

การประเมินผลของการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเสมือนการ
สแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่งด้วยวิธีการ KNN

EVALUATION OF INDOOR LOCALIZATION BY USING UWB
FINGERPRINTING TECHNIQUE WITH KNN ALGORITHM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-010-157

การประเมินผลของการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเสมือนการ
สแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่งด้วยวิธีการ KNN

EVALUATION OF INDOOR LOCALIZATION BY USING UWB
FINGERPRINTING TECHNIQUE WITH KNN ALGORITHM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2559
KMITL-2016-EN-M-010-157

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EVALUATION OF INDOOR LOCALIZATION BY USING UWB
FINGERPRINTING TECHNIQUE WITH KNN ALGORITHM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016
KMITL-2016-EN-M-010-157

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประเมินผลของการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่งด้วยวิธีการ KNN

Thesis Title Evaluation of Indoor Localization by Using UWB Fingerprinting Technique with KNN Algorithm

นักศึกษา นางสาวรัตติยา อูปฮาด

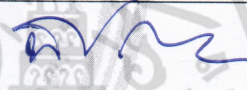



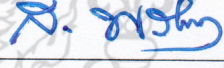
รหัสประจำตัว 54611843

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.สถาพร พรหมวงศ์


หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-010-157

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.พิชญ	สุพรรณกุล	
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาศิพงษ์	
ศ.ดร.ประยุทธ์	อัครเอกตามลิน	
รศ.ดร.สุวิพล	สิทธิชีวกาศ	
ดร.สถาพร	พรหมวงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 11.00-13.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว


(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คุณบัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินผลของการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิค เสมือนการสแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่งด้วยวิธีการ KNN
นักศึกษา	นางสาวรัตติยา อุปฮาด
รหัสนักศึกษา	54611843
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร. สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการหาตำแหน่งซึ่งเข้ามามีบทบาทและมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายทั้งในทางอุตสาหกรรม และทางด้านโทรคมนาคมขนส่ง การหาตำแหน่งบุคคลภายในอาคารต้องการความเที่ยงตรงสูงในสภาวะแวดล้อมที่มีการเกิดการจางหายหลายวิธามาก ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์นี้ จึงได้ประเมินผลการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband: UWB) ร่วมกับวิธีการจุดใกล้เคียงที่สุดจำนวน k ตัว (K-Nearest neighbor: KNN) เทคนิคนี้มีความแม่นยำสูงสำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคารซึ่งเป็นคุณสมบัติของสัญญาณ UWB ได้ทำการวัดช่องสัญญาณในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ได้พิจารณาสัญญาณ UWB ที่มีความถี่อยู่ในช่วงระหว่าง 3.1-10.6 GHz, 3.244-4.742 GHz และ 5.944-10.234 GHz ความแรงของสัญญาณที่รับได้และเวลาประวิงถูกนำมาใช้ในการสร้างเอกลักษณ์ต้นแบบและเอกลักษณ์ทดสอบ ได้ศึกษาความเที่ยงตรงในเทอมของ สำหรับการศึกษาความเที่ยงตรงได้แสดงฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function: CDF) ของค่าความผิดพลาดระยะทาง จากผลที่ได้ ค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยมีค่าเป็น 1.48 m, 0.50 m และ 0.49 m สำหรับช่วงความถี่ 3.1-10.6 GHz, 3.244-4.742 GHz และ 5.944-10.234 GHz ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Evaluation of Indoor Localization by Using UWB Fingerprinting Technique with KNN Algorithm
Student	Miss Rattiya Uppahad
Student ID.	54611843
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Dr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

Currently, the localization, which has a role and a critical need, is widely used in the industrial and transportation. The indoor localization requires high accuracy in environment with dense multi-path fading. Then, this thesis evaluates the indoor localization by using ultra wideband (UWB) fingerprinting technique with K-nearest neighbor (KNN) algorithm. This technique has high accuracy for indoor localization due to the characteristic of UWB signal. The channel experiments were done in the indoor environment. UWB signal with frequency ranged between 3.1-10.6 GHz, 3.244-4.742 GHz and 5.944-10.234 GHz is considered. The received signal strength and delay time are used to build the fingerprints and signatures. For studying the accuracy, the cumulative distribution function (CDF) of distance error is shown. From the results, the average distance errors are 1.48 m, 0.50 m and 0.49 m for frequency ranged between 3.1-10.6 GHz, 3.244-4.742 GHz and 5.944-10.234 GHz, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ เนื่องจากการอนุเคราะห์ อบรมสั่งสอน ชี้แนะแนวทางเกี่ยวกับงานวิจัย ตลอดจนความห่วงใยที่คอยสอบถามปัญหาของงานวิจัย ผู้เขียนมีความซาบซึ้งใจต่ออาจารย์ จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์อย่างสูง

ขอกราบพระคุณ ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านการวิเคราะห์ผลการทดลองวิจัย ตลอดจน ท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณทุกท่านในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบวิทยุแถบกว้างยิ่ง (UWBR5-Lab) ทุกท่านที่คอยให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ มอบไมตรีจิตและมิตรภาพที่ดีแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อมีชัย คุณแม่รัชนิยา และนายธเนศ อุปฮาด รวมถึง คุณพ่อบุญจันทร์ คุณแม่แพศ ศรีมงคล ที่เป็นคอยสนับสนุนการศึกษา อบรมบ่มเพาะและเป็นที่กำลังใจและให้คำปรึกษาในทุกๆเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณความดีและประโยชน์ที่พึงบังเกิดมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นผลมาจากความกรุณาของ บิดา มารดา คณาจารย์ทุกท่านผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และผู้ที่ยสนับสนุน ข้าพเจ้าจึงขอยกคุณความดีเหล่านั้นขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

รัตติยา อุปฮาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษาวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการในการวิจัย.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband technology).....	6
2.2.1 มาตรฐานของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	7
2.2.2 ความเป็นมาของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง.....	8
2.2.3 หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง.....	8
2.2.4 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	9
2.2.5 จุดเด่นของระบบแถบกว้างยิ่ง.....	11
2.3 เทคนิคการวัดที่นำมาใช้ในระบบหาตำแหน่ง.....	14
2.3.1 Received signal strength (RSS).....	15
2.3.2 Angle of arrival (AOA).....	16
2.3.3 Time of arrival (TOA).....	16
2.3.4 Time difference of arrival (TDOA).....	16
2.3.5 Fingerprinting Technique.....	17
2.4 การประยุกต์ใช้งานของระบบแถบกว้างยิ่ง.....	18
2.5 เทคนิคในการวิเคราะห์และประเมินผล.....	20
2.5.1 Decision tree.....	20
2.5.2 Neural networks.....	21
2.5.3 Naïve-Bayes.....	22
2.5.4 KNN (K-nearest neighbor: K-NN).....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

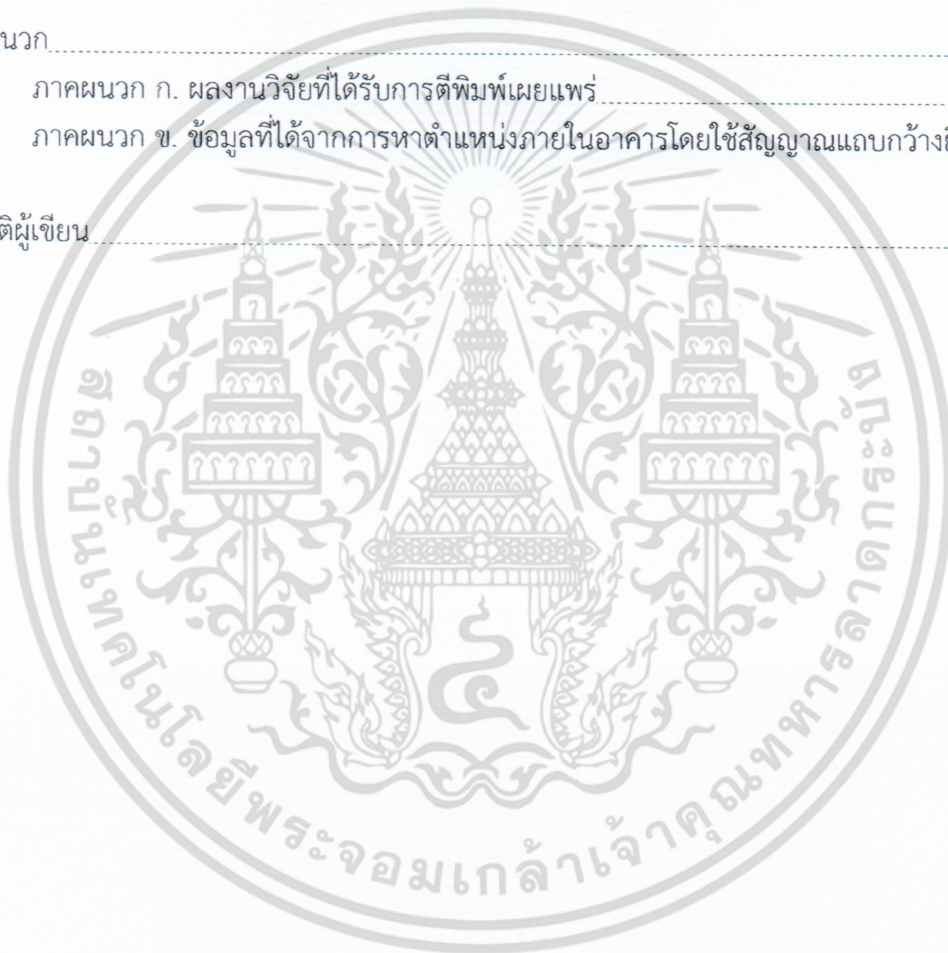
สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 การหาตำแหน่งในกรณีที่มีมองเห็นในระดับสายตา (Line of sight: LOS) และกรณีที่มีมองไม่เห็นในระดับสายตา (Non-line of sight: NLOS)	23
2.6.1 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Propagation model).....	23
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์.....	25
3.1 บทนำ.....	25
3.2 สัญญาณส่งแบบแถบกว้างยิ่ง.....	25
3.3 สัญญาณที่รับได้.....	26
3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างลักษณะเฉพาะตำแหน่งของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....	27
3.5 วิธีสร้างลักษณะเฉพาะตำแหน่งของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....	28
3.6 การวิเคราะห์หาความเที่ยงตรงของการหาตำแหน่งด้วยค่าความผิดพลาด ระยะทางยูคลิเดียน.....	29
3.7 สรุป.....	30
บทที่ 4 การวัดและขั้นตอนการทดลองวิจัย.....	31
4.1 บทนำ.....	31
4.2 อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัด.....	32
4.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์.....	32
4.2.2 สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical Antenna).....	32
4.3 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณ.....	36
4.3.1 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณเพื่อสร้างเอกลักษณ์ต้นแบบ.....	37
4.3.2 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณเพื่อสร้างเอกลักษณ์ทดสอบ.....	37
4.3.3 สถานที่ที่ใช้ในการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง.....	38
บทที่ 5 ผลการทดลองวิจัย.....	39
5.1 บทนำ.....	39
5.2 ผลจากการวิเคราะห์และประเมินผลโดยใช้เทคนิค KNN.....	39
5.2.1 ผลการทดลองในช่วงความถี่ Low Band 3.244-4.742 GHz.....	39
5.2.2 ผลการทดลองในช่วงความถี่ High Band 5.944-10.234 GHz.....	43
5.2.3 ผลการทดลองในช่วงความถี่ Full Band 3.1-10.6 GHz.....	46
5.2.4 ผลการวิเคราะห์ความเที่ยงตรง.....	48
5.3 สรุปผลการทดลอง.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	51
6.1 สรุปเกี่ยวกับการศึกษาวิจัยที่ได้นำเสนอ.....	51
6.1 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยในอนาคต.....	52
เอกสารอ้างอิง.....	53
ภาคผนวก.....	55
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	56
ภาคผนวก ข. ข้อมูลที่ได้จากการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้สัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....	67
ประวัติผู้เขียน.....	75



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานสำหรับการสื่อสารแบบ แถบกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC.....	8
2.2 การจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานสำหรับการสื่อสารภายในและ ภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ETSI.....	11
2.3 จุดเด่นและประโยชน์ของการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....	14
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองวิจัย.....	36
5.1 ตารางเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของระยะทางด้วยวิธีการ KNN.....	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนในการศึกษาของวิทยานิพนธ์	4
2.1 สเปกตรัมมาร์คสำหรับการจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นแถบกำลังงานสำหรับการสื่อสารภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC	7
2.2 เปรียบเทียบการใช้งานแถบความถี่ของการสื่อสารแถบกว้างยิ่งกับการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบ	9
2.3 เปรียบเทียบโครงสร้างของระหว่างระบบแถบกว้างยิ่งกับระบบแถบแคบ	12
2.4 ผลของช่องสัญญาณหลายวิธีในระบบแถบแคบและแถบกว้างยิ่ง	13
2.5 รูปแสดงการประมาณการหาตำแหน่ง	15
2.6 การหาตำแหน่งโดยวิธีการพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณ RSS	15
2.7 การหาตำแหน่งโดยการพิจารณาเชิงมุมหรือทิศทางในการมาถึงของสัญญาณ (AOA)	16
2.8 การหาตำแหน่งโดยการพิจารณาความต่างของเวลาที่มาถึงของสัญญาณ (TDOA)	17
2.9 หลักการสแกนลายนิ้วมือของสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง	17
2.10 การหาตำแหน่งโดยใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง	18
2.11 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างในการหาตำแหน่งภายในอาคาร	20
2.12 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างในการหาตำแหน่งภายในอาคารและนอกอาคาร	20
2.13 แสดงผลลัพธ์ของการใช้เทคนิคแบบ Neural networks	22
2.14 เทคนิคการวิเคราะห์และประเมินผลโดยใช้เทคนิค KNN	23
2.15 แสดงคุณสมบัติของ Line of sight และ Non-line of sight	24
3.1 รูปคลื่นของสัญญาณส่งแบบแถบกว้างยิ่งในโดเมนเวลา	26
3.2 สเปกตรัมของสัญญาณส่งแบบแถบกว้างยิ่งในโดเมนความถี่	26
3.3 รูปคลื่นในการพิจารณาพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างลักษณะเฉพาะตำแหน่งของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง	28
4.1 แบบแผนการวัดในการหาตำแหน่งด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง	31
4.2 เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย	32
4.3 โครงสร้างของสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ในการทดลองวิจัย	33
4.4 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $ S_{11} $ ของสายอากาศแบบกรวยคู่	33
4.5 ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศแบบกรวยคู่	34
4.6 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศกรวยคู่ ณ ความถี่ 6.85 GHz	35
4.7 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณเพื่อนำมาสร้างเป็นเอกลักษณ์ต้นแบบ หรือ Training	37
4.8 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณเพื่อนำมาสร้างเป็นเอกลักษณ์ทดสอบ หรือ Testing	38
4.9 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่วัดจริง	38
5.1 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีและการประวิงเวลาช่วง Low Band	40
5.2 แสดง CDF ของความผิดพลาดระยะทางที่เกิดขึ้นในช่วง Low Band	42
5.3 ผลการวิเคราะห์ค่าผิดพลาดช่วง Low Band ที่ $k = 1, 2$ และ 3	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.4 ค่าการสูญเสียเชิงวิถึและการประวิงเวลาช่วง High Band.....	43
5.5 แสดง CDF ของความผิดพลาดระยะทางที่เกิดขึ้นในช่วง High Band.....	45
5.6 ผลการวิเคราะห์ค่าผิดพลาดช่วง High Band ที่ $k = 1, 2$ และ 3.....	45
5.7 ค่าการสูญเสียเชิงวิถึและการประวิงเวลาช่วง Full Band.....	46
5.8 แสดง CDF ของความผิดพลาดระยะทางที่เกิดขึ้นในช่วง Full Band.....	48
5.9 ผลการวิเคราะห์ค่าผิดพลาดช่วง Full Band ที่ $k = 1, 2$ และ 3.....	48
5.10 แสดงความผิดพลาดระยะทางด้วยฟังก์ชันการแจกแจงสะสมทั้ง 3 ช่วงความถี่.....	49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารไร้สายเริ่มเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น เช่น การสื่อสารผ่านดาวเทียม เครือข่ายเซลลูลาร์ ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless local area network: WLAN) รวมไปถึงระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor network: WSN) [1] เป็นส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ใช้อยู่ในทุก ๆ วัน การสื่อสารไร้สายจึงเป็นเครื่องมือในการติดต่อสื่อสารเพื่อให้การดำเนินชีวิตของมนุษย์ง่ายและสะดวกขึ้นโดยที่สามารถเชื่อมต่อได้ในทุกที่และทุกเวลา

เนื่องด้วยปัจจุบันอุปกรณ์หลาย ๆ ชนิดต่างจะปรับเปลี่ยนไปสู่การใช้เทคโนโลยีไร้สาย ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่นำไปสู่เทคโนโลยีไร้สายในอนาคตที่อุปกรณ์ทุกชนิดจะสามารถใช้งานร่วมกันได้ เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband: UWB) เป็นปัจจัยที่สำคัญในการรองรับเทคโนโลยีไร้สายในอนาคต เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเริ่มเป็นที่นิยมหลังจากคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission: FCC) [1] ในสหรัฐได้อนุญาตให้มีการใช้อุปกรณ์ที่ใช้สัญญาณแถบกว้างยิ่งในเดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 เนื่องด้วยในขณะนั้นการสื่อสารโดยใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งยังไม่มีข้อกำหนดใบอนุญาตและใช้กำลังส่งต่ำจึงสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ไร้สายชนิดอื่น ๆ ได้ นอกจากนี้แล้วอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมีราคาถูกกว่าอุปกรณ์อื่นอีกด้วย จึงเป็นเทคโนโลยีที่จะถูกนำมาใช้สำหรับระบบไร้สายระยะสั้นจนถึงระยะกลาง เช่น ระบบเครือข่ายตรวจสอบไร้สาย และระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless personal area network: WPAN) [1]

ในปัจจุบันระบบการหาตำแหน่งเริ่มถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นต้นว่า การใช้ระบบจีพีเอสในการนำทางรถยนต์ไปยังจุดหมาย หรือใช้หาตำแหน่งของเครื่องบิน [1] หรือใช้ในการติดตามรถยนต์ และอื่น ๆ อีกมากมายซึ่งล้วนแล้วแต่อำนวยความสะดวก เพิ่มความปลอดภัยให้กับชีวิตและทรัพย์สินของมนุษย์เป็นอย่างยิ่ง นอกจากการนำระบบหาตำแหน่งมาประยุกต์ใช้กับภายนอกอาคารแล้ว การนำระบบการหาตำแหน่งมาประยุกต์ใช้ภายในอาคารก็เป็นอีกสิ่งหนึ่ง ซึ่งจะช่วยในการอำนวยความสะดวก เพิ่มความปลอดภัยให้กับชีวิตและทรัพย์สินของมนุษย์เช่นเดียวกัน เป็นต้นว่า การนำระบบการหาตำแหน่งมาใช้ในการหาตำแหน่งตนเองหรือร้านค้าในห้างสรรพสินค้า หรือใช้ในการระบุตำแหน่งของผู้ป่วยในโรงพยาบาล หรือใช้ในเหตุการณ์ฉุกเฉิน เช่น การค้นหาตำแหน่งของนักดับเพลิงซึ่งเข้าไปค้นหาผู้ประสบภัยภายในอาคาร [2] หรืออื่นๆ เป็นต้น ซึ่งสำหรับการนำระบบการหาตำแหน่งมาประยุกต์ใช้ร่วมกับแอปพลิเคชันต่าง ๆ ดังนั้น การสร้างระบบการหาตำแหน่งภายในอาคารขึ้นมานั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงเรื่องของสัญญาณและวิธีการที่ใช้ในการหาตำแหน่งเป็นอย่างมาก เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายในอาคารนั้นเกิดสภาพการจางหายหลายวิธีสูง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอการใช้ สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband: UWB) มาใช้ในการจำลองระบบการหาตำแหน่ง

สิ่งสำคัญของสัญญาณแถบกว้างยิ่งคือการหาตำแหน่งที่มีความเที่ยงตรงสูง เนื่องจากสัญญาณแถบกว้างยิ่งมีแบนด์วิดท์กว้าง สำหรับทางภาครับสามารถจับปัญหาที่เกิดจากองค์ประกอบของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อได้รู้จุดเห็นไปขอปรับแก้ไขขึ้นต้นการค้นคว้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดคลื่นหลายวิถี (Multipath component: MPC) [1] ได้ ดังนั้นเทคโนโลยีแถบกว้างยังสามารถคาดคะเนเวลาที่มาถึงของสัญญาณวิถีแรกได้อย่างแม่นยำซึ่งทำให้การหาตำแหน่งมีความเที่ยงตรงสูง เนื่องด้วยลักษณะเด่นของเทคโนโลยีแถบกว้างยังทำให้เป็นจุดดึงดูดความสนใจในการนำมาใช้งาน สำหรับการสื่อสารต่างๆ การคาดคะเนตำแหน่ง และงานด้านเรดาร์เช่น การควบคุมหุ่นยนต์ การแจ้งเหตุฉุกเฉิน ระบบตรวจสอบอัจฉริยะ งานด้านการดูแลสุขภาพ ระบบตรวจนับทรัพย์สินสมบัติ และในทางการแพทย์

นอกจากสัญญาณที่นำมาใช้แล้ว วิธีการที่นำมาใช้ในการหาตำแหน่งล้วนแล้วแต่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยวิธีการที่นิยมนำมาใช้ในระบบหาตำแหน่ง [1] เช่น วิธีการพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณ(Received Signal Strengths : RSS) วิธีการพิจารณาทิศทางการมาถึงของสัญญาณ (Angles of Arrival : AOA) วิธีการพิจารณาเวลาการมาถึงของสัญญาณ (Times of Arrival : TOA) หรือวิธีการพิจารณาความต่างของเวลาในการมาถึงของสัญญาณ (Time Difference of Arrival :TDOA) ซึ่งอยู่ภายใต้เงื่อนไขของการแพร่กระจายสัญญาณ (คลื่นหลายวิถี หรือสภาวะที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา) ทำให้วิธีการเหล่านี้ไม่มีความแม่นยำในการหาตำแหน่งเพียงพอ [3] ในสภาพแวดล้อมดังกล่าว วิธีการที่ถูกเลือกมาใช้คือ วิธีการ Fingerprinting เนื่องด้วยวิธีฟิงเกอร์ปริ้นท์ติ้ง ได้นำเอาคุณลักษณะของช่องสัญญาณซึ่งเกิดการจางหายหลายวิถี มาสร้างเป็นเอกลักษณ์ต้นแบบ แล้วบันทึกลงฐานข้อมูล จากนั้นตำแหน่งต่างๆ จะถูกประมวลโดยการนำเอกลักษณ์ทดสอบของตำแหน่งนั้นๆ มาเปรียบเทียบกับเอกลักษณ์ต้นแบบซึ่งได้บันทึกไว้ในฐานข้อมูลนั่นเอง อีกสิ่งหนึ่งซึ่งสำคัญมากสำหรับเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นท์ติ้งคือ อัลกอริทึมรูปแบบการจับคู่ซึ่งมีหน้าที่ในการประมวลผลระหว่างตำแหน่งที่ได้ในขณะนั้นกับข้อมูลในฐานข้อมูล ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำวิธีวิเคราะห์แบบ k จุดข้างเคียงที่สุด (KNN: K-Nearest Neighbor) มาใช้เป็นอัลกอริทึมรูปแบบการจับคู่ข้อมูล

ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้นำเสนอการจำลองการแพร่กระจายคลื่นแบบแถบกว้างยิ่งมาใช้ร่วมกับวิธีการหาตำแหน่งแบบฟิงเกอร์ปริ้นท์ติ้ง ร่วมกับ วิธีการหาตำแหน่งที่ใกล้เคียงที่สุดด้วยจำนวน k ตัว เพื่อให้การคาดคะเนตำแหน่งมีการพัฒนาความเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาถึงการหาตำแหน่งภายในอาคารบนพื้นฐานของระบบแถบกว้างยิ่ง โดยได้ทำการวัดช่องสัญญาณของแถบกว้างยิ่งบริเวณทางเดินภายในอาคาร ทำการวัดใน 3 ช่วงความถี่ ได้แก่ 3.1-10.6 GHz, 3.244-4.742 GHz และ 5.944-10.234 GHz โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector network analyzer: VNA)

1. เพื่อศึกษาเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่ง และการประยุกต์ใช้งานทางด้าน การหาตำแหน่ง
2. เพื่อศึกษาถึงเทคนิคการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง
3. เพื่อทำการออกแบบจำลองการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง
4. เพื่อศึกษาอัลกอริทึมและทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาตำแหน่ง
5. เพื่อทำการวิเคราะห์และประเมินผลของการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิค

เสมือนการสแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่ง (UWB Fingerprinting) ร่วมกับวิธีการ KNN (K-Nearest Neighbor) และการประยุกต์ใช้งานสำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคาร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในทางใดๆ ไม่่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

สิ่งสำคัญของระบบการหาตำแหน่งคือมีค่าความเที่ยงตรงสูง ซึ่งในการหาตำแหน่งโดยทั่วไปยังมีค่าความเที่ยงตรงที่น้อยอยู่ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ จึงได้นำเสนอการประเมินผลของการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่งด้วยวิธีการ KNN เป็นการนำเอาสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งมาใช้ในการหาตำแหน่ง สามารถแยกหาค่าและเวลาของสัญญาณแต่ละวิถีได้ง่าย และที่สำคัญวิธีแบบรูปการหาตำแหน่งด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่งได้พิจารณาใช้พารามิเตอร์หลายวิธีมาคำนวณหาตำแหน่ง ดังนั้นเมื่อได้ทำงานวิจัยนี้แล้วทำให้สามารถนำวิธีแบบรูปการหาตำแหน่งด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่งมาใช้ในการหาตำแหน่งบริเวณที่มีการจางหายหลายวิถีมาก เช่น สภาวะแวดล้อมภายในอาคาร และมีความเที่ยงตรงสูงขึ้นอีกด้วย

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาการประเมินผลของการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่งด้วยวิธีการ KNN โดยกำหนดให้สัญญาณส่งแบบแถบกว้างยิ่งมีลักษณะเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม หลังจากนั้นทำการวัดเพื่อเก็บค่าพารามิเตอร์การสูญเสียเชิงวิถีและการประวิงเวลาของสัญญาณที่รับได้ในบริเวณพื้นที่ที่ต้องการหาตำแหน่งทั้งหมดมาสร้างเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่งของสัญญาณแถบกว้างยิ่งเก็บเป็นฐานข้อมูลก่อนโดยในการเก็บค่าพารามิเตอร์นั้นจะพิจารณาสัญญาณที่มีความแรงสูงสุด จากนั้นได้ใช้การวิเคราะห์อัลกอริทึมแบบ KNN ในการสร้างรูปแบบการหาตำแหน่งด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่งด้วย และในขั้นตอนสุดท้ายจะวิเคราะห์ประสิทธิภาพความแม่นยำและประเมินผลของการหาตำแหน่งด้วยค่าความผิดพลาดระยะทางยูคลิเดียน

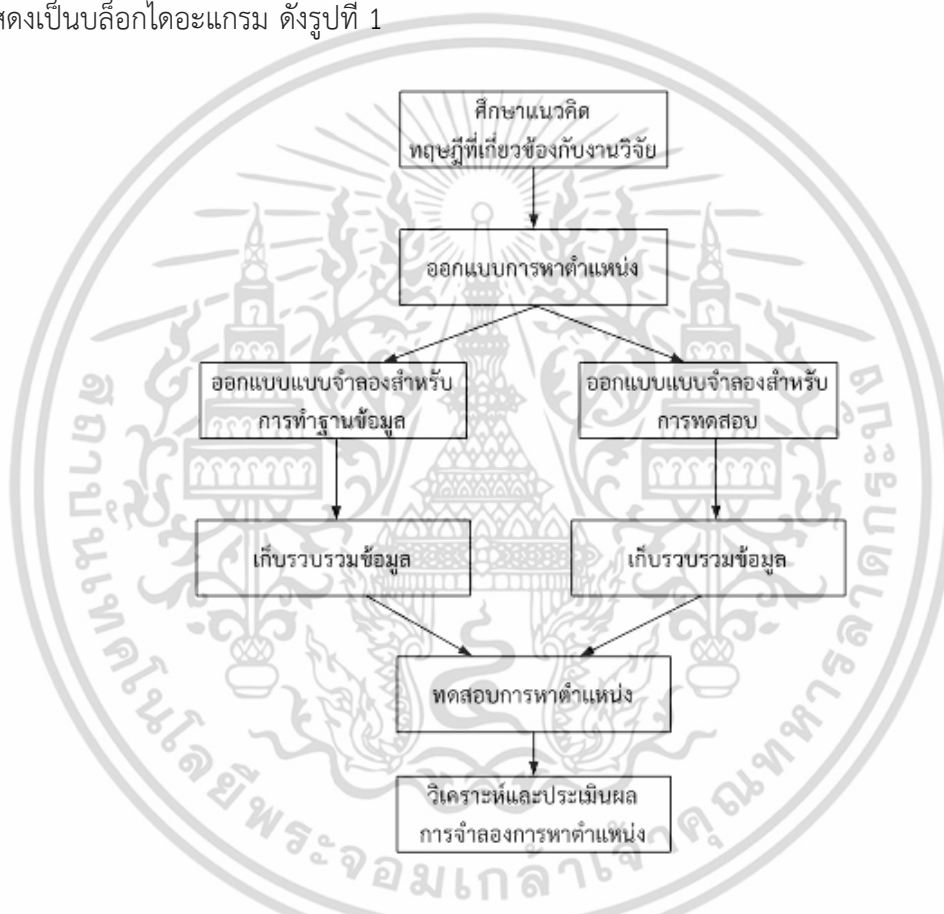
1.5 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่ง โดยได้ทำการวัดช่องสัญญาณของแถบกว้างยิ่งบริเวณทางเดินภายในอาคาร ได้ทำการวัดใน 3 ช่วงความถี่ ได้แก่ 3.1-10.6 GHz, 3.244-4.742 GHz และ 5.944-10.234 GHz โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ในการวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งโดยในวิทยานิพนธ์นี้จะแบ่งการวัดออกเป็น 2 ส่วน โดยในส่วนแรกทำการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณในบริเวณที่ต้องการหาตำแหน่งทั้งหมด และทำการเก็บค่าพารามิเตอร์คือค่าการสูญเสียเชิงวิถีและการประวิงเวลาของสัญญาณที่รับได้สูงสุด นำมาสร้างเป็นเอกลักษณ์ต้นแบบ (Training) ของการหาตำแหน่งด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่งเป็นฐานข้อมูลเก็บไว้ และในส่วนที่สองทำการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณที่ต้องการเป็นเอกลักษณ์ทดสอบ (Testing) ซึ่งค่าพารามิเตอร์การสูญเสียเชิงวิถีและการประวิงเวลาของสัญญาณที่รับได้สูงสุดมาทำการเปรียบเทียบประมาณหาตำแหน่งโดยใช้การวิเคราะห์อัลกอริทึมแบบ KNN และวิเคราะห์ประสิทธิภาพความแม่นยำของการหาตำแหน่งด้วยค่าความผิดพลาดระยะทางยูคลิเดียน นำมาแสดงผลของความเที่ยงตรงในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative distribution function: CDF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนของการศึกษาวิจัย

สำหรับขั้นตอนการศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ในขั้นแรกทางผู้จัดทำได้ทำการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีต่างๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับงานวิจัย หลังจากได้แนวคิดแล้ว ในขั้นต่อมาจึงได้ทำการออกแบบการจำลองการหาตำแหน่งภายในอาคาร โดยทำการออกแบบแบบจำลองตามทฤษฎีที่ได้ทำการศึกษา (วิธีการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ) โดยแบ่งเป็น 2 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองสำหรับการทำฐานข้อมูล และแบบจำลองสำหรับการทดสอบ ในขั้นถัดมา ทำการเก็บข้อมูลลงแบบจำลองทั้งสอง โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ทดสอบการหาตำแหน่งด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในขั้นต่อมาทำการทดสอบการหาตำแหน่งซ้ำ จากนั้น ทำการวิเคราะห์และประเมินผลที่ได้จากการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยวิธีการ KNN ซึ่งขั้นตอนดังกล่าว ได้ทำการแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนในการศึกษาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งและทฤษฎีพื้นฐานในการหาตำแหน่ง ในส่วนของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจะกล่าวถึงความเป็นมา หลักการพื้นฐาน ข้อกำหนด และจุดเด่นของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง และในที่สุดท้ายจะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานในการหาตำแหน่งซึ่งจะกล่าวถึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของระบบการหาตำแหน่งภายในอาคาร รวมไปถึงเทคนิคพื้นฐานที่ใช้ในการหาตำแหน่งอีกด้วย

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัย สัญญาณส่งแบบแถบกว้างยั้งที่ใช้ในงานวิจัย สัญญาณที่รับได้ การหารตำแหน่งด้วยสัญญาณแบบแถบกว้างยั้ง และการวิเคราะห์หาความเที่ยงตรง

บทที่ 4 กล่าวถึงการวัดคุณลักษณะช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยั้ง อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัด แบบจำลองการวัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการวัดช่องสัญญาณ

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดลองวิจัย โดยจะแสดงผลของการหาตำแหน่งด้วยสัญญาณแถบกว้างยั้ง รวมถึงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพความแม่นยำของการหาตำแหน่งด้วยค่าความผิดพลาดระยะทางยูคลิเดียน

บทที่ 6 กล่าวถึงบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการในการวิจัย

2.1 บทนำ

ในปัจจุบันระบบการหาตำแหน่งภายในอาคารมีการวิจัยกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากความหลากหลายในด้านการใช้งาน เช่น ระบบควบคุมอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม [1], [4] ระบบนำทางการผ่าตัดในห้องผ่าตัด [5]-[6] และการติดตามผู้ป่วยในโรงพยาบาล [7] แอปพลิเคชันเกี่ยวกับความบันเทิงภายในบ้านหรือบ้านอัจฉริยะ [8]-[10] การให้บริการในด้านความปลอดภัย [11] และอื่นๆ เทคโนโลยีไร้สายจำนวนมากสามารถนำมาใช้ในระบบการหาตำแหน่ง เช่น การระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ (RFID) คลื่นเสียงความถี่สูง เครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ซิกบี บลูทูธ และแถบกว้างยิ่ง (UWB)

ในระบบการหาตำแหน่งที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นได้ใช้เทคนิคต่าง ๆ เช่น พิจารณาจากเวลาของสัญญาณมาถึง (Time of arrival: TOA) ความเข้มสัญญาณที่รับได้ (Received signal strength: RSS) และมุมของสัญญาณที่มาถึง (Angle of arrival: AOA)[9] โดยแต่ละวิธีจะเป็นการคำนวณพารามิเตอร์ของสัญญาณในวิถีตรงเพื่อพิจารณาหาตำแหน่งที่ถูกต้อง แต่ถ้าอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เกิดการจางหายหลายวิถีมากจะทำให้วิธีเหล่านี้มีความผิดพลาดมากขึ้น ดังนั้น จึงมีการนำเอาสัญญาณแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband: UWB) มาประยุกต์ใช้สำหรับระบบการหาตำแหน่ง ซึ่งเรียกว่า “วิธีการสแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่ง” (UWB Fingerprinting) เนื่องจากสัญญาณ UWB เป็นพัลส์ที่มีความกว้างน้อยมาก ทำให้มีความละเอียดทางเวลาสูง สามารถแยกหากำลังและเวลาของสัญญาณแต่ละวิถีได้ง่าย โดยขั้นแรกจะใช้พารามิเตอร์กำลังและการประวิงเวลาของสัญญาณที่รับได้ในบริเวณพื้นที่ ที่ต้องการตำแหน่งทั้งหมดมาทำลายนิ้วมือเก็บเป็นฐานข้อมูลก่อน จากนั้น จะใช้พารามิเตอร์กำลังและ การประวิงของสัญญาณที่รับได้มาทำการสแกนลายนิ้วมือเพื่อเปรียบเทียบประมาณหาตำแหน่งของสัญญาณที่รับได้นั้น เนื่องจาก วิธีการสแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่ง ได้พิจารณาใช้พารามิเตอร์หลายวิถีมาคำนวณหาตำแหน่งด้วย ดังนั้น จึงสามารถนำมาใช้เป็นระบบการหาตำแหน่งในบริเวณที่มี การจางหายหลายวิถีมากได้

2.2 เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband technology)

ระบบเทคโนโลยีแบบ UWB เป็นการส่งข้อมูลโดยใช้พัลส์ที่มีความกว้างสั้นมาก ทำให้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมาก ซึ่งต่างจากการส่งข้อมูลแบบแถบแคบ ทำให้สามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าในระยะเวลาที่เท่ากัน โดยเทคโนโลยี UWB นี้ได้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1980 ซึ่งใช้งานในระบบเรดาร์เป็นหลัก จนกระทั่งปัจจุบันได้เริ่มนำเทคโนโลยีนี้ UWB มาใช้งานในระบบการสื่อสารมากขึ้น อันเนื่องมาจากความสนใจที่จะนำมาใช้ในระบบสื่อสารแบบมัลติมีเดีย ระบบสื่อสารที่ต้องการอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูง รวมทั้งระบบหาตำแหน่ง

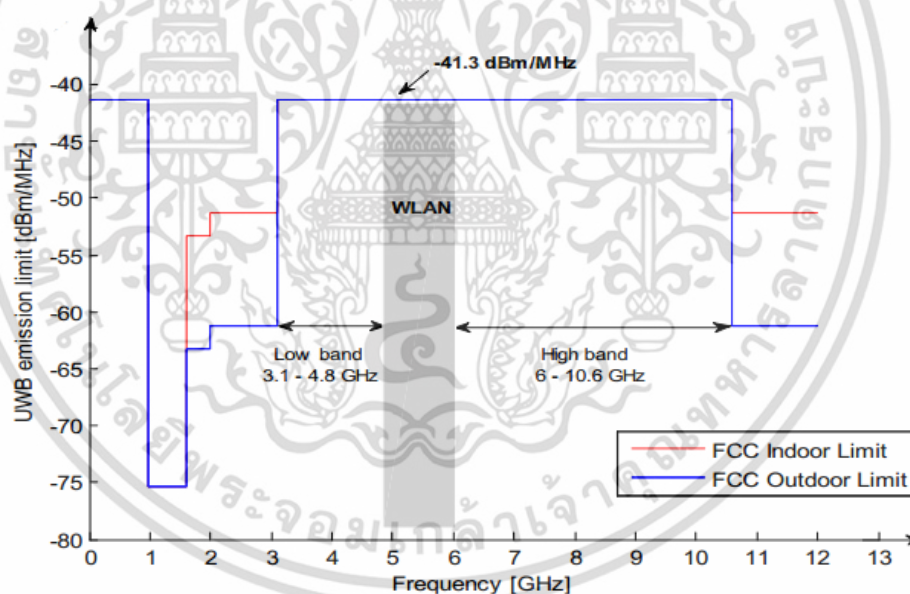
UWB ยังได้รับการวางตำแหน่งในฐานะเทคโนโลยีที่สามารถใช้ประสิทธิภาพของแถบความถี่ได้คุ้มค่าที่สุด โดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission: FCC) ให้ข้อกำหนดไว้ว่าเทคโนโลยี UWB จะเข้ามาช่วยลดปัญหาความขาดแคลนของไม่ว่างกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แถบความถี่ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต เนื่องจากการแบ่งสรรช่วงความถี่ในปัจจุบันได้มีการกำหนดใช้แถบความถี่ไว้แล้ว แต่สัญญาณ UWB มีระดับความหนาแน่นเชิงสเปกตรัม (Power spectral density: PSD) ที่ต่ำมาก ทำให้สัญญาณ UWB เปรียบเสมือนสัญญาณรบกวนในระบบการสื่อสารแถบแคบ จึงทำให้เทคโนโลยี UWB สามารถใช้แถบความถี่ซ้อนทับกับระบบการสื่อสารแถบแคบได้[5]

2.2.1 มาตรฐานของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

สัญญาณแถบกว้างยิ่งเป็นสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์กว้างเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณแถบแคบ คณะกรรมการกลางกำกับดูแลกิจการสื่อสารได้ทำการกำหนดมาตรฐาน IEEE802.15.3a ขึ้น โดยแถบกว้างยิ่งจะมีย่านความถี่ตั้งแต่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ จนถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ อุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจะต้องส่งด้วยกำลังงานต่ำ โดยความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานเฉลี่ยต้องไม่เกิน -41.3 เดซิเบลมิลลิวัตต์ต่อเมกะเฮิรตซ์ สัญญาณแถบกว้างยิ่งมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่า 0.2 หรือแบนด์วิดท์จะต้องไม่น้อยกว่า 500 เมกะเฮิรตซ์ ตลอดระยะเวลาของการส่ง [12]-[14]

สำหรับการจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานสำหรับการสื่อสารภายในและภายนอกอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และการจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานสำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC แสดงดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมมาร์คสำหรับการจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นแถบกำลังงานสำหรับการสื่อสารภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC [12]-[14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานสำหรับการสื่อสารแบบ แลกกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC [14]

ความถี่	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
	EIRP	EIRP
960 MHz – 1.61 GHz	-75.3 dBm	-75.3 dBm
1.61 GHz – 1.99 GHz	-53.3 dBm	-63.3 dBm
1.99 GHz – 3.1 GHz	-51.3 dBm	-61.3 dBm
3.1 GHz – 10.6 GHz	-41.3 dBm	-41.3 dBm
สูงกว่า 10.6 GHz	-51.3 dBm	-51.3 dBm

2.2.2 ความเป็นมาของเทคโนโลยีแลกเปลี่ยนยิ่ง

พื้นฐานการสื่อสารแลกเปลี่ยนยิ่งนั้นแท้จริงแล้วได้มีการทดลองใช้งานครั้งแรกมาตั้งแต่ยุคแรกเริ่มของการสื่อสารไร้สาย โดยในปี ค.ศ. 1901 (พ.ศ. 2444) มาร์โคนี (Guglielmo Marconi) ได้ทำการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ เพื่อใช้สื่อสารด้วยรหัสมอร์ส (Morse code) ข้ามมหาสมุทรแอตแลนติก โดยใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณหรือสปาร์คแก๊ป (Spark gap generator) ซึ่งทำงานโดยวงจรทำให้เกิดแรงดันสูงมากระหว่างช่องว่างของตัวนำสัญญาณซึ่งเรียกว่าช่องว่างการสปาร์ค (Spark gap) ทำให้อากาศบริเวณนั้นแตกตัว และกระแสไฟฟ้าสามารถเดินทางผ่านอากาศได้ ซึ่งเรียกว่ากระแสสปาร์ค [1] และทำให้เกิดสัญญาณคลื่นวิทยุรูปพัลส์ เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลตัวอักษรในการสื่อสาร ซึ่งเป็นพื้นฐานเทคนิคการสื่อสารแลกเปลี่ยนยิ่ง

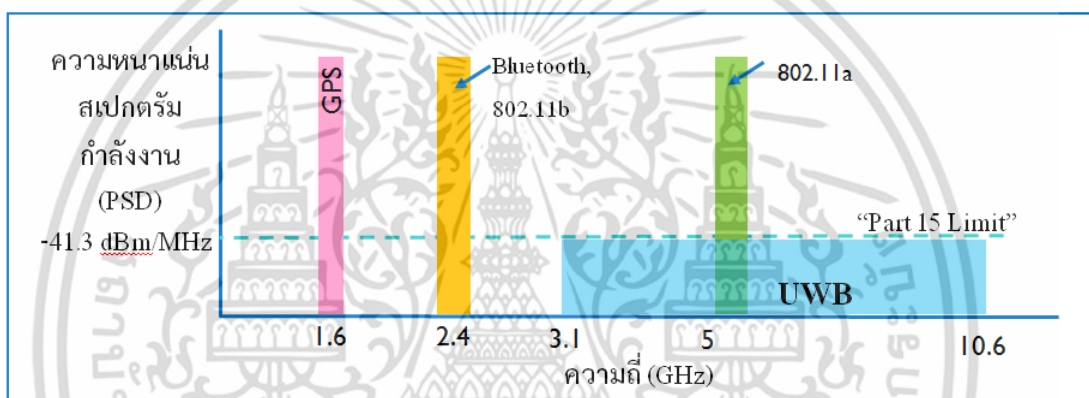
หลังจากนั้นเครื่องส่งสัญญาณ ที่ใช้เทคนิคการส่งสัญญาณพัลส์ก็ถูกพัฒนา และนำมาใช้ในงานด้านการทหารซึ่งการใช้งานโดยทั่วไป จะถูกใช้งานสำหรับอุปกรณ์การสื่อสารด้วยเรดาร์ซึ่งทำให้สามารถแสดงภาพของวัตถุที่ถูกบดบัง ด้วยการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุที่มีลักษณะเป็นพัลส์ ทะลุผ่านอุปสรรคกีดขวางเช่น เรดาร์ทะลุพื้นดิน หรือจีพีอาร์ (Ground Penetration Radar: GPR) [2] จนกระทั่งเทคโนโลยีทางด้านวงจรรีเลย์ทรอนิกส์และอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้ก้าวหน้าทำให้เทคโนโลยีแลกเปลี่ยนยิ่งได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการสื่อสารเชิงพาณิชย์โดยเฉพาะในระบบสื่อสารไร้สาย ด้วยความสามารถในการส่งข้อมูลได้เป็นปริมาณมาก เพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลแบบสื่อประสม (Multimedia communications) ซึ่งต้องการอัตราการส่งข้อมูลสูง มีการใช้พลังงานต่ำและมีราคาถูกลง รวมทั้งการนำไปใช้ในการหาตำแหน่งวัตถุที่มีความแม่นยำสูง และทนทานต่อสัญญาณรบกวน

2.2.3 หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีแลกเปลี่ยนยิ่ง

เทคโนโลยีแลกเปลี่ยนยิ่ง (UWB technology) เป็นการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้าง นั้นจะใช้สัญญาณที่มีรูปคลื่นสัญญาณปรากฏเพียงชั่วขณะหรือเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณในทางเวลาที่แคบมาก [1] โดยอยู่ในระดับนาโนวินาที (Nano second: ns) หรือที่ระดับพิโควินาที (Pico second: ps) มีลักษณะที่ใกล้เคียงกันกับสัญญาณในอุดมคติที่เรียกว่าสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse signal) โดยระบบแลกเปลี่ยนยิ่งในการส่งและรับสัญญาณนั้นไม่ใช้คลื่นพาห้ (Carrierless) ในการผสมสัญญาณเหมือนในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบ แต่จะเป็นการส่งสัญญาณที่มีรูปคลื่นของพัลส์ที่มีรูปคลื่นซึ่งไม่ต่อเนื่องในทางเวลาด้วยอัตราการส่งพัลส์ ในระดับจำนวนหลายร้อยเอกซารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ล้านพัลส์ต่อหนึ่งวินาทีในการส่งและรับสัญญาณ ซึ่งทำให้พลังงานของสัญญาณถูกกระจายอยู่ในช่วงแถบความถี่ที่กว้างมาก

เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสาร UWB นี้ มีการใช้แถบความถี่ช่วงเดียวกันกับระบบการสื่อสารแบบแคบ และเพื่อป้องกันปัญหาการแทรกสอดจากสัญญาณ UWB ทาง FCC จึงได้กำหนดช่วงความถี่ของเทคโนโลยี UWB ให้มีความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz โดยมีแบนด์วิดท์สูงสุดเท่ากับ 7.5 GHz นอกจากนี้ ทาง FCC จึงได้กำหนดให้สัญญาณ UWB ที่ถูกส่งออกมาต้องมี PSD (Power spectral density) ที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับระดับการจำกัดสัญญาณรบกวนส่วนที่ 15 หรือ -41.3 dBm/MHz ดังรูปที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณแบบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างซึ่งมีการกระจายกำลังงานของสัญญาณอยู่ในช่วงแถบความถี่ที่กว้างมากในระดับกิกะเฮิรตซ์ เทียบกับสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบที่มีการกระจายกำลังงานของสัญญาณอยู่ในช่วงแถบความถี่แคบชนิดต่างๆ



รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบการใช้งานแถบความถี่ของการสื่อสารแบบกว้างยิ่งกับการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบ [12]

2.2.4 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นคือการจัดสรรความถี่ในการใช้งานซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการจำกัดข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเพิ่มเติมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มงานนี้ก็ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการโดยใช้ชื่อว่า (Ultra Wideband Working Group: UWBWG) เพื่อทำการเจรจาข้อตกลงร่วมกับ FCC เช่นเดียวกันกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการสอดแทรกของความถี่วิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute: ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union: ITU)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.1 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ (Notice of Inquiry: NOI) โดยถึงแม้ว่าจะได้คาดการณ์ถึงระดับกำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณที่มีระดับต่ำมาก ๆ แล้วก็ตาม ยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบบเดิมที่มีใช้งานกันอยู่ได้ทำการต่อต้านการนำระบบแถบกว้างยิ่งมาใช้งานสำหรับการสื่อสารของพลเรือนซึ่งเรียกร่องโดยมากจะเกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการสอดแทรกในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด อาทิเช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ แถบความถี่ที่สำรองไว้สำหรับคลื่นวิทยุทางดาราศาสตร์และระบบ GPS โดยที่องค์กรบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ (Federal aviation administration: FAA) ได้แสดงความเป็นห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน

ในวันที่ 14 เดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 FCC ได้ออกกฎสำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายของความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งทั้ง 4 ประเภท และการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายของความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานสำหรับการใช้งานในประเภทต่างๆ โดยได้กำหนดให้สัญญาณแถบกว้างยิ่งมีแบนด์วิดท์ไม่น้อยกว่า 500 MHz หรือมีอัตราส่วนของแบนด์วิดท์ (Fractional bandwidth) ไม่น้อยกว่า 0.2 โดยที่แบนด์วิดท์ f_b และอัตราส่วนแบนด์วิดท์ B_f มีนิยามเป็น

$$f_b = f_H - f_L \quad (2.1)$$

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

เมื่อ B_f คือแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วน B คือแบนด์วิดท์ f_L และ f_H คือความถี่ต่ำสุดและความถี่สูงสุด และ f_c คือความถี่ศูนย์กลาง ตามลำดับ

2.2.4.2 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

ปัจจุบันโครงสร้างของข้อกำหนดระบบแบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรป อยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีการใช้กันอยู่ โดยทางยุโรปนั้นบางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่ โดยการจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานสำหรับการสื่อสารภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดยสหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ หรือสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานสำหรับการสื่อสารภายใน และภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ETSI [4]

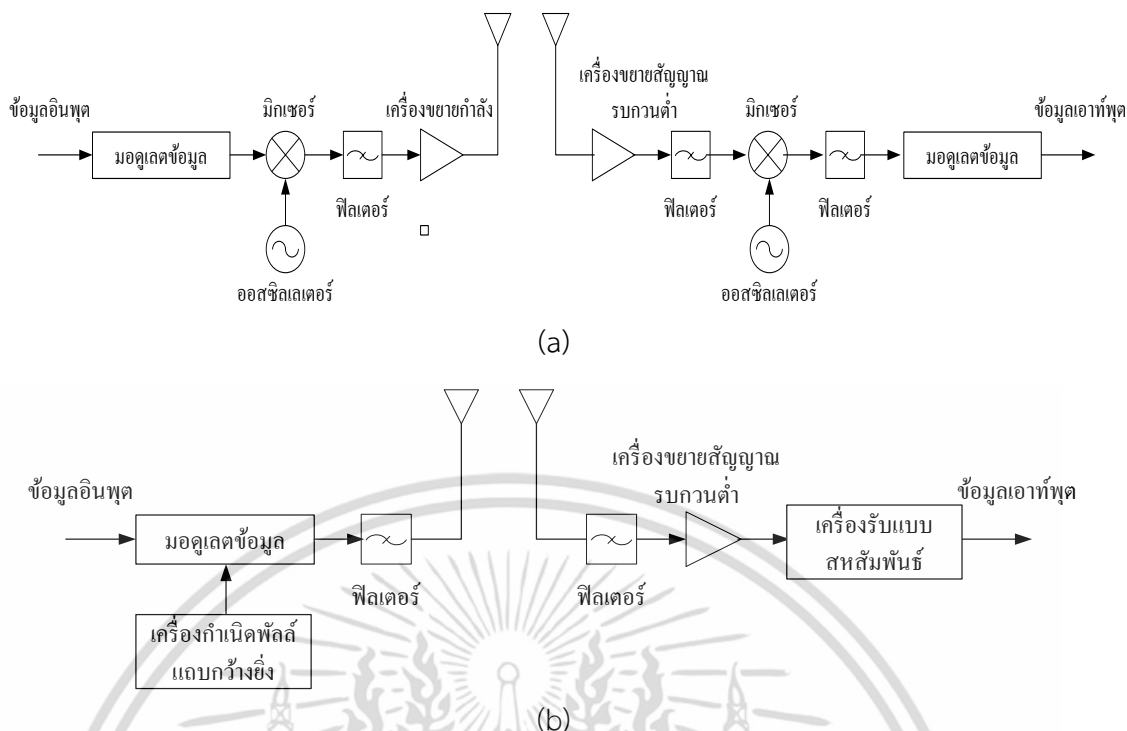
	ช่วงความถี่ (GHz)		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
ภายในอาคาร	$-51.3+87\log(f / 3.1)$	-41.3	$-51.3+87\log(10.6 / f)$
ภายนอกอาคาร	$-61.3+87\log(f / 3.1)$	-41.3	$-61.3+87\log(10.6 / f)$

2.2.5 จุดเด่นของระบบแถบกว้างยิ่ง

ถ้าจะกล่าวถึงระบบแถบกว้างยิ่งหรือรวมถึงอิมพัลส์ (Impulse) พัลส์แคบ (Short-pulse) สัญญาณที่ไม่ใช่ไซน์ซอยด์ (Non-sinusoidal) สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห้ (Carrierless) แถบกว้างยวดยิ่ง (Super wideband) การอัดพัลส์แบบเอฟเอ็มอย่างรวดเร็ว (fast frequency chirp) และพัลส์แบบโมโน (Mono – pulse) [6] ซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสาร อาทิเช่น

2.2.5.1 เป็นระบบที่มีความซับซ้อนและต้นทุนต่ำ

ความซับซ้อนและต้นทุนที่ต่ำของระบบแถบกว้างยิ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยทางลักษณะเบสแบนด์ (Base band) ของการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่น ๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก ๆ ในโดเมนทางเวลา ซึ่งสามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือคลื่นพาห้รวมเข้าไป และในส่วนของ การรวมสัญญาณวิทยุ นั้นจะเป็นการนำเอาสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห้ เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการ ซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดีโดยปราศจากความถี่ในการเพิ่มการแปลงความถี่ให้สูงขึ้น (Up – conversion) และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น (Amplification) โดยในกระบวนการกลับกันการแปลงความถี่ลง (Down – conversion) และตัวผลิตความถี่ (Local oscillator) จึงไม่จำเป็นในเครื่องรับแบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน ทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมากเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีแบบแถบแคบ ดังรูปที่ 2.3 ภาคส่ง-ภาครับของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมีโครงสร้างที่ง่ายกว่าระบบแถบแคบ เนื่องจากการสื่อสารแถบกว้างยิ่งที่ใช้พัลส์ที่มีกำลังส่งต่ำจะไม่จำเป็นต้องมีตัวขยายกำลัง (Power Amplifier, PA) ในภาคส่ง และจากการที่การสื่อสารแถบกว้างยิ่งไม่มีการใช้สัญญาณพาห้ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้มิกเซอร์ (Mixer) และออสซิลเลเตอร์ (Oscillators) ในการแปลงความถี่พาห้ไปเป็นแถบความถี่ที่ต้องการทั้งในภาครับและภาคส่ง



รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบโครงสร้างของระหว่างระบบแถบกว้างกับระบบแถบแคบ [6]

(a) บล็อกไดอะแกรมภาคส่ง-ภาครับของเทคโนโลยีแถบแคบ

(b) บล็อกไดอะแกรมภาคส่ง-ภาครับของเทคโนโลยีแถบกว้าง

2.2.5.2 มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Noise)

เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่ำและลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียบ (Pseudo – random) ของสัญญาณส่งจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างนี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวนซึ่งทำให้การตรวจหาสัญญาณทำได้ยากและยังปรากฏในเอกสารทางการวิจัยว่าการส่งสัญญาณแบบแถบกว้างนั้นไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่น ๆ เนื่องจากสัญญาณของระบบแถบกว้างนั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำโดยอยู่ในระดับของสัญญาณรบกวน (Noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างนี้คือสัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกจากพิจารณาของระบบ

2.2.5.3 มีความต้านทานต่อช่องสัญญาณหลายวิถี (Multipath)

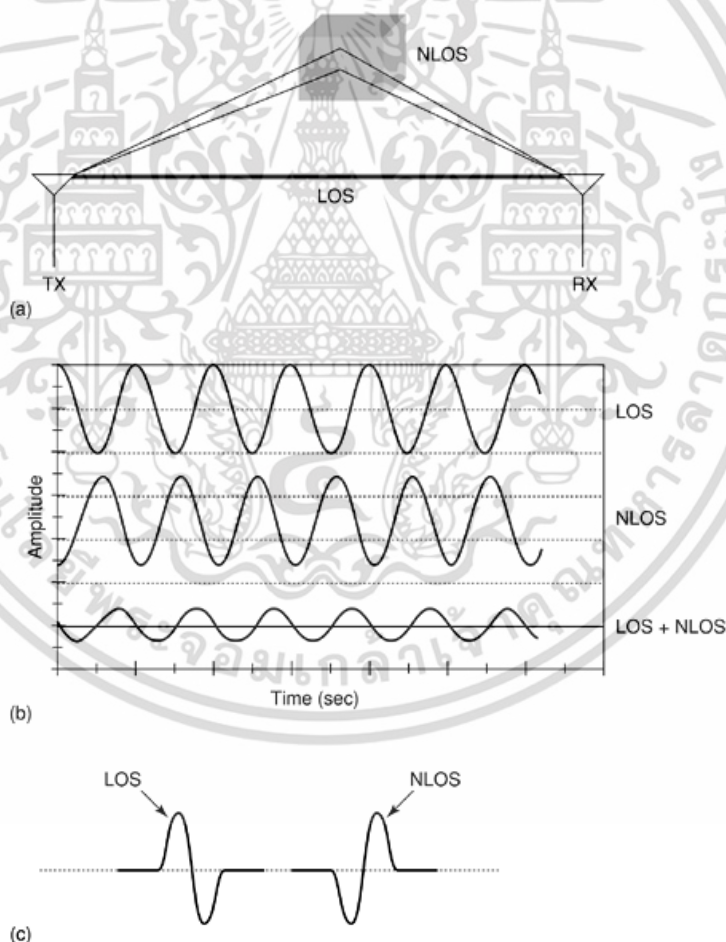
เป็นที่รู้กันว่าการเกิดช่องสัญญาณหลายวิถีเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในการสื่อสารไร้สาย ซึ่งเป็นผลมาจากการสะท้อนของสัญญาณการสื่อสารจากหลาย ๆ ทิศทางที่วัสดุต่าง ๆ เช่น อาคาร โต๊ะ เพดาน หรืออุปกรณ์สำนักงาน เป็นต้น เส้นทางจากสายอากาศส่งไปยังสายอากาศรับโดยตรง เรียกว่า เส้นระดับสายตา (Line of sight: LOS) ส่วนสัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนจากพื้นผิววัสดุต่าง ๆ จะไม่เป็นเส้นระดับสายตา (Non line of sight: NLOS)

ดังรูปที่ 2.4 ผลของช่องสัญญาณหลายวิถีสำหรับสัญญาณแถบแคบจะเกิดขึ้นค่อนข้างมากกว่าสัญญาณแถบกว้าง เนื่องจากการรวมกันแบบต่างเฟส (Out of phase) ของสัญญาณที่มาจาก LOS และ NLOS ทำให้ระดับของแอมพลิจูดลดลงมาก แต่ในเทคโนโลยีแถบกว้างการส่งพัลส์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีช่วงเวลาแคบมากๆ ทำให้เทคโนโลยีนี้ได้รับผลกระทบจากช่องสัญญาณหลายวิธีน้อยกว่า เนื่องจากช่วงเวลาการส่งผ่านของพัลส์ของแถบกว้างยิ่งช่วงเวลาสั้นกว่านาโนวินาที (Nano second, ns) ทำให้พัลส์ที่เกิดจากการสะท้อนมีโอกาสน้อยมากที่จะไปถึงพร้อมกับพัลส์ที่เป็น LOS

2.2.5.4 มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ในระบบติดตาม (tracking)

ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมาก ๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก ๆ นั้นหมายถึงระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global positioning system: GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่น ๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัสดุได้ดีจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่นในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรมเช่นเดียวกับการใช้งานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมือง เป็นต้น



รูปที่ 2.4 ผลของช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบแคบและแถบกว้างยิ่ง

(a) การเกิดช่องสัญญาณหลายวิถีในการสื่อสารไร้สาย

(b) ผลของช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบแคบ

(c) ผลของช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังเว็บไซต์สาธารณะโดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.5 มีความจุของช่องสัญญาณมาก

ความจุของช่องสัญญาณหรืออัตราการรับส่งข้อมูลจะบอกถึงขนาดของข้อมูลทั้งหมดที่สามารถส่งผ่านช่องสัญญาณการสื่อสารต่อหนึ่งวินาที สัญญาณแบบแถบกว้างยังมีแบนด์วิดท์ที่กว้างจะทำให้มีจุดเด่น คือการทำให้มีความจุของช่องสัญญาณมากขึ้น ซึ่งขนาดของความจุช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยังสามารถพิจารณาได้จากสูตรของแฮนนอน (Hartley-Shannon) [8] ดังสมการที่ 2.3

$$C = B \log_2(1 + SNR) \quad (2.3)$$

เมื่อ C คือ ค่าความจุของช่องสัญญาณ

B คือ แบนด์วิดท์

SNR คือ อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

จากสมการจะพบว่าค่าความจุของช่องสัญญาณจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแบนด์วิดท์เพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นสัญญาณแบบแถบกว้างที่มีแบนด์วิดท์มากถึง 7.5 GHz จะทำให้ค่าความจุของช่องสัญญาณมาก และมีอัตราการรับส่งข้อมูลในระดับหลายร้อยเมกะบิตต่อวินาที (Mbps) แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้จำกัดกำลังส่งของเทคโนโลยีแถบกว้างไว้ จึงทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ในระยะสั้น ๆ เท่านั้น ซึ่งทำให้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งเป็นการสื่อสารระยะใกล้ความเร็วสูง

ตารางที่ 2.3 จุดเด่นและประโยชน์ของการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง [6]

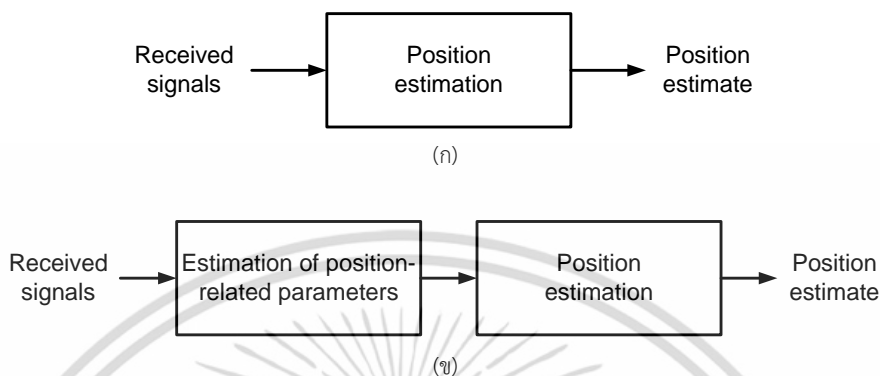
จุดเด่น	ประโยชน์
ช่องสัญญาณมีความจุมาก	ช่องสัญญาณที่มีความจุมากสามารถรองรับการแสดงผลไฟล์วิดีโอที่มีความละเอียดสูง
ใช้กำลังส่งต่ำ	ไม่ไปรบกวนกับระบบอื่น ๆ
มีโอกาที่จะถูกดักฟังหรือตรวจจับได้ยาก	เพิ่มความปลอดภัย เหมาะกับการใช้ในกองทัพและงานด้านความมั่นคง
มีความต้านทานจากการถูกรบกวนสัญญาณ	มีความน่าเชื่อถือได้เมื่อนำไปใช้ในสภาวะแวดล้อมที่มีกลุ่มที่ไม่หวังดี
มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน	ทำให้มีขนาดเล็ก สร้างได้ง่าย และมีราคาถูก
มีความต้านทานต่อช่องสัญญาณหลายวิถี	ให้สัญญาณที่มีกำลังสูงกว่า ในสภาวะแวดล้อมที่มีผลการสะท้อนมาก

2.3 เทคนิคการวัดที่นำมาใช้ในระบบหาตำแหน่ง

สำหรับการหาตำแหน่งในระบบการสื่อสารไร้สายนั้นจะมีอยู่สองลักษณะด้วยกัน ในลักษณะแรกจะเป็นการหาตำแหน่งโดยตรงจากสัญญาณที่เดินทางระหว่างตำแหน่งซึ่งจะเรียกว่า Direct positioning [16] และอีกลักษณะหนึ่งจะเป็นการแบ่งการหาตำแหน่งออกเป็น 2 ขั้นตอน (Two-step positioning) [17] โดยในขั้นตอนแรกจะเป็นการเก็บค่าพารามิเตอร์จากสัญญาณแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อคุณได้เห็นเป็นเช่นนี้จะขอให้คุณพิจารณาไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อจากนั้นก็ทำการประมาณหาตำแหน่งจากค่าพารามิเตอร์เหล่านั้น โดยการหาตำแหน่งทั้งสองลักษณะแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 โดยทั่วไปแล้วจะนิยมใช้การหาตำแหน่งแบบ Two-step มากกว่าเนื่องด้วยการหาตำแหน่งแบบ Direct มีความยุ่งยากมากกว่าอีกทั้งการหาตำแหน่งแบบ Two-step ยังให้ผลที่ดีกว่าอีกด้วย



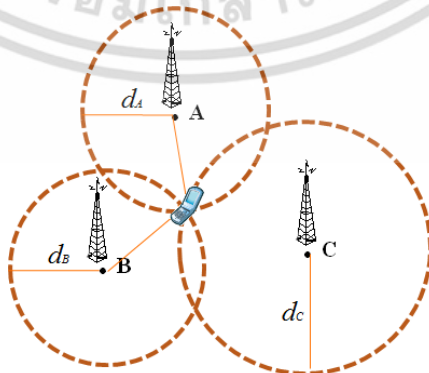
รูปที่ 2.5 รูปแสดงการประมาณการหาตำแหน่ง [17]

(ก) Direct positioning

(ข) Two-step positioning

2.3.1 Received signal strength (RSS) [10]

RSS เป็นวิธีการพิจารณาตำแหน่งโดยพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณซึ่งถูกลดทอนลงเนื่องจากการสูญเสียในวิถี (Path loss attenuation) โดยใช้การตัดกันของวงกลมซึ่งเป็นวงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะทางที่ภาครับอยู่ห่างจากสถานีฐาน เราสามารถหาระยะทางโดยการคำนวณจากความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ ด้วยวิธีการนี้จึงต้องใช้วงกลมอย่างน้อย 3 วงมาตัดกันเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่แน่ชัด ดังแสดงในรูปที่ 2.6 อย่างไรก็ตามการหาตำแหน่งโดยวัดค่าความแรงของสัญญาณจะได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์การจางหายหลายวิถี (Multipath fading) และการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากสิ่งกีดขวาง (Shadowing) ซึ่งจะมีผลกระทบต่อค่าความแรงของสัญญาณทำให้การหาตำแหน่งโดยวิธีนี้เกิดความคลาดเคลื่อนได้

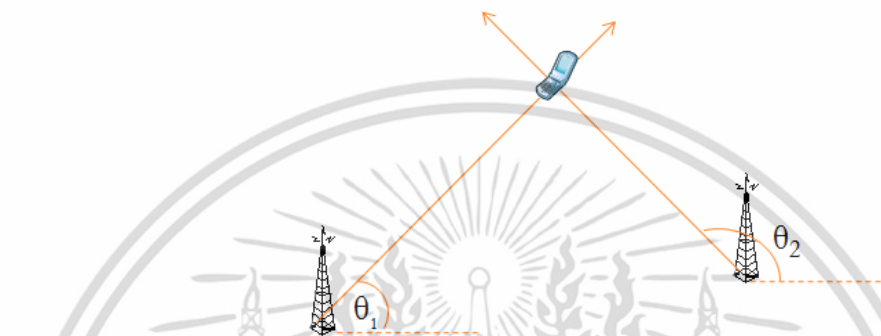


รูปที่ 2.6 การหาตำแหน่งโดยวิธีการพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 Angle of arrival (AOA) [9]

AOA เป็นการหาตำแหน่งโดยดูทิศทางของสัญญาณโดยการคำนวณความแตกต่างของเฟสของสัญญาณที่ไปถึงสายอากาศแต่ละตัวที่ใช้อยู่ในชุดรับสัญญาณ โดยในการหาตำแหน่งนั้นต้องมีชุดสายอากาศที่ทำงานเหมือนกันทุกประการจำนวนหนึ่งซึ่งเรียกว่า Phase array antenna อย่างน้อย 2 ตัวดังแสดงในรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าการหาตำแหน่งด้วยวิธี AOA ทำได้ยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง อีกทั้งยังต้องเจอปัญหาความผิดพลาดจากปรากฏการณ์การกระเจิง (Scattering) ของคลื่นวิทยุอีกด้วย จึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้วิธีนี้ในการหาตำแหน่งมากนัก



รูปที่ 2.7 การหาตำแหน่งโดยวิธีการพิจารณาทิศทางในการมาถึงของสัญญาณ (Angle of arrival: AOA) [9]

2.3.3 Time of arrival (TOA) [9]

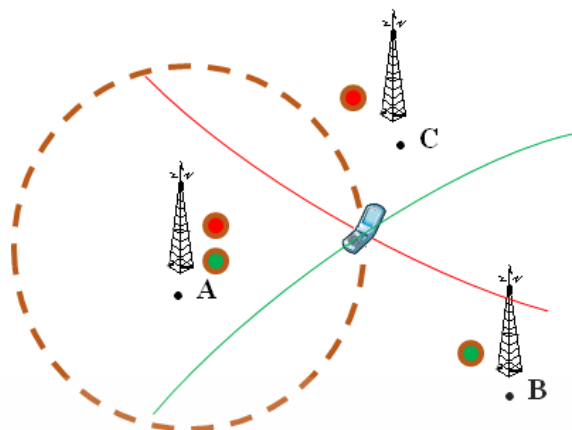
TOA จะมีลักษณะการพิจารณาหาตำแหน่งคล้าย RSS เพียงแต่เปลี่ยนพารามิเตอร์ที่พิจารณาเป็นเวลาที่สัญญาณจากภาครับเดินทางมาถึงสถานีฐาน เป็นการพิจารณาตำแหน่ง โดยใช้การตัดกันของวงกลมเช่นเดียวกับ RSS ซึ่งเป็นวงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะทางที่ภาครับอยู่ห่างจากสถานีฐาน โดยสามารถหาระยะทางได้โดยการคำนวณจากเวลาที่สัญญาณจากภาครับเดินทางมาถึงสถานีฐาน ด้วยวิธีการนี้จะต้องใช้วงกลมอย่างน้อย 3 วงมาตัดกันเช่นเดียวกับ RSS แสดงดังรูปที่ 2.6 จึงจะได้ตำแหน่งที่แน่ชัด ด้วยวิธีการนี้เราไม่จำเป็นต้องเพิ่มเติมอะไรเข้าไปยังอุปกรณ์ทางด้านภาครับแต่ต้องการ Hardware และ Software สำหรับสถานีฐาน อย่างไรก็ตามเทคนิค TOA เมื่อนำมาใช้ภายในอาคารที่มีระยะทางที่สั้น เวลาที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณจะน้อยมากทำให้ยากในการพิจารณาหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคนี้

2.3.4 Time difference of arrival (TDOA) [9]

วิธีการหาตำแหน่งด้วยวิธีของ TDOA มีลักษณะคล้ายกับวิธีของ TOA เนื่องจาก TOA พิจารณาเวลาที่สัญญาณใช้ในการเดินทางของแต่ละสถานีฐาน ส่วนวิธี TDOA จะวัดความต่างของเวลาในแต่ละคู่สถานีฐานแล้วนำมาเขียนเป็นกราฟของ Hyperbolic ซึ่งบอกถึงระยะห่างระหว่างคู่สถานีฐาน ดังนั้นเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการจึงต้องใช้เส้นกราฟอย่างน้อย 2 เส้นมาตัดกัน ซึ่งเกิดจากสถานีฐานอย่างน้อย 3 สถานีดังแสดงในรูปที่ 2.8 สิ่งที่สำคัญของวิธีนี้คือแต่ละสถานีฐานต้องมีการ Synchronicity กัน อย่างไรก็ตามเช่นเดียวกับเทคนิค TOA เมื่อนำมาใช้ภายในอาคารที่มีระยะทางที่สั้น เวลาที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณจะน้อยมากทำให้ยากในการพิจารณาหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

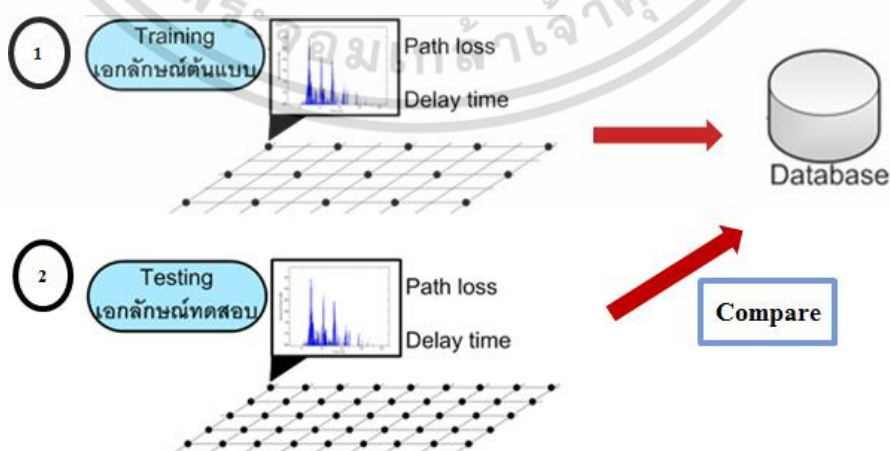
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การหาตำแหน่งโดยวิธีการพิจารณาความต่างของเวลาในการมาถึงของสัญญาณ (Time difference of arrival: TDOA) [9]

2.3.5 Fingerprinting Technique (ความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่ง)

วิธีการพิจารณาความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่ง (Position pattern or Fingerprinting) จะมีลักษณะคล้ายกับวิธีการสแกนลายนิ้วมือของมนุษย์ ดังรูปที่ 2.9 โดยที่จะเก็บค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการนำมาพิจารณาและนำมาเปรียบเทียบความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่งนั้น ๆ ที่ได้ทำการเก็บค่าพารามิเตอร์นั้น ๆ ไว้ในฐานข้อมูลก่อนหน้าแล้ว หลังจากนั้นทำการแสดงตำแหน่งที่เปรียบเทียบแล้วใกล้เคียงที่สุดโดยวิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องใช้สถานีฐานมากเหมือนวิธีอื่น ๆ เพียงแค่มีสถานีฐานอย่างน้อย 1 ตัวก็สามารถหาตำแหน่งได้ ข้อดีของการใช้วิธีนี้ในการหาตำแหน่งคือต้องใช้เวลามากในการเก็บค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการพิจารณาไว้ในฐานข้อมูล กรณีที่บริเวณที่ต้องการหาตำแหน่งมีขนาดใหญ่ ดังนั้นวิธีการนี้จึงนิยมนำมาใช้ในระบบหาตำแหน่งภายในอาคารมากกว่าระบบหาตำแหน่งภายนอกอาคาร สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการค้นหาคน หรือสิ่งของต่าง ๆ ได้ เช่น การตรวจสอบสินค้าในคลังสินค้า การระบุตำแหน่งของนักผจญเพลิงที่เข้าไปค้นหาผู้ประสบภัยที่ติดอยู่ในอาคารที่ถูกไฟไหม้

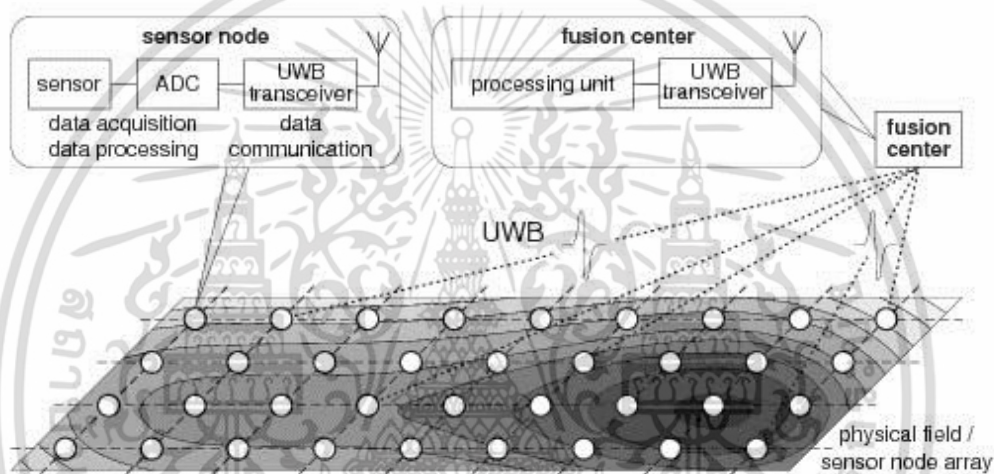


รูปที่ 2.9 หลักการสแกนลายนิ้วมือของสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลที่อยู่ในเอกสารนี้โดยไม่ยินยอมด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การประยุกต์ใช้งานของระบบแถบกว้างยิ่ง

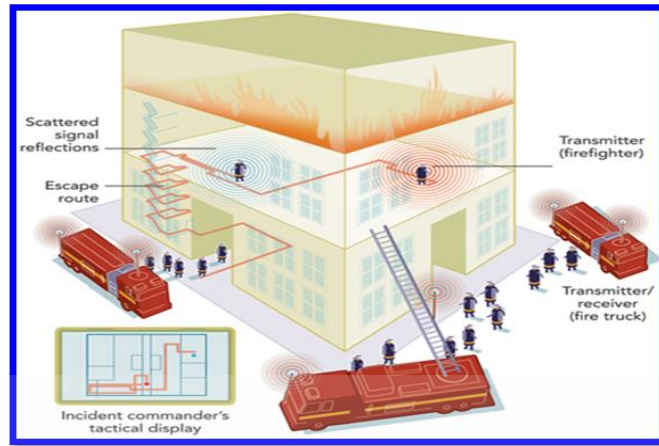
เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งถูกนำมาใช้ในระบบการสื่อสารระยะสั้นระหว่างคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ที่อยู่ภายในอาคารสำนักงาน และโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย ที่มีความต้องการความเร็วสูง ซึ่งสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากสายอากาศนั้นอาจจะถูกลดทอนกำลังงาน (Power attenuation) โดยปัจจัยต่าง ๆ เช่น ถูกลดทอนโดยผนังหรือกำแพงของอาคาร จากวัสดุอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง ทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณที่ทางด้านเครื่องรับ เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบ

การประยุกต์ใช้งานการหาตำแหน่ง รูปที่ 2.10 เป็นลักษณะการใช้งานในการหาตำแหน่งโดยพิจารณาจากการสูญเสียเชิงวิถี และเวลาประวิง แต่อาจจะมีปัจจัยหลายอย่างส่งผลกระทบต่อ การสื่อสารในสภาวะแวดล้อมจริงได้ทำให้เกิดการผิดพลาดในการหาพิจารณาตำแหน่งได้



รูปที่ 2.10 การหาตำแหน่งโดยใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง [12]

สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่งโดยใช้เทคโนโลยีแถบกว้างสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการค้นหาคน หรือสิ่งของต่าง ๆ ได้ เช่น การระบุตำแหน่งของนักผจญเพลิงที่เข้าไปค้นหาผู้ประสบภัยที่ติดอยู่ในอาคารที่ถูกไฟไหม้ การนำมาใช้ทางด้านโทรคมนาคมขนส่ง การตรวจสอบสินค้าในคลังสินค้า ดังรูปที่ 2.11 และ 2.12



(a) การระบุตำแหน่งของนักผจญเพลิงที่เข้าไปค้นหาผู้ประสบภัยที่ติดอยู่ในอาคารที่ถูกไฟไหม้

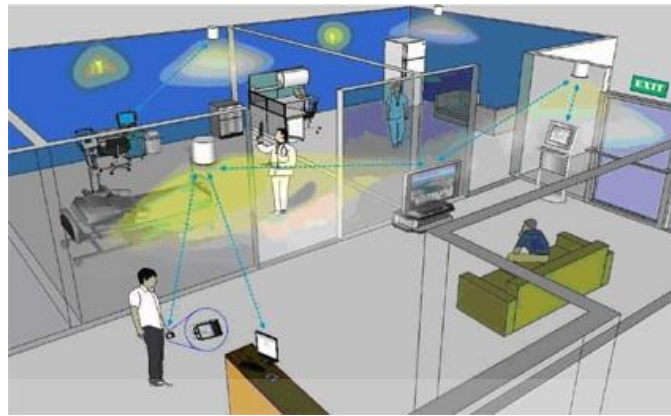


(b) การนำมาใช้งานทางด้านโทรคมนาคมขนส่ง



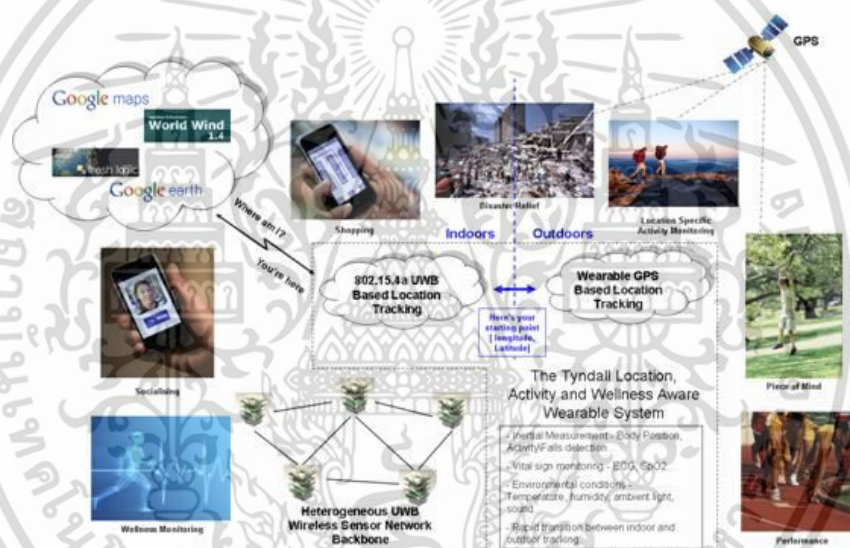
(c) การตรวจสอบสินค้าในคลังสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(d) การประยุกต์ใช้งานการหาตำแหน่งบุคคลภายในอาคารสำนักงาน

รูปที่ 2.11 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างในการหาตำแหน่งภายในอาคาร [14]



รูปที่ 2.12 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างในการหาตำแหน่งภายในอาคารและนอกอาคาร [14]

2.5 เทคนิคในการวิเคราะห์และประเมินผล

Data mining เป็นกระบวนการของการกลั่นกรองสารสนเทศ (Information) ที่ซ่อนอยู่ในฐานข้อมูลใหญ่ เพื่อทำนายแนวโน้มและพฤติกรรม โดยอาศัยข้อมูลในอดีต และเพื่อใช้สารสนเทศเหล่านี้ในกาสนับสนุนการตัดสินใจทางธุรกิจ

เทคนิคที่ใช้ในการทำ Data mining แบบ Classification และ Regression ที่ใช้กันในผลิตภัณฑ์ด้าน Data mining ในปัจจุบัน ได้แก่

2.5.1 Decision tree

เป็นเทคนิคที่ให้ผลลัพธ์ในลักษณะของโครงสร้างต้นไม้โดยปกติมักประกอบด้วยกฎในเอกสารนี้รูปแบบ “ถ้า เงื่อนไข แล้ว ผลลัพธ์” เช่น การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

“If Income = High and Married = No THEN Risk = Poor”

“If Income = High and Married = Yes THEN Risk = Good”

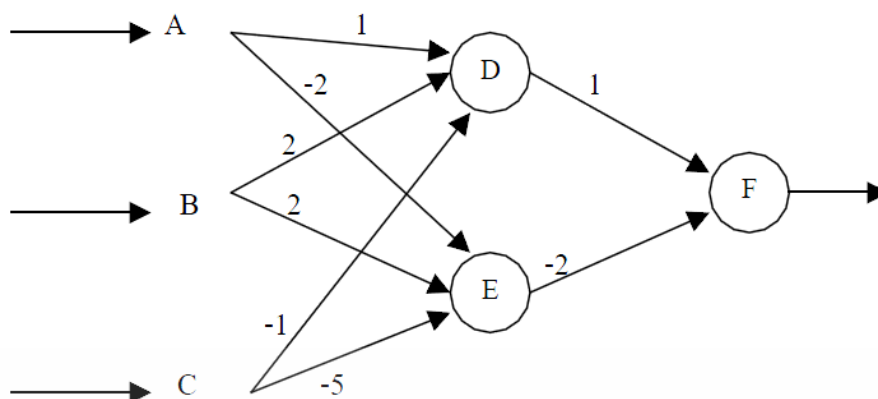
Decision tree เป็นเทคนิคที่ค่อนข้างแพร่หลาย เนื่องจากผู้ใช้สามารถทำความเข้าใจผลลัพธ์ได้ง่าย เทคนิค Decision tree จะจำกัดข้อมูลที่เป็นตัวแปรตาม (Dependent variable) 1 ตัวต่อ 1 แบบจำลอง ถ้าต้องการทำนายตัวแปรตามหลาย ๆ ตัว จะต้องสร้างแบบจำลองสำหรับตัวแปรตามแต่ละตัว algorithm ของเทคนิคแบบ Decision tree ส่วนใหญ่ไม่รองรับข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Continuous data) จะต้องมีการแบ่งให้เป็นข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete data) เสียก่อน อัลกอริทึมเหล่านั้นได้แก่ Chi-squared automatic interaction detection (CHAID), Classification and Regression trees (CART), C4.5 และ C5.0 algorithm เหล่านี้ส่วนมากมักเหมาะกับปัญหาแบบ classification algorithm บางตัวปรับให้ใช้ได้กับปัญหาแบบ regression เช่น Classification and Regression trees (CART) ซึ่งรองรับทั้งปัญหาในแบบ classification และ regression นอกจากนี้ยังรองรับข้อมูลในแบบที่ต่อเนื่องอีกด้วย

2.5.2 Neural networks

มีพื้นฐานมาจากแบบจำลองการทำงานของสมองมนุษย์ และก็สามารถใช้ได้ดีกับปัญหา classification, regression และ clustering เทคนิคนี้มักถูกเรียกว่า “Black box” เนื่องจากการทำงานของมันมีความซับซ้อนมากกว่าเทคนิคอื่น ๆ ค่อนข้างมาก ผลลัพธ์ที่ได้ก็ยากต่อการทำความเข้าใจ เช่น ในรูปแสดงผลลัพธ์ของการใช้เทคนิคแบบ Neural networks ในการวิเคราะห์แทนตัวแปรตามคือ ความเสี่ยง (Risk) และตัวเลขที่กำกับอยู่ตามเส้นลูกศรคือ ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) เป็นต้น

ถึงแม้ว่าเทคนิคนี้จะทำงานได้ดีกับปัญหา classification, regression และ clustering ก็ตาม แต่มันเป็นเทคนิคที่ค่อนข้างซับซ้อนกว่าเทคนิคอื่น ความซับซ้อนและการไม่สามารถอธิบายได้ของผลลัพธ์ มักทำให้ผู้ใช้หลีกเลี่ยงเทคนิคนี้ อย่างไรก็ตาม เทคนิคนี้ก็มีข้อดีที่สำคัญที่ไม่มีในเทคนิคอื่นๆ ก็คือ เทคนิคนี้ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับชนิดของความสัมพันธ์ เช่น เทคนิคแบบ Neural networks สามารถสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม กับสัดส่วนของตัวแปรอิสระ 2 ตัวได้ ซึ่งทำได้ยาก ถ้าใช้เทคนิคแบบ Decision tree หรือ Naïve-Bayes นอกจากนี้ เทคนิคแบบ Neural networks ยังไม่มีปัญหาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ที่เป็นแบบตรีโกณมิติ (Trigonometric) หรือ Logarithmic ด้วย ในการใช้งานจริงนั้น เทคนิคแบบ Decision tree หรือ Naïve-Bayes อาจให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องเพียงพอกับความต้องการ แต่ถ้าต้องการความแม่นยำมากๆ แล้ว เทคนิคแบบ Neural networks อาจเป็นหนทางที่ดีที่สุด ทางเดียวที่จะรู้ว่าควรใช้เทคนิคแบบ Neural networks หรือไม่ ก็คือการเปรียบเทียบความเที่ยงตรงของแบบจำลองกับเทคนิคอื่น (Decision tree หรือ Naïve-Bayes) ถ้าไม่ได้ดีกว่ากันอย่างเห็นได้ชัด ก็ควรเลือกเทคนิคอื่น แต่ถ้าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองของเทคนิค Neural networks มีความเที่ยงตรงกว่าอย่างเห็นได้ชัด นั้นอาจหมายถึง เราต้องทำการปรับปรุงแบบจำลองของเทคนิค Decision tree หรือ บางทีการใช้เทคนิคแบบ Neural networks อาจเหมาะสมสำหรับปัญหานี้มากที่สุดก็ได้ ดังรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงผลลัพธ์ของการใช้เทคนิคแบบ Neural networks [6]

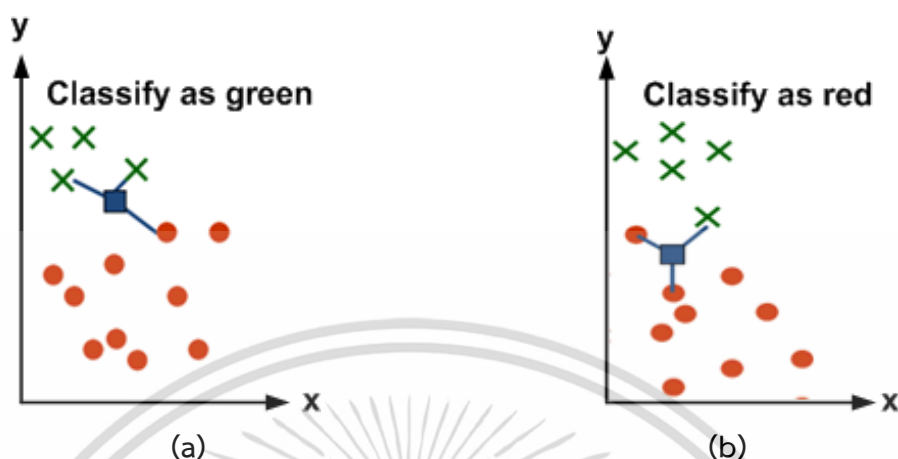
2.5.3 Naïve-Bayes

เป็นเทคนิคที่ถูกตั้งชื่อตาม Thomas Bayes (1702-1761) เทคนิคแบบ Naïve-Bayes ใช้ทฤษฎี Bayes Theorem ในการคำนวณความน่าจะเป็นซึ่งถูกใช้ในการทำนายผล เมื่อทำการวิเคราะห์กรณีใหม่ การทำนายผลทำได้โดยการรวมผลของตัวแปรอิสระ (Independent variable) ที่มีต่อตัวแปรตาม (Dependent variable) Naïve-Bayes เป็นเทคนิคในการแก้ปัญหาแบบ classification ที่ทั้งสามารถคาดการณ์ผลลัพธ์ได้และสามารถอธิบายได้ด้วย มันจะทำ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตามเพื่อใช้ในการสร้างเงื่อนไขความน่าจะเป็นสำหรับแต่ละความสัมพันธ์ ในทางทฤษฎีแล้วการทำนายผลของ Naïve-Bayes จะถูกต้องถ้าตัวแปรอิสระทั้งหมดเป็นอิสระต่อกัน ไม่ขึ้นกับตัวแปรอิสระตัวใดตัวหนึ่ง ซึ่งในความเป็นจริงแล้วมีไม่มากนักที่ตัวแปรอิสระทั้งหมดเป็นอิสระต่อกัน ตัวอย่างเช่น ข้อมูลเกี่ยวกับประวัติบุคคล ซึ่งมักประกอบด้วยรายละเอียดย่อยมากมาย อาทิ น้ำหนัก การศึกษา รายได้ เป็นต้น จะเห็นว่ารายละเอียดเหล่านี้มักขึ้นอยู่กับอายุ ในกรณีนี้การใช้ Naïve-Bayes จะต้องคำนึงถึงผลของอายุให้มากขึ้น นอกจากนี้เทคนิคแบบ Naïve-Bayes ยังไม่รองรับข้อมูลที่เป็นข้อมูลต่อเนื่อง (Continuous data) ด้วย ดังนั้นตัวแปรอิสระหรือตัวแปรตามที่มีค่าเป็นค่าต่อเนื่องจะต้องถูกแบ่งเป็นช่วง เช่น ถ้ามีตัวแปรอิสระที่เป็นค่าของอายุก็อาจแปลงค่าเหล่านั้นให้เป็นช่วงแคบ ๆ อาทิ “ต่ำกว่า 20 ปี” , “20-40ปี” , “40 ปีขึ้นไป” เป็นต้น ซึ่งการแบ่งช่วงนั้น ถ้าแบ่งไม่เหมาะสม ก็จะมีผลต่อคุณภาพของแบบจำลองที่สร้างขึ้น แต่ถ้าไม่คำนึงถึงข้อจำกัดนี้แล้ว เทคนิคแบบ Naïve-Bayes สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีและรวดเร็วได้ ความง่ายและความเร็วทำให้เทคนิคนี้เป็นเครื่องมือที่ดีในการสร้างแบบจำลองและหารูปแบบความสัมพันธ์ที่ไม่ซับซ้อน

2.5.4 KNN (K-nearest neighbor: K-NN)

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค KNN หรือ k จุดข้างเคียงที่สุด เป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับปัญหาแบบ classification เทคนิคนี้แตกต่างจากเทคนิคอื่นตรงที่มันไม่ได้ใช้ข้อมูลฝึกหัด (Training data) ในการสร้างแบบจำลอง แต่จะใช้ข้อมูลนั้นมาเป็นตัวแบบจำลองเลย ในการใช้งาน KNN algorithm นั้นเราต้องระบุค่าตัวเลขจำนวนเต็มบวกให้กับ k ด้วย ซึ่งค่านี้จะเป็นตัวบอกจำนวนของกรณี (Case) ที่จะต้องค้นหาในการทำนายกรณีใหม่ algorithm แบบ KNN ได้แก่ 1-NN, 2-NN, 3-NN, ... k-NN เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ k แทนเลขจำนวนเต็มบวก เช่น 4-NN หมายถึง algorithm นี้จะค้นหา 4 กรณีที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกรณีใหม่ (4 nearest cases) ในการทำนายกรณีใหม่ ดังรูปที่ 2.14



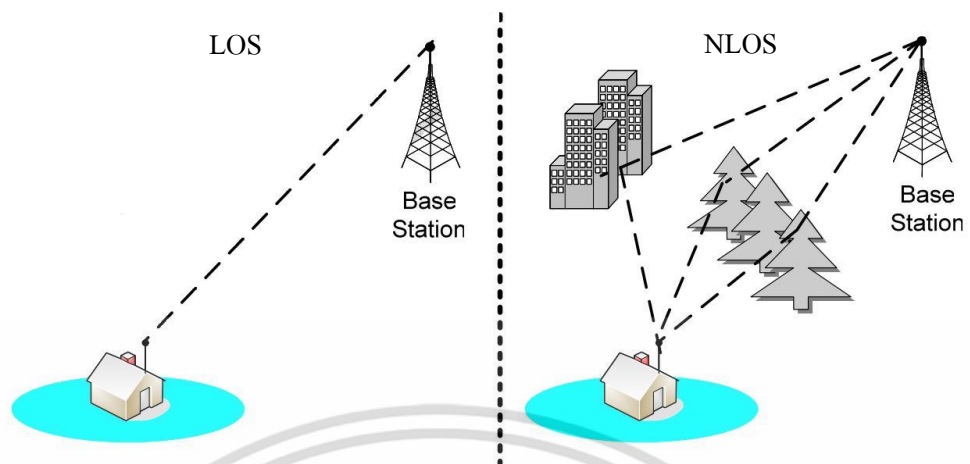
รูปที่ 2.14 เทคนิคการวิเคราะห์และประเมินผลโดยใช้เทคนิค KNN

2.6 การหาตำแหน่งในกรณีที่มีมองเห็นในระดับสายตา (Line of sight: LOS) และกรณีที่มีมองไม่เห็นในระดับสายตา (Non-line of sight: NLOS)

2.6.1 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Propagation model)

การติดต่อระหว่างสถานีฐานและสถานีลูกข่าย สามารถเป็นในรูปแบบของการสื่อสารทิศทางตรง คือสัญญาณติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับสถานีลูกข่าย จะมาจากทางตรง (Direct path) เท่านั้นโดยปราศจากสิ่งกีดขวางใด ๆ สิ่งกีดขวางจะทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณจนไม่สามารถสื่อสารกันได้ และอีกรูปแบบหนึ่งคือ การสื่อสารทิศทางอ้อม สถานีฐานกับสถานีลูกข่ายสามารถสื่อสารกันได้ถึงแม้ว่าจะมีสิ่งกีดขวาง สัญญาณที่รับได้จะมาจากหลายทิศทาง ดังรูปที่ 2.15 ไม่ว่าจะเป็สัญญาณที่ถูกสิ่งกีดขวางลดทอนกำลังลงไป (Absorption) สัญญาณที่อ้อมผ่านสิ่งกีดขวาง (Diffraction) และสัญญาณที่สะท้อน (Reflection) สัญญาณจากคนละทิศทางจะมีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน ทั้ง ความแรงของสัญญาณ (Signal strength) เฟสของสัญญาณ Polarization และ Delay ของสัญญาณ ซึ่งต้องใช้เทคโนโลยีที่มีความซับซ้อนที่ด้านอุปกรณ์ภาครับ (Receiver) จึงจะสามารถรับและแยกแยะสัญญาณที่มีมาจากคนละทิศทางนี้ได้ คุณสมบัติ LOS และ NLOS มีความเกี่ยวข้องกับความถี่ที่ใช้งาน ในกรณีที่ความถี่สูงกว่า 11 GHz การสื่อสารระหว่าง สถานีฐานและสถานีลูกข่ายต้องการ LOS เท่านั้น ส่วนความถี่ต่ำกว่า 11 GHz โดยเฉพาะย่านความถี่ที่ต่ำกว่า 6 GHz สถานีฐานและสถานีลูกข่ายสามารถติดต่อแบบ NLOS ได้คุณสมบัติ NLOS ทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการติดตั้งและใช้งานอุปกรณ์ลูกข่าย (CPE) [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดงคุณสมบัติของ Line of sight และ Non-line of sight

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ที่ใช้ในการหาตำแหน่งโดยวิธีแบบรูปตำแหน่งด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ซึ่งประกอบไปด้วยสัญญาณส่งแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กำหนดให้เป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม จากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์หาสัญญาณที่รับได้ และหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงวิธีแบบรูปตำแหน่งด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงพารามิเตอร์และวิธีที่ใช้ในการสร้างแบบรูปตำแหน่งต้นแบบของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง และยังกล่าวถึงวิธีแบบรูปตำแหน่งด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่งเพื่อใช้ในการประมาณหาตำแหน่ง ท้ายสุดเป็นการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของวิธีแบบรูปตำแหน่งด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

3.2 สัญญาณส่งแบบแถบกว้างยิ่ง

รูปคลื่นสัญญาณส่งแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงการนี้ได้กำหนดให้มีลักษณะเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยที่รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลา (Time domain) และในรูปที่ 3.2 ฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมในโดเมนความถี่ (Frequency domain) สามารถแสดงในรูปสมการได้ดังนี้

$$v_i(t) = \frac{A}{f_b} [f_H \operatorname{sinc}(2f_H t) - f_L \operatorname{sinc}(2f_L t)] \quad (3.1)$$

$$V_i(f) = \begin{cases} \frac{A}{2f_b} & \|f - f_c\| \leq \frac{f_b}{2} \\ 0 & \|f - f_c\| > \frac{f_b}{2} \end{cases} \quad (3.2)$$

เมื่อ A คือ แอมพลิจูดสูงสุด

f_b คือ แบนด์วิดท์

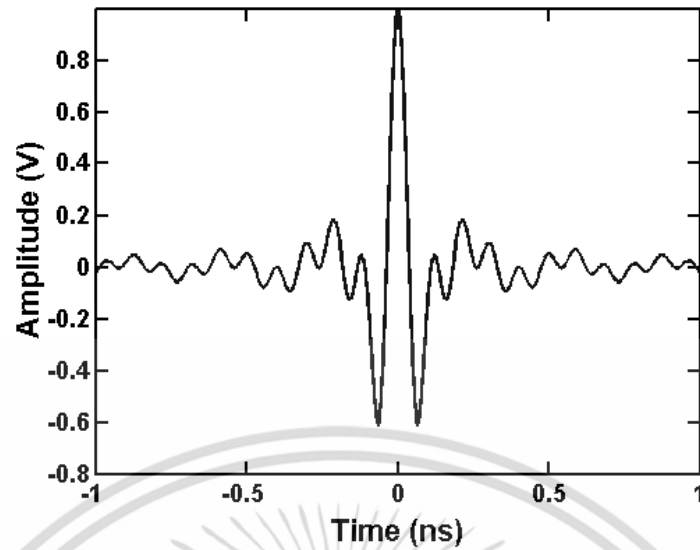
f_c คือ ความถี่กลาง

$f_L = f_c - f_b/2$ คือ ความถี่ต่ำสุด

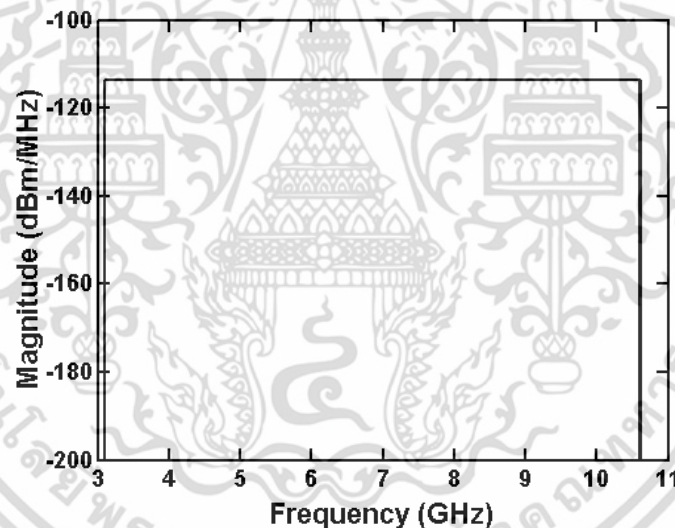
$f_H = f_c + f_b/2$ คือ ความถี่สูงสุด

รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมนี้มีความหนาแน่นสเปกตรัมเป็นรูปสี่เหลี่ยมทั้งในด้านความถี่บวกและความถี่ลบ โดยความหนาแน่นสเปกตรัมจะมีขนาดคงที่เท่ากับ $A/(2f_b)$ อยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ $-f_H$ ถึง $-f_L$ และ f_L ถึง f_H และจะมีเฟสเป็นศูนย์ รูปคลื่นนี้จะมีคุณสมบัติแบบฟังก์ชันคู่ และมีส่วนประกอบกระแสตรง (Direct current: DC) เป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 รูปคลื่นของสัญญาณส่งแบบแถบกว้างยิ่งในโดเมนเวลา [18]



รูปที่ 3.2 สเปกตรัมของสัญญาณส่งแบบแถบกว้างยิ่งในโดเมนความถี่ [18]

3.3 สัญญาณที่รับได้

สำหรับสัญญาณที่รับได้ในโดเมนความถี่หรือความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณที่รับได้นั้น สามารถวิเคราะห์หาได้จากการนำฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณส่งคูณกับฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณ สัญญาณที่รับได้ในโดเมนความถี่หรือความหนาแน่นของสเปกตรัมของสัญญาณที่รับได้ $V_r(f)$ สามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_r(f) = V_t(f) \cdot H_c(f) \quad (3.3)$$

เมื่อ $V_t(f)$ คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณส่ง
 $H_c(f)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณซึ่งได้จากการวัด

สำหรับสัญญาณที่รับได้ในโดเมนเวลานั้น สามารถหาได้โดยใช้การแปลงฟูริเยร์ย้อนกลับ (Inverse Fourier Transform) ของความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณที่รับได้ สัญญาณที่รับได้ในโดเมนเวลา $v_r(t)$ สามารถเขียนในรูปสมการ ได้ดังนี้

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_r(f) e^{j2\pi ft} df \quad (3.4)$$

3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างลักษณะเฉพาะตำแหน่งของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

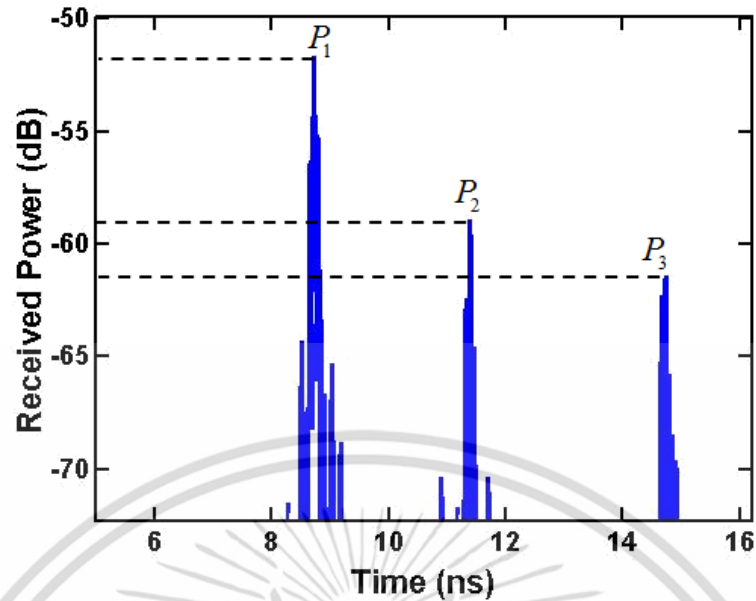
พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างลักษณะเฉพาะตำแหน่งของสัญญาณแถบกว้างยิ่งนั้นจะประกอบไปด้วยการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) และ การประวิงเวลา (Delay time) โดยในการพิจารณาค่าการสูญเสียเชิงวิถีนั้นจะสามารถหาได้มาจากกำลังของสัญญาณที่รับได้ โดยกำลังของสัญญาณที่รับได้ในหน่วย dB สามารถหาได้จากสมการ

$$P_r(t)[dB] = 20 \log |v_r(t)| \quad (3.5)$$

$$PL = -P \quad (3.6)$$

เนื่องจากสัญญาณแถบกว้างยิ่งเป็นสัญญาณที่มีความละเอียดทางเวลามาก ทำให้สามารถสังเกตกำลังงานของรูปคลื่นที่มาจากวิถีต่างๆ ได้ ในโครงงานนี้จะพิจารณารูปคลื่นวิถีที่มีกำลังมากที่สุด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างลักษณะเฉพาะตำแหน่งของสัญญาณแถบกว้างยิ่งนั้นจะประกอบไปด้วยการสูญเสียเชิงวิถี และการประวิงเวลา จากรูปที่ 3.3 จะได้การสูญเสียเชิงวิถีของวิถีที่มีค่าเป็น $PL = -P$ ส่วนการประวิงเวลามีค่าเป็น t โดยพารามิเตอร์เหล่านี้จะถูกเก็บเป็นลักษณะเฉพาะต้นแบบของสัญญาณแถบกว้างยิ่งในแต่ละตำแหน่งและเก็บไว้ในฐานข้อมูล ใช้คู่ลำดับ (x, y) แทนพิกัดตำแหน่งแกน x และแกน y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 รูปคลื่นในการพิจารณาพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างลักษณะเฉพาะ ตำแหน่งของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

3.5 วิธีสร้างลักษณะเฉพาะตำแหน่งของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

ในการสร้างลักษณะเฉพาะตำแหน่งของสัญญาณแถบกว้างยิ่งเพื่อหาตำแหน่งนั้น ขั้นตอนแรก จะทำการหาพารามิเตอร์จากกำลังของสัญญาณที่รับได้เหมือนกับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างเอกลักษณ์ต้นแบบ โดยที่จะกำหนดให้พารามิเตอร์ของสัญญาณที่รับได้เพื่อใช้ในการสร้าง ลักษณะเฉพาะทดสอบมีตัวห้อย t เพิ่มขึ้นมา ซึ่งจะได้พารามิเตอร์ของลักษณะเฉพาะทดสอบเป็น PL_t คือการสูญเสียเชิงวิถี พารามิเตอร์ t_t เป็นการประวิงเวลา

หลังจากนั้นจะนำพารามิเตอร์ของเอกลักษณ์ทดสอบไปเปรียบเทียบกับพารามิเตอร์ของเอกลักษณ์ต้นแบบในทุกตำแหน่ง โดยคำนวณหาความต่างของพารามิเตอร์ระหว่างเอกลักษณ์ต้นแบบ และเอกลักษณ์ทดสอบในแต่ละตำแหน่ง โดยที่ค่าความต่างของลักษณะเฉพาะ $e_t(x, y)$ ในตำแหน่ง (x, y) หาได้ดังสมการที่ 3.7

$$e_f(x, y) = \sqrt{\left\{ \frac{[PL(x, y) - PL_t]^2}{\sigma_{PL}^2} + \frac{[t(x, y) - t_t]^2}{\sigma_t^2} \right\}} \quad (3.7)$$

- เมื่อ σ_{PL} คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการสูญเสียเชิงวิถี
 σ_t คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแปรปรวนเวลา
 PL คือ การสูญเสียเชิงวิถีในการสร้างลักษณะเฉพาะต้นแบบ
 PL_t คือ การสูญเสียเชิงวิถีในการสร้างลักษณะเฉพาะทดสอบ
 t คือ การแปรปรวนเวลาในการสร้างลักษณะเฉพาะต้นแบบ
 t_t คือ การแปรปรวนเวลาในการสร้างลักษณะเฉพาะทดสอบ

พิกัดตำแหน่งที่คาดคะเนได้จากการสร้างลักษณะเฉพาะของสัญญาณแถบกว้างยิ่งยวด (x_c, y_c) สามารถนิยามได้จากพิกัดตำแหน่งที่มีค่าความต่างของลักษณะเฉพาะน้อยที่สุด ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$(x_c, y_c)_k = \frac{\sum_{j=1}^k \left(\arg \min_{x, y} e_f \right)_j}{k} \quad (3.8)$$

3.6 การวิเคราะห์หาความเที่ยงตรงของการหาตำแหน่งด้วยค่าความผิดพลาดระยะทางยูคลีเดียน

การวิเคราะห์หาความเที่ยงตรงของการสร้างลักษณะเฉพาะของสัญญาณแถบกว้างยิ่งยวดนั้นจะพิจารณาในเทอมของค่าความผิดพลาดของระยะทางยูคลีเดียน (Euclidean distance error) [19] โดยกำหนดให้พิกัดตำแหน่ง (x_c, y_c) เป็นพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการสร้างเอกลักษณ์ทดสอบของสัญญาณแถบกว้างยิ่งยวด และกำหนดให้พิกัดตำแหน่ง (x_c, y_c) เป็นพิกัดของเอกลักษณ์ต้นแบบ ค่าความผิดพลาดของระยะทาง e_{d_k} จะสามารถคำนวณได้จาก

$$e_{d_k} = \sqrt{(x_c - x_{c_k})^2 + (y_c - y_{c_k})^2} \quad (3.9)$$

เมื่อ $k=1, 2$ และ 3

โดยในโครงการนี้จะใช้การวิเคราะห์แบบ KNN (K-nearest neighbor) ซึ่ง k คือจำนวนใกล้เคียงกับจุดที่เราสนใจ จะเลือกเอาจุดที่มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

ค่าผิดพลาดระยะทางนี้จะเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ถึงความเที่ยงตรงของการหาตำแหน่งโดยใช้วิธีการสร้างลักษณะเฉพาะของสัญญาณแถบกว้างยิ่งยวด ซึ่งจะมีความเที่ยงตรงมากเมื่อมีค่าความผิดพลาดของระยะทางน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ ซึ่งจะเป็นเรื่องของสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งใช้ส่ง โดยสัญญาณดังกล่าวเป็นสัญญาณซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการจำลองขึ้นตามมาตรฐาน IEEE802.15.3a ซึ่งถูกกำหนดโดย FCC ครอบคลุมช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz จนถึง 10.6 GHz เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ที่ตำแหน่งแบบแถบกว้างยิ่ง จากนั้นได้กล่าวถึงสัญญาณที่รับได้ ซึ่งเกิดจากการนำสัญญาณส่งในโดเมนความถี่คูณเข้ากับช่องสัญญาณซึ่งได้จากการวัดของแต่ละตำแหน่ง ซึ่งสัญญาณที่รับได้จะไปเชื่อมโยงเข้ากับการสร้างพารามิเตอร์ ซึ่งใช้เป็นอินพุตให้กับการหาตำแหน่งภายในอาคาร ซึ่งได้แก่ พารามิเตอร์การสูญเสียเชิงวิถีของวิถีแรกที่มาถึง พารามิเตอร์การประวิงเวลาของวิถีแรก พารามิเตอร์การสูญเสียเชิงวิถี ส่วนท้ายสุดของบทจะเป็นการวิเคราะห์หาความเที่ยงตรงของการหาตำแหน่งแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นการหาค่าความผิดพลาดระหว่างตำแหน่งเอกลักษณ์ทดสอบกับตำแหน่งซึ่งได้จากการหาตำแหน่ง ซึ่งจะถูกใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลต่อไป



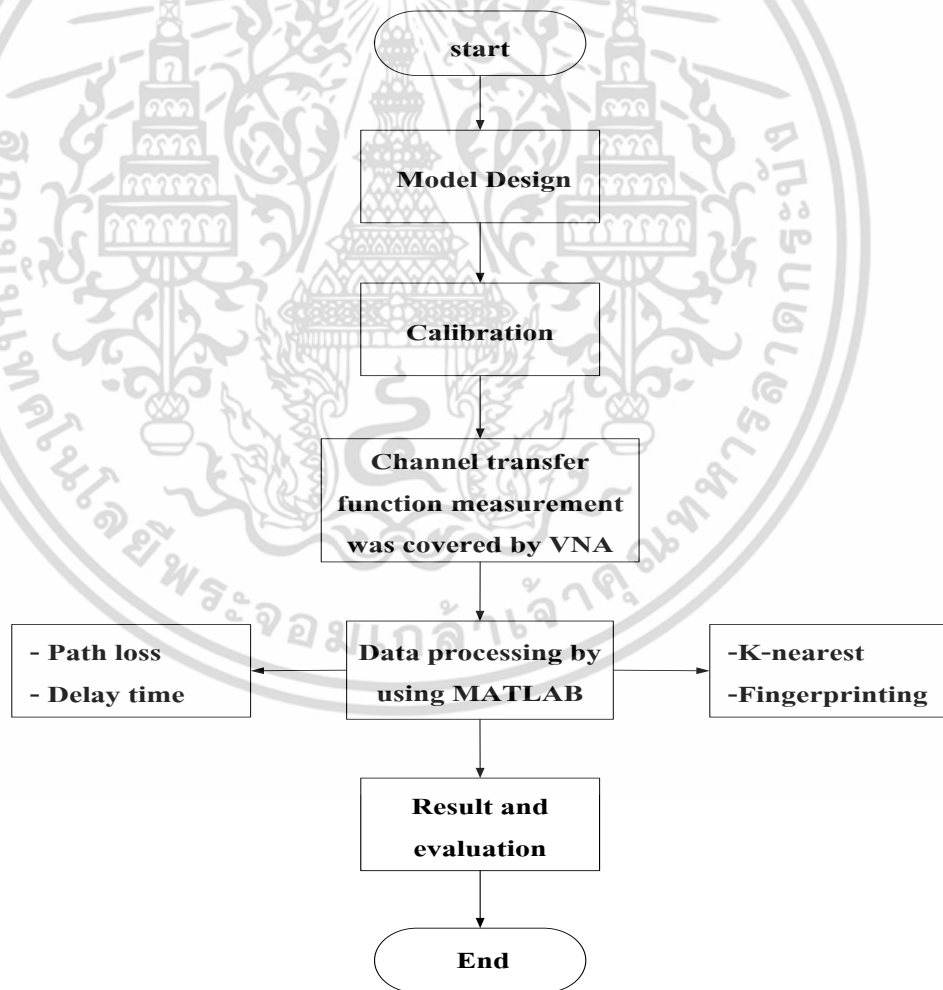
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวัดและขั้นตอนการทดลองวิจัย

4.1 บทนำ

บทนี้กล่าวถึงรายละเอียดและขั้นตอนในการวัดคุณสมบัติของช่องสัญญาณ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector network analyzer: VNA) ซึ่งเป็นการวัดในโดเมนความถี่ โดยทำการวัดหาฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณหรือพารามิเตอร์ $|S_{21}|$ และในการวิเคราะห์จะพิจารณาเป็นฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ โดยในแต่ละแบบจำลองจะแบ่งการวัดออกเป็น 2 ขั้นตอนด้วยกัน คือ ขั้นตอนแรกจะเป็นการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณเพื่อนำมาสร้างแบบรูปตำแหน่งของสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง และในขั้นตอนที่สองจะเป็นการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณเพื่อนำมาสร้างแบบรูปตำแหน่งทดสอบของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ซึ่งรูปแบบการทดลองสามารถแสดงได้ดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แบบแผนการวัดในการหาตำแหน่งด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัด

4.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

ในการทดลองวิจัยนี้การวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งนั้นจะใช้เครื่องมือสำคัญที่ใช้วัดคุณสมบัติช่องสัญญาณคือ เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ VNA โดยทำการวัดหาสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของช่องสัญญาณ (Transmission coefficient) หรือพารามิเตอร์ $|S_{21}|$ และในการวิเคราะห์จะพิจารณาเป็นฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 4.2 อันประกอบไปด้วย เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์รุ่น HP-8510C ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย (S-Parameter test set) รุ่น HP-8514B และตัวสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-83620A ซึ่งจะถูกควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ที่เชื่อมต่อผ่านพอร์ต GPIB (General Purpose Interface Bus) โดยอุปกรณ์ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถตรวจวัดสัญญาณในโครงข่ายหนึ่งพอร์ตหรือสองพอร์ต ซึ่งในการทดลองนี้จะเป็นการวัดช่องสัญญาณแบบสองพอร์ตโดยพอร์ตที่หนึ่งคือพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ (Tx) ในขณะที่พอร์ตที่สองจะใช้ในการรับสัญญาณ (Rx) โดยที่ปลายของพอร์ตทั้งสองจะถูกต่อเข้ากับสายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna) ซึ่งจะได้ผลที่วัดมาในค่าของโดเมนความถี่และนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป



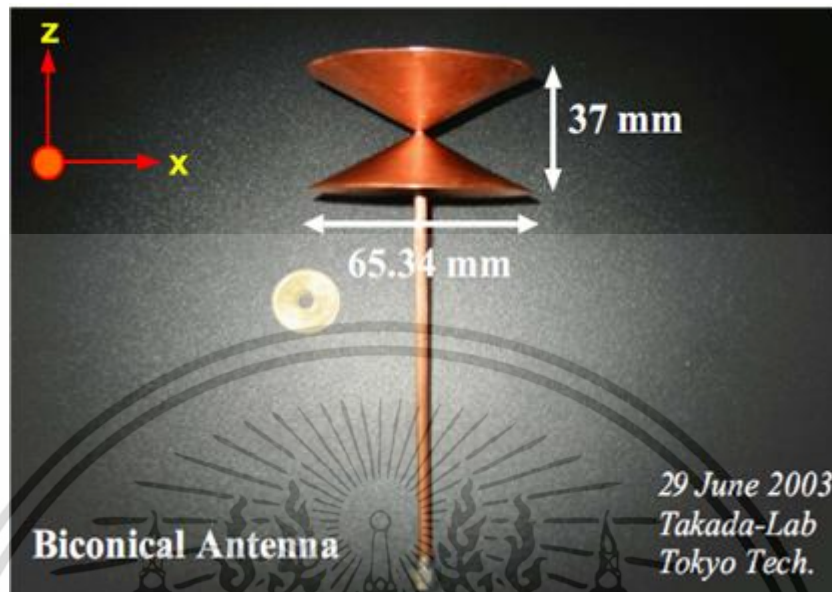
รูปที่ 4.2 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย

4.2.2 สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical Antenna)

สายอากาศแบบกรวยคู่เป็นสายอากาศที่ถูกนำมาใช้ในการทดลองโดยมีคุณสมบัติการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางในมุมกวาด (Azimuth) มีอัตราการขยาย (Gain) อยู่ในช่วง 1.5 dBi ถึง 15.0 dBi มีช่วงความถี่การแผ่กระจายที่กว้างครอบคลุมช่วงความถี่ที่ใช้วัด ลักษณะของเฟสมีความเป็นเชิงเส้นที่มาก ซึ่งการทดลองนี้จะใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ทั้งทางด้านรับและด้านส่ง รูปที่ 4.3

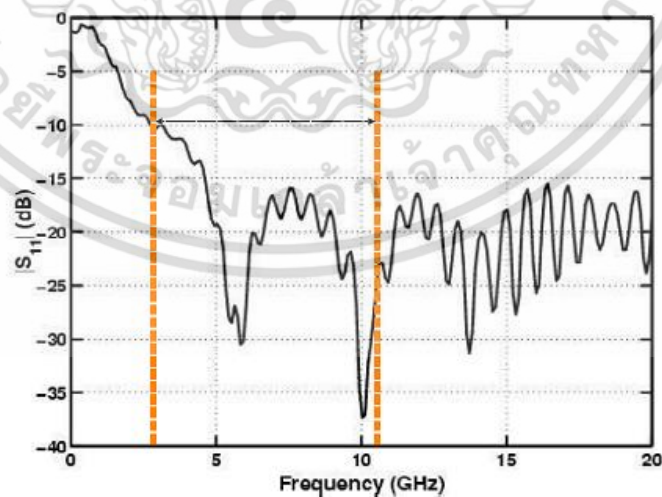
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในห้องปฏิบัติการเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นว่าเป็นประโยชน์ในการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงโครงสร้างของสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ฐานของแต่ละกรวยเป็น 65.34 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างฐานกรวยทั้งสองเป็น 37 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.3 โครงสร้างของสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ในการทดลองวิจัย [11]

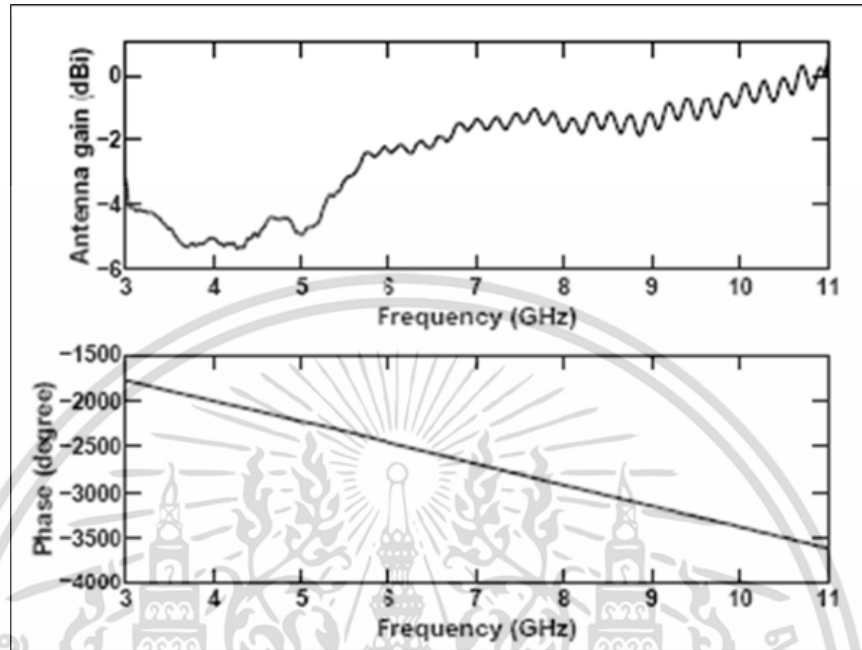
รูปที่ 4.4 แสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Reflection coefficient) $|S_{11}|$ ของสายอากาศกรวยคู่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในช่วงความถี่ของแถบกว้างยิ่งคือช่วงตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับมีค่าต่ำกว่า -10 dB ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสายอากาศแบบกรวยคู่สามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในย่านความถี่แบบแถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 4.4 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $|S_{11}|$ ของสายอากาศแบบกรวยคู่

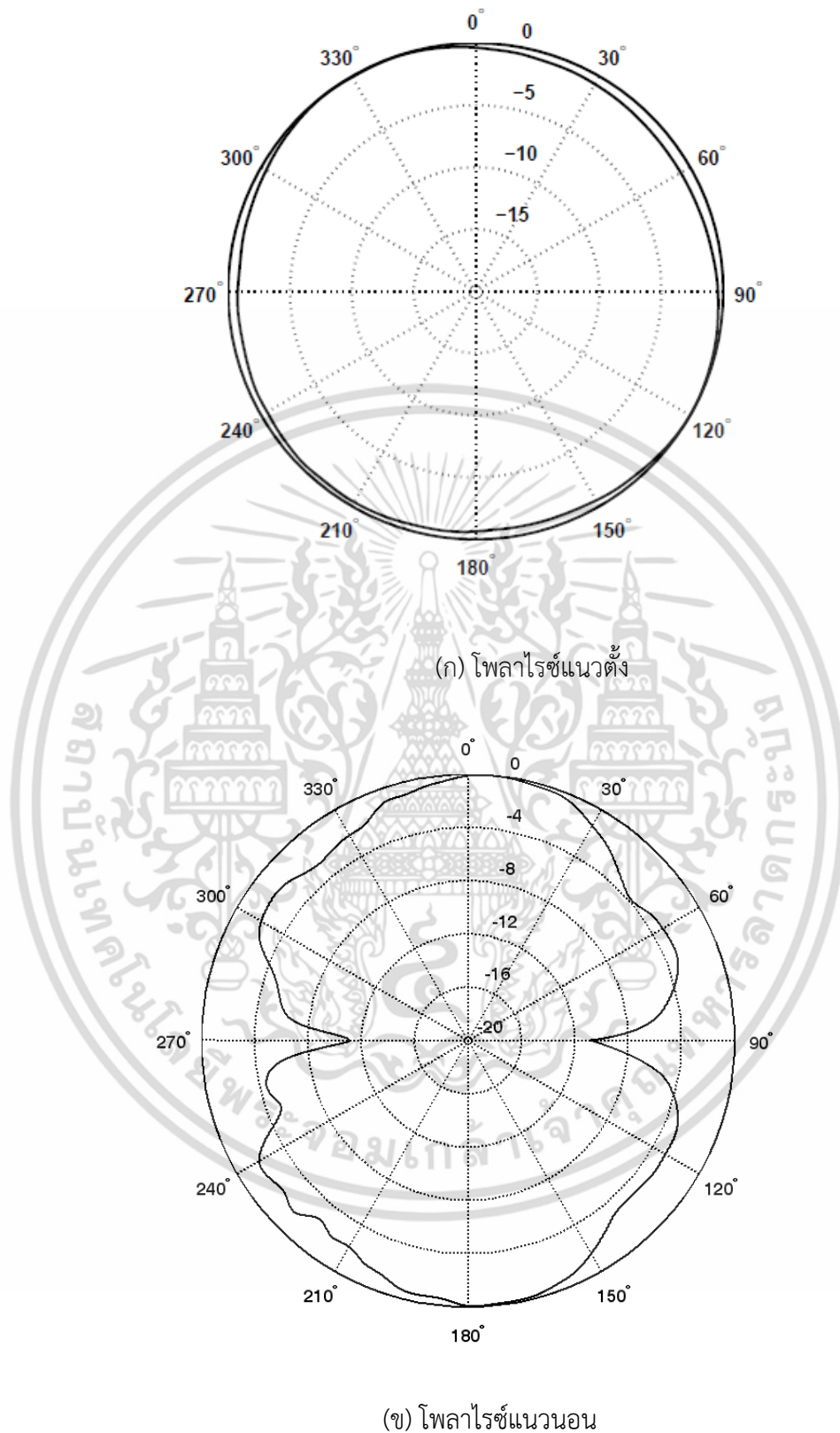
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะสำคัญของสายอากาศที่สำคัญนอกจากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับแล้วก็คือขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศ รูปที่ 4.5 แสดงถึงขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ในการทดลองวิจัย



รูปที่ 4.5 ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศแบบกรวยคู่

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศกรวยคู่ ณ ความถี่ 6.85 GHz รูปที่ 4.6 (ก) แสดงถึงการโพลาไรซ์แนวตั้ง จะเห็นว่าลักษณะการแพร่กระจายคลื่นจะมีทิศทางการแพร่กระจายแบบรอบทิศทาง รูปที่ 4.6 (ข) แสดงถึงการโพลาไรซ์แนวนอน จะเห็นว่าลักษณะการแพร่กระจายคลื่นจะมีทิศทางการแพร่กระจายที่ด้านหน้าและด้านหลัง



รูปที่ 4.6 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศกรวยคู่ ณ ความถี่ 6.85 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณ

ในการทดลองวิจัยสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการได้แบ่งแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณออกเป็น 2 แบบจำลองด้วยกัน ในส่วนแรกจะเป็นการวัดคุณสมบัติของช่องเพื่อนำมาสร้างเป็นลายนิ้วมือต้นแบบหรือฐานข้อมูลของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง และในส่วนที่สองจะเป็นการวัดคุณสมบัติของช่องเพื่อนำมาสร้างเป็นลายนิ้วมือทดสอบของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ดังนี้

ในแบบจำลองนี้ เราได้ทำการวัดที่อาคาร E12 ชั้นที่ 12 ห้อง E12-1207 และได้ทำการวัดใน 3 ช่วงความถี่ ได้แก่ 3.1-10.6 GHz, 3.244-4.742 GHz และ 5.944-10.234 GHz โดยใช้จำนวนจุดความถี่ 801 จุด แบบจำลองนี้ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ทั้งทางด้านส่งและทางด้านรับ โดยวางสายอากาศทั้งด้านส่งและรับในแนวตั้ง โดยในแบบจำลองนี้แนวการวางสายอากาศด้านส่งจะทำการวางสายอากาศไว้บริเวณจุดกลางของทางเดิน โดยที่ความสูงของสายอากาศเป็น 1 เมตรทั้งทางด้านส่งและด้านรับ ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบทดลองนี้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองวิจัย

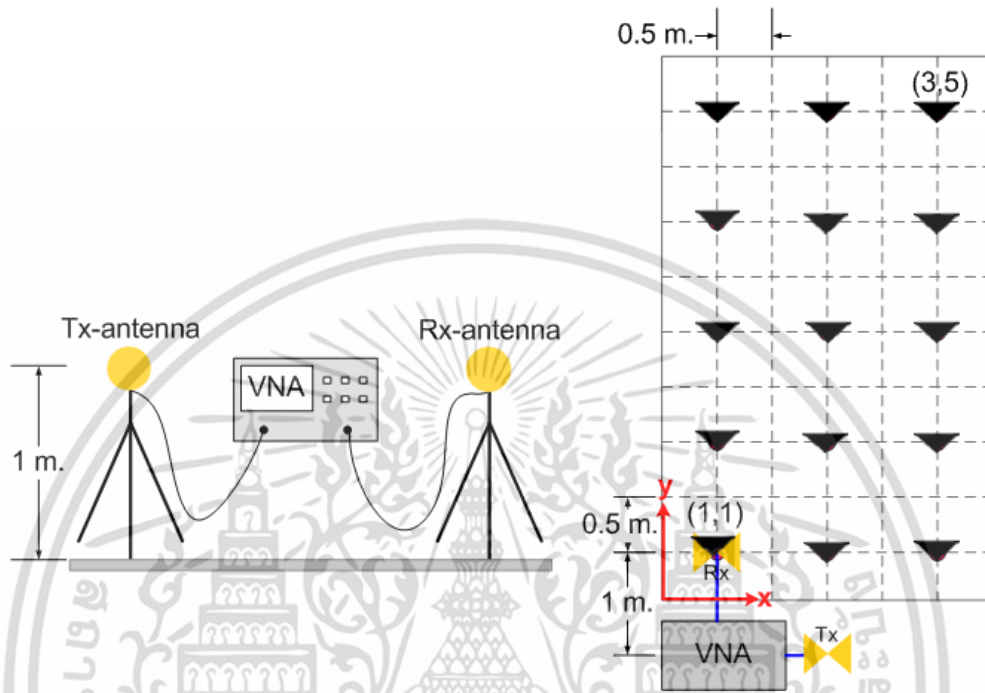
พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ทดสอบ
ช่วงความถี่	
Full Band	3.1-10.6 GHz
Low Band	3.244 -4.742 GHz
High Band	5.944-10.234 GHz
จำนวนจุดความถี่	801 จุด
ชนิดสายอากาศ	กรวยคู่, โมโนโพล
การวางสายอากาศทางด้านส่งและทางด้านรับ	แนวตั้ง
ความสูงของสายอากาศด้านส่งและรับ (Tx,Rx)	1 m
จำนวนจุดของการวัด	
- เอกลักษณ์ต้นแบบ (Training)	15 จุด
- เอกลักษณ์ทดสอบ (Testing)	45 จุด

สำหรับการวัดคุณสมบัติช่องสัญญาณเพื่อนำมาสร้างเป็นแบบรูปตำแหน่งต้นแบบของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง โดยทำการวัดทั้งหมด 15 จุด โดยในแต่ละจุดห่างกันในแนวแกน x และ y เป็นระยะทาง 1 เมตร โดยแสดงดังรูปที่ 4.7 ในส่วนการวัดคุณสมบัติช่องสัญญาณเพื่อนำมาสร้างเป็นแบบรูปตำแหน่งทดสอบของสัญญาณแถบกว้างยิ่งรูปที่ 4.8 โดยทำการวัดทั้งหมด 45 จุด โดยในแต่ละจุดห่างกันในแนวแกน x และ y เป็นระยะทาง 0.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณเพื่อสร้างเอกลักษณ์ต้นแบบ

สำหรับการวัดคุณสมบัติช่องสัญญาณเพื่อนำมาสร้างเป็นเอกลักษณ์ต้นแบบ หรือ Training ของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง โดยทำการวัดทั้งหมด 15 จุด โดยในแต่ละจุดห่างกันในแนวแกน x และ y เป็นระยะทาง 1 m โดยแสดงดังรูปที่ 4.7

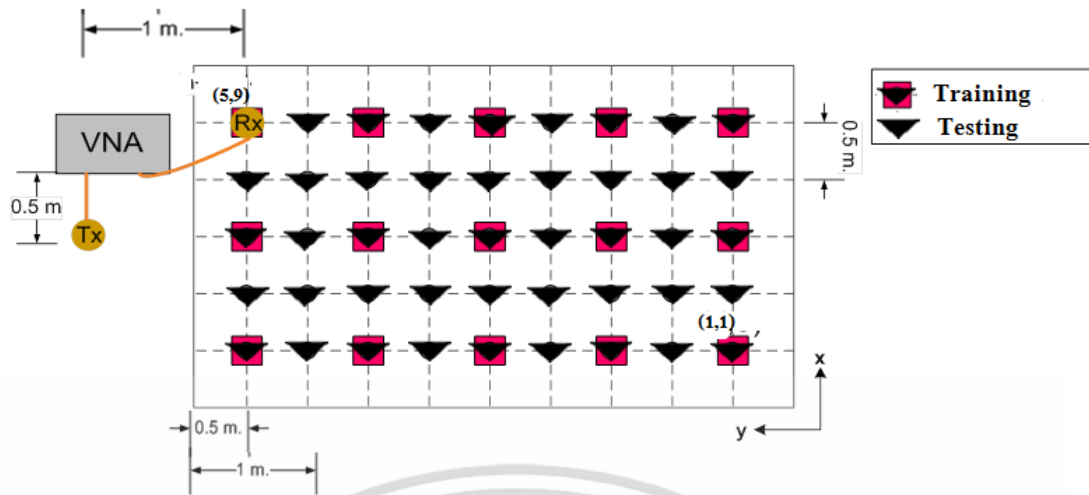


รูปที่ 4.7 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณเพื่อนำมาสร้างเป็นเอกลักษณ์ต้นแบบ หรือ Training

4.3.2 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณเพื่อสร้างเอกลักษณ์ทดสอบ

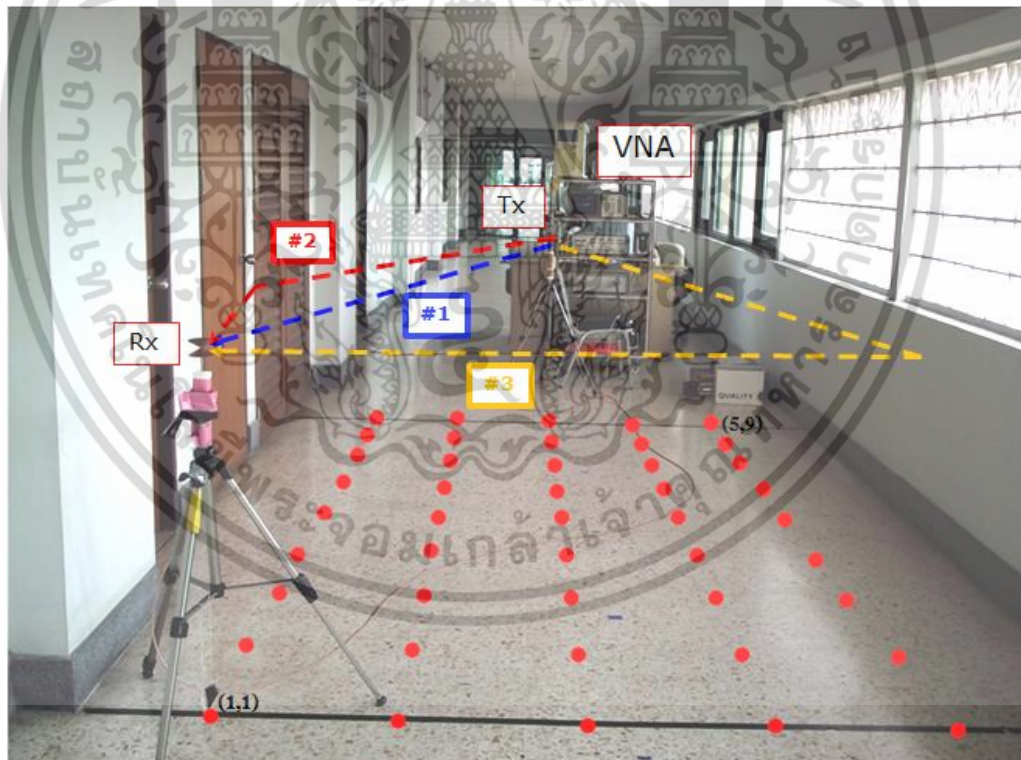
ในส่วนการวัดคุณสมบัติช่องสัญญาณเพื่อนำมาสร้างเป็นเอกลักษณ์ทดสอบของสัญญาณแถบกว้างยิ่งรูปที่ 4.8 โดยทำการวัดทั้งหมด 45 จุด โดยในแต่ละจุดห่างกันในแนวแกน x และ y เป็นระยะทาง 0.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณเพื่อนำมาสร้างเป็นเอกลักษณ์ทดสอบ หรือ Testing

4.3.3 สถานที่ที่ใช้ในการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง ทำการวัดที่อาคาร E12 ชั้นที่12 ห้อง E12-1207 บริเวณทางเดิน



รูปที่ 4.9 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่วัดจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองวิจัย

5.1 บทนำ

ในทดลองวิจัยนี้ได้กำหนดให้สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมซึ่งสามารถสร้างได้จากสมการ (3.1) และ (3.2) โดยที่แอมพลิจูดสูงสุดมีค่าเป็น 1 V ความถี่ที่ใช้ทำการวัดมี 3 ช่วงความถี่ด้วยกัน ได้แก่ 3.1-10.6 GHz, 3.244-4.742 GHz และ 5.944-10.234 GHz

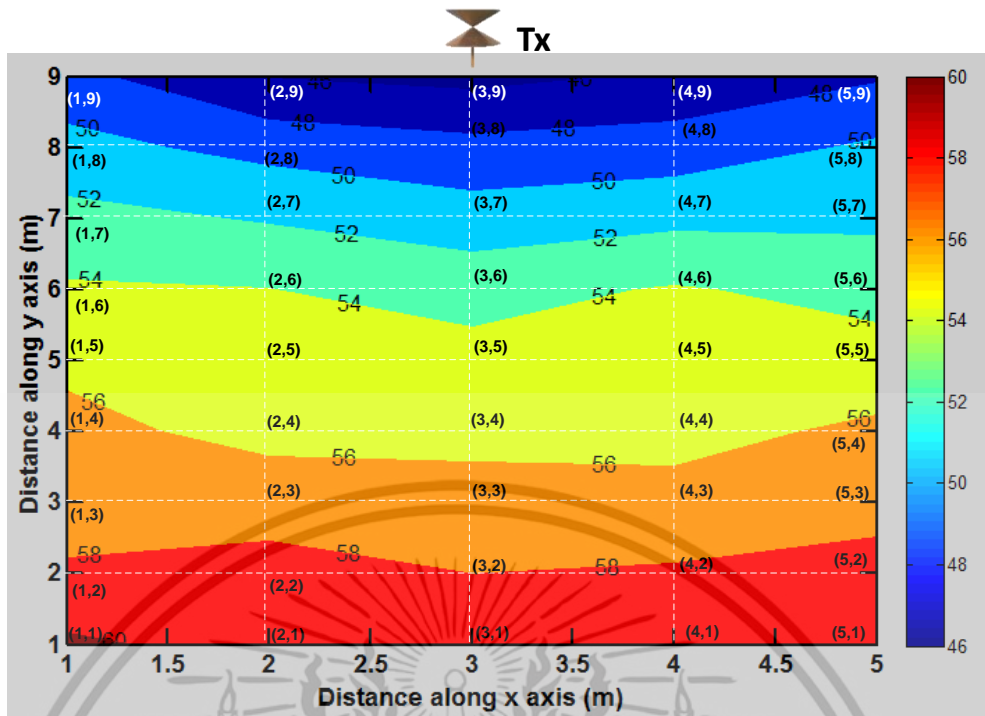
ในบทนี้ได้แสดงผลของการเก็บข้อมูล ที่ได้ทำการวัดเพื่อเก็บค่าพารามิเตอร์การสูญเสียเชิงวิถี และการประวิงเวลาของสัญญาณที่รับได้ในบริเวณพื้นที่ที่ต้องการหาตำแหน่งทั้งหมดมาสร้างเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่งของสัญญาณแถบกว้างยิ่งเก็บเป็นฐานข้อมูลก่อนโดยในการเก็บค่าพารามิเตอร์นั้นจะพิจารณาสัญญาณที่มีความแรงสูงสุด จากนั้นได้ใช้การวิเคราะห์อัลกอริทึมแบบ KNN ในการสร้างรูปแบบการหาตำแหน่งด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่งด้วย และในขั้นตอนสุดท้ายจะวิเคราะห์ประสิทธิภาพความแม่นยำและประเมินผลของการหาตำแหน่งด้วยค่าความผิดพลาดระยะทางยูคลิเดียน และแสดงผลในรูปแบบ CDF ของค่าความผิดพลาดของระยะทางที่ได้จากการวิเคราะห์แบบ KNN

5.2 ผลจากการวิเคราะห์และประเมินผลโดยใช้เทคนิค KNN

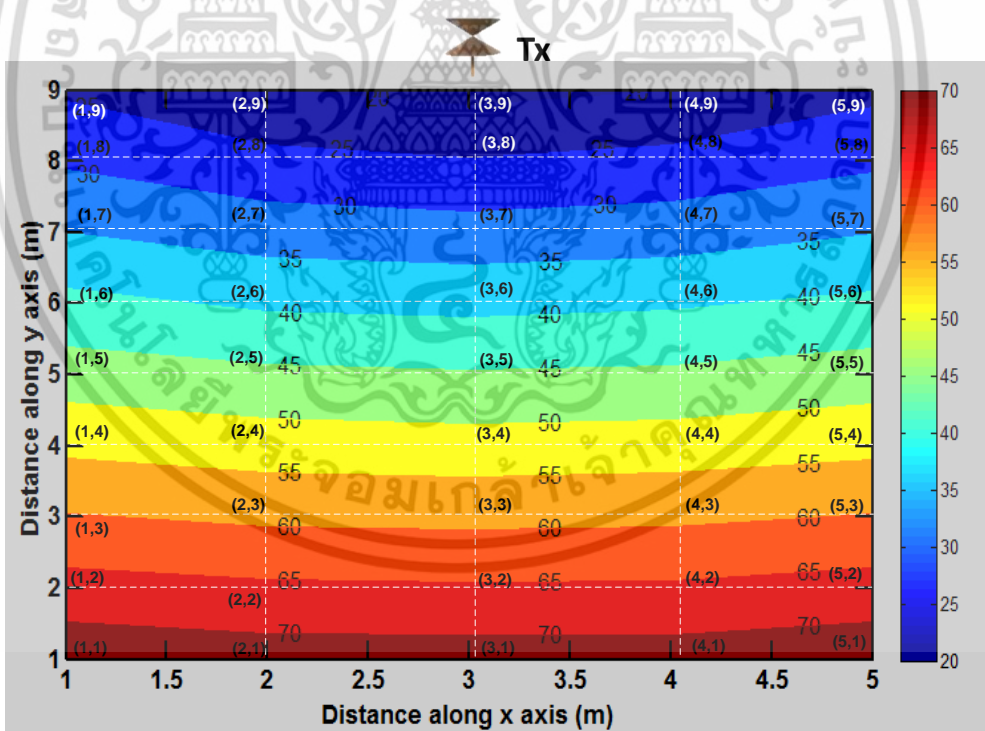
สำหรับแบบจำลองนี้ได้ทำการทดลองวิจัยวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณเพื่อนำมาสร้างลักษณะเฉพาะของการหาตำแหน่งด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ซึ่งจะทำให้การหาตำแหน่งโดยใช้วิธีแบบรูปการหาตำแหน่งด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง โดยจะมีการวางสายอากาศแนวตั้งทั้งทางด้านส่งและด้านรับ (Vertical Polarization) บริเวณทางเดิน

5.2.1 ผลการทดลองในช่วงความถี่ Low Band 3.244-4.742 GHz

จากรูปค่าการสูญเสียเชิงวิถีและการประวิงเวลาช่วง Low Band ที่ 3.244-4.742 GHz ดังรูปที่ 5.1 (a) แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถี จากข้อมูลการสูญเสียเชิงวิถีที่วัดได้ จะมีค่าอยู่ในช่วง 46 dB ถึง 60 dB รูปที่ 5.1 (b) แสดงข้อมูลการประวิงเวลา จากข้อมูลการประวิงเวลาที่วัดได้ จะมีค่าอยู่ในช่วง 20 ns ถึง 70 ns



a) Path loss (dB)

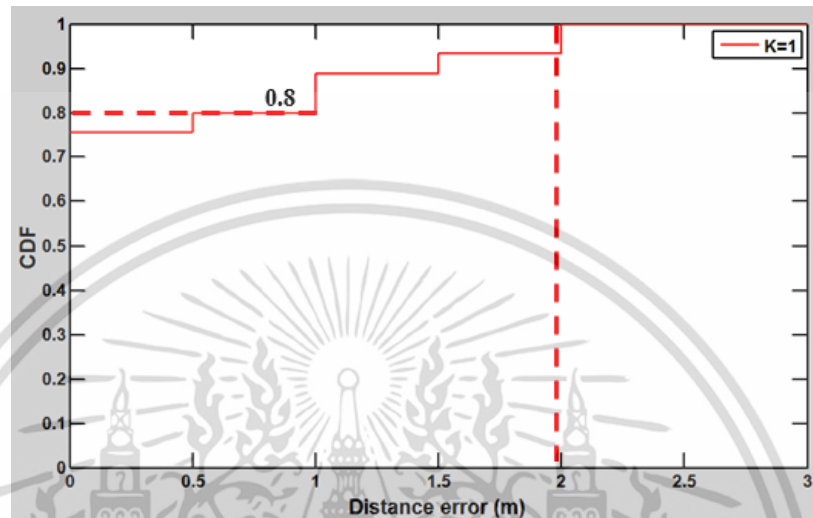


b) Delay Time (ns)

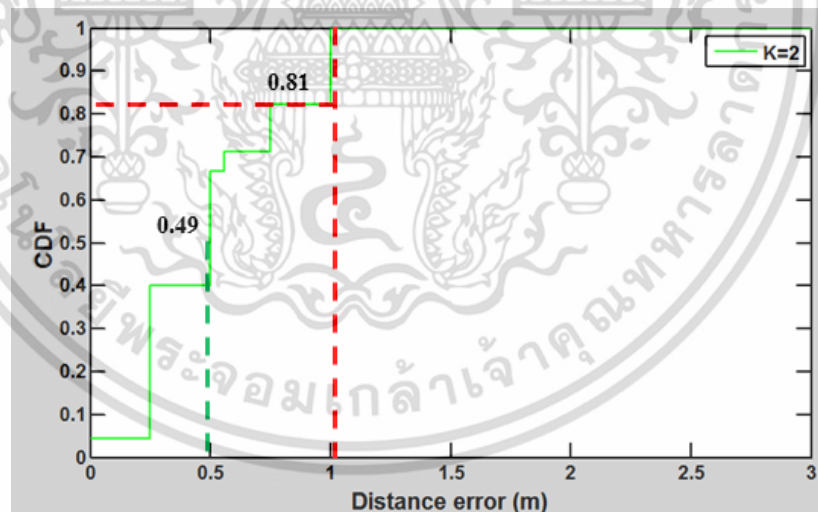
รูปที่ 5.1 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีและการประวิงเวลาช่วง Low Band

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.2 แสดง CDF ของความผิดพลาดระยะทางที่เกิดขึ้นจากการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยั้งร่วมกับวิธีการ KNN จากผลการทดลองวิจัยจะพบว่าที่
 $k = 1$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่ 0.31 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 2.00 m
 $k = 2$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่ 0.49 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 1.16 m
 $k = 3$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่ 0.51 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 1.21 m

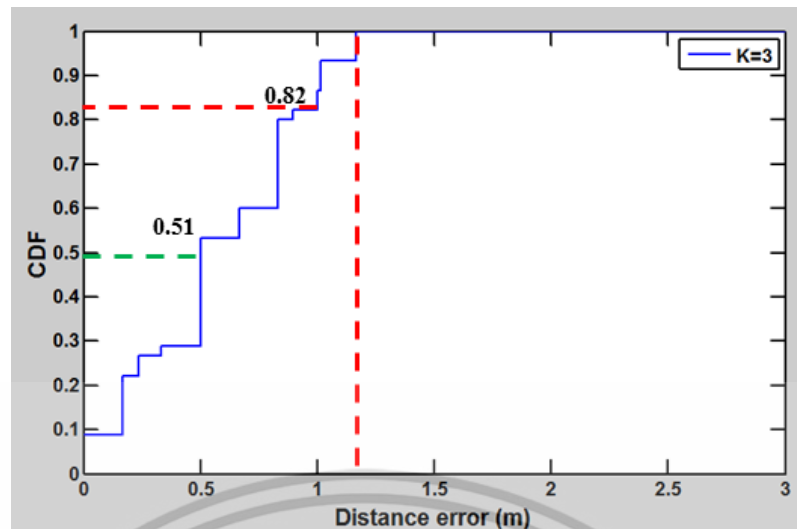


a) ผลการวิเคราะห์ค่าผิดพลาดเมื่อพิจารณาที่ $K=1$



b) ผลการวิเคราะห์ค่าผิดพลาดเมื่อพิจารณาที่ $K=2$

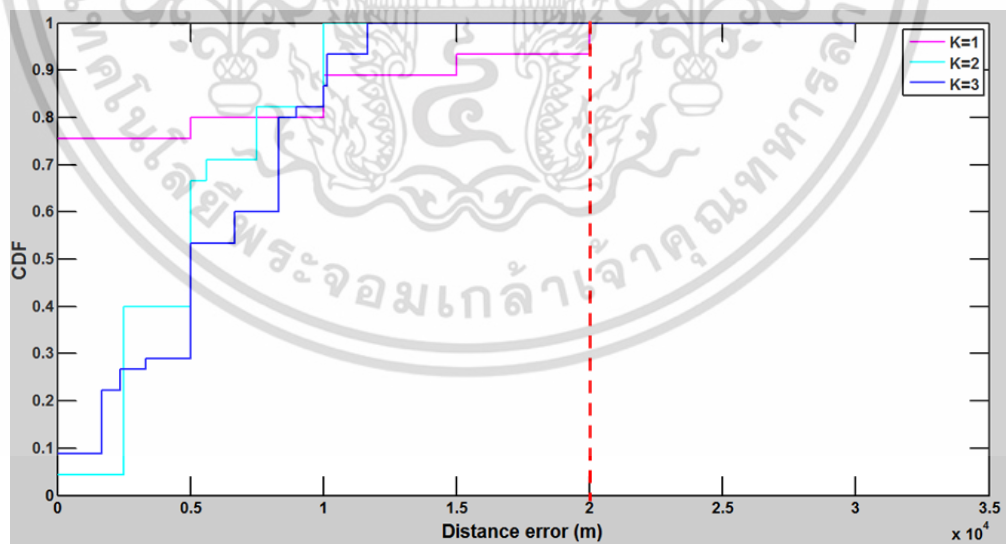
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



c) ผลการวิเคราะห์ค่าผิดพลาดเมื่อพิจารณาที่ $K=3$

รูปที่ 5.2 แสดง CDF ของความผิดพลาดระยะทางที่เกิดขึ้นในช่วง Low Band

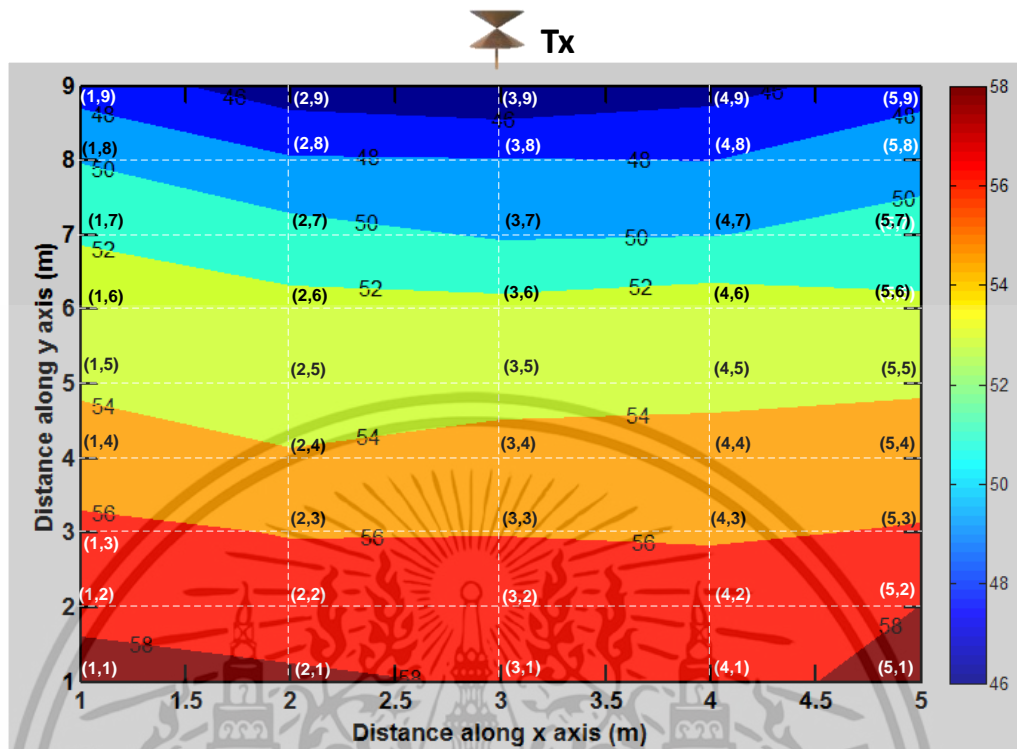
และในรูปที่ 5.3 แสดง CDF ของความผิดพลาดระยะทางที่เกิดขึ้นจากการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่งร่วมกับวิธีการ KNN สรุปได้ว่า ในช่วงความถี่ Low Band 3.244-4.742 GHz ที่ $k=1$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดต่ำที่สุดคือที่ 0.31 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 2.00 m และ $k=3$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดมากที่สุดที่ 0.58 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 1.16 m



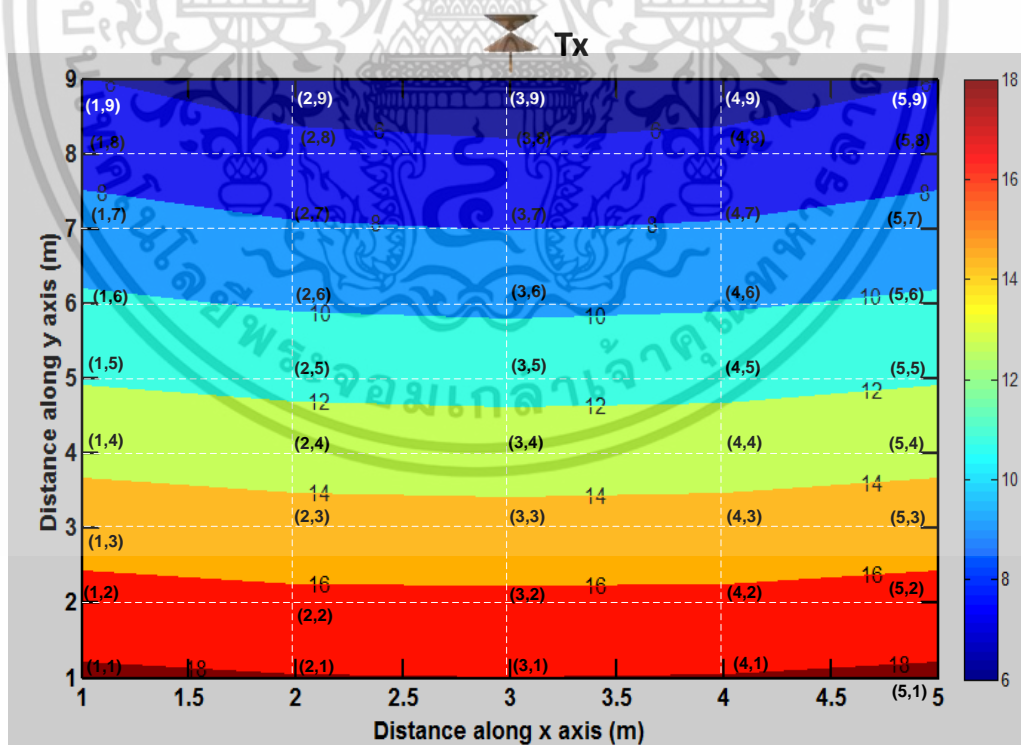
รูปที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ค่าผิดพลาดช่วง Low Band ที่ $k=1, 2$ และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 ผลการทดลองในช่วงความถี่ High Band 5.944-10.234 GHz



a) Path loss (dB)



b) Delay Time (ns)

รูปที่ 5.4 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีและการประวิงเวลาช่วง High Band

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

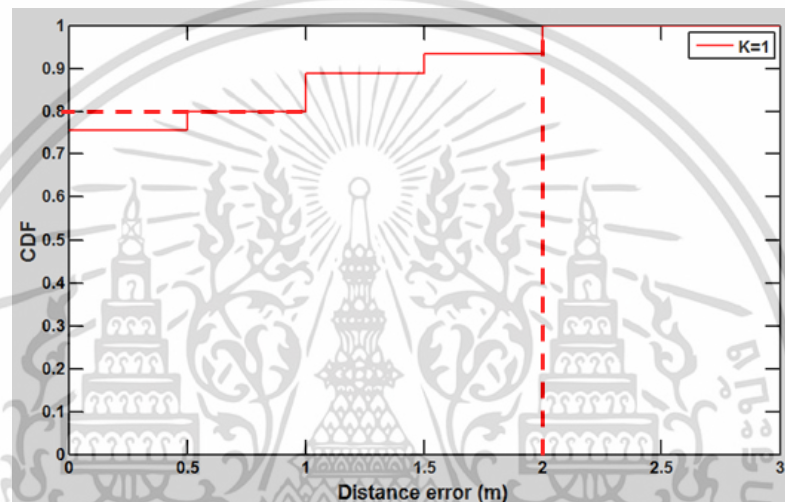
จากรูปค่าการสูญเสียเชิงวิถีและการประวิงเวลาช่วง High Band รูปที่ 5.4 (a) แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถี จากข้อมูลการสูญเสียเชิงวิถีที่วัดได้ จะมีค่าอยู่ในช่วง 46 dB ถึง 58 dB และรูปที่ 5.4 (b) แสดงข้อมูลการประวิงเวลา จากข้อมูลการประวิงเวลาที่วัดได้ จะมีค่าอยู่ในช่วง 6 ns ถึง 18 ns

รูปที่ 5.5 แสดง CDF ของความผิดพลาดระยะทางที่เกิดขึ้นจากการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่งร่วมกับวิธีการ KNN จากผลการทดลองวิจัยจะพบว่าที่

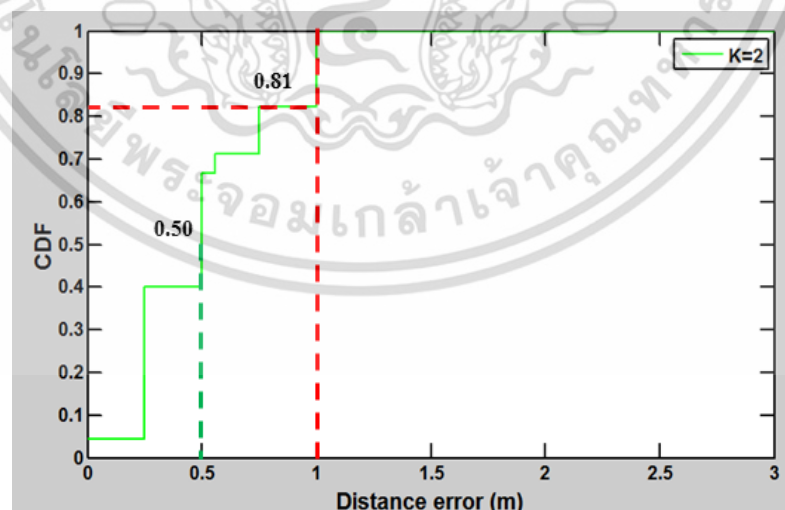
$k=1$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่ 0.33 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 2.00 m

$k=2$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่ 0.50 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 1.10 m

$k=3$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่ 0.49 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 1.24 m

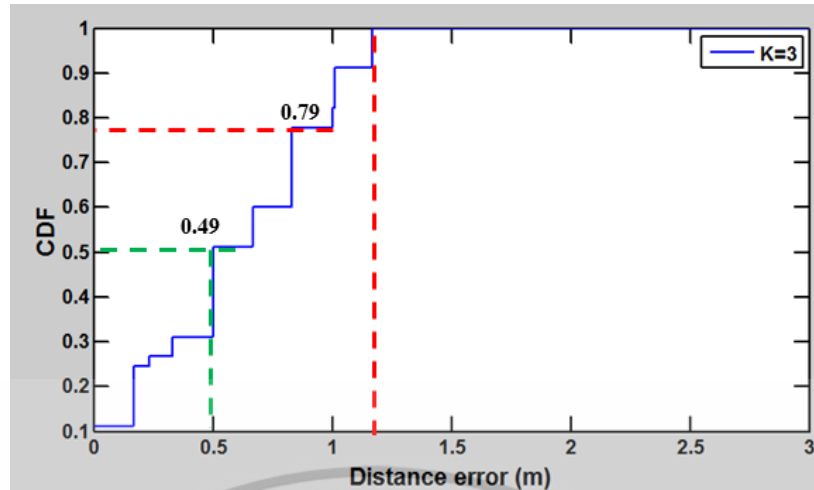


a) ผลการวิเคราะห์ค่าผิดพลาดเมื่อพิจารณาที่ $K=1$



b) ผลการวิเคราะห์ค่าผิดพลาดเมื่อพิจารณาที่ $K=2$

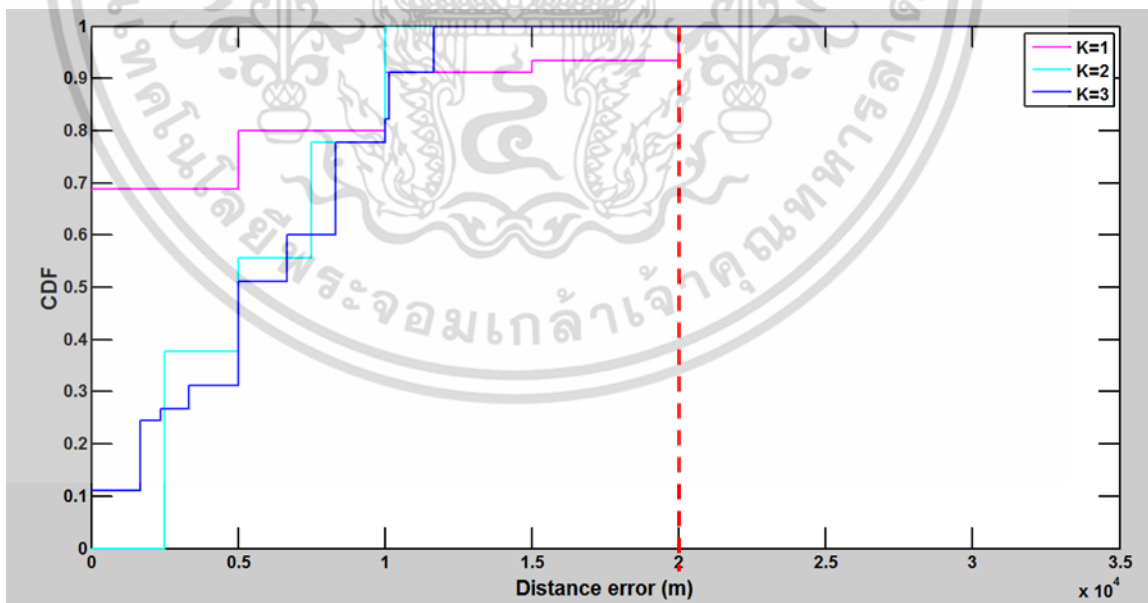
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



c) ผลการวิเคราะห์ค่าผิดพลาดเมื่อพิจารณาที่ $K=3$

รูปที่ 5.5 แสดง CDF ของความผิดพลาดระยะทางที่เกิดขึ้นในช่วง High Band

และในรูปที่ 5.6 แสดง CDF ของความผิดพลาดระยะทางที่เกิดขึ้นจากการหาค่าตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่งร่วมกับวิธีการ KNN สรุปได้ว่า ในช่วงความถี่ High Band 5.944-10.234 GHz ที่ $k=1$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดต่ำที่สุดคือที่ 0.33 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 2.00 m และ $k=2$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดมากที่สุดที่ 0.50 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 1.24 m

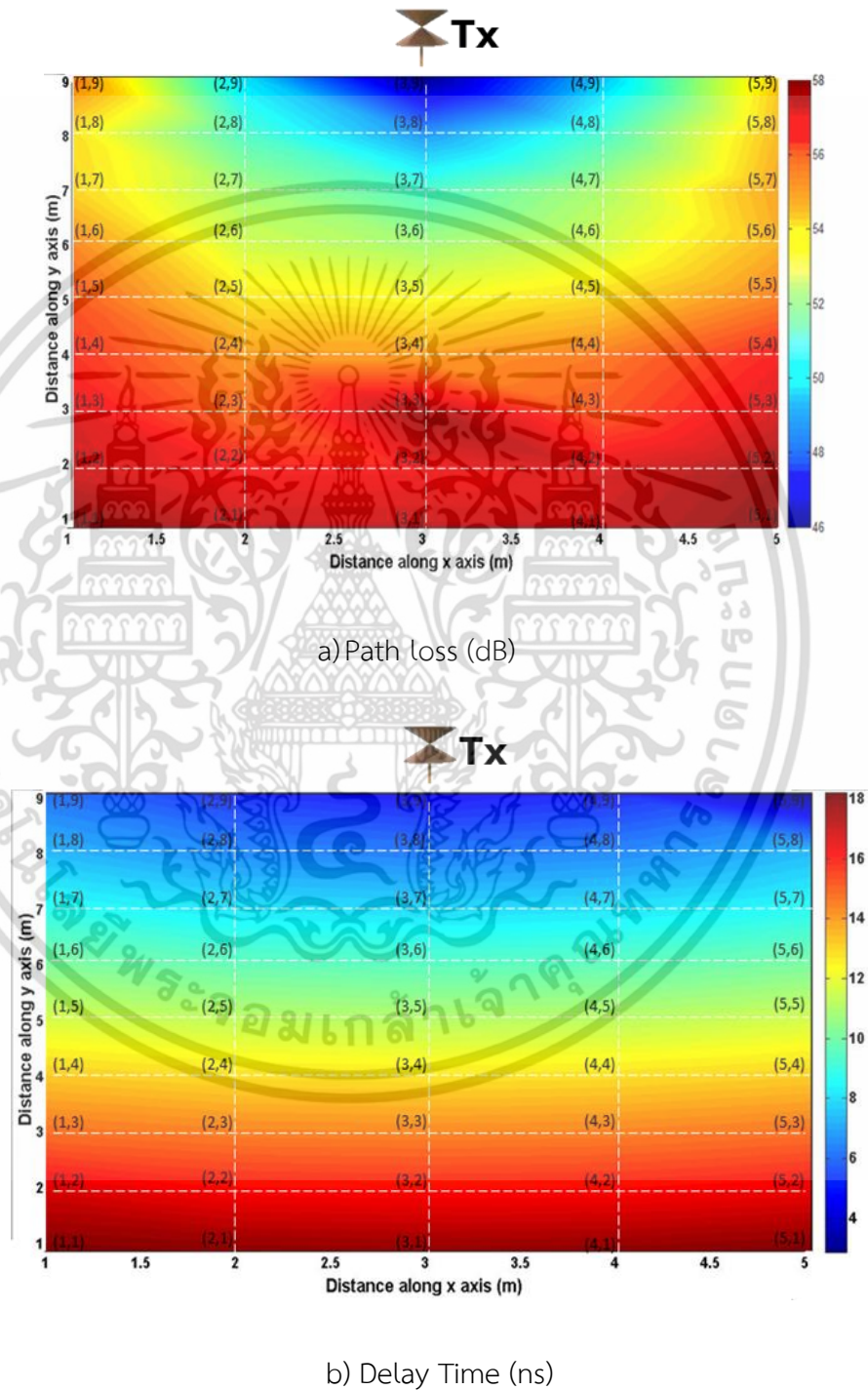


รูปที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์ค่าผิดพลาดช่วง High Band ที่ $k=1, 2$ และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 ผลการทดลองในช่วงความถี่ Full Band 3.1-10.6 GHz

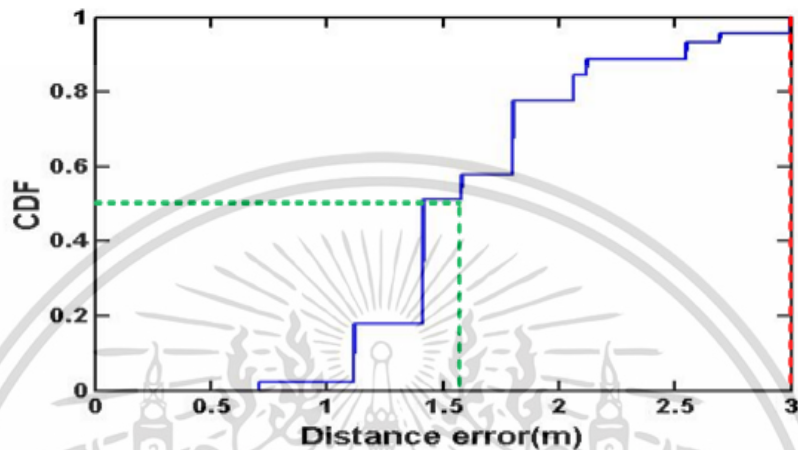
จากรูปค่าการสูญเสียเชิงวิถีและการประวิงเวลาช่วง Full Band รูปที่ 5.7 (a) แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถี จากข้อมูลการสูญเสียเชิงวิถีที่วัดได้ จะมีค่าอยู่ในช่วง 46 dB ถึง 58 dB และรูปที่ 5.7 (b) แสดงข้อมูลการประวิงเวลา จากข้อมูลการประวิงเวลาที่วัดได้ จะมีค่าอยู่ในช่วง 3 ns ถึง 18 ns



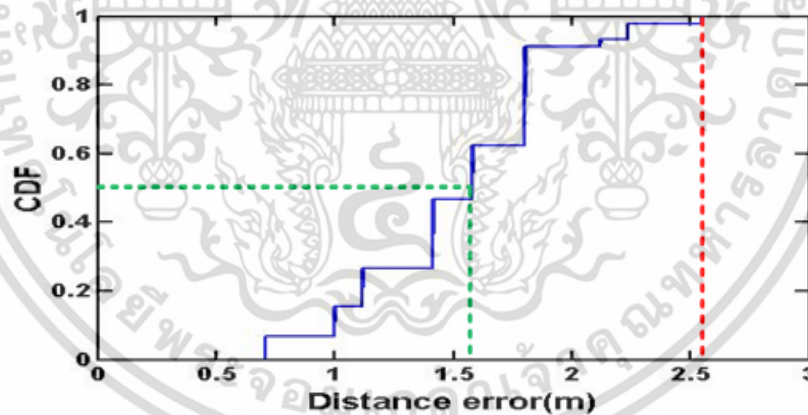
รูปที่ 5.7 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีและการประวิงเวลาช่วง Full Band

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.8 แสดง CDF ของความผิดพลาดระยะทางที่เกิดขึ้นจากการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่งร่วมกับวิธีการ KNN จากผลการทดลองวิจัยจะพบว่าที่
 $k = 1$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่ 1.67 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 1.52 m
 $k = 2$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่ 1.51 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 1.51 m
 $k = 3$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่ 1.48 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 2.24 m

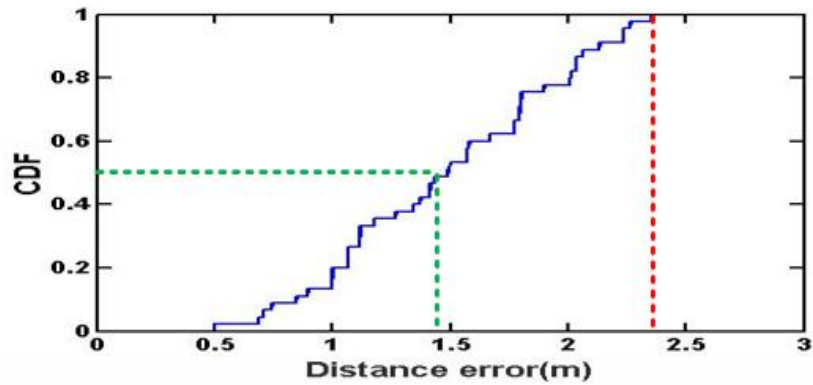


a) ผลการวิเคราะห์ค่าผิดพลาดเมื่อพิจารณาที่ $K=1$



b) ผลการวิเคราะห์ค่าผิดพลาดเมื่อพิจารณาที่ $K=2$

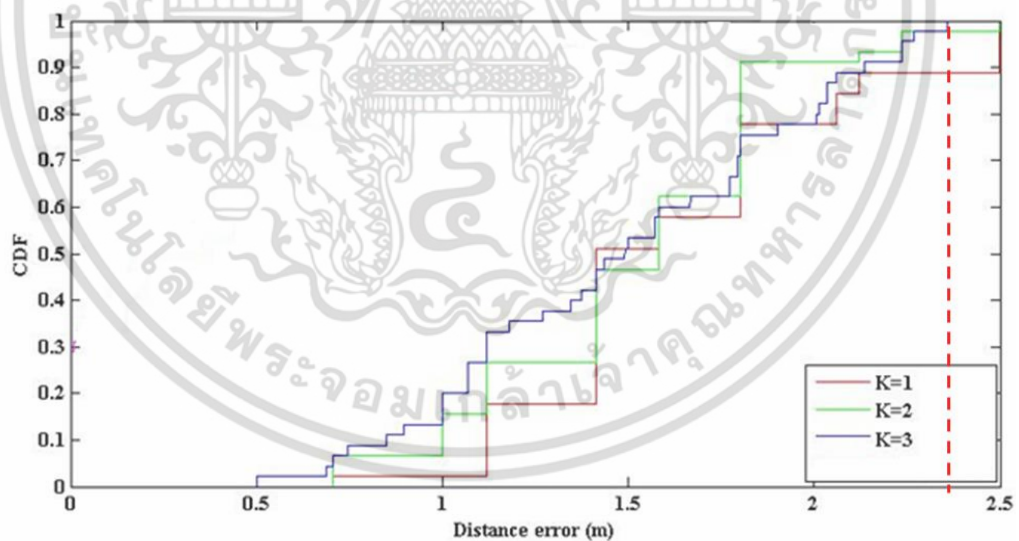
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



c) ผลการวิเคราะห์ค่าผิดพลาดเมื่อพิจารณาที่ $K=3$

รูปที่ 5.8 แสดง CDF ของความผิดพลาดระยะทางที่เกิดขึ้นในช่วง Full Band

และในรูปที่ 5.9 แสดง CDF ของความผิดพลาดระยะทางที่เกิดขึ้นจากการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่งร่วมกับวิธีการ KNN สรุปได้ว่า ในช่วงความถี่ Full Band 3.1-10.6 GHz ที่ $k=1$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดมากที่สุดที่ 1.67 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 1.52 m และ $k=3$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดต่ำที่สุดที่ 1.48 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 2.24 m



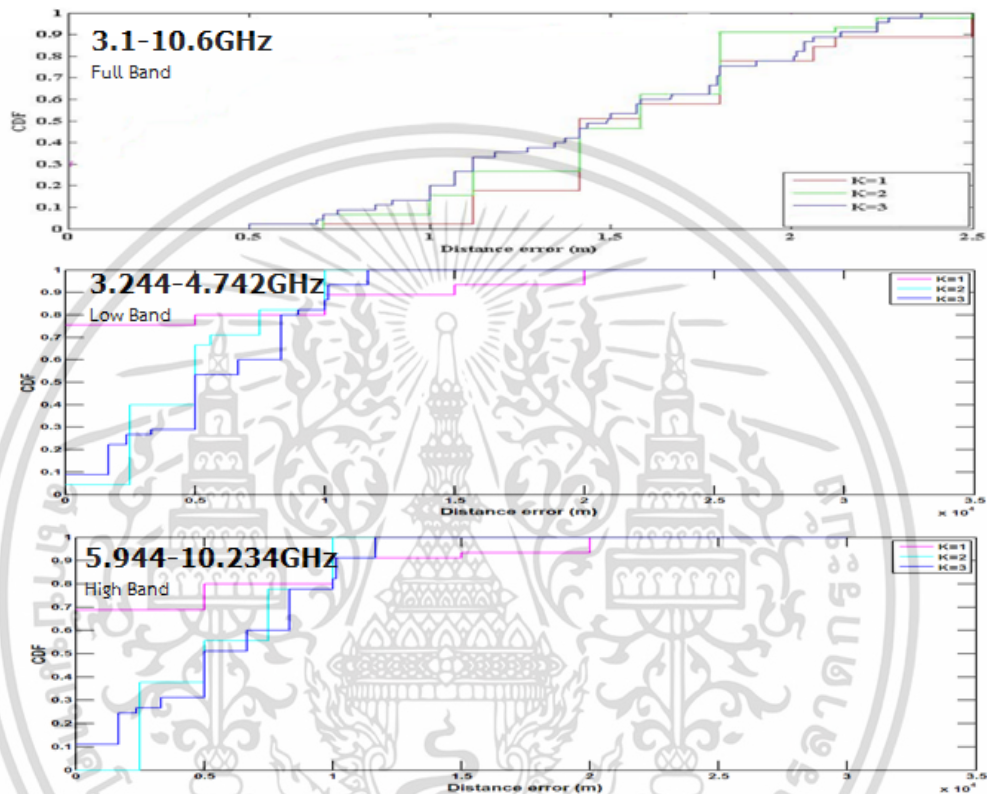
รูปที่ 5.9 ผลการวิเคราะห์ค่าผิดพลาดช่วง Full Band ที่ $k=1, 2$ และ 3

5.2.4 ผลการวิเคราะห์ความเที่ยงตรง

จากรูปที่ 5.10 สรุปได้ดังต่อไปนี้ ในช่วงความถี่ Low Band 3.244-4.742 GHz ที่ $k=1$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดต่ำที่สุดคือที่ 0.31 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 2.00 m และ $k=3$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดมากที่สุดที่ 0.58 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 1.16 m เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงความถี่ High Band 5.944-10.234 GHz ที่ $k = 1$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดต่ำที่สุดคือที่ 0.33 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 2.00 m และ $k = 2$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดมากที่สุดที่ 0.50 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 1.24 m

ในช่วงความถี่ Full Band 3.1-10.6 GHz ที่ $k = 1$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดมากที่สุดที่ 1.67 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 1.52 m และ $k = 3$ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดต่ำที่สุดที่ 1.48 m และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 2.24 m



รูปที่ 5.10 แสดงความผิดพลาดระยะทางด้วยฟังก์ชันการแจกแจงสะสมทั้ง 3 ช่วงความถี่

5.3 สรุปผลการทดลอง

ในทดลองวิจัยนี้ได้กำหนดให้สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมซึ่งสามารถสร้างได้จากสมการ (3.1) และ (3.2) โดยที่แอมพลิจูดสูงสุดมีค่าเป็น 1 V ความถี่ที่ใช้ทำการวัดมี 3 ช่วงความถี่ด้วยกัน ได้แก่ 3.1-10.6 GHz, 3.244-4.742 GHz และ 5.944-10.234 GHz

จากการวิจัยการประเมินผลของการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่งร่วมกับวิธีการ KNN และทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพความแม่นยำและประเมินผลของการหาตำแหน่งด้วยค่าความผิดพลาดระยะทางยูคลิดีเนียน สุดท้ายแสดงผลในรูปแบบ CDF ของค่าความผิดพลาดของระยะทางที่ได้จากการวิเคราะห์แบบ KNN และจากการศึกษาวิจัยสรุปได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ตารางเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของระยะทางด้วยวิธีการ KNN

ช่วงความถี่	ค่าความผิดพลาดของระยะทาง		
	ค่าน้อยที่สุด (เมตร)	ค่ามากที่สุด (เมตร)	ค่าเฉลี่ย (เมตร)
Full Band (3.1-10.6 GHz)	0.53	2.29	1.48
Low Band (3.244-4.742 GHz)	0.35	2.00	0.50
High Band (5.944-10.234 GHz)	0.32	2.00	0.49

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ช่วงความถี่ Full band คือ 3.1-10.6 GHz จะมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยมากที่สุดที่ 1.48 m ในช่วงความถี่ Low band มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่ 0.50 m และช่วงความถี่ High band มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยน้อยที่สุดคือที่ 0.49 m



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปเกี่ยวกับการศึกษาวิจัยที่ได้นำเสนอ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่ง โดยได้ทำการวัดช่องสัญญาณของแถบกว้างยิ่งบริเวณทางเดินภายในอาคาร ได้ทำการวัดใน 3 ช่วงความถี่ ได้แก่ 3.1-10.6 GHz, 3.244-4.742 GHz และ 5.944-10.234 GHz โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ในการวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะแบ่งการวัดออกเป็น 2 ส่วน โดยในส่วนแรกทำการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณในบริเวณที่ต้องการหาตำแหน่งทั้งหมด และทำการเก็บค่าพารามิเตอร์คือค่าการสูญเสียเชิงวิถีและการประวิงเวลาของสัญญาณที่รับได้สูงสุด นำมาสร้างเป็นเอกลักษณ์ต้นแบบ (Training) ของการหาตำแหน่งด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่งเป็นฐานข้อมูลเก็บไว้ และในส่วนที่สองทำการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณที่ต้องการเป็นเอกลักษณ์ทดสอบ (Testing) ซึ่งค่าพารามิเตอร์การสูญเสียเชิงวิถีและการประวิงเวลาของสัญญาณที่รับได้สูงสุดมาทำการเปรียบเทียบประมาณหาตำแหน่งโดยใช้การวิเคราะห์อัลกอริทึมแบบ KNN และวิเคราะห์ประสิทธิภาพความแม่นยำของการหาตำแหน่งด้วยค่าความผิดพลาดระยะทางยูคลิดีเนียน นำมาแสดงผลของความเที่ยงตรงในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative distribution function: CDF) จากผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการประเมินผลของการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่งร่วมกับวิธีการหาตำแหน่งที่ใกล้เคียงที่สุดด้วยจำนวน k ตัว หรือ KNN
2. สำหรับการทดลองวิจัยได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ร่วมกับสายอากาศกรวยคู่ในการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณและบันทึกผลใน 3 ช่วงความถี่ ได้แก่ 3.244-4.742 GHz, 5.944-10.234 GHz และ 3.1-10.6 GHz
3. จากผลการทดลองวิจัยในช่วงแถบความถี่กว้างยิ่ง ด้วยวิธีการ KNN โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง จะเห็นได้ว่า ช่วงความถี่ที่กว้างที่สุดคือ 3.1-10.6 GHz จะมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่ 1.48 m ซึ่งมากกว่าช่วงความถี่ของแถบต่ำ คือ 3.244-4.742 GHz และแถบสูง คือ 5.944-10.234 GHz ที่ 0.50 m และ 0.49 m ตามลำดับ
4. ในการประเมินผลของการทดลองวิจัย จะเห็นว่า มีความสอดคล้องกับแบบแผนที่ได้นำเสนอ คือได้มีการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงทางความถี่แบบแถบกว้างยิ่ง โดยพิจารณาจากการสูญเสียเชิงวิถี(Path Loss) และการประวิงเวลา (Delay Time) จากทั้ง 3 Path และได้แสดงผลในรูปแบบของ CDF หรือ ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม
5. พารามิเตอร์การสูญเสียเชิงวิถีของวิถีแรกที่มาถึงนั้น มีค่าความแปรปรวนมาก เนื่องจากใช้ข้อมูลจากช่องสัญญาณซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเพียงแค่อันเดียว อีกทั้งยังพบปัญหาซึ่งเกิดการลดทอน เช่น สัญญาณรบกวนอันเกิดจากเครื่องวัด หรืออุณหภูมิ หรืออื่นๆ ซึ่งทำให้พารามิเตอร์นี้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับพารามิเตอร์อื่นๆ จึงไม่เหมาะแก่การนำไปใช้ในการหาตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยในอนาคต

วิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการประเมินผลของการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่งร่วมกับวิธีการ KNN ซึ่งเป็นเพียงเทคนิคหนึ่งเท่านั้นที่ใช้ในการหาตำแหน่งแต่ก็ยังมีเทคนิควิธีการอื่นที่น่าสนใจ และสามารถทำให้การหาตำแหน่งมีความเที่ยงตรงที่มากยิ่งขึ้น เช่น

1. ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาผลที่ได้จากการวัดจริงในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร โดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือแบบแถบกว้างยิ่งร่วมกับวิธีการ KNN และได้ทำการศึกษาเฉพาะสภาวะแวดล้อมที่เป็นแบบคงที่ หรือเปลี่ยนแปลงไม่มากเท่านั้น แต่ในการใช้งานจริงสภาวะแวดล้อมจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น ควรจะพิจารณาด้วยกระบวนการและวิธีการอื่นเพิ่มเติมด้วย
2. ควรพิจารณาสายอากาศในรูปแบบการส่งผ่านที่มีทิศทาง หรือ Directional
3. การเลือกพารามิเตอร์ซึ่งใช้เป็นอินพุตของแบบจำลองควรเลือกให้เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่
4. การศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต จะพิจารณาด้วยกระบวนการ CLEAN (เป็นกระบวนการที่กำจัดสัญญาณรบกวนก่อนนำผลมาวิเคราะห์ คือ CLEAN Algorithm) [20]
5. ในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการหาตำแหน่งในสภาวะแวดล้อมแบบ LOS เท่านั้น ซึ่งยังไม่ได้พิจารณาสภาวะแวดล้อมแบบ NLOS ซึ่งสามารถที่จะพิจารณาได้โดยใช้เทคนิคเดียวกันหรือใช้เทคนิคอื่นๆ เพิ่มเติมได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Z. Sahinoglu, S. Gezici and I. Guvenc, “Ultra-wideband Positioning Systems,” Cambridge University Press, 2008.
- [2] F. Robert and K. Cherie, “Low Frequency Ultra-Wideband for Positioning and Networking,” [Slide]. Intel-MURI UWB Workshop : Aether Wire and Location, Inc. 2002.
- [3] N. Chahé, D. Charles and A. Sofière, “Geolocation in Mines With an Impulse Response Fingerprinting Technique and Neural Networks,” 2006 IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 5, no. 3, March 2006.
- [4] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee and J. Liu, “Survey of wireless indoor positioning techniques and systems,” IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part C, vol. 37, no. 6, pp. 1067–1080, Nov. 2007.
- [5] K. Kaemarungsi, “Design of indoor positioning systems based on location fingerprinting technique,” Ph.D.Thesis, Faculty of Information Science, Pittsburgh University. 2005.
- [6] A. Toak, N. Kandil, S. Affes and S. Georges, “Fingerprinting localization using Ultra-Wideband and neural networks,” 2007 International Symposium on Signals Systems and Electronics, pp. 529–532, Jul. 2007.
- [7] T. Lin and P. Lin, “Performance Comparison of Indoor Positioning Techniques based on Location Fingerprinting in Wireless Networks,” 2005 International Conference on Wireless Networks Communications and Mobile Computing, pp. 1569-1574, Jun. 2005.
- [8] J. Sangthong, P. Supanakoon and S. Promwong, “Study on Indoor Localization Using UWB Fingerprinting,” The 3rd Technology and Innovation for Sustainable Development International Conference, pp. 1223-1227, Mar. 2010.
- [9] F. Nekoogar, “Ultra-Wideband Communications: Fundamentals and Applications,” New Jersey: Prentice Hall, 2005.
- [10] H. Nikookar and R. Prasad “Introduction to Ultra Wideband for Wireless Communications,” Springer, 2009.
- [11] M. Di Benedetto and G. Giancola “Understanding Ultra Wideband Radio Fundamentals,” New Jersey: Prentice Hall, 2004.
- [12] S. Promwong, “Ultra Wideband Technology,” ECTI E-magazine, vol. 4, no. 4, Oct.-Dec. 2010.
- [13] H. P. Taylor, G. G. Haroules and W. E. Brown, “Analysis of a Multiplicative Feed System for Monopulse Tracking Applications,” IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. AES-5, no. 4, pp. 581–588, Jul 1969.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] K. Siwiak and D. McKeown, "Ultra-Wideband Radio Technology," John Wiley & Sons, 2004.
- [15] E. Karapistoli, F. Pavlidou, I. Gragopoulos and I. Tsetsinas, "An Overview of the IEEE802.15.4a Standard", IEEE Communications Magazine, Vol. 48, No.1, pp. 47-53, Jan.2010.
- [16] K. Kaemarungsi and P. Krishnamurthy, "Modeling of Indoor Positioning Systems Based on Location Fingerprinting," IEEE INFOCOM, vol. 2, pp. 1012-1022, Mar. 2004.
- [17] Promwong, S. Hachitani, W. and Takada, "*Experimental evaluation scheme of UWB antenna performance*," Tech. on Instrumentation and Measurements, IEE Japan, IM-03-35 J. 2003.
- [18] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems," First Report and Order, FCC 02-48, Apr. 2002.
- [19] ชนศักดิ์ บ่ายเที่ยง. และศรีบุตร แววจริญ, "คณิตศาสตร์วิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ Series8" กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.
- [20] X. Duan, H. Liu, J. Li, and Z. He, "CLEAN algorithm based direct-path-interference and multi-path-interference suppression in Bistatic MIMO Radar, 2012.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

- [1] R. Uppahad, J. Sangthong, and S. Promwong “UWB Localization with 2-D Interpolation and K-Nearest Neighbor Based on Measurement Data,” 2011 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Jeju, Korea, Oct, 2011.
- [2] R. Uppahad, J. Sangthong, and S. Promwong “Study on Indoor Localization Using Ultra Wideband Fingerprinting Technique Based on IEEE802.15.4a Standard,” 2012 Thailand – Japan MicroWave (TJMW), Bangkok, Thailand, Aug, 2012



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Final Program & Abstract Book  <http://www.isap2011.org>

“Towards Green Convergence”

2011 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANTENNAS AND PROPAGATION

ISAP 2011

October 25~28, 2011 / Lotte Hotel Jeju, Jeju, Korea

Organized & Sponsored by








- Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science (KIEES)

Co-Sponsored by

- Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE)

Technically Co-Sponsored by

- Antennas and Propagation Society of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE/AP-S)
- Antennas Society of CIE (CIE-AS)
- International Union of Radio Science (URSI)
- The Institute of Electronics Engineers of Korea (IEEK)
- IEEE AP-S Seoul Chapter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISAP 2011 Program at a Glance

2011 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANTENNAS AND PROPAGATION

October 25, 2011 (Tuesday)										
Time	Ruby	Pearl	Charlotte		Emerald			Lobby		
	D	E	F		G					
09:00-12:00	Short Course (H1) Prof. Hiroyuki Arai	Short Course (F2) Prof. Tapan K. Sarkar & Prof. Magdalena Salazar-Palma	Short Course (F1) Prof. Per-Simon Kildal & Dr. Mats Andersson		Short Course (H2) Prof. Q-Han Park					
12:00-13:30	Lunch									
14:00-17:00	Short Course (H4) Prof. Christophe Caloz	Short Course (F2)	Short Course (F1)		Short Course (H3) Prof. Raj Mittra & Dr. Andrey S. Andreanko					
19:00-21:00	Welcome Reception / Room C (Crystal Ballroom 3)									
October 26, 2011 (Wednesday)										
Time	Crystal 1	Crystal 2	Crystal 3	Ruby	Pearl	Charlotte	Emerald	Lobby		
	A	B	C	D	E	F	G			
08:30-10:10	WeA1 A09. Reflector/Lens Antennas and Feeds	WeB1 A12. MIMO Antennas	WeC1 A11. Mobile and Base Station Antennas	WeD1 A02. Active and Integrated Antennas	WeE1 E01. Mobile and Indoor Propagation	WeF1 C. Electromagnetic Wave Theory	WeG1 E01. Wireless Energy Transmission	Exhibition		
10:10-10:40	Coffee Break									
10:40-11:10	Opening Ceremony / Room A+B+C (Crystal Ballroom 1+2+3)									
11:10-12:10	Plenary Talk I-1 (Prof. Per-Simon Kildal) / Plenary Talk I-2 (Prof. Sang-won Yun) Room A+B+C (Crystal Ballroom 1+2+3)									
12:10-13:30	Lunch									
13:30-15:10	WeA2 SE05. Subwavelength Optics	WeB2 SE02. EM/EMC of Wireless Power (Energy) Transmission	WeC2 SF01. Subsurface Sensing by Ground- Penetrating and Borehole Radars	WeD2 SB02. Mobile Channel Characterization and Modeling	WeE2 E02. Mobile Channel Characterization and Modeling	WeF2 C05. Inverse Problems	WeG2 E01. Wireless Energy Transmission			
15:10-15:30	Coffee Break									
15:30-17:30	WeA3 SE08. Metamaterial and Application	WeB3 SF03. Recent Advances in RFID and USN Related Antenna Technologies	WeC3 SD01. High Power Microwave Applications	WeD3 SF02. Reconfigurable Antennas	WeE3 A01. Microstrip and Printed Antennas	WeF3 A01. Microstrip and Printed Antennas	WeG3 A03. Array Antennas, Phased Arrays and Feeding Circuits			
October 27, 2011 (Thursday)										
Time	Crystal 1	Crystal 2	Crystal 3	Ruby	Pearl	Charlotte	Emerald		Lobby	
	A	B	C	D	E	F	G			
08:30-10:10	ThA1 SE03. Terahertz Devices	ThB1 SF04. Metamaterial and EB3 Antennas	ThC1 SB06. Remote Sensing	ThD1 A05. Adaptive and Smart Antennas	ThE1 B06. Remote Sensing	ThF1 C07. Scattering and Diffraction	ThG1 E08. Metamaterial and Application	Exhibition		
10:10-10:40	Coffee Break									
10:40-11:30	Plenary Talk II (Prof. Christophe Caloz) Room A+B+C (Crystal Ballroom 1+2+3)									
11:30-12:20	Plenary Talk III (Dr. Austin Kim) Room A+B+C (Crystal Ballroom 1+2+3)									
12:20-13:40	Lunch									
13:40-15:20	ThA2 SE04. Terahertz Applications	ThB2 SF05. Spectrum Engineering Technologies	ThC2 SB01. Mobile and Indoor Propagation	ThD2 A05. Adaptive and Smart Antennas	ThE2 B04. Earth-Space and Terrestrial Propagation	ThF2 C07. Scattering and Diffraction	ThG2 E08. Metamaterial and Application			
15:20-15:40	Coffee Break									
15:40-17:40	ThD3 A04. Small Antennas								ThE3 A03. Array Antennas, Phased Arrays and Feeding Circuits	ThG3 D03. UWB and Impulse Radio
18:30-20:30	Banquet / Room A+B+C (Crystal Ballroom 1+2+3)									
October 28, 2011 (Friday)										
Time	Crystal 1	Crystal 2	Crystal 3	Ruby	Pearl	Charlotte	Emerald	Lobby		
	A	B	C	D	E	F	G			
08:30-10:10	FrA1 SE07. MIMO System	FrB1 SE07. MIMO System	FrC1 C. Electromagnetic Wave Theory	FrD1 A07. SRA Antennas	FrE1 B. Propagation and Related Topics	FrF1 E10. Antenna Measurements	FrP1 Poster I (09:30-11:30)	Exhibition		
10:10-10:30	Coffee Break									
10:30-12:10	FrA2 SE01. Wireless Energy Transmission	FrB2 SE11. Basic Measurement Technology in RF and Microwaves	FrC2 SD06. Radio Technologies for Intelligent Transport Systems	FrD2 A08. Millimeter Wave and Sub-Millimeter Wave Antennas	FrE2 C09. Periodic and Band-Gap Structures	FrF2 E07. MIMO System				
12:10-13:30	Lunch									
13:30-15:10	FrA3 SE09. Biological Effects and Medical Application of EM Wave	FrB3 SE10. Antenna Measurements	FrC3 SD06. Radio Technologies for Intelligent Transport Systems	FrD3 A11. Mobile and Base Station Antennas	FrE3 E09. Biological Effects and Medical Application of EM Wave	FrF3 E10. Antenna Measurements	FrP2 Poster II (13:30-15:30)			
15:10-15:30	Coffee Break									
15:30-17:30	FrA4 A06. Multiband/ Wideband Antennas	FrB4 A06. Multiband/ Wideband Antennas	FrC4 A15. Others	FrD4 A14. RFID	FrE4 A13. UWB Antennas	FrF4 D. Systems and Other Related Topics				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VI. TECHNICAL PROGRAM

October 27, 2011 [Thursday]

ThG3-5 17:00-17:20 Closed Form Formulas of Correlation Coefficient for Ultra Wideband Impulse Radio Systems

Pichaya Supanakoon¹⁾, Sathaporn Promwong¹⁾, and Jun-ichi Takada²⁾, ^{1)King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand, ^{2)Tokyo Institute of Technology, Japan}}

Correlation coefficient is a important parameter that indicates the efficiency of correlation receiver for Ultra Wideband Impulse Radio (UWB-IR) systems. The correlation coefficient is also used to analyze the waveform distortion. In this paper, the closed form formulas of correlation coefficient are derived using the rectangular passband waveform and the extension of Friss' transmission formula. The free space and ground reflection channels are considered. The results obtained from proposed formulas are compared with measurement. For ground reflection channel, the proposed formula of correlation efficient corresponds with measurement.

ThG3-6 17:20-17:40 UWB Localization with 2-D Interpolation and K-Nearest Neighbor Based on Measurement Data

Rattiya Uppahad, Jirapat Sangthong, and Sathaporn Promwong, ^{KMITL, Thailand}

The indoor localization has several techniques that are used to estimate a location such as the received signal strength (RSS), the time of arrival (TOA), the time difference of arrival (TDOA) and the angle of arrival (AOA). Nevertheless, all above techniques are considered only signal from direct path. Therefore, they cause more error in dense multipath fading channels such as indoor environments. Now, UWB fingerprinting localization has been developed for this purpose. In this paper we evaluate the performance comparison of indoor localization based on UWB-fingerprinting using 2-D interpolation and K-Nearest Neighbor for building fingerprint patterns based on measurement data. Using vector network analyzer (VNA) to measure the channel frequency transfer functions S_{21} at frequencies ranging from 3 GHz to 11 GHz. Biconical antennas were used as both transmitter (Tx) and receiver (Rx) antennas with vertical polarization. The accuracy of estimated distances is studied and shown in the terms of cumulative distribution function (CDF). From the results, we found out that 2-D interpolation gets the best performance with high accuracy and precision, which the distance error is very low with the average value is 0.40 m, while the maximum of distance error is 2.00 m.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UWB Localization with 2-D Interpolation and K-Nearest Neighbor Based on Measurement Data

#Rattiya Uppahad¹ Jirapat Sangthong² and Sathaporn Promwong¹

¹Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering,

²Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,

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

E-mail: ¹s4611843@kmitl.ac.th, ²s4610123@kmitl.ac.th, ¹kpsathap@kmitl.ac.th

Abstract

The indoor localization has several techniques that are used to estimate a location such as the received signal strength (RSS), the time of arrival (TOA), the time difference of arrival (TDOA) and the angle of arrival (AOA). Nevertheless, all above techniques are considered only signal from direct path. Therefore, they cause more error in dense multipath fading channels such as indoor environments. Now, UWB fingerprinting localization has been developed for this purpose. In this paper we evaluate the performance comparison of indoor localization based on UWB-fingerprinting using 2-D interpolation and K-Nearest Neighbor for building fingerprint patterns based on measurement data. Using vector network analyzer (VNA) to measure the channel frequency transfer functions S_{21} at frequencies ranging from 3 GHz to 11 GHz. Biconical antennas were used as both transmitter (Tx) and receiver (Rx) antennas with vertical polarization. The accuracy of estimated distances is studied and shown in the terms of cumulative distribution function (CDF). From the results, we found out that 2-D interpolation gets the best performance with high accuracy and precision, which the distance error is very low with the average value is 0.40 m, while the maximum of distance error is 2.00 m.

1. Introduction

In recent years, The UWB localization system can be used logistic in healthcare tracking industrial and military service [1]. There are several traditional techniques that are used to estimate a location such as the received signal strength (RSS), the time of arrival (TOA), the time difference of arrival (TDOA) and the angle of arrival (AOA). These techniques are used to estimate the location by considering from power loss, delay time or angle of received signal [2], [3]. Nevertheless, all above techniques are considered only signal from direct path.

Now, the fingerprinting localization is popularly used to estimate the location. The benefit of this technique provided highly accurate location estimation [4]. Usually, there are several algorithms are used to estimate a location using fingerprint concept and UWB signal such as K-Nearest Neighbor (K-NN) [5],[6]. However, K-NN algorithm is to give the distance value in database only. We try to find the algorithm which can be determined the distance out of the database. Then, we can see that 2-D Interpolation which can be used to solve the problem. It is a method of constructing new data points within the range of a discrete set of known data points.

In this paper, we discuss about the performance comparison between 2-D Interpolation algorithm and K-NN algorithm for UWB indoor localization with fingerprinting concept. The VNA is used to measure the UWB channel measurement in the frequency response mode at the frequencies ranging from 3 GHz to 11 GHz. All of the measurements are used the biconical antennas as both transmitter (Tx) and receiver (Rx) antennas with vertical polarization. The path loss and delay time of first three-path were investigated to perform the fingerprints and signatures. Then, the positions were estimated by using 2-D Interpolation algorithm and K-NN algorithm. The accuracy of estimated distances is shown in terms of cumulative distribution function (CDF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. UWB –Fingerprinting localization

2.1 Signal model

For UWB signal, the rectangular passband waveform is considered as the UWB transmitted waveform. This rectangular passband waveform in time domain $v_t(t)$ and its spectral density function $V_t(f)$ are represented by:

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

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

where A is the maximum amplitude, f_b is the bandwidth, f_c is the center frequency, f_L and f_H are the minimum and maximum frequencies, respectively. Consequently, the spectral density of received signal $V_r(f)$ can be calculated by using

$$V_r(f) = V_t(f) \cdot H_c(f), \quad (3)$$

where $H_c(f)$ is the frequency transfer function of channel obtained by using measurement scheme described in section 3.

Then, the received signal in time domain $v_r(t)$ is evaluated by using inverse Fourier transform:

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_r(f) e^{j2\pi ft} df. \quad (4)$$

2.2 Algorithms

A. 2-D Interpolation using spline method

The interpolation is a method of constructing new data points within the range of a discrete set of known data points. It is the approximation of a complicated function by a simple function. Suppose we know the function but it is too complex to evaluate efficiently. Then we could pick a few known data points from the complicated function, creating a lookup table, and try to interpolate those data points to construct a simpler function. The data with 1 m space are interpolated to be 0.01 m space using 2-dimensional spline method [7]

B. K-Nearest Neighbor Algorithm (K-NN Algorithm)

The K-NN is an algorithm for classifying objects based on closest training examples in the feature space. It is amongst the simplest of all machine learning algorithms: an object is classified by a majority vote of its neighbors, with the object being assigned to the class most common amongst its k nearest neighbors (k is a positive integer, typically small).

2.3 Analysis

The estimated position is considered from the position that has minimum difference between its signature and fingerprint. The fingerprint error at (x, y) position $e_f(x, y)$, which represents the difference between its signature and fingerprint, is defined as

$$e_f(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \left\{ \frac{[PL_i(x, y) - PL_{t_i}]^2}{\sigma_{PL_i}^2} + \frac{[t_i(x, y) - t_{t_i}]^2}{\sigma_{t_i}^2} \right\}}, \quad (5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

where $PL_{fi}(x, y)$ and $t_{fi}(x, y)$ are the path loss and delay time of fingerprint at (x, y) position of path i^{th} , PL_{si} and t_{si} are the path loss and delay time of signature of path i^{th} , $\sigma_{PL_{fi}}$ and $\sigma_{t_{fi}}$ are the standard deviation of path loss and delay time of fingerprint of path i^{th} .

After that, the estimated position (x_e, y_e) is considered as the position with minimum estimated error and can be written as

$$(x_e, y_e) = \arg \min e_f(x, y), \quad (6)$$

The accuracy of UWB fingerprinting is considered in the term of distance error. The distance error e_d can be defined as

$$e_d = \sqrt{(x_c - x_e)^2 + (y_c - y_e)^2}, \quad (7)$$

where (x_c, y_c) is the correct position.

3. Measurement Description

The measurements were done at the corridor of 12th floor, E-Building, Faculty of Engineering, King Monkut's Institute of Technology Ladkrabang. The VNA is used to measure the UWB channel measurement at the frequencies ranging from 3 GHz to 11 GHz. The biconical antennas are used with vertical polarization as both Tx and Rx antennas. The structure and dimension of biconical antenna and biconical antenna transfer function magnitude and phase shown in Fig. 1



Fig. 1 The structure and antenna transfer function (a) Dimension of biconical antenna. (b) Magnitude and phase of biconical antenna.

First, the measurements were done to collect the data to build the fingerprints. A total of 15 positions with 1 m space are measured. After that, the measurements were done to collect the data to build the signatures. A total of 45 positions with 0.5 m space in the same area are measured. The Experimental setup and measurement model are shown in Fig. 2.

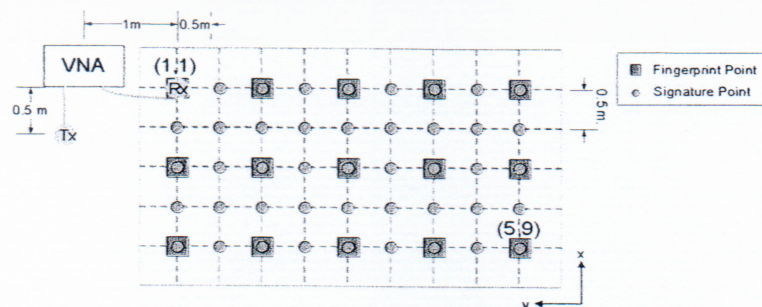


Fig. 2 Experimental setup and measurement model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Experimental Results and Discussion

For 2-D Interpolation, The average of distance error is 0.40 m. The maximum of distance error is 2.00 m. For K-NN Algorithm (K=1), the average of distance error is 1.67 m. The maximum of distance error is 3.35 m. For K-NN Algorithm (K=2), the average of distance error is 1.51 m. The maximum of distance error is 2.55 m. For K-NN Algorithm (K=3), the average of distance error is 1.48 m. The maximum of distance error is 2.36 m.

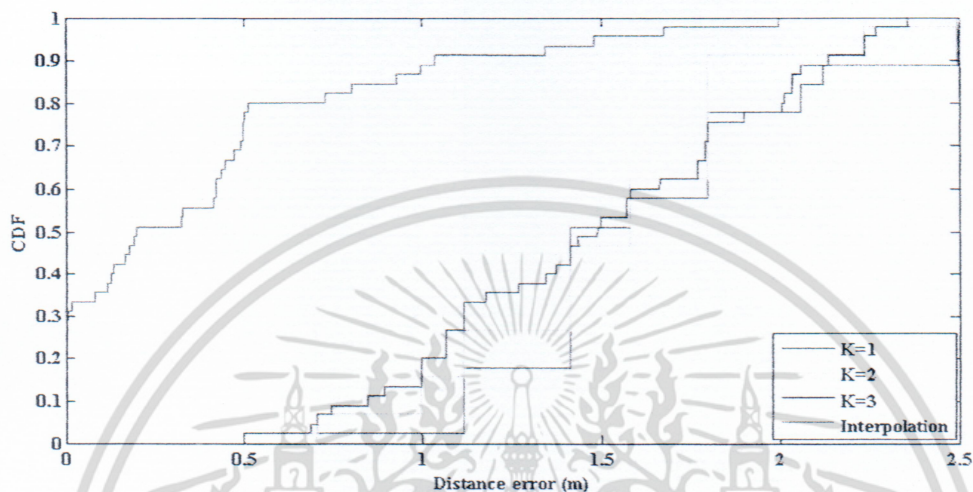


Fig. 3 CDF for distance error.

5. Conclusions

In this paper, we discuss about UWB-fingerprinting localization with 2-D Interpolation and K-Nearest Neighbor based on measurement data. From the results, we found out that 2-D interpolation's average distance error is 0.4 m. For the K-Nearest Neighbor, the average distance error for every case is at least 1.48 m. We can conclusion that 2-D Interpolation has the better accurate than K-Nearest Neighbor.

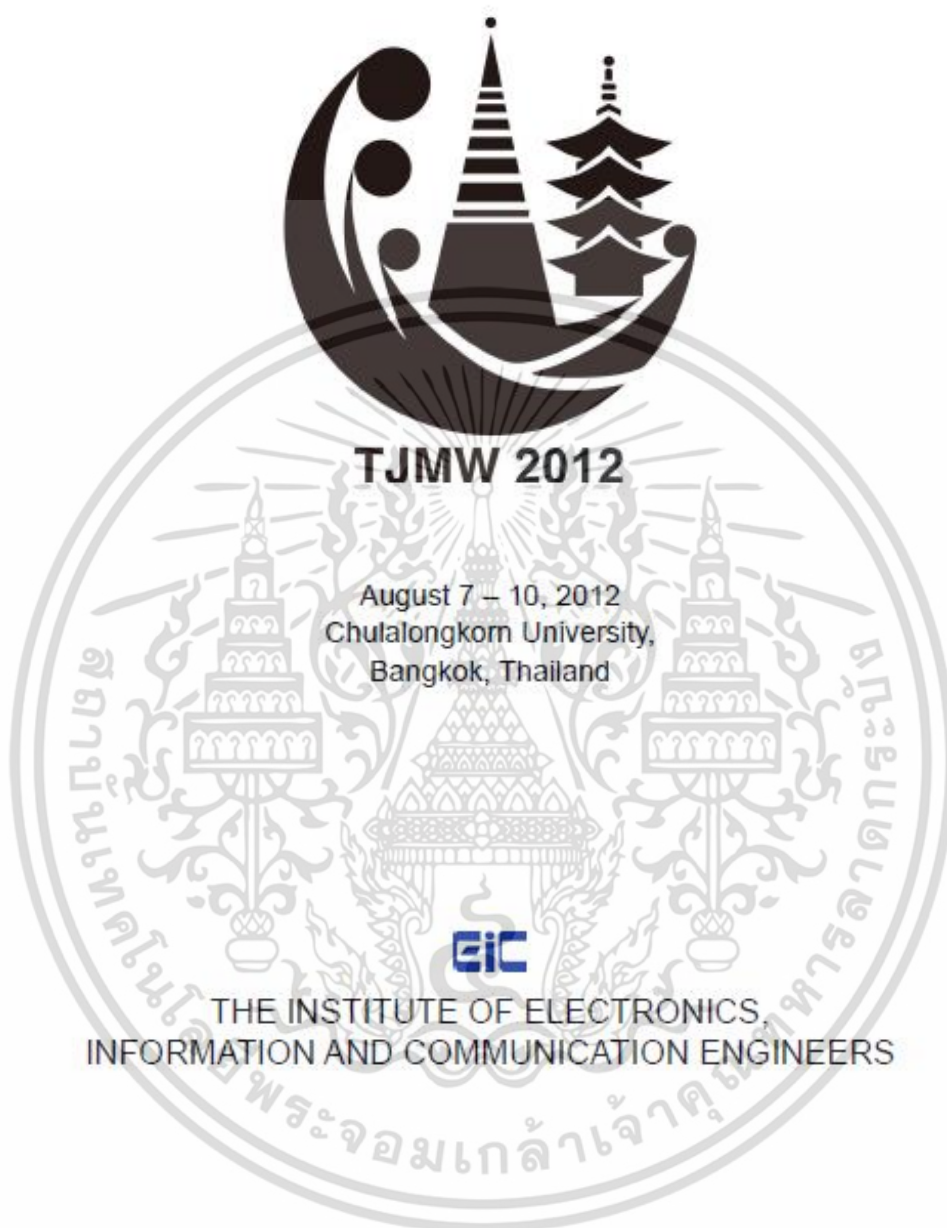
In the future work, we will consider the performance comparison between 2-D interpolation with other algorithms such as neural networks, probabilistic method and find more other algorithms for the accuracy improvement.

References

- [1] R. J. Fontana, E. Richley, and J. Barney, "Commercialization of an ultra wideband precision asset location system," 2003 IEEE Conference on UWB systems and Technologies, pp. 369-373, Nov. 2003.
- [2] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee and J. Liu, "Survey of wireless indoor positioning techniques and systems," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part C, vol. 37, no. 6, pp. 1067-1080, Nov. 2007.
- [3] Y. Gu, A. Lo and I. Niemegeers, "A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks," IEEE Communications Surveys and Tