [23]

$$S_{21}(\omega) \propto H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} \quad (5.10)$$

โดยที่

$Y(\omega)$ คือ เอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่

$X(\omega)$ คือ อินพุตของระบบในโดเมนความถี่



รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่ [23]

5.2.3.3 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ

การแสดงคุณสมบัติของช่องสัญญาณนั้นสามารถทำได้หลายวิธีโดยหนึ่งในวิธีที่นิยมใช้ก็คือ การแสดงด้วยค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ (impulse response) ของระบบโดยเริ่มต้นนั้นจะขอกล่าวถึงคำนิยามของฟังก์ชันอิมพัลส์ (impulse function) ก่อนดังนี้

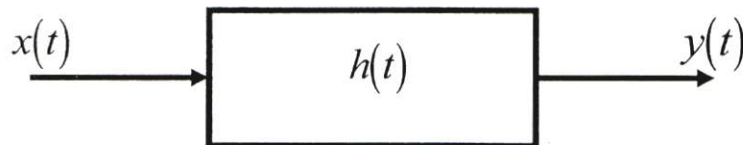
ฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่เหมือนกับฟังก์ชันทั่วไปโดยฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยมักนิยามแทนด้วยสัญลักษณ์ $\delta(t)$ และมีคุณสมบัติดังนี้คือ

$$\int_a^b f(t)\delta(t-t_0)dt = \begin{cases} f(t_0), & a < t_0 < b \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5.11)$$

โดยในที่นี้ $f(t)$ จะต้องเป็นฟังก์ชันที่มีค่าต่อเนื่อง (continuous) ที่ค่าเวลา $t=t_0$ จากสมการที่ (5.11) และเมื่อกำหนดให้ $f(t) = 1$ จะได้

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t-t_0) dt = 1 \quad (5.12)$$

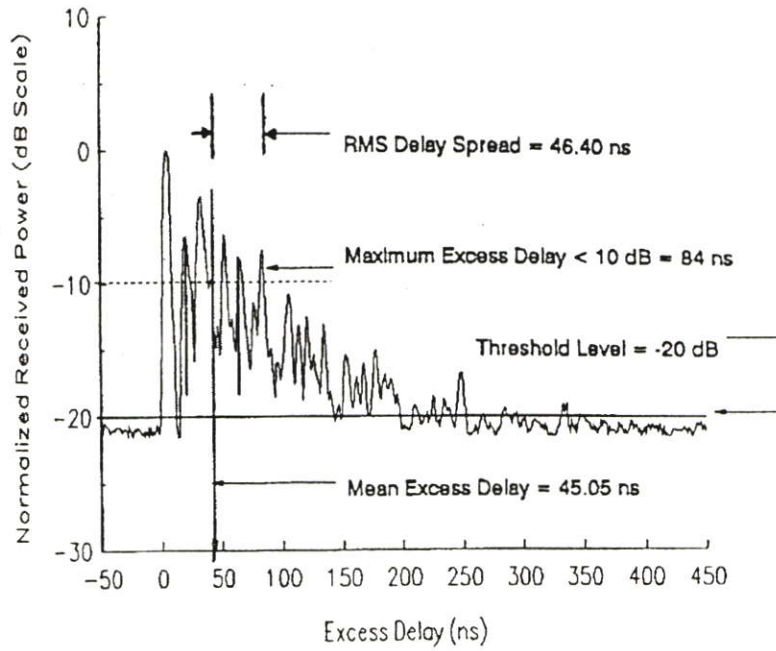
จากผลของการทำปริพันธ์ฟังก์ชันใดๆ นั้น มีผลเท่ากับพื้นที่ใต้เส้นโค้งที่แสดงค่าฟังก์ชันนั้นมาช่วยอธิบายในสมการที่ (5.12) จะกล่าวได้ว่าพื้นที่ใต้เส้นโค้งของ $\delta(t-t_0)$ มีค่า 1 หน่วย โดยค่าที่ได้จากการทำปริพันธ์นี้นิยมเรียกว่า น้ำหนัก (weight) ของฟังก์ชันอิมพัลส์นั้นดังนั้นจะพบว่าน้ำหนักของฟังก์ชัน $A\delta(t)$ มีค่าเท่ากับ A หน่วย ฟังก์ชันอิมพัลส์ที่มีน้ำหนัก 1 หน่วยนั้น เรียกว่า ฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย (unit impulse function) แม้ว่าฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่สามารถสร้างได้จริงในทางปฏิบัติแต่ในทางทฤษฎีจะมีบทบาทในการวิเคราะห์สัญญาณและระบบ โดยเฉพาะการบอกคุณสมบัติของระบบอีกทั้งสัญญาณอินพุตที่เป็นฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยนั้น ยังถูกนิยามเรียกว่า ผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบใช้สัญลักษณ์ $h(t)$ แทนผลตอบสนองดังกล่าวซึ่งผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบสามารถใช้เป็นตัวแทนของระบบเพราะสามารถบอกคุณสมบัติของระบบนั้นได้และโดยเฉพาะเมื่อระบบภายใต้การพิจารณาเป็นระบบเชิงเส้นไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (linear time invariance system) ค่าเอาต์พุต $g(t)$ ของระบบที่เกิดจากสัญญาณอินพุต $f(t)$ ใด ๆ นั้นจะสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้รูปที่ 5.6 [23]



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนเวลา [23]

5.2.3.4 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน

พารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งที่นิยมนำมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับที่เวลาต่าง ๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสัญญาณที่มีการสะท้อนในหลายทิศทางหรือที่เรียกว่าสัญญาณหลายวิถีโดยจะเรียกว่า ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (power delay profile: PDP) ซึ่งตัวอย่างของ PDP ได้แสดงดังรูปที่ 5.7 [23] โดยจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อเวลาที่เข้ามาถึงและนอกจากนั้นยังสามารถนำไปพิจารณาถึงผลการกระจายทางเวลา (time dispersion) อันประกอบไปด้วย การประวิงเข้าถึงเฉลี่ย (mean excess delay) และ ค่าการแผ่ประวิง RMS (RMS delay spread) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 5.7 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน [23]

5.2.3.5 ค่าการกระจายทางเวลา

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าเส้นทางการแพร่กระจายของสัญญาณระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับมีได้หลายทิศทาง และสัญญาณแต่ละส่วนมักจะส่งผ่านในเส้นทางที่มีระยะทางไม่เท่ากัน สัญญาณบางส่วนอาจจะเดินทางเป็นเส้นตรงระหว่างภาคส่งและภาครับ สัญญาณส่วนนี้มักจะเดินทางถึงภาครับได้เร็ว ในขณะที่สัญญาณส่วนอื่นที่มีการตกกระทบพื้นผิวของวัตถุและเกิดการสะท้อนหลายครั้งกว่าจะเดินทางถึงภาครับ สัญญาณมักจะใช้เวลาการแพร่กระจายที่ยาวนานกว่า ความล่าช้าในการเดินทางของสัญญาณแต่ละส่วนก่อให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า การแผ่ประวิง (delay spread) ขึ้น นั่นคือสัญญาณแต่ละส่วนใช้เวลาเดินทางถึงจุดหมายไม่เท่ากัน ในวิทยานิพนธ์นี้ได้พิจารณาถึงเวลาที่ถูกระเบิดออกไปของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับ ซึ่งในส่วนของกระจายทางเวลา (time dispersion) นั้นสามารถที่จะวิเคราะห์โดยใช้พารามิเตอร์ที่เรียกว่า ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ประวิงเกินออกไปจากค่าเวลาเดิมหรือค่าเฉลี่ยของเวลาประวิง (mean excess delay: $\bar{\tau}$) และค่าการแผ่ประวิง RMS (RMS delay spread: τ_{rms}) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้ถูกนิยามไว้ดังสมการที่ (5.13) และสมการที่ (5.14) ตามลำดับ [23]

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^2 \tau_i}{\sum_{i=1}^n a_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^n P(\tau_i) \tau_i}{\sum_{i=1}^n P(\tau_i)} \quad (5.13)$$

โดยที่

- $\bar{\tau}$ คือ ค่าเฉลี่ยของเวลาประวิง
- a_i คือ ระดับของสัญญาณเส้นทางที่ i
- τ_i คือ เวลาประวิงที่เกิดขึ้นของสัญญาณเส้นทางที่ i
- $P(\tau_i)$ คือ ระดับกำลังงานของสัญญาณเส้นทางที่ i

สำหรับค่าการแผ่ประวิง RMS นั้นจะมีนิยามคือ

$$\tau_{rms} = \sqrt{\tau^2 - (\bar{\tau})^2} \quad (5.14)$$

โดยที่

$$\frac{\tau^2}{\bar{\tau}^2} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^2 \tau_i^2}{\sum_{i=1}^n a_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^n P(\tau_i) \tau_i^2}{\sum_{i=1}^n P(\tau_i)} \quad (5.15)$$

5.2.3.6 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio: SNR)

ในการสื่อสารไร้สายโดยทั่วไประดับของสัญญาณที่รับได้และระดับของสัญญาณที่รบกวนที่เกิดขึ้นสามารถแสดงออกมาในรูปของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน ซึ่งจะเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณที่ได้รับ อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 5.16

$$SNR [dB] = 20 \log_{10} \left[\frac{A}{\bar{A}(n)} \right] \quad (5.16)$$

โดยที่

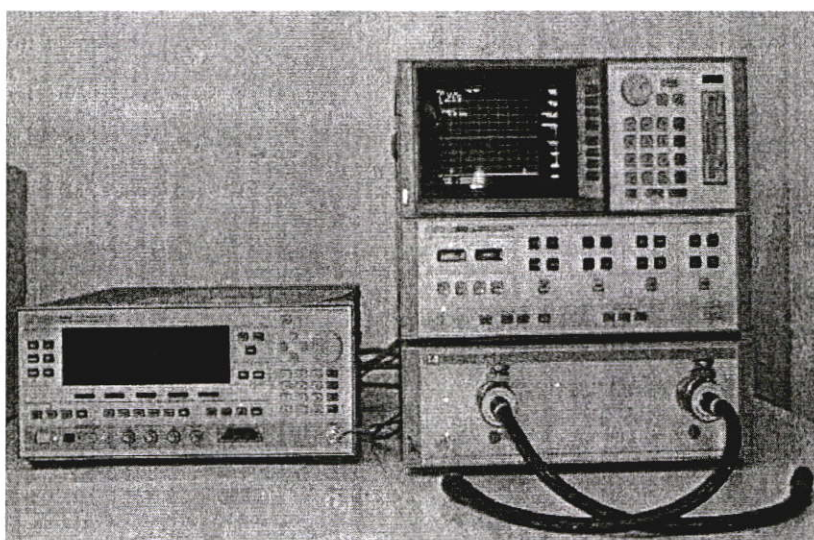
A คือแอมพลิจูดของสัญญาณที่รับได้

$\bar{A}(n)$ คือค่าเฉลี่ยแอมพลิจูดของสัญญาณรบกวน (Average noise floor) ที่รับได้

5.3 อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดสอบ

5.3.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

ระบบของการทดสอบนั้น องค์ประกอบสำคัญในการทดสอบช่องสัญญาณแบบแถบกว้าง ยี่งั้นจะใช้เครื่องทดสอบเฉพาะทางซึ่งประกอบไปด้วย เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ยี่ห้อ HP รุ่น HP-8510C ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย (S-parameter test set) ยี่ห้อ HP รุ่น HP-8514B และเครื่องสังเคราะห์ความถี่ (frequency synthesized sweeper) ยี่ห้อ HP รุ่น HP-83620A เป็นอุปกรณ์หลักในการทดสอบช่องสัญญาณดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 5.8 ซึ่งจำเป็นต้องควบคุมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ซึ่งเชื่อมต่อผ่านช่องสื่อสารแบบ GPIB (general purpose interface bus) เพื่อทำการควบคุมเครื่องพร้อมกับการบันทึกผลการตอบสนองของช่องสัญญาณที่ได้ทำการทดสอบ เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายนี้มีพอร์ตใช้งานในการทดสอบอยู่สองพอร์ตด้วยกัน คือ สามารถใช้ในการทดสอบสัญญาณได้ที่ละพอร์ตและพร้อมกันทั้งสองพอร์ต ในการทดสอบช่องสัญญาณนี้จะทำการทดสอบแบบสองพอร์ต โดยพอร์ตที่หนึ่งคือพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณที่กำหนดตามพารามิเตอร์ที่ต้องการ ส่วนพอร์ตสองจะใช้ในการรับสัญญาณ โดยที่ปลายของพอร์ตทั้งสองจะถูกต่อด้วยสายอากาศแบบกรวยคู่ (biconical antenna) และทำการทดสอบบนโดเมนความถี่ก่อนที่จะถูกนำผลการทดสอบไปวิเคราะห์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป



รูปที่ 5.8 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (VNA)

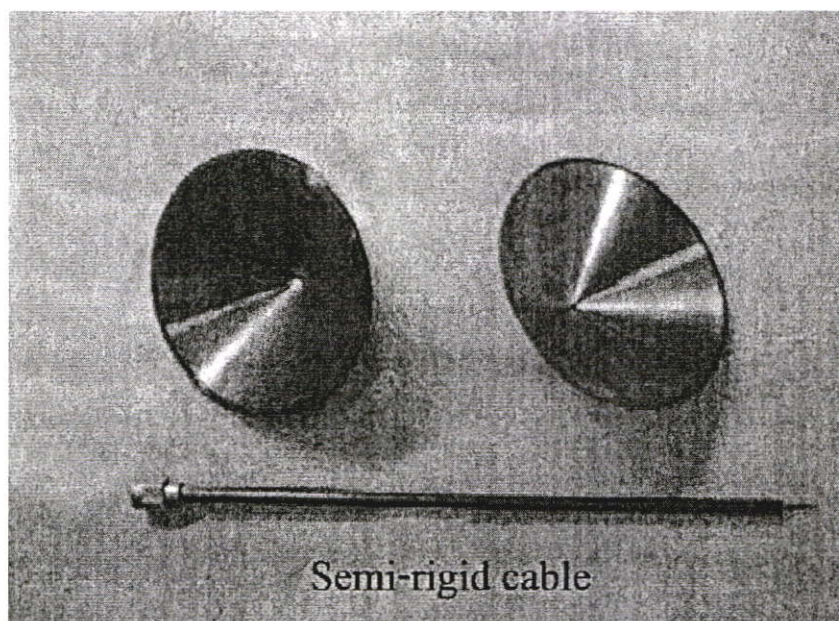
5.3.2 สายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ

ในการส่งสัญญาณแบบไร้สายนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่เรียกว่า สายอากาศ ซึ่งจะอยู่กับเครื่องส่งและเครื่องรับเพื่อช่วยในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องส่งให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วแพร่กระจายสัญญาณผ่านอากาศออกไปยังสายอากาศทางด้านรับที่อยู่

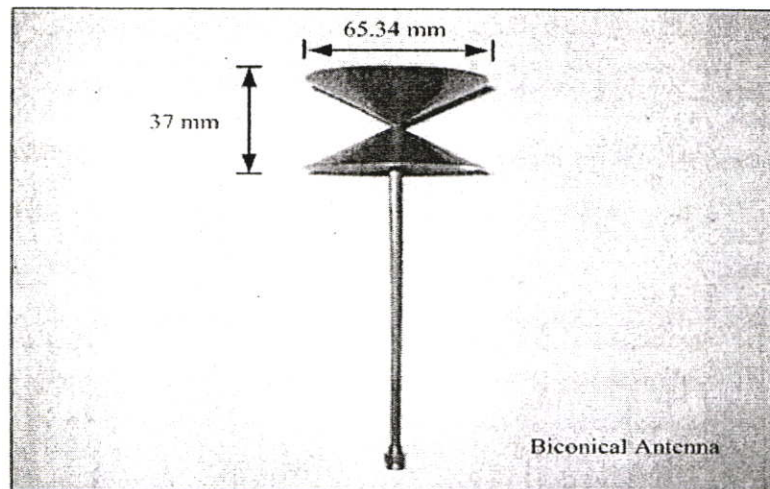
กับเครื่องรับแล้วเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่รับนี้กลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม โดยในการทดสอบนี้ได้ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ทั้งสายอากาศทางด้านส่ง (Tx) และสายอากาศทางด้านรับ (Rx) ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (radiation pattern) แบบรอบตัว (omni-directional) และเป็นสายอากาศที่ตอบสนองความถี่ได้กว้าง (wideband) ซึ่งสามารถรองรับการใช้งานในความถี่ย่านตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ตามข้อกำหนดย่านความถี่การใช้งานของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งของทาง FCC โดยสายอากาศที่ถูกนำมาใช้ในการทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

5.3.2.1 สายอากาศแบบกรวยคู่

สายอากาศแบบกรวยคู่ เป็นสายอากาศที่ถูกนำมาใช้ในการทดสอบโดยมีคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวในมุมกวาด (azimuth) มีอัตราขยาย (gain) อยู่ในช่วง 1.5 ถึง 15.0 dBi รูปที่ 5.9 และรูปที่ 5.10 จะแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของสายอากาศชนิดนี้ [24]



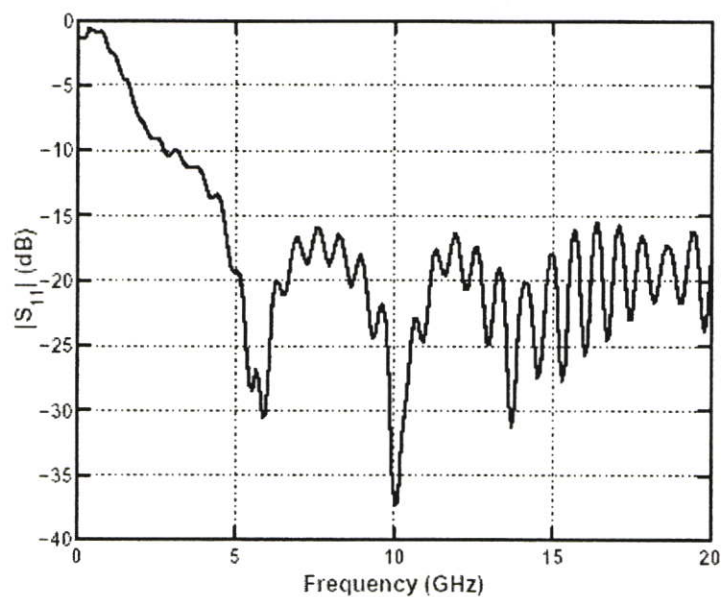
รูปที่ 5.9 ส่วนประกอบของสายอากาศแบบกรวยคู่



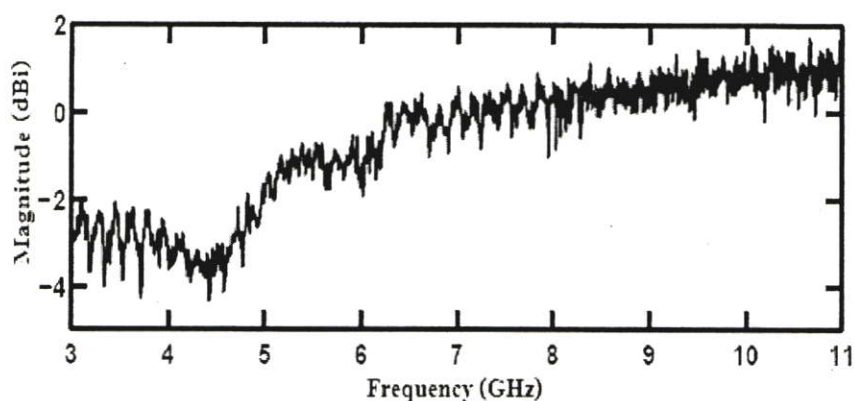
รูปที่ 5.10 สายอากาศแบบกรวยคู่

โดยในรูปที่ 5.11 แสดงค่าประสิทธิภาพสะท้อนกลับ (Reflection coefficient : S_{11}) ของสายอากาศแบบกรวยคู่ เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับนั้นมีค่าต่ำกว่า -10 dB ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 ถึง 10.6 dB แสดงให้เห็นว่าสายอากาศนี้เหมาะกับการนำมาใช้ในการทดสอบช่องสัญญาณนี้

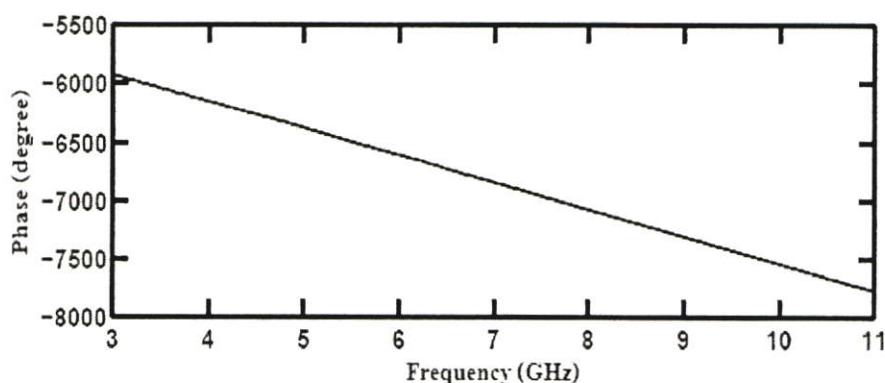
ในส่วนของการแสดงถึงขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านและเฟสที่ใช้ในการส่งผ่านของสายอากาศซึ่งเป็นคุณลักษณะของสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ แสดงในรูปที่ 5.12-5.13 ตามลำดับ



รูปที่ 5.11 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ ของสายอากาศแบบกรวยคู่



รูปที่ 5.12 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศ



รูปที่ 5.13 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศ

5.4 การทดสอบช่องสัญญาณเพื่อการระบุตำแหน่ง [25]

โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.4.1 รูปแบบในการทดสอบ

ในการทดสอบช่องสัญญาณเพื่อการระบุตำแหน่งนั้นเป็นการตรวจสอบหาค่าคุณสมบัติทางเวลาของช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นจริง แล้วนำเอาค่าเวลาที่ได้ของช่องสัญญาณนี้ คือค่าเวลาการมาถึงของสัญญาณเส้นทางแรก (first path) นำไปวิเคราะห์และคำนวณในกระบวนการการระบุตำแหน่งที่กล่าวไว้แล้วต่อไป บล็อกไดอะแกรมในการทดสอบช่องสัญญาณเพื่อตรวจสอบหาค่าคุณสมบัติทางเวลาของช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงพร้อมด้วยขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อระบุตำแหน่งในการสื่อสารไร้แบบแถบกว้างยิ่งยวดแสดงไว้ดังรูปที่ 5.14

การจำลองลักษณะของช่องสัญญาณเพื่อทำการตรวจสอบหาค่าคุณสมบัติทางเวลานั้นได้ทำการจำลองสภาวะแวดล้อมดังแสดงในรูปที่ 5.15 ซึ่งประกอบตำแหน่งของสายอากาศทางด้านรับและด้านส่งที่ใช้ในการทดสอบหาลักษณะของช่องสัญญาณ ในการทดสอบช่องสัญญาณครั้งนี้เป็นการทดสอบช่องสัญญาณภายใต้สภาวะแวดล้อมจริงภายในอาคาร ใช้ห้องในการทดสอบ

ช่องสัญญาณที่มีขนาดความกว้าง 6 เมตร ความยาว 10 เมตร สูง 2.5 เมตร ผนังของห้องเป็นผนังที่ทำด้วยอิฐ เพดานห้องจะเป็นแผ่นยิปซัม พื้นห้องทำด้วยไม้ ซึ่งเป็นลักษณะสภาวะของห้องต่างๆ ไป โดยกำหนดให้สายอากาศทางด้านส่งนั้นอยู่กับที่ ส่วนสายอากาศทางด้านรับจะมีการเคลื่อนที่ไปเป็นแถวลำดับทั้งหมด 64 ตำแหน่ง ขนาด 8 แถว 8 หลัก ระยะห่างระหว่างตำแหน่งของสายอากาศทางด้านรับที่เคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งนี้จะมีระยะห่างเท่ากับ λ สายอากาศทางด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากับ 1 เมตร ระยะห่างระหว่างสายอากาศที่แถวลำดับแถวแรกจะห่างกันเท่ากับ 1 เมตร ขั้นตอนและวิธีการทดสอบจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

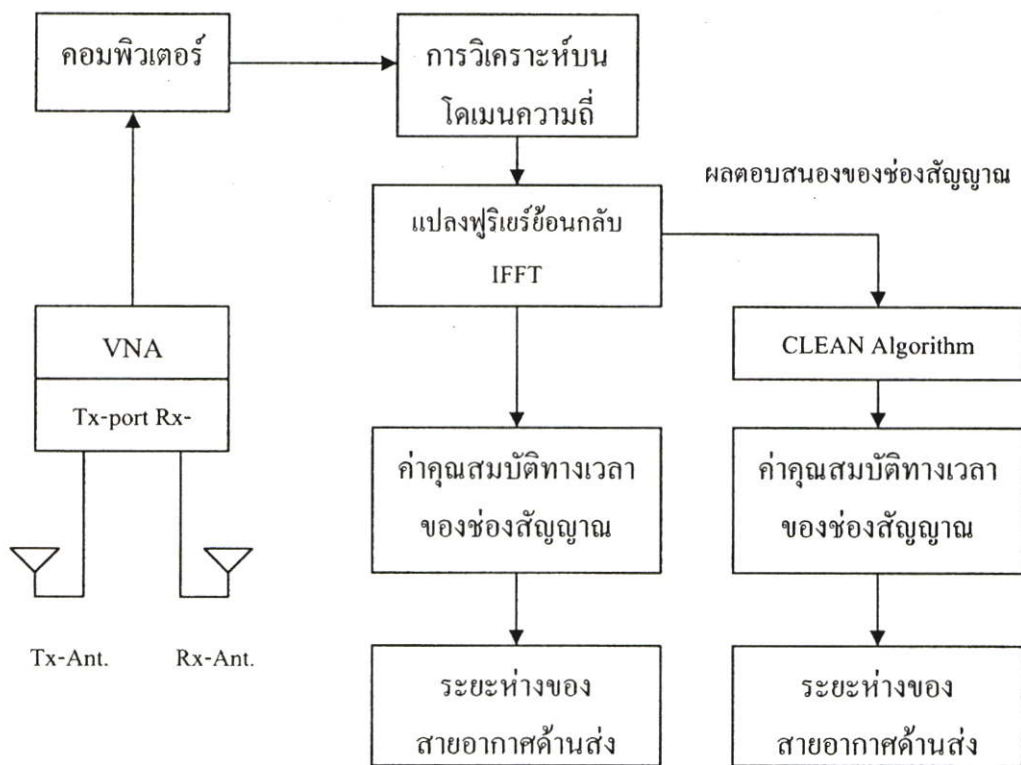
5.4.2 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบช่องสัญญาณ

ฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ (Channel transfer function) แบบแถบกว้างยิ่งยวดวัดในลักษณะของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน S_{21} ในโดเมนของความถี่โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ซึ่งต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการทดสอบและบันทึกผลที่ได้ จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้นำมาลดสัญญาณรบกวนด้วยอัลกอริทึมแบบ CLEAN แล้วนำไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าเวลาการมาถึงของสัญญาณในเส้นทางแรกและนำเป็นค่านวนเพื่อหาค่าการระบุตำแหน่งและเพื่อใช้เปรียบเทียบผลของการประมาณค่าการระบุตำแหน่งที่ได้จากการนำข้อมูลการทดสอบช่องสัญญาณมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าเวลาการมาถึงของสัญญาณเส้นทางแรกโดยไม่ได้นำเอาอัลกอริทึมแบบ CLEAN มาช่วยลดสัญญาณรบกวน

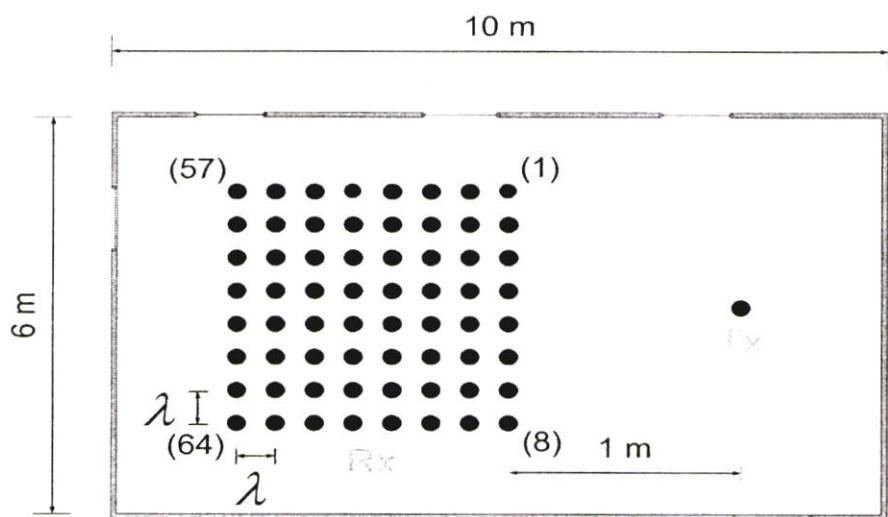
ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้นจากการนำเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์มาปรับเทียบด้วยตัวปรับเทียบแบบ full two port (Full two port-Type Calibration Kits) โดยได้ทำการแบ่งความถี่เป็น 2 ช่วงได้แก่ความถี่ 3 GHz ถึง 7 GHz และ 7 GHz ถึง 11 GHz ซึ่งแต่ละช่วงความถี่มีจำนวนจุดของความถี่คือ 801 จุด

ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบช่องสัญญาณเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ โดยกำหนดให้สายอากาศอยู่ในตำแหน่งแรก สายอากาศส่งและสายอากาศรับเป็นสายอากาศชนิดกรวยคู่ โดยทิศทางของสายอากาศมีการโพลาไรซ์แบบแนวตั้ง

ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบจะถูกทำซ้ำ โดยทำการย้ายสายอากาศด้านรับไปยังตำแหน่งต่างๆ ไปตามลำดับทั้งหมด 64 ตำแหน่งจนครบทุกตำแหน่ง ในการทดสอบช่องสัญญาณแต่ละครั้งจะได้ข้อมูลการทดสอบช่องสัญญาณเพื่อนำไปวิเคราะห์และคำนวณเพื่อประมาณหาตำแหน่งของสายอากาศต่อไป



รูปที่ 5.14 ขั้นตอนในการทดสอบช่องสัญญาณเพื่อการประมาณตำแหน่ง



Room : 6m X 10m X 2.5m

รูปที่ 5.15 แบบจำลองสภาวะแวดล้อมที่ใช้การประมาณตำแหน่ง

5.4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบช่องสัญญาณเพื่อการประมาณการระบุตำแหน่งแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ในการทดสอบช่องสัญญาณเพื่อการประมาณตำแหน่ง

พารามิเตอร์	ค่า
ความถี่กลาง	7.0 GHz
แบนด์วิดท์สเปกตรัม	8.0 GHz
ความถี่ต่ำสุด	3.0 GHz
ความถี่สูงสุด	11.0 GHz
จำนวนจุดของความถี่	1601 point
ความสูงของสายอากาศส่ง	1 m
ความสูงของสายอากาศรับ	1 m
ระยะทางระหว่างสายอากาศ	1 เมตร ~ 1.3065 เมตร
การโพลาไรซ์	แนวตั้ง

5.5 การทดสอบช่องสัญญาณเพื่อใช้ในการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณ [26]

5.5.1 รูปแบบการทดสอบ

ขั้นตอนในการทดสอบและการวิเคราะห์การทดสอบช่องสัญญาณในสภาวะแวดล้อมที่มีการบดบังของร่างกายมนุษย์มีขั้นตอนในการทดสอบช่องสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 5.17 ซึ่งในการทดสอบนี้จะใช้ร่างกายมนุษย์มาบดบังเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น โดยจะกำหนดให้ร่างกายมนุษย์ขวางอยู่ตรงกลางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ คือ 2 เมตร ในตารางที่ 5.2 จะแสดงถึงพารามิเตอร์ที่สำคัญในการทดสอบครั้งนี้ การทดสอบครั้งนี้ได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักเช่นเดียวกับที่ใช้ทดสอบช่องสัญญาณเพื่อการระบุตำแหน่ง

ในการทดสอบครั้งนี้ได้ทดสอบจากสภาวะแวดล้อมจริงภายในห้องที่ขนาดความกว้างเท่ากับ 6 เมตร ความยาว 10 เมตร สูง 3.5 เมตร กำแพงห้องมีทั้งหมด 3 ด้านแล้วด้านที่เหลือเป็นกระจกและประตูที่ปิดอยู่ ร่างกายมนุษย์กำหนดให้อยู่กึ่งกลางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ โดยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ได้เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นตัวควบคุมและบันทึกผลการทดสอบช่องสัญญาณในการทดสอบครั้งนี้ รูปที่ 5.18 แสดงขนาดของห้องและ

แบบจำลองในการทดสอบช่องสัญญาณ การทดสอบช่องสัญญาณครั้งนี้ได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์รุ่น HP8510C โดยได้ทำการทดสอบช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 7 GHz และ 7 GHz ถึง 11 GHz โดยแต่ละช่วงความถี่จะมีจำนวนจุดของความถี่คือ 801 จุด ซึ่งทำให้ความละเอียดในช่วงการทดสอบตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz คือ 1601 จุด โดยกำหนดให้พอร์ตที่ 1 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์และพอร์ตที่ 2 ของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์เชื่อมกับสายอากาศด้านส่งและด้านรับตามลำดับ โดยสายอากาศทั้งสองเป็นชนิดกรวยคู่

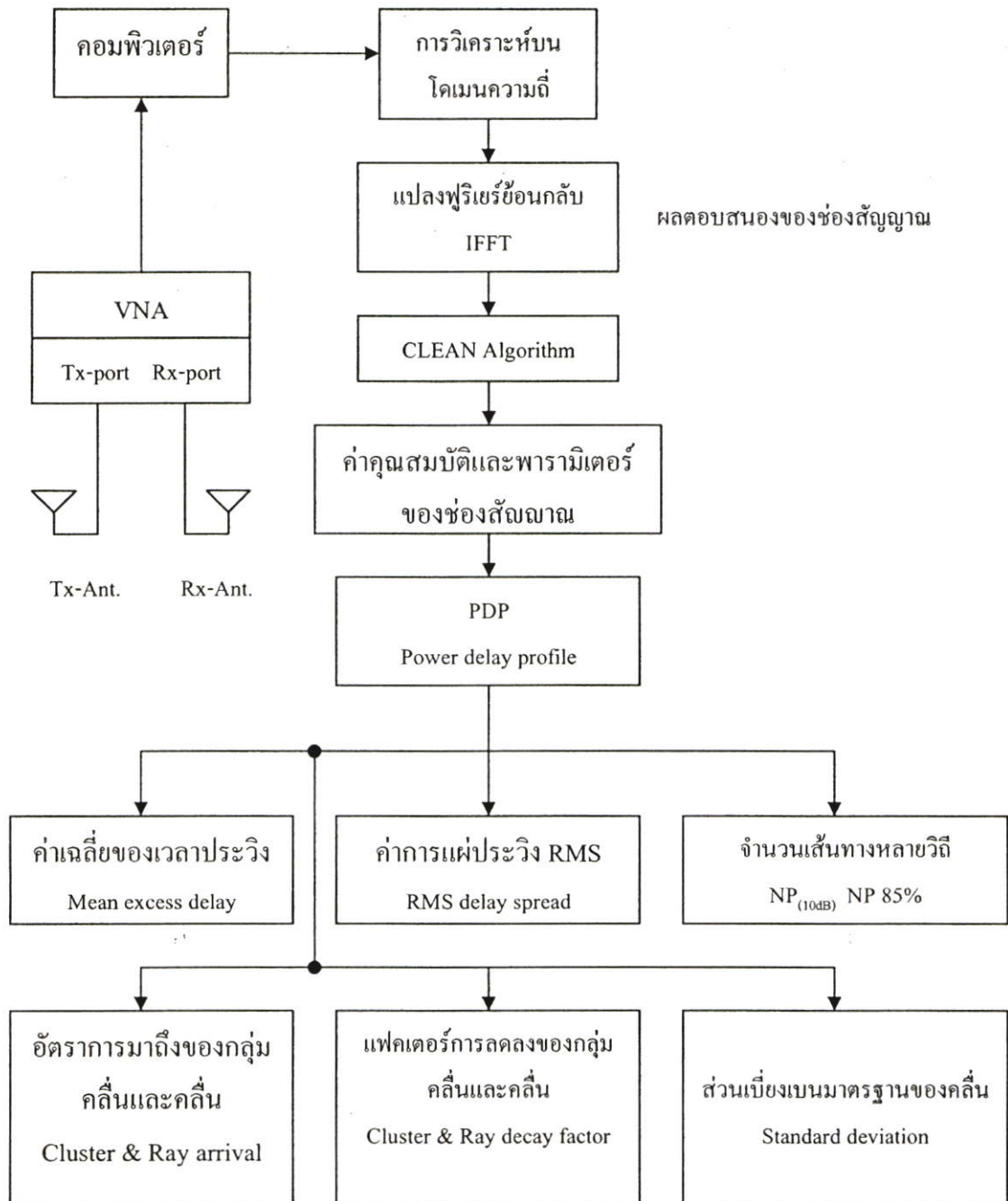
5.5.2 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบช่องสัญญาณ

ผลตอบสนองเชิงความถี่สำหรับช่องสัญญาณ สามารถหาได้จากการทดสอบพารามิเตอร์การกระจัดกระจาย หรือ S_{21} ในระบบ ซึ่งในการทดสอบช่องสัญญาณครั้งนี้จะเป็นการทดสอบช่องสัญญาณที่มีการบดบังของร่างกายมนุษย์

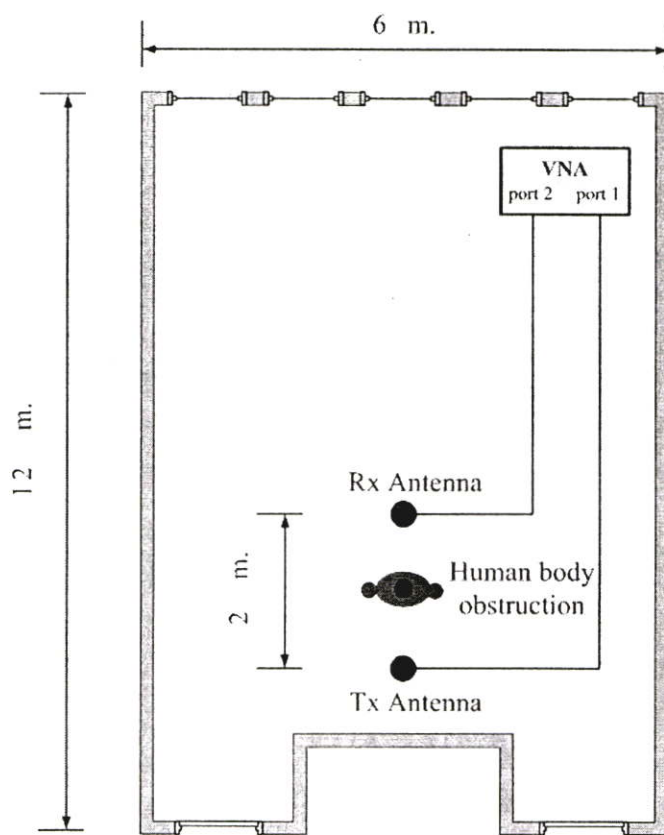
ขั้นตอนวิธีการทดสอบ เริ่มต้นจากการนำเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์มาปรับเทียบด้วยตัวปรับเทียบแบบ full two port (Full two port-Type Calibration Kits) โดยได้ทำการแบ่งความถี่เป็น 2 ช่วงได้แก่ความถี่ 3 GHz ถึง 7 GHz และ 7 GHz ถึง 11 GHz ซึ่งแต่ละช่วงความถี่มีความถี่มีจำนวนจุดของความถี่คือ 801 จุด

ขั้นตอนที่ 2 เริ่มทำการทดสอบพารามิเตอร์การกระจัดกระจาย หรือ S_{21} โดยที่กำหนดให้ร่างกายมนุษย์ยื่นขวางเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ โดยทิศทางของสายอากาศมีการโพลาไรซ์แบบแนวตั้ง

ขั้นตอนที่ 3 บันทึกผลการทดสอบช่องสัญญาณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งการทดสอบในครั้งนี้จะมีสัญญาณหลายวิถี (multipath) และมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น รวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไปเพื่อหาค่าคุณสมบัติและพารามิเตอร์ของช่องสัญญาณต่อไป



รูปที่ 5.17 ขั้นตอนในการทดสอบและการวิเคราะห์ช่องสัญญาณเพื่อการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณ



Room : 6 m. x 12 m. x 3.5 m.

รูปที่ 5.18 ขนาดของห้องและแบบจำลองในการทดสอบช่องสัญญาณ

5.5.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบช่องสัญญาณแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบช่องสัญญาณเพื่อการประยุกต์สร้างแบบจำลอง

พารามิเตอร์	ค่า
ความถี่กลาง	7.0 GHz
แบนด์วิดท์สเปกตรัม	8.0 GHz
ความถี่ต่ำสุด	3.0 GHz
ความถี่สูงสุด	11.0 GHz
จำนวนจุดของความถี่	1601 point
ความสูงของสายอากาศส่งและด้านรับ	1.5 m
ระยะทางระหว่างสายอากาศ	2 m
การโพลาไรซ์	แนวตั้ง

5.6 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการทดสอบช่องสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งแบบภายในอาคาร โดยในแบบจำลองแรกคือแบบจำลองช่องสัญญาณที่ใช้เพื่อการประมาณตำแหน่งของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง โดยมีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศด้านรับเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศด้านรับในแต่ละตำแหน่ง และแบบจำลองที่สองจะเป็นแบบจำลองเพื่อใช้ในการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากการบดบังของร่างกายมนุษย์ ซึ่งในการทดสอบช่องสัญญาณได้กำหนดให้ร่างกายมนุษย์ขวางเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศ 2 ด้าน ในการทดสอบช่องสัญญาณได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการทดสอบซึ่งทำการทดสอบในโดเมนความถี่ เพื่อวิเคราะห์หาผลกระทบต่างๆที่เกิดจากสถานะแวดล้อมดังกล่าว โดยใช้สายอากาศแบบกรวยคู่เป็นสายอากาศด้านส่งและด้านรับ สามารถตอบสนองต่อความถี่ในช่วง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่ง โดยข้อมูลการทดสอบที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์และแสดงผลของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ ดังจะแสดงในบทต่อไป

บทที่ 6

ผลการวิจัยและวิเคราะห์สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง

6.1 กล่าวนำ

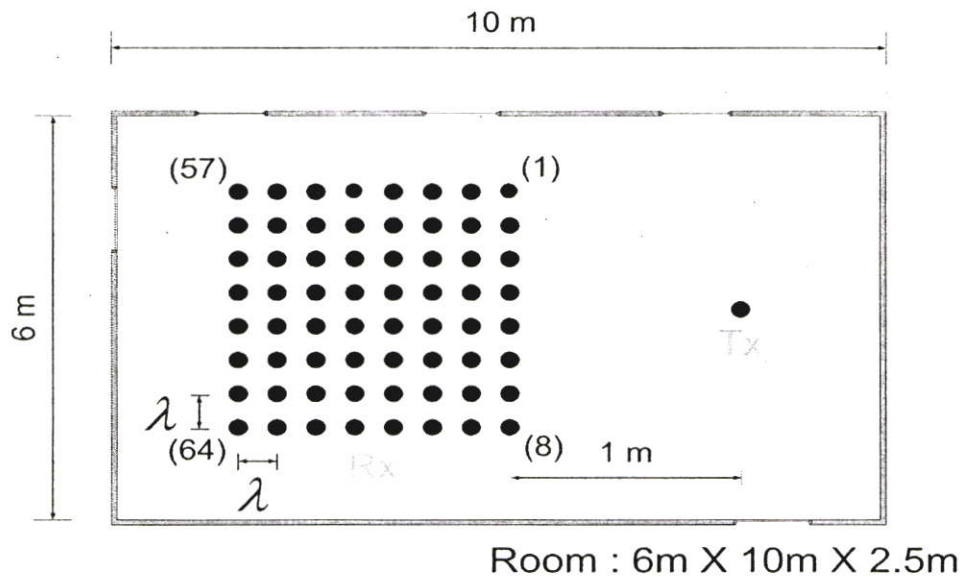
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบช่องสัญญาณในสภาวะแวดล้อมจริงภายในอาคารเพื่อใช้ในการประมาณการระบุตำแหน่งและใช้ในการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณจากสภาวะแวดล้อมที่มีร่างกายมนุษย์มาบดบังเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งทั้งสองแบบจำลองได้อธิบายไปแล้วในบทที่ 5 จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากผลของการทดสอบช่องสัญญาณเพื่อหาพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ค่าคุณสมบัติทางเวลาของช่องสัญญาณ ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน อัตราการมาถึงของคลื่นและกลุ่มคลื่น แพลตฟอร์มการลดลงของกลุ่มคลื่นและคลื่น ซึ่งรายละเอียดของผลการวิเคราะห์จะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

6.2 ผลการวิเคราะห์

6.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองเพื่อการประมาณการระบุตำแหน่ง

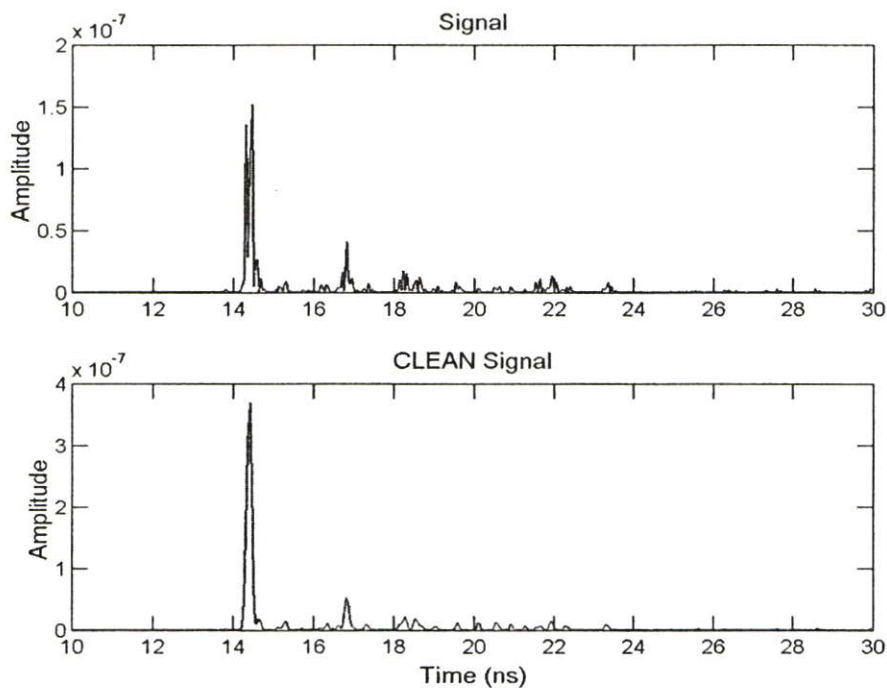
ในแบบจำลองแรกนี้ได้ทำการทดสอบช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมจริงแบบภายในอาคาร โดยทำการจัดวางตำแหน่งของสายอากาศให้สายอากาศทางด้านส่งไม่มีการเปลี่ยนตำแหน่ง ส่วนสายอากาศทางด้านรับจะมีการเปลี่ยนตำแหน่งไปทั้งหมด 64 ตำแหน่ง โดยจะเปลี่ยนตำแหน่งเป็นแถวลำดับทั้งหมด 8 แถว 8 หลักด้วยกัน ซึ่งระยะห่างของแต่ละตำแหน่งจะเท่ากับ λ และระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับในแถวแรกเท่ากับ 1 เมตร แถวสุดท้ายระยะห่างจะเท่ากับ 1.3065 เมตร สายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับมีความสูงเท่ากับ 1.5 เมตร และสายอากาศทั้งสองเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่

ขอยกตัวอย่างผลตอบสนองของช่องสัญญาณที่ทำการวิเคราะห์เพียงตำแหน่งเดียวจากการทดสอบช่องสัญญาณทั้งหมด 64 ตำแหน่ง ค่าผลตอบสนองของช่องสัญญาณที่ได้ทำการทดสอบแสดงดังรูปที่ 6.2 จากไดอะแกรมขั้นตอนการวิเคราะห์ช่องสัญญาณให้การประมาณค่าการระบุตำแหน่งจะใช้อัลกอริทึมแบบ CLEAN เข้ามาลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากระบบการทดสอบช่องสัญญาณและได้แสดงตอบสนองของช่องสัญญาณเมื่อใช้และไม่ใช้อัลกอริทึมแบบ CLEAN จากรูปที่ 6.1 เป็นการแสดงสภาวะแวดล้อมจำลองของช่องสัญญาณที่ใช้ทดสอบ จะเห็นตำแหน่งของสายอากาศทั้งด้านส่งและด้านรับที่ใช้ในการทดสอบช่องสัญญาณในครั้งนี้



รูปที่ 6.1 แบบจำลองสภาวะแวดล้อมและตำแหน่งของสายอากาศ

เมื่อทำการเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศ จะทำให้ผลตอบสนองของช่องสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะแวดล้อมที่ได้เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งผลตอบสนองของช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงแสดงดังรูปที่ 6.2 จะเห็นได้ว่าอัลกอริทึมแบบ CLEAN สามารถลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นได้จริง ซึ่งสังเกตจากลักษณะของรูปสัญญาณที่มีความเรียบขึ้น อีกทั้งยังพบว่าระดับแอมพลิจูดของสัญญาณมีค่าสูงขึ้นอีกด้วย



รูปที่ 6.2 ตัวอย่างผลตอบสนองของช่องสัญญาณที่ใช้และไม่ใช้อัลกอริทึมแบบ CLEAN

6.2.1.1 อัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวน

อัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนที่ได้ทำการวิเคราะห์กับทุกตำแหน่งของสายอากาศในการทดสอบช่องสัญญาณ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเมื่อนำเอาอัลกอริทึมแบบ CLEAN มาช่วยลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับระบบแล้ว อัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนจะมีค่าสูงขึ้นในทุกๆ ตำแหน่ง ซึ่งได้เปรียบเทียบให้เห็นเป็น SNR ดังแสดงในตารางที่ 6.1

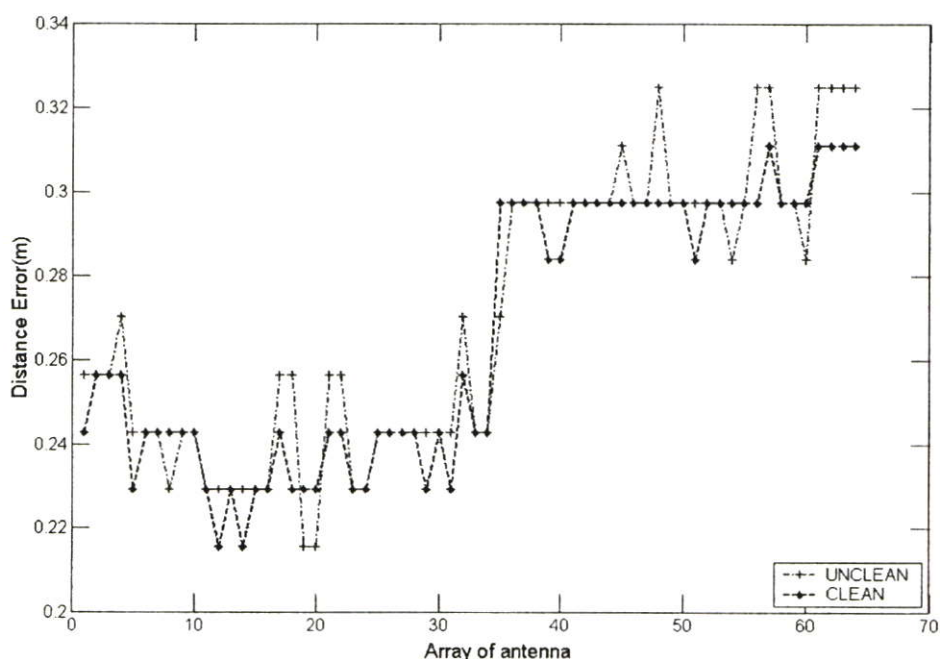
ตารางที่ 6.1 อัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวน (SNR)

ตำแหน่ง สายอากาศ	SNR (dB)		ตำแหน่ง สายอากาศ	SNR (dB)		ตำแหน่ง สายอากาศ	SNR (dB)	
	UNCLEAN	CLEAN		UNCLEAN	CLEAN		UNCLEAN	CLEAN
1	33.08	37.34	23	31.77	38.11	45	30.78	38.93
2	33.00	38.05	24	32.67	38.46	46	33.62	36.93
3	32.71	37.50	25	33.33	38.46	47	33.29	37.82
4	31.28	38.82	26	31.93	38.06	48	31.11	37.16
5	32.86	37.10	27	32.98	37.85	49	32.77	38.46
6	32.84	37.76	28	32.98	37.98	50	32.71	37.50
7	31.44	37.00	29	32.61	37.00	51	32.11	37.20
8	31.34	37.35	30	33.37	38.36	52	31.60	37.80
9	32.32	38.75	31	32.57	38.02	53	31.61	37.46
10	33.32	38.08	32	31.96	38.18	54	31.61	37.31
11	33.19	38.90	33	33.44	38.06	55	31.91	37.05
12	32.94	37.36	34	33.22	37.77	56	32.01	38.44
13	33.91	38.21	35	31.08	37.89	57	31.26	38.51
14	32.95	37.99	36	33.83	37.47	58	31.39	36.71
15	31.02	37.00	37	32.39	37.41	59	32.22	37.28
16	33.32	38.89	38	32.93	37.91	60	31.01	37.54
17	30.50	38.04	39	33.13	37.61	61	31.86	37.46
18	32.89	38.97	40	32.13	37.18	62	32.23	37.54
19	30.52	37.46	41	33.06	38.57	63	31.37	38.71
20	30.15	37.95	42	32.42	37.63	64	31.61	38.74
21	31.50	37.69	43	32.33	37.31			
22	31.60	36.99	44	37.87	37.40			

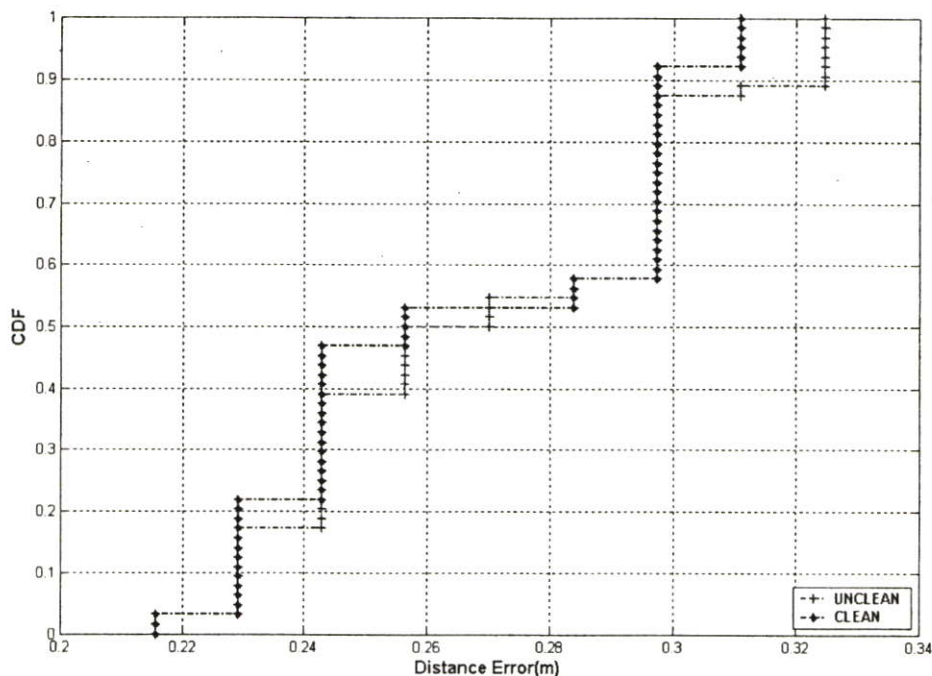
6.2.1.2 ผลการวิเคราะห์เพื่อการระบุตำแหน่งของสายอากาศ

เมื่อได้ทำการวิเคราะห์และทราบเวลาการมาถึงของสัญญาณ (TOA) ในเส้นทางแรกแล้ว และได้ทำการคำนวณเพื่อประมาณค่าการระบุตำแหน่งโดยใช้วิธีการคำนวณแบบตรง ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 จึงสามารถทราบระยะห่างระหว่างสายอากาศได้ ทำให้สามารถคำนวณค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างระยะห่างของสายอากาศที่คำนวณได้กับระยะห่างของสายอากาศที่ทราบระยะห่างอยู่แล้วมาเปรียบเทียบกัน ในการเพิ่มอัลกอริทึมแบบ CLEAN มาช่วยลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับผลของการทดสอบสัญญาณทำให้เกิดความถูกต้องแม่นยำในการหาเวลาการมาถึงของสัญญาณในเส้นทางแรกมากขึ้นทำให้การระบุตำแหน่งของสายอากาศถูกต้องมากขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 6.3 และในรูปที่ 6.4 เป็นการแสดงค่าความผิดพลาดของการประมาณค่าการระบุตำแหน่งในรูปแบบของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function: CDF)

จากรูปที่ 6.3 จะเห็นเส้นประบวกลบจะเป็นค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการประมาณการระบุตำแหน่งโดยไม่ได้มีการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดกับระบบและเส้นประดำจะเป็นค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการประมาณตำแหน่งโดยทำการลดสัญญาณรบกวนให้กับข้อมูลที่ทำการทดสอบช่องสัญญาณด้วยอัลกอริทึมแบบ CLEAN ก่อนนำมาคำนวณเพื่อหาค่าตำแหน่งของสายอากาศพบว่าแนวโน้มของค่าผิดพลาดที่ได้ทำการลดสัญญาณรบกวนด้วยอัลกอริทึมนี้มีค่าความผิดพลาดในการประมาณการระบุตำแหน่งที่น้อยกว่า และในรูปที่ 6.4 จะเห็นว่าการสะสมของค่าความผิดพลาดจากที่ได้ใช้อัลกอริทึมแบบ CLEAN มีความชันที่น้อยกว่านั่นคือมีความถูกต้องของการประมาณตำแหน่งที่มากกว่า



รูปที่ 6.3 ค่าความผิดพลาดของการประมาณการระบุตำแหน่ง



รูปที่ 6.4 ค่าความผิดพลาดของการประมาณการระบุตำแหน่งในรูปแบบของ CDF

6.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองเพื่อการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณ

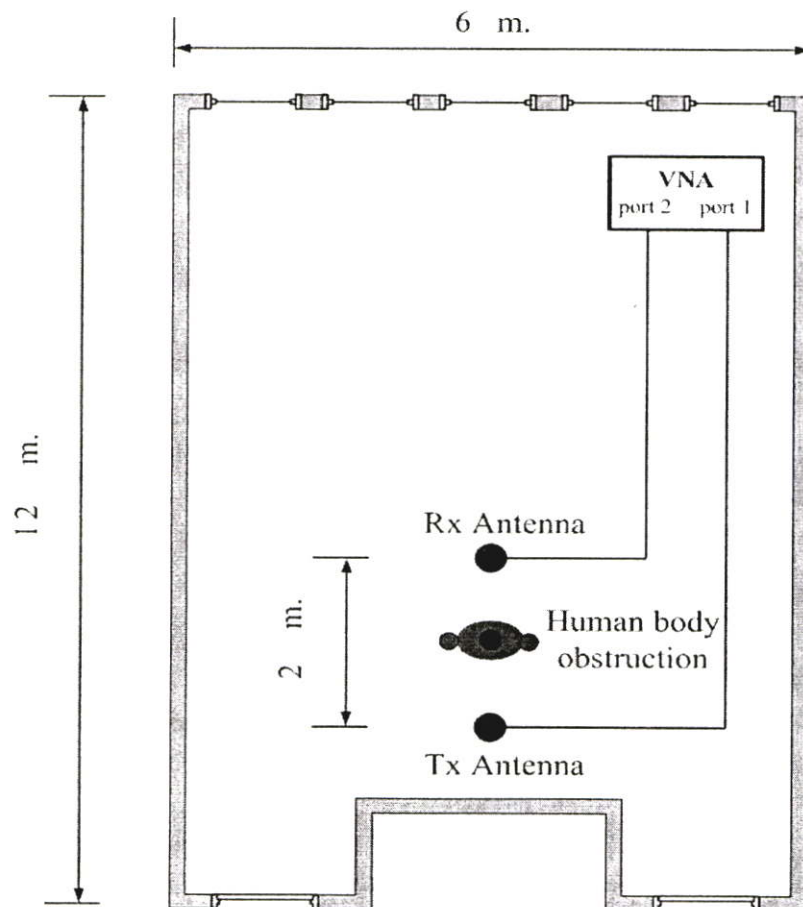
ในแบบจำลองสภาวะแวดล้อมนี้เป็นการจำลองช่องสัญญาณจริงภายในอาคารที่มีการบดบังเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นด้วยร่างกายมนุษย์ ซึ่งได้แสดงไว้ดังรูปที่ 6.5 ผลของการวิเคราะห์คุณสมบัติของช่องสัญญาณได้มาจากการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการทดสอบช่องสัญญาณมาทำการแปลงฟูรีเยร์ผกผันแล้วทำการลดสัญญาณรบกวนด้วยอัลกอริทึมแบบ CLEAN เช่นเดียวกับที่ใช้ในกรณีวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการประมาณการระบุตำแหน่ง ค่อยนำมาข้อมูลมาสร้างเป็นภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (power delay profile: PDP) ดังแสดงไว้ดังรูปที่ 6.6 แล้วทำการนอร์มอลไลซ์และเลื่อนเวลาของสัญญาณในเส้นทางที่มีกำลังงานสูงสุดให้เป็นสัญญาณแรก เพื่อให้สามารถหาคุณสมบัติทางเวลาของช่องสัญญาณ เช่นการประวิงเข้าถึงเฉลี่ย (mean excess delay) การแผ่กระจาย RMS (RMS delay spread) ทำการวิเคราะห์หาจำนวนของเส้นทางการเดินทางของสัญญาณที่มีระดับสัญญาณมากกว่า 10 dB ของระดับสัญญาณที่มีค่าแอมพลิจูดสูงสุดและวิเคราะห์หาค่าของจำนวนของเส้นทางการเดินทางของคลื่นที่มีระดับของสัญญาณที่มีระดับของขนาดสัญญาณที่อยู่ในช่วง 85% ของระดับสัญญาณที่มีค่าแอมพลิจูดสูงสุด ซึ่งในการหาค่าคุณสมบัติเหล่านี้สามารถทำการหาโดยกำหนดระดับสัญญาณรบกวนอยู่ที่ -20 dB จากระดับสัญญาณสูงสุดที่พบในภาพหน้าตัดข้างการประวิงเวลา

6.2.2.1 ค่าคุณสมบัติของช่องสัญญาณ

ค่าคุณสมบัติของช่องสัญญาณที่สามารถวิเคราะห์ได้ ได้แก่ ค่าการประวิงเข้าถึงเฉลี่ย การแผ่ประวิง RMS จำนวนเส้นทางของสัญญาณที่ 10 dB และสุดท้ายจำนวนของเส้นทางของสัญญาณที่ระดับ 85 % ของสัญญาณสูงสุด ซึ่งจะแสดงดังตารางที่ 6.2

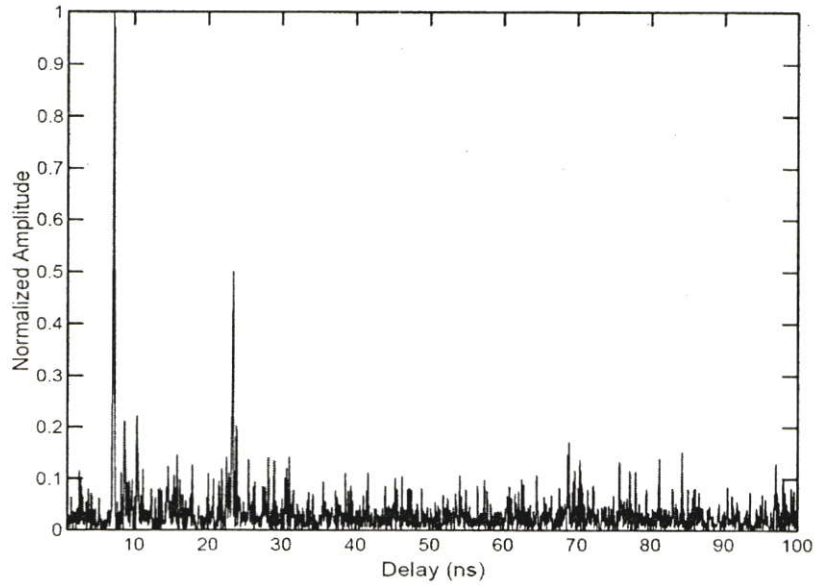
ตารางที่ 6.2 คุณสมบัติของช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากการบดบังของร่างกายมนุษย์

คุณสมบัติของช่องสัญญาณ	ค่าที่วิเคราะห์ได้
การประวิงเข้าถึงเฉลี่ย (τ_m)(nsec)	22
การแผ่ประวิง RMS (τ_{rms})(nsec)	20
จำนวนเส้นทางของคลื่นที่ 10 dB (NP_{10dB})	11
จำนวนเส้นทางของคลื่นที่ 85% ($NP_{80\%}$)	26



Room : 6 m. x 10 m. x 3.5 m.

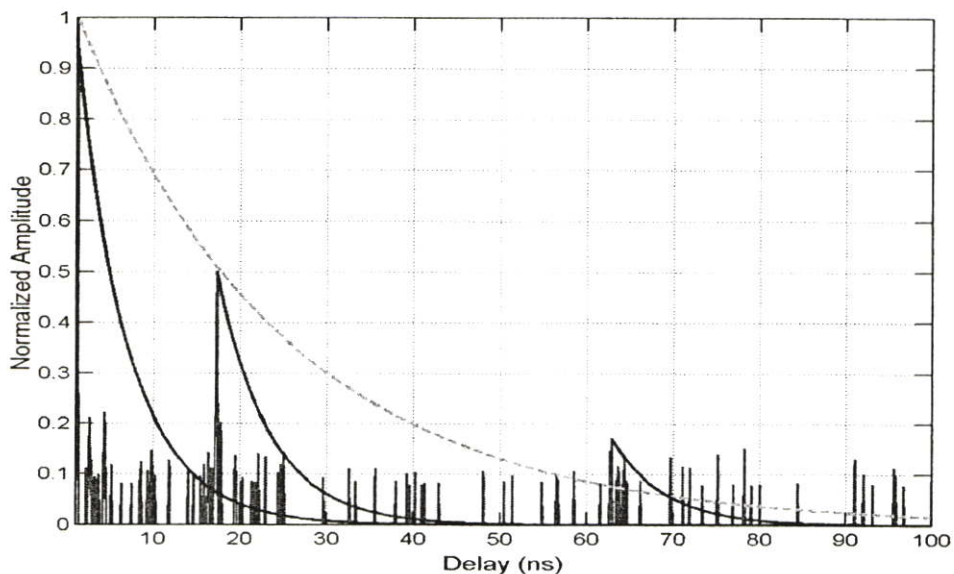
รูปที่ 6.5 แบบจำลองสถานะแวดล้อมที่มีการบดบังอันเนื่องมาจากร่างกายมนุษย์



รูปที่ 6.6 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณที่มีการบดบังจากร่างกายมนุษย์

6.2.2.2 ค่าพารามิเตอร์ของช่องสัญญาณสำหรับประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณ

สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการทราบค่าและมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากการบดบังของร่างกายมนุษย์นี้ ได้แก่ อัตราการมาถึงของกลุ่มคลื่น (cluster arrival rate) อัตราการมาถึงของคลื่น (ray arrival rate) ค่าแฟกเตอร์การลดลงของกลุ่มคลื่น (cluster decay factor) ค่าแฟกเตอร์การลดลงของคลื่น (ray decay factor) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) การกระจายตัวของระดับสัญญาณแบบล็อกปกติ (lognormal distribution) สามารถวิเคราะห์ได้จากภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานดังรูปที่ 6.7 นี้



รูปที่ 6.7 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานที่ทำกรวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์

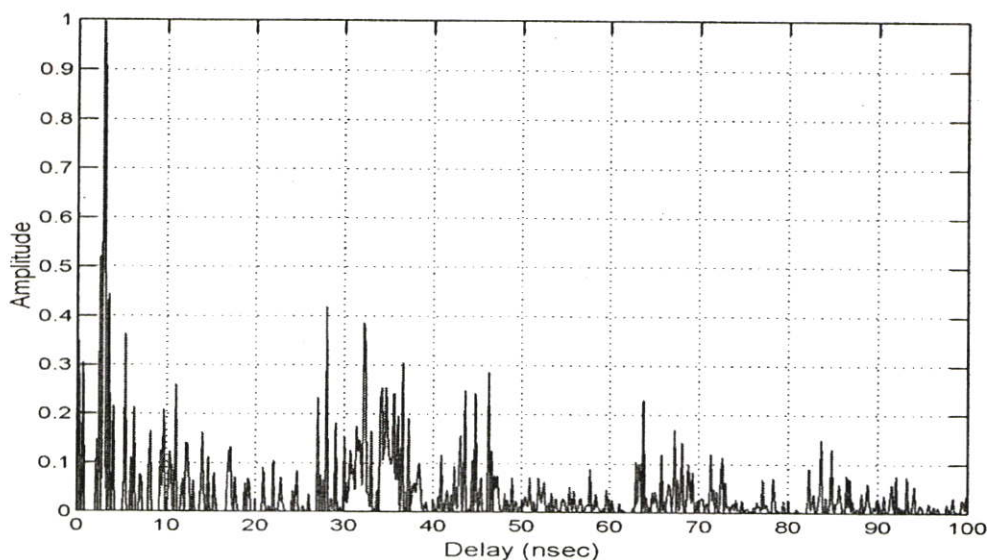
ค่าพารามิเตอร์ของช่องสัญญาณที่ทำการวิเคราะห์บนพื้นฐานของของการสร้างแบบจำลองสัญญาณมาตรฐาน IEEE 802.15.3a ทั้งหมดได้แสดงไว้ดังตารางที่ 6.3 ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับจำลองสร้างช่องสัญญาณที่เกิดการบดบังอันเนื่องมาจากร่างกายมนุษย์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 6.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากการบดบังของร่างกายมนุษย์

พารามิเตอร์ของแบบจำลองช่องสัญญาณ	ค่า
อัตราการมาถึงของกลุ่มคลื่น (Cluster arrival rate) Λ (1/nsec)	0.08
อัตราการมาถึงของคลื่น (Ray arrival rate) λ (1/nsec)	1.1
แฟคเตอร์การลดลงของกลุ่มคลื่น (Cluster decay factor) Γ	24
แฟคเตอร์การลดลงของคลื่น (Ray decay factor) γ	6
เบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) σ	6.6

6.2.2.3 ผลการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากการบดบังของร่างกายมนุษย์

จากที่ได้ทราบพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณ เมื่อทำการจำลองช่องสัญญาณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำการสร้างแบบจำลองสัญญาณตามค่าพารามิเตอร์ที่ได้วิเคราะห์หาค่าไว้ ซึ่งแสดงผลตอบสนองของช่องสัญญาณที่ได้ทำการจำลองช่องสัญญาณดังรูปที่ 6.8 และค่าคุณสมบัติของช่องสัญญาณที่ได้วิเคราะห์จากแบบจำลองช่องสัญญาณที่สร้างขึ้นได้นำมาเปรียบเทียบกับผลของคุณสมบัติของช่องสัญญาณที่ได้มาจากการทดสอบช่องสัญญาณจริง ซึ่งคุณสมบัติหลักของช่องสัญญาณตามมาตรฐานของแบบจำลองช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง IEEE 802.15.3a ได้แสดงในตารางที่ 6.4



รูปที่ 6.8 ผลตอบสนองของช่องสัญญาณที่ได้จากการจำลองช่องสัญญาณ

ตารางที่ 6.4 ผลของค่าคุณสมบัติที่ได้จากแบบจำลองช่องสัญญาณที่สร้างขึ้นและค่าคุณสมบัติของช่องสัญญาณจริง

คุณสมบัติของช่องสัญญาณ	ค่าจากการทดสอบ ช่องสัญญาณ	ค่าจากแบบจำลอง
การประวิงเข้าถึงเฉลี่ย (τ_m)(nsec)	22	22
การแผ่กระวิง RMS (τ_{rms})(nsec)	20	23
Number of paths within 10 dB of the strongest path (NP_{10dB})	11	13
Number of paths that capture 85% of channel energy ($NP_{80\%}$)	26	33

6.3 บทสรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองในสภาวะแวดล้อมจริงภายในอาคารเพื่อใช้ในการประมาณการระบุตำแหน่งและประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณที่มีการบดบังอันเนื่องมาจากร่างกายมนุษย์ โดยได้แสดงผลการประมาณการระบุตำแหน่ง ผลของการวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติของช่องสัญญาณ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณบนพื้นฐานของแบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐาน IEEE 802.15.3a ซึ่งบทสรุปและข้อเสนอแนะของวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงในบทต่อไป

บทที่ 7

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 กล่าวนำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมแบบ CLEAN ในการเพิ่มความแม่นยำในการหาคุณสมบัติและพารามิเตอร์ต่างๆ ของช่องสัญญาณ ซึ่งการเดินทางของสัญญาณในช่องสัญญาณเป็นลักษณะหลายวิถียากต่อการคาดคะเนถึงลักษณะการเดินทางของสัญญาณ อีกทั้งยังได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวน ดังนั้นพารามิเตอร์ที่ต้องนำไปใช้ในการประมาณตำแหน่งและประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณต้องมีความถูกต้องแม่นยำสูง เมื่อใช้ในการประมาณตำแหน่งสามารถประมาณตำแหน่งได้แม่นยำมาก และเมื่อใช้ในการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณภายใต้สภาวะที่มีร่างกายของมนุษย์มาบดบังจะให้ผลของการจำลองช่องสัญญาณที่ถูกต้องมากเสมือนกับเป็นช่องสัญญาณในการสื่อสารจริง ในการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณนี้ได้กระทำบนพื้นฐานของแบบจำลองมาตรฐาน IEEE 802.15.3a และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการประมาณตำแหน่งและประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณได้มาจากการทดสอบช่องสัญญาณในสภาวะแวดล้อมจริงแบบภายในอาคารทั้งสิ้น

7.2 สรุปผลการประมาณการระบุตำแหน่งในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ในการประมาณการระบุตำแหน่งโดยทั่วไปจะพยายามที่จะใช้กระบวนการต่างๆ มากมายที่จะทำให้การระบุตำแหน่งเกิดความแม่นยำในการระบุตำแหน่งมากที่สุดแต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกกระบวนการที่ง่ายไม่ซับซ้อนจึงลดความสิ้นเปลืองทรัพยากรในการประมวลผลของระบบคือได้เลือกเทคนิคในการระบุตำแหน่งแบบตรวจสอบเวลาการมาถึงของสัญญาณ (TOA) และเลือกใช้วิธีการวิธีการคำนวณแบบตรง (direct calculation method) ซึ่งเป็นวิธีพื้นฐานและไม่ซับซ้อนทำให้ลดภาระของหน่วยประมวลผลในการคำนวณตำแหน่งของอุปกรณ์การสื่อสาร อีกทั้งยังได้ใช้อัลกอริทึมแบบ CLEAN ที่มีลักษณะเด่นหลายๆ ด้าน ที่สำคัญสามารถลดระดับของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นได้ และยังสามารถเห็นได้ว่ายังเพิ่มระดับของสัญญาณให้มีระดับที่สูงขึ้นอีกด้วยลักษณะเช่นนี้จะป็นข้อได้เปรียบเมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศส่ง และสายอากาศรับมีความห่างกันมากทำให้สัญญาณที่รับได้มีระดับของสัญญาณน้อยลงทำให้การระบุตำแหน่งอาจเกิดการความผิดพลาดมากขึ้นได้เนื่องจากสัญญาณที่รับได้มีระดับที่อาจจะเท่ากับหรือน้อยกว่าสัญญาณรบกวนได้ จึงต้องทำให้อัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนสูงขึ้น การใช้งานจริงในระบบการระบุตำแหน่งจำเป็นต้องทำการประมาณตำแหน่งโดยใช้เวลาในการประมวลผลต่ำสุดและได้มาซึ่ง

ค่าการระบุตำแหน่งที่แม่นยำ รวมถึงความสามารถในการระบุตำแหน่งภายใต้สถานะแวดล้อมที่มีผลกระทบของสัญญาณรบกวนอีกด้วย

จากผลการศึกษาวิจัยในการประมาณการระบุตำแหน่งโดยใช้สัญญาณแถบกว้างยิ่งในสถานะแวดล้อมจริงแบบภายในอาคาร ทำให้ทราบถึงวิธีการในการระบุตำแหน่งแบบต่างๆ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และผลของการระบุตำแหน่งที่มีความแม่นยำขึ้นเนื่องจากการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับผลการทดสอบช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งภายใต้สถานะแวดล้อมดังกล่าว ซึ่งข้อมูลและกระบวนการเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการออกแบบระบบการระบุตำแหน่งได้และใช้ในการเพิ่มความแม่นยำให้กับพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่งได้

7.3 สรุปผลการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งโดยมีร่างกายมนุษย์มาบังคับ

การประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากการบังคับของร่างกายมนุษย์นี้เป็นการประยุกต์สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณ โดยมีบนพื้นฐานของการสร้างแบบจำลองเช่นเดียวกันกับการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณมาตรฐาน IEEE 802.15.3a เนื่องจากว่าสถานะแวดล้อมที่สามารถนำเอาระบบการสื่อสารไปใช้งานมีอยู่มากมาย ทำให้ช่องสัญญาณในการสื่อสารจะมีการแปลงเปลี่ยนคุณสมบัติของช่องสัญญาณไปตามสถานะแวดล้อมที่ระบบนั้นใช้งานอยู่ จึงต้องทำการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณในสถานะแวดล้อมที่แตกต่างจากสถานะแวดล้อมตามช่องสัญญาณมาตรฐาน IEEE 802.15.3a ในการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณต้องการทราบค่าคุณสมบัติต่างๆ ของช่องสัญญาณมากมายและจำเป็นต้องวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นในการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณจากการทดสอบช่องสัญญาณจริงภายในอาคารจึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะเกิดการรบกวนจากสัญญาณรบกวน ดังนั้นก่อนการวิเคราะห์ผลของการทดสอบช่องสัญญาณเพื่อจะได้ทราบถึงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณนี้จะต้องทำการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นก่อนเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ถูกต้องยิ่งขึ้น

จากผลการประยุกต์สร้างแบบจำลองที่ได้วิเคราะห์มาได้แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของช่องสัญญาณที่ได้ทำการวิเคราะห์เห็นได้ว่าคุณสมบัติของช่องสัญญาณมีความใกล้เคียงกันมาก คือ การประวิงเข้าถึงเฉลี่ย (τ_m) ไม่มีค่าความผิดพลาด การแผ่กระวิง RMS (τ_{rms}) เกิดเวลาที่คาดเคลื่อนไปเท่ากับ 3 nsec และจำนวนเส้นทางของคลื่นที่ 10 dB (NP_{10dB}) มีจำนวนของเส้นทางที่ผิดพลาดไป 2 เส้นทาง ซึ่งเส้นทางที่ผิดพลาดนี้เป็นเพียงเส้นทางย่อยที่ไม่มีความสำคัญในการวิเคราะห์ระบบมากนัก ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบการสื่อสาร โดยทั่วไป จำเป็นต้องทำการทดสอบช่องสัญญาณจริงเพื่อนำเอาคุณสมบัติของช่องสัญญาณนั้นนำไปวิเคราะห์ระบบหรือ

เมื่อต้องการออกแบบระบบใหม่ก็จำเป็นต้องใช้แบบจำลองช่องสัญญาณที่มีสถานะแวดล้อมที่มีความแตกต่างกันเพื่อให้สามารถทราบได้ถึงความสามารถในการทนต่อสถานะแวดล้อมต่างๆ ของระบบว่าเป็นเช่นใด แบบจำลองช่องสัญญาณที่เกิดจากสถานะแวดล้อมที่หลากหลายจึงช่วยในการออกแบบระบบการสื่อสารได้ และในปัจจุบันยังคงต้องการแบบจำลองช่องสัญญาณที่เกิดจากสถานะแวดล้อมอื่นๆ อีกมากมายซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอแบบจำลองช่องสัญญาณที่เกิดการบิดบังอันเนื่องมาจากร่างกายมนุษย์และยังได้นำเสนอวิธีการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากระบบทดสอบช่องสัญญาณอีกด้วย

7.4 ข้อเสนอแนะ

จากแนวคิดที่ได้ทำการประมาณการระบุตำแหน่งโดยพยายามลดกระบวนการในการระบุตำแหน่งและลดภาระของหน่วยประมวลผลรวมถึงจำนวนของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบทั้งหมดเป็นผลมาจากการเลือกกระบวนการเทคนิคในการประมาณตำแหน่งและวิธีคำนวณตำแหน่งของอุปกรณ์ ดังนั้นในการระบุตำแหน่งของระบบใดๆ ความต้องการในประสิทธิภาพของการระบุตำแหน่งจะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายๆ ด้านเช่น ราคา สถานะแวดล้อมที่ระบบระบุตำแหน่งนั้นนำไปใช้งานจึงสามารถปรับเปลี่ยนกระบวนการ เทคนิคและวิธีการในการประมาณการระบุตำแหน่งให้สอดคล้องกับระบบที่ต้องการได้เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดที่ควรได้รับ

ในการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากการบิดบังอันของร่างกายมนุษย์ได้ทำการทดสอบช่องสัญญาณเพื่อหาค่าคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในสถานะแวดล้อมแบบภายในอาคารนั้น เป็นเพียงแบบจำลองช่องสัญญาณที่พยายามสร้างขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับการออกแบบระบบการสื่อสารและการวิเคราะห์ปัญหาให้กับระบบการสื่อสารภายใต้สถานะแวดล้อมหนึ่งเท่านั้น ยังมีสถานะแวดล้อมต่างๆ อีกมากมายที่สามารถนำเอากระบวนการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพสูงอย่างเช่นระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนี้ไปใช้งานได้ จึงจำเป็นต้องทำการจำลองช่องสัญญาณในสถานะอื่นๆ อีกเพื่อศึกษาถึงลักษณะเส้นทางการเดินทางของคลื่น คุณสมบัติของช่องสัญญาณที่เกิดจากสถานะแวดล้อมที่ได้เปลี่ยนแปลงไป เพื่อจะได้ทำการสร้างเป็นแบบจำลองช่องสัญญาณภายใต้เงื่อนไขหรือสถานะที่แตกต่างออกไป และในการสร้างแบบจำลองช่องสัญญาณยังมีเทคนิคและวิธีการในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของการสร้างแบบจำลองที่ซับซ้อนและยังอาศัยผลจากการทดสอบช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงและหลีกเลี่ยงผลกระทบจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นไม่ได้ ซึ่งในอนาคตอาจมีวิธีการอื่นที่สามารถลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับการทดสอบช่องสัญญาณได้ดีกว่า

เอกสารอ้างอิง

- [1] Fred Bhesania, Brad Hosler. “**UWB: A High-Speed Wireless PAN Technology**”
[online]. Available : http://download.microsoft.com/download/f/0/5/f05a42ce-575b-4c60-82d6-208d3754b2d6/UWB_arch.ppt. 2007.
- [2] Andreas F. Molisch, Jeffrey R. Foerster and Marcus Pendergrass, “Channel Models For Ultrawideband Personal Area Networks” **IEEE Wireless Communication**, pp. 14-20, December 2003.
- [3] Federal Communications Commission, **First order and report: Revision of part 15 of the Commission’s rules regarding UWB transmission systems**, Apr. 22, 2002.
- [4] Wang, S.S.; Green, M.; Malkawa, M., “E-911 location standards and location commercial services“, **Emerging Technologies Symposium: Broadband, Wireless Internet Access, 2000 IEEE**, 10-11 April 2000 Page(s):5 pp
- [5] J. A. Hogbom, "Aperture synthesis with a nonregular distribution of interferometer baselines," **Astronomy Astrophys. Suppl.**, vol. 15, p. 417, 1974.
- [6] James D. Taylor, **Introduction to Ultra-Wideband Radar Systems**, USA : CRC Press. 1995.
- [7] Kazimierz S, and Debra M, **Ultra-Wideband Radio Technology**, England: John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- [8] IBM Zurich Reserch laboratory. “**European UWB regulatory status and research initiatives**” [online].
Available : http://www.ida.gov.sg/doc/Technology/Technology_Level3/3_-_IBM_-_European_Regulatory_Status_and_Research_Initiatives.pdf, 2003.
- [9] Robert W. Wood, **Physical Optics**, Optical Society, 1988.
- [10] M. Ghavami, L.B. Michael and R. Kohno, **Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering**, John Wiley & Sons, Ltd, pp. 99, May 2004.
- [11] Andreas F. Molish, Jeffrey R. Foerster and Marcus Pendergrass, “Channel Models for Ultrawideband Personel area networks”, **IEEE wireless communication 2003**, pp.14-21.

- [12] K. Jeong, S.H. Kim, K.M. Chung, J.C. Kim, J.H. Yu, J.S. Lee, S.H. Seo, "Multipath channel models for wireless local and metropolitan area networks.", **Information Technology and Applications, 2005. ICITA 2005**, Vol. 2, pp. 295 – 298, July 2005
- [13] University of Cape Town 2006., "**UWB signal and systems in communication engineering**", [online]. Available : <http://web.uct.ac.za/depts/commnetwork/eee5025/note/Seminar-UWB.pdf>. 2006.
- [14] 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.
- [15] J. Foerster et al., "UWB Channel Modeling Contribution from Intel," **IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks, P802.15-02/490rl-SG3a**, Feb. 1993
- [16] Q. H. Spencer, B. D. Jeffs, M. A. Jense, A. L. Swindlehurst, "Modeling the Statistical Time and Angle of Arrival Characteristics of an Indoor Multipath Channel," **IEEE JSAC**, Vol. 18, No. 3, March 2000
- [17] Rappaport, T. S., Reed, J. H. and Woerner, B. D., "Position location Using Wireless Communications on Highways of the Future.", **IEEE Communication Magazine**, vol. 34 pp. 33-41, Oct. 1996.
- [18] Krizman, k. J., Biedka, T. E. and Rappaport, T. S., "Wireless position location: Fundamentals, Implementation Strategies, and Sources of Error." **Vehicular Technology Conference**, 1997 IEEE 45., vol. 2., pp. 919-923., May 1997
- [19] K. Yu and L. Oppermann, "Performance of UWB Position Estimation Based on Time-of-Arrival Measurement," **Proc. IEEE Conf. UWB Systems and Technologies 2004**, pp.~400-404, 18-21 May 2004.
- [20] R. G. Vaughan and N. L. Scott, "Super-resolution of pulsed multipath channels for delay spread characterization," **IEEE Trans. Commun.**, vol. 47, pp. 343–347, Mar. 1999.
- [21] Ian O., Matti H. and Jari I, **UWB Theory and Applications**, England : John Wiley & Sons Ltd. 2004.
- [22] Ralph S. Carson, **High-Frequency Amplifiers Second edition**, New york : John Wiley & Sons Ltd. 1982.

- [23] Theodore S. Rappaport, **Wireless Communications Principles And Practice**, United States of America : Prentice-Hall PTR, inc. 2002.
- [24] S. Promwong and W. Hachitani, and J.Takada, "Free Space Link Budget Evaluation of UWBIR System," **2004 International Workshop on Ultra Wideband System Joint with Conference on Ultra Wideband Systems and Technology (UWBST&IWUWBS)**, pp.312-316, May 2004.
- [25] T. Jantaworn, M. Chamcoy, S. Promwong and N. Sukutamtanti, "Location Estimation Based on Modified TOA Measurements for UWB Network", **The 2007 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication, and Information Technology International Conference (ECTI-CON 2007)**, Vol. 2, pp. 915-918, 9-12 May 2007.
- [26] T. Jantaworn, M. Chamcoy, S. Promwong and N. Sukutamtanti, "A Body-Shadowing Channel Measurement and Model for Ultra-wideband Communication in Indoor Environment," **Proc 30th Electrical Engineering Conference (EECON30)**, Vol. 2, pp. 1017-1020, 25-26 October 2007.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

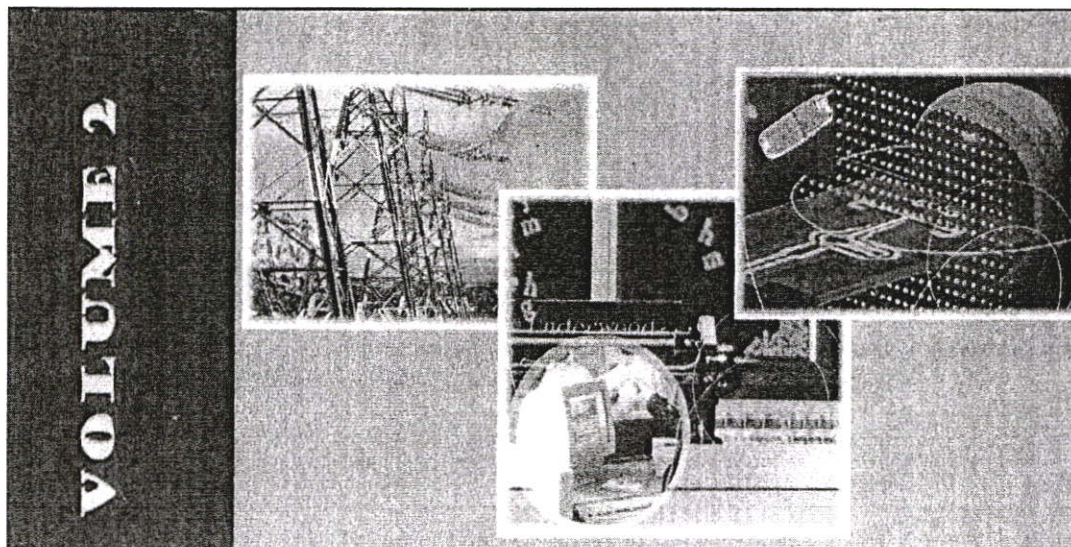
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

งานประชุมในระดับนานาชาติ

- [1] T. Jantaworn, M. Chamcoy, S. Promwong and N. Sukutamtanti, "Location Estimation Based on Modified TOA Measurements for UWB Network", The 2007 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication, and Information Technology International Conference (ECTI-CON 2007), Vol. 2, pp. 915-918, 9-12 May 2007.

งานประชุมในระดับประเทศ

- [2] T. Jantaworn, M. Chamcoy, S. Promwong and N. Sukutamtanti, "A Body-Shadowing Channel Measurement and Model for Ultra-wideband Communication in Indoor Environment," Proc 30th Electrical Engineering Conference (EECON30), Vol. 2, pp. 1017-1020, 25-26 October 2007.



ECTI-CON 2007

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

VOLUME 2

- Communication Systems
- Signal Processing
- Computer and Information



ECTI
Association

IEEE
THAILAND SECTION

NECTEC
a member of NSTDA

WD Western
Digital



Location Estimation Based on Modified TOA Measurements for UWB Network

Tawatchai Jantaworn, Monchai Chamchoy, Sathaporn Promwong and Nikorn Sukutamantani

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Email: s8061052@kmitl.ac.th

Abstract—The location estimation technique for UWB wireless network is very importance issue in mobility management. In this paper, the estimation accuracy based on TOA measurement for direct-calculation method is improved by using CLEAN algorithm. The performance criterias such as TOA and distance estimation errors are compared. As the simulation results, the CLEAN algorithm can increase the estimation accuracy, especially for low SNR region, more than conventional TOA measurement.

I. INTRODUCTION

Ultra-wideband (UWB) technology has been seen as one promising solution for future short-range indoor radio communication systems. The technology offers many advantages over conventional narrowband and wide-band systems (CNWS) such as high bit rate services, low power consumption, very large capacity and accuracy positioning capabilities [1]. Because of the advantages of this technology, therefore, it was considered as the suitable wireless transmission media for IEEE WPAN working groups [2]. The Federal Communication Commission (FCC) [3] specifies that UWB has a frequency spectrum ranging from 3.1 to 10.6 GHz. The FCC defined the UWB signal as those which have a fractional bandwidth is greater than 0.20 or occupied bandwidth is equal to or greater than 500 MHz.

The radio signal is used as the key for several location estimated techniques. Time of arrival (TOA) measurement, angle of arrival (AOA) and signal strength can be used for the location estimation. The most popular method for estimating location is directly solve a set of simultaneous equations based on the time difference of arrival (TDOA). For accurate solution, this method must be obtained for x - y plane locating with 3 sensors and 2 TDOA measurements, and x - y - z plane locating with four sensors [4]. In the case of undecided system, to avoid the convergence problems, the double maximum likelihood [5] and the spherical interpolation techniques have been proposed [6]. However, the DFP quasi-Newton algorithm [7] was employed in the UWB precision assets location system [8]. The CLEAN algorithm initial used to improve radio-astronomical maps of the sky [9]. Also, it has been used in more narrow-band communication channel characterization problems [10]. Based on the advantage of the CLEAN algorithm, it can eliminate unwanted signal, such as interference and noise. In the communication system, the

signal to noise ratio is reduced by several factors such as the multipath component, the long T-R separation between transmitter and receiver, and so on. These impairments lead to the higher location estimation error. Therefore, several methods are introduced to improve the estimated accuracy. Although the CLEAN algorithm is proposed for radio-astronomical maps, for the position estimation, the CLEAN algorithm can be used to eliminate unwanted signal from TOA measurements. Due to the TOA estimation error of each array sensor is not possible to completely remove the unwanted signal. Therefore, the CLEAN algorithm is involved for reducing noise in TOA measurements.

In this paper, the modified TOA measurement by using the CLEAN algorithm for position estimation based on the direct-calculation method is investigated. The channel measurements are examined in the indoor environment for the frequency ranging from 3.0 GHz to 11 GHz. The rest of paper is organized as follows. Section II presents the measurement method, measurement equipment and model under investigated. Section III briefly examines the direct-calculation method, Signal to noise ratio and summary step of the CLEAN algorithm. Section IV describes the simulation results of the modified TOA measurement by using the CLEAN algorithm, probability of TOA and distance errors and finally, the conclusion.

II. TOA MEASUREMENT METHOD

The UWB channel characterizations can be achieved by performing measurements in time domain or in frequency domain. The real-time channel measurement can only be obtained in time domain. Unfortunately, receiver noise, jitter, and synchronization are mainly degrade factors for the TOA measurement. On the other hand, when the vector network analyzer (VNA) is used, the TOAs can be obtained by performing the inverse discrete Fourier transform (IDFT) of the measured channel frequency responses.

A. Measurement Equipment

The vector network analyzer (VNA) is used as the frequency domain channel sounder. Then, the transmit and receive antennas are connected to the VNA with the double-shielded low-loss cables. The experiments were made while the transmit antenna was located in a fixed position, and the receive antenna was moved within the precisely measurement grids of 8×8

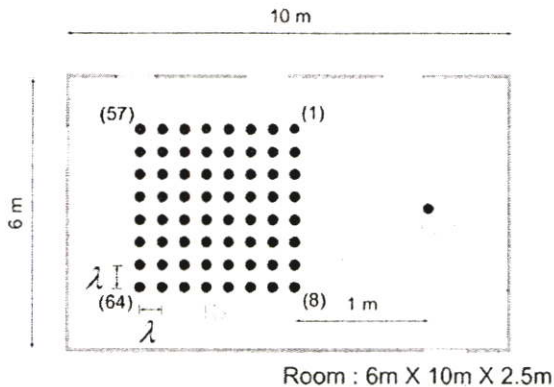


Fig. 1. Measurement model.

TABLE I
EXPERIMENT PARAMETERS.

Parameter setting	Value
Frequency Range	3.0~11.0 GHz
Frequency Resolution	1601 points
Tx Antenna Height	1 m
Rx Antenna Height	1 m
Polarization	Vertical
T-R Separation	1~1.3065 m

positions. The linear inter-distance of the synthesized array antenna is set to λ at the center frequency of 6.85 GHz. The 30 dB ultra-wideband and low-noise amplifier is used to compensate the loss in the cables. The biconical antennas are used to measure the UWB channel for presenting the channel characterizations with omni-directional propagation. The dynamic range for the VNA (HP 8510C) is exceeded 80 dB. Table I lists the main parameters of the experiments.

B. Measurement Location

In this experiment, the real indoor environment is investigated. Fig. 1 shows the measurement plane of the 8×8 grids of the receive antenna. The distance of the first array sensor plane and the transmitter site about 1 m. The measurement room, 10 m long, 6 m wide, and 2.5 m high, is used. The walls of the room are made of autoclaved aerated concrete internationally known as AAC, which is lighter weight than the conventional one. The ceiling and floor are made of chipboard and wood, respectively.

III. SIMULATION MODELS

In this paper, the modified UWB channel measurements in indoor environment are used to estimate the TOA and distance by using the CLEAN algorithm based on direct-calculation method. Therefore, the performance criterias such as TOA and position estimations for direct-calculation method are analyzed.

A. Direct Calculation Method

The direct-calculation method is algorithm for basic position estimation method. This method do not require knowledge of

variance or distribution of the TOA estimation error and the direct-calculation method also do not require an accurate initial position estimation as described and derived in [11],

$$\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} = c(t_i - t_0), \quad (1)$$

where c is the speed of light, t_i is the TOA at sensor i , t_0 is the transmit time, x, y and x_i, y_i are the coordinates of the tag and the sensor, respectively.

B. CLEAN Algorithm

Generally, CLEAN algorithm is introduced for evaluating the receiver signal of the more narrow-band communication channel. On the other hand, it also provides the advantage of array response from the actual signal for UWB communication. In this algorithm, the actual signal is called dirty signal. The steps in the CLEAN algorithm are as follows [13]:

1. Generate the dirty spectrum to the input data over a window spectrum in time.
2. Search the spectrum output window over time for the peak response.
3. Determine and store the amplitude and time of peak response.
4. Estimate the signal corresponding to the peak response and store waveform.
5. Generate the spectrum response to this estimated waveform.
6. Update the spectrum response by subtracting a gain factor of the response to the estimated signal from the previous spectrum response.

$$\mathbf{C}_n(t) = \mathbf{C}_{n-1}(t) - \gamma \hat{\mathbf{C}}_{k,n-1}(t), \quad (2)$$

where k is an index of the largest response in $\mathbf{C}_{n-1}(t)$, $\mathbf{C}_n(t)$ is the beamformer response at the n th iteration, and $\hat{\mathbf{C}}_{k,n-1}(t)$ is the estimated response to the k th impulse at time $n - 1$.

7. Add the current signal amplitude, scaled by gain factor, to the appropriate place in a list of signal location.
8. If a stopping criterion (a threshold on the signal level or residual energy) is not met, go to step 2.
9. Generate a list of the signals found, including amplitude and the time of arrival.
10. Form the CLEAN map by convolving the list of signals with delta functions.

C. SNR Calculation

The signal to noise ratio (SNR) compares the level of a desired signal (such as peak response) to the level of background noise for measuring the clarity of the signal in a transmission channel. The SNR of each array is defined as magnitude of signal between the first arrival of the channel impulse response and the average noise floor. Therefore, the SNR is given by

$$\text{SNR}_{(k)}[dB] = 20 \log_{10} \left[\frac{A(i)_k}{A_{ave}(n)_k} \right], \quad (3)$$

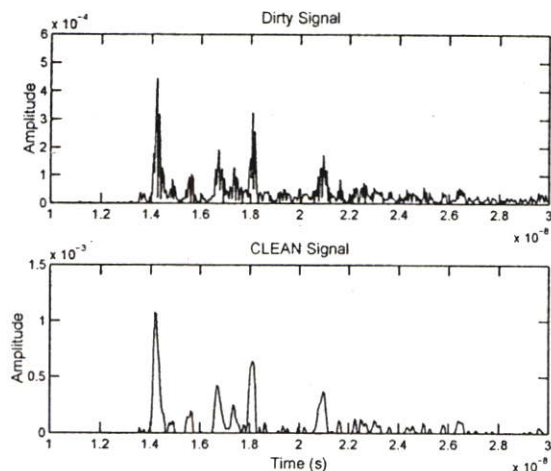


Fig. 2. The channel responses of the conventional and modified TOA measurements.

where $A(i)$ is the magnitude of the first arrival at the k th array, $A_{ave}(n)$ is the average noise floor at the k th array

IV. NUMERICAL RESULTS

The results of the channel impulse responses for the conventional and modified TOA measurements by using CLEAN algorithm are shown in Fig. 2. Consequently, the results of the SNR improvement are listed in Table. II. From Fig. 2, the impulse responses of the modified TOA measurement with the CLEAN algorithm are smoother than conventional measurement. Therefore, the TOA can simply to find more than without the CLEAN algorithm. From Table. II, shows the SNR of all arrays. The SNR of the improved TOA measurement arrays by using CLEAN algorithm are higher than the conventional one, for example the SNR at the 30th array is 33.37 dB and 38.36 dB, respectively.

For location estimation based on direct-calculation method, the distance estimated errors with and without CLEAN algorithm are shown in Fig.3. From the results, the distance error trends to increase as the distance between the transmitter and the receiver increase, both for with and without the CLEAN algorithm. For example, the distance error at the 12th array is 3.227 meter and 3.2407 meter and at the 61th array is 3.3225 meter and 3.3361 meter, respectively. The TOA and the distance errors with the CLEAN algorithm are lower than the conventional measurement.

Fig. 4 shows the distance error versus SNR (dB) for the location estimation. The SNR of the position estimation with the CLEAN algorithm is higher than without the CLEAN algorithm for all arrays. Moreover, the distance error for the location estimation with the CLEAN algorithm at the low SNR is lower than without the CLEAN algorithm. Because at the long distance, the CLEAN algorithm can improve the SNR by eliminating the unwanted signal.

TABLE II
SNR COMPARISON OF CONVENTIONAL AND MODIFIED TOA
MEASUREMENTS IN dB

Array No.	Dirty	CLEAN	Array No.	Dirty	CLEAN
1	33.08	37.34	33	33.44	38.06
2	33.00	38.05	34	33.22	37.77
3	32.71	37.50	35	31.08	37.89
4	31.28	38.82	36	33.83	37.47
5	32.86	37.10	37	32.39	37.41
6	32.84	37.76	38	32.93	37.91
7	31.44	37.00	39	33.13	37.61
8	31.34	37.35	40	32.13	37.18
9	32.32	38.75	41	33.06	38.57
10	33.32	38.08	42	32.42	37.63
11	33.19	38.90	43	32.33	37.31
12	32.94	37.36	44	31.87	37.40
13	33.91	38.21	45	30.78	38.93
14	32.95	37.99	46	33.62	36.93
15	31.02	37.00	47	33.29	37.82
16	33.32	38.89	48	31.11	37.16
17	30.50	38.04	49	32.77	38.46
18	32.89	38.97	50	32.71	37.50
19	30.52	37.46	51	32.11	37.20
20	30.15	37.95	52	31.60	37.80
21	31.50	37.69	53	31.61	37.46
22	31.60	36.99	54	31.61	37.31
23	31.77	38.11	55	31.91	37.05
24	32.67	38.46	56	32.01	38.44
25	33.33	38.46	57	31.26	38.51
26	31.93	38.06	58	31.39	36.71
27	32.98	37.85	59	32.22	37.28
28	32.98	37.98	60	31.01	37.54
29	32.61	37.00	61	31.86	37.46
30	33.37	38.36	62	32.23	37.54
31	32.57	38.02	63	31.37	38.71
32	31.96	38.18	64	31.61	38.74

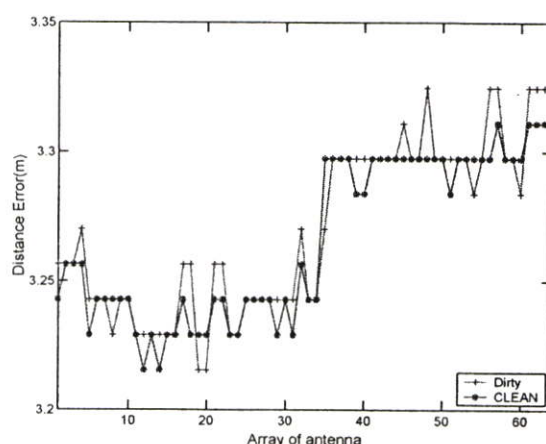


Fig. 3. The distance error for conventional and modified TOA measurements.

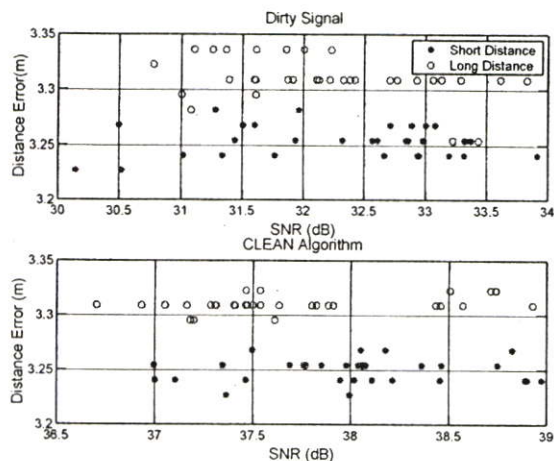


Fig. 4. The distance error versus the SNR (dB) for short and long T-R separation distances

V. CONCLUSIONS

In this paper, the modified TOA measurement for location estimation based on the direct-calculation method in ultra-wideband network is proposed. The CLEAN algorithm is introduced as the effective approach to eliminate the unwanted signal. The numerical results show that the TOA and distance errors trend to be linear. Therefore, the CLEAN algorithm is used to improve the estimated accuracy of the TOA estimation based on direct-calculation method. In addition, the CLEAN algorithm also provides the SNR improvement for location estimation in low SNR region.

REFERENCES

- [1] R. A. Scholtz, R. Weaver, E. Homier, J. Lee, P. Hilmes, A. Taha, and R. Wilson, "UWB radio deployment challenges," *Proc. IEEE Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC'00)*, vol. 1, pp. 620-625, 2000.
- [2] <http://ieee802.org/15> IEEE 802.15 Working group for WPAN
- [3] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding UWB Transmission Systems," *First Report and Order, FCC 02-48*, Apr. 2002.
- [4] B. T. Fang, "Simple solution for hyperbolic and related position fixes," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 26 pp. 748-753, Sept. 1990.
- [5] Y. T. Chan and K. C. Ho, "A simple and efficient estimator for hyperbolic location," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 42, pp. 1905-1915, Aug. 1994.
- [6] H. C. Schau and A. Z. Robinson, "Passive source location employing intersecting spherical surfaces from time-of-arrival differences," *IEEE Trans. Acoust. Speech, Signal Processing*, vol. 35, pp. 1661-1669, Dec. 1987.
- [7] R. Fletcher and M. J. D. Powell, "A rapidly convergent descent method for minimization," *Computer Journal*, vol. 6, pp. 163-168, 1963.
- [8] R. J. Fontana, E. Richley, and J. Barney, "Commercialization of an ultra wideband precision asset location system," in *Proc. IEEE Conf. UWB systems and Technologies, 2003*.
- [9] J. A. Hogbom, "Aperture synthesis with a nonregular distribution of interferometer baselines," *Astronomy Astrophys. Suppl.*, vol. 15, p. 417, 1974.
- [10] R. G. Vaughan and N. L. Scott, "Super-resolution of pulsed multipath channels for delay spread characterization," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 47, pp. 3433-3447, Mar. 1999.
- [11] K. Yu and L. Oppermann, "Performance of UWB Position Estimation Based on Time-of-Arrival Measurement," in *Proc. IEEE Conf. UWB Systems and Technologies 2004*, pp. 400-404, May 2004.

- [12] J. Foerster, "Channel Modeling Sub-committee Report (Final)," *IEEE 802.15 Wireless Personal Area Networks*, Nov. 18, 2002.
- [13] R. Jean-Marc Cramer, Moe Z. Win and Robert A. Scholtz, "Evaluation of the Multipath characteristics of the Impulse Radio Channel," *IEEE*, vol. 2, pp. 864-868, 8-11 sept.1998.



30th Electrical Engineering Conference (EECON-30)

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30
 25-26 ตุลาคม 2550 ณ โรงแรมเฟลิซิตีเรเวอร์แควรีสอร์ท กาญจนบุรี



A Body-Shadowing Channel Measurement and Model for Ultra-Wideband Communication in Indoor Environment

Tawatchai Jantaworn, Monchai Chamchoy, Sathaporn Promwong and Nikorn Sukutamtanti
 Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520
 Email: fanta.t26@hotmail.com

Abstract

Characteristics of radio propagation channel in realistic environment is extremely important issue for designing a high performance wireless transmission system. Human body-shadowing is a significant propagation effect in indoor wireless communication network. This paper presents the measurement and model for the human body-shadowing channel in indoor environment based on IEEE 802.15.3a multipath channel parameters. The radio channels are measured and modeled for ultra-wideband communication in frequency range of 3 GHz to 11 GHz. To eliminate an unwanted signal due to noise, the CLEAN algorithm is used. The multipath channel characteristics such as cluster and ray arrival rates, decay factor, and log-normal standard deviation, are modeled. These key parameters are useful for investigating the system performance with the body-shadowing effects.

Keywords: Ultra-wideband, channel modeling, S-V model, CLEAN algorithm

1. Introduction

Ultra-wideband (UWB) technology is a new wireless transmission scheme for short-range radio communication. The UWB technology offers many advantages over conventional narrowband and wideband systems such as high data rate services, low power consumption, low cost, very large capacity, extremely low interference and accuracy positioning capabilities [1]. Because of the advantages of this technology, it is considered as the suitable wireless transmission media for IEEE WPAN working groups [2]. The UWB system transmits pulse of power spectral density (PSD) in the range of the ultra wide frequency spectrum. The Federal Communication Commission (FCC) specifies that UWB has a frequency spectrum ranging from 3.1 GHz to 10.6 GHz with the maximum emission power of -41.3 dBm/MHz which below the part 15 noise limit and the signal bandwidth is more than or equal to 500 MHz [3].

For UWB communication, the accurate channel model is important issue to design and analysis communication system. Several channel sounding techniques have been proposed for the office and industrial environments [4]-[5]. Therefore, the IEEE 802.15.3a study group has finally decided to modify Saleh-Valenzuela (S-V) model [6] which is developed by Intel Corporation as a standard multipath channel model for line of sight and non-line

of sight UWB communication [7]. The standard model is extensively used to investigate the characteristics of UWB propagation channel based on clustered power delay profile (PDP). Nowadays the WPAN is used for interconnecting the different devices surrounding an operator. For example, to transfer data between mobile computing terminals or mobile phones. Therefore, in this case, the effects of the human body-shadowing may be led to the loss of signal transmission between the devices. Unfortunately, these effects have not been studied and reported in the literature for UWB communication based on IEEE 802.15.3a multipath channel parameters.

In this paper, the body-shadowing channel measurement and model based on IEEE 802.15.3a multipath channel parameter are proposed. The radio channels are measured over the frequency bandwidth of 3 GHz to 11 GHz. To obtain the accurate PDP, however, the CLEAN algorithm [8] is used as the post-processing technique to eliminate the dirty signal due to noise. The rest of this paper is organized as follows. Section 2 describes the IEEE 802.15.3a multipath channel model. Section 3 presents the measurement equipment, location, procedure and summary the step of CLEAN algorithm. Section 4 presents the channel characteristics and extracted S-V model parameters. Conclusions are given in Section 5.

2. IEEE 802.15.3a Channel Model

This paper models the body-shadowing channel based on IEEE 802.15.3a multipath channel parameters [9] as shown in Fig. 1. The model uses log-normal probability density function rather than Rayleigh probability density for the multipath gains. The multipath channel consists of the following discrete time impulse response,

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

where L is a number of cluster, K is a number of multipath components (MPC) or rays in the l th cluster, $\alpha_{k,l}$ is a multipath gain coefficient of the k th ray in the l th cluster, T_l is a arrival time of the first ray of the l th cluster, $\tau_{k,l}$ is a delay of the k th ray within the l th cluster relative to the first path arrival time T_l .

By explanation, we have $\tau_{0,l} = 0$ and assumed $T_0 = 0$. The ray of arrival and the cluster of arrival derive from a

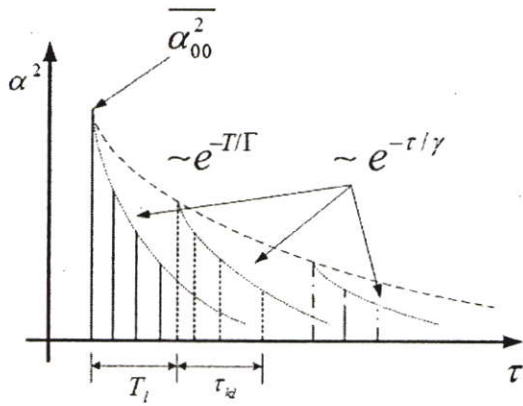


Fig. 1. Characteristics of multipath channel based on IEEE 802.15.3a model parameters.

Poisson process distribution and are given by

$$p(T_l|T_{l-1}) = \Lambda \exp(-\Lambda(T_l - T_{l-1})), l > 0 \quad (2)$$

$$p(\tau_{k,l}|\tau_{(k-1),l}) = \lambda \exp(-\lambda(\tau_{k,l} - \tau_{(k-1),l})), k > 0 \quad (3)$$

where Λ is the cluster arrival rate, λ is the ray arrival rate of path in each cluster.

In [9], the channel modification allows the clusters to fade independently of rays. For example, each multipath arrival has a fading term associated with the cluster arrival and a fading term associated with the ray arrival. If the fading for both the cluster and ray amplitudes are log-normal, the channel coefficients are given by, (Note that the product of two log-normal random variables results in a log-normal random variable)

$$\alpha_{k,l} = p_{k,l} \xi_l \beta_{k,l}, \quad (4)$$

with

$$20 \log_{10}(\xi_l \beta_{k,l}) \propto \text{Normal}(\mu_{k,l}, \sigma_1^2 + \sigma_2^2) \quad (5)$$

or

$$|\xi_l \beta_{k,l}| = 10^{(\mu_{k,l} + n_1 + n_2)/20}, \quad (6)$$

where $n_1 \propto \text{Normal}(0, \sigma_1^2)$ and $n_2 \propto \text{Normal}(0, \sigma_2^2)$ are independent, and $p_{k,l}$ is equiprobable ± 1 . $\mu_{k,l}$ is given by

$$\mu_{k,l} = \frac{10 \ln(\Omega_0) - 10T_l/\Gamma - 10\tau_{k,l}/\gamma - (\sigma_1^2 + \sigma_2^2) \ln(10)}{\ln(10)} \quad (7)$$

The amplitudes of each ray arrival with all clusters are given by

$$E[|\xi_l \beta_{k,l}|^2] = \Omega_0 e^{-T_l/\Gamma} e^{-\tau_{k,l}/\gamma}, \quad (8)$$

where T_l is the excess delay of bin l and Ω_0 is the mean amplitude of the first path of the first cluster.

In the above equations, ξ_l reflects the fading associated with the l th cluster, and $\beta_{k,l}$ corresponds to the fading associated with the k th ray of the l th cluster. For the IEEE 802.15.3a multipath channel model, there are five key parameters to define the characteristics of multipath channel

Table 1. Key parameters to define the multipath channel model

Parameter	Description
Λ	Cluster Arrival Rate
λ	Ray Arrival Rate (within each cluster)
Γ	Cluster Decay Factor
γ	Ray Decay Factor
σ_1, σ_2	Cluster and Ray log-normal std.

Table 2. Experiment parameters

Parameter	Value
Frequency Range	3.0~11.0 GHz
Frequency Resolution	1601 points
Tx Antenna Height	1.5 m
Rx Antenna Height	1.5 m
Polarization	Vertical
T-R Separation	2 m

as shown in Table 1. These parameters are found by trying to match important characteristics of the channel.

3. Channel Measurement and Post-Processing

3.1 Measurement Equipment

In this paper, the vector network analyzer (VNA) modeled HP-8510C is used as the frequency domain channel sounder. The transmitter and receiver antennas are connected to the VNA with the double-shielded low-loss cables. The experiments are made while the transmitter and receiver antennas are located in a fixed position with the human body shadowing as shown in Fig. 2. The ultra-wideband and low-noise amplifier is used to compensate the loss in the cables. The biconical antennas are used to measure the UWB channel for presenting the channel characterization with omni-directional propagation. The dynamic range for the VNA is exceeded 80 dB. Table 2. lists the main parameters of the experiments.

3.2 Measurement Location

In this experiment, the body-shadowing in realistic indoor environment is investigated. Fig. 2 shows the measurement plane of the human body and the Tx-Rx antenna. The measurement room, 12 m long, 6 m wide, and 3.5 m high, is used. The walls of the room are made of typical concrete shielded with an acoustic absorption sheet. The ceiling are made of the chipboard. The doors and the furniture inside the room are made of wood.

3.3 Measurement Procedure

The radio channel transfer function is measured in frequency domain by using the VNA. In the experiment, the biconical antennas are placed at the height of 1.5 meter with vertical polarization. The measurements are made while the transmitter and receiver antennas are located in a fixed position. The separation distance is set to be 2 meter between transmitter and receiver antennas. The propagation channels are acquired on the personal computer via GPIB interface.

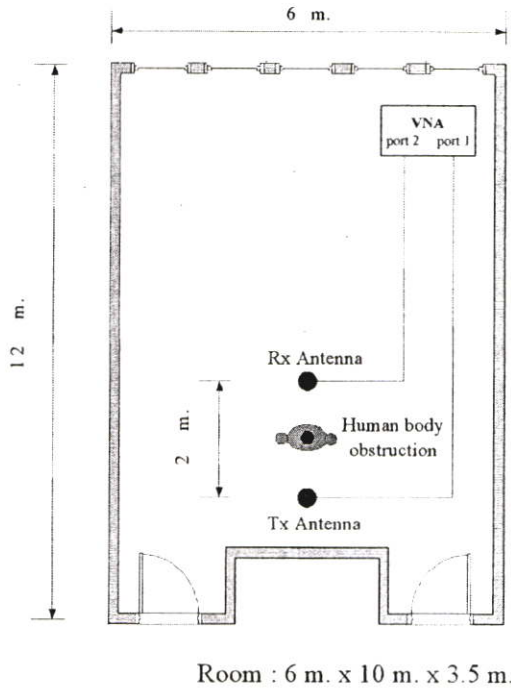


Fig. 2. Measurement location and equipment.

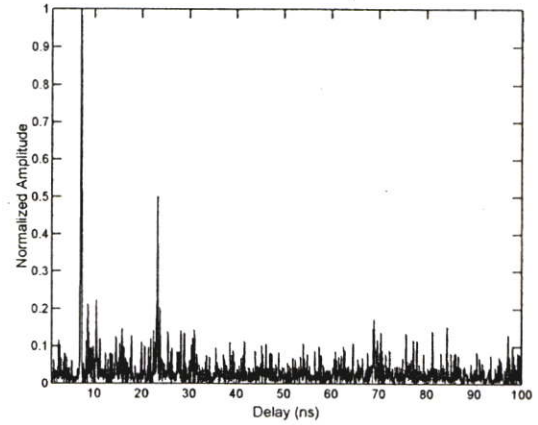


Fig. 3. Measurement power delay profile (PDP) for human body shadowing channel.

Table 3. Time dispersion characteristics

Parameter	Value
Mean excess delay (nsec)(τ_m)	22
RMS delay (nsec)(τ_{rms})	20
NP_{10dB}	11
$NP(85\%)$	26

3.4 The CLEAN Algorithm

Generally, CLEAN algorithm initial used to improve radio-astronomical maps of the sky [8]. Also, it has been used in more narrow-band communication channel characterization problems [10]. Based on the advantage of the CLEAN algorithm, it can eliminate unwanted signal, such as interference and noise, and provide the accurate PDPs. In this algorithm, the actual signal is called dirty signal. The steps of CLEAN algorithm are as follows [11]:

- 1) Generate the dirty spectrum to the input data over a window spectrum in time.
- 2) Search the spectrum output window over time for the peak response.
- 3) Determine and store the amplitude and time of peak response.
- 4) Estimate the signal corresponding to the peak response and store waveform.
- 5) Generate the spectrum response to this estimated waveform.
- 6) Update the spectrum response by subtracting a gain factor of the response to the estimated signal from the previous spectrum response.

$$C_n(t) = C_{n-1}(t) - \gamma \hat{C}_{k,n-1}(t), \quad (9)$$

where k is an index of the largest response in $C_{n-1}(t)$, $C_n(t)$ is the beamformer response at the n th iteration, and $\hat{C}_{k,n-1}(t)$ is the estimated response to the k th impulse at time $n-1$.

- 7) Add the current signal amplitude, scaled by gain factor, to the appropriate place in a list of signal

location.

- 8) If a stopping criterion (a threshold on the signal level or residual energy) is not met, go to step 2.
- 9) Generate a list of the signals found, including amplitude and the time of arrival.
- 10) Form the CLEAN map by convolving the list of signals with delta functions.

4. Measurement Results and Extracted Parameters

Based on the measurement PDPs, the characteristics of the multipath channel and extracted IEEE 802.15.3a channel model parameters can be obtained.

4.1 Channel Characteristics

The time dispersion of multipath channel is important factor that determine radio channel characteristics. These parameters are as the following:

- Mean excess delay, τ_m
- RMS delay spread, τ_{rms}
- Number of Multipath Components (MPCs) within 10 dB threshold, NP_{10dB}

These main characteristics are extracted from the PDPs with assumed the noise level as 20 dB of peak presented in Fig. 3. To obtain the mean excess delay and the RMS delay spread, the amplitude and time delay of the first path are normalized. The mean excess delay and the RMS delay spread are described in [12]. The extracted time dispersion characteristics based on the measurement data are tabulated in Table 3.

Table 4. The model parameters for the body-shadowing channel

Model Parameters	Description	Extracted Value
Λ [1/ns]	Cluster Arrival Rate	0.08
λ [1/ns]	Ray Arrival Rate	1.1
Γ [ns]	Cluster Decay Factor	24
γ [ns]	Ray Decay Factor	6
σ [ns]	Cluster&Ray std.	6.6

Table 5. The comparison of measurement and model time dispersion characteristics

Parameter	Measurement	Model
τ_m [ns]	22	22
τ_{rms} [ns]	20	23
NP_{10dB}	11	13
$NP_{85\%}$	26	33

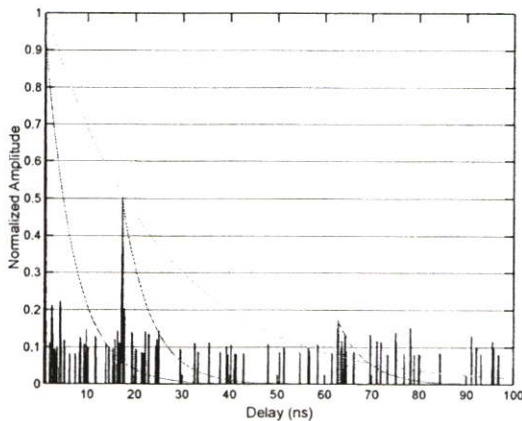


Fig. 4. The normalized PDPs after post-processing with the CLEAN algorithm, extracted cluster of arrival, ray of arrival and best Poisson fitting.

4.2 Channel Model Parameters

The IEEE 802.15.3a channel model parameters are obtained by investigating the multipath propagation in the PDPs. The model is ordered to fit the measured channel data. Fig. 4 shows the normalized PDPs after post-processing with the CLEAN algorithm, cluster arrival time intervals, the ray arrival time inside cluster and best Poisson fitting. This graph validate the Poisson arrival rate assumption. Table 4. shows the parameters that extracted from the measurement channel as described in Section 3. The parameters from the table can be used to generate the channel according to the body-shadowing in indoor environment as shown in Fig. 2.

Table 5. shows the comparison of the measurement and model for the body-shadowing channel based on IEEE 802.15.3a multipath channel. As shown in the table, the time dispersion characteristics of the measurement results are close to the model. However, the difference value of NP are trifling value because the simulation are predicted the characteristics of channel.

5. Conclusions

In this paper, the body-shadowing channel measurement and model in the realistic indoor environment are proposed for ultra-wideband communication. The IEEE 802.15.3a multipath channel and time dispersion parameters are modeled based on the measurement power delay profile after post-processing with the CLEAN algorithm. These key parameter such as the cluster and ray arrival rates, decay factor, and log-normal standard deviation, are useful for investigating the system performance with the body-shadowing effects.

References

- [1] R. A. Scholtz, R. Weaver, E. Homier, J. Lee, P. Hilmes, A. Taha, and R. Wilson, "UWB radio deployment challenges," *Proc. IEEE Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC'00)*, vol. 1, pp. 620-625, 2000.
- [2] <http://ieee802.org/15> IEEE 802.15 Working group for WPAN
- [3] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding UWB Transmission Systems," *First Report and Order, FCC 02-48*, Apr. 2002.
- [4] Q. Li and W. S. Wong, "Measurement and analysis of the indoor UWB channel," *IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 1, pp. 1-5, 2003.
- [5] J. Karedal, S. Wyne, P. Almers, F. Tufvesson, and A. F. Molisch, "Statistical analysis of the UWB channel in an industrial environment," *IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 1, pp. 81-85, Sept. 2004.
- [6] A. Saleh and R. Valenzuela, "A statistical model for indoor multipath propagation," *IEEE JSAC.*, vol. SAC-5, no. 2, pp. 128-137, Feb. 1987.
- [7] J. Foerster and Q. Li, "UWB channel modeling contribution Intel," *IEEE P802.15-02/279-SG3a*, Jun. 2002
- [8] J. A. Hogbom, "Aperture synthesis with a nonregular distribution of interferometer baselines," *Astronomy Astrophys. Suppl.*, vol. 15, p. 417, 1974.
- [9] IEEE 802.15-02/380rO-SG3a, "Path loss proposed text and S-V model information," Available at, <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/2002/Ju102>
- [10] R. G. Vaughan and N. L. Scott, "Super-resolution of pulsed multipath channels for delay spread characterization," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 47, pp. 343-347, Mar. 1999.
- [11] R. J. Cramer, M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Evaluation of the multipath characteristics of the impulse radio channel," *Proc. IEEE Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications*, vol. 2, pp. 864-868, Sept. 1998.
- [12] T. S. Rappaport, *Wireless Communication Principle and Practice*, Second Edition, Prentice Hall PTR, NJ, 2002.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายรัชชัย จันทร์ถาวร
 วัน เดือน ปีเกิด 10 พฤศจิกายน 2522
 ที่อยู่ 333/34 หมู่บ้านเบสท์โฮม 1 ถ.จอมพล ต.ในเมือง อ.เมือง
 จ.ขอนแก่น 40000
 ประวัติการศึกษา 2546 วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานวิจัย

- พ.ศ.2550 **T. Jantaworn**, M. Chamcoy, S. Promwong and N. Sukutamtanti, "Location Estimation Based on Modified TOA Measurements for UWB Network", The 2007 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication, and Information Technology International Conference (ECTI-CON 2007), Vol. 2, pp. 915-918, 9-12 May 2007.
- พ.ศ.2550 **T. Jantaworn**, M. Chamcoy, S. Promwong and N. Sukutamtanti, "A Body-Shadowing Channel Measurement and Model for Ultra-wideband Communication in Indoor Environment," Proc 30th Electrical Engineering Conference, Vol. 2, pp. 1017-1020, 25-26 October 2007.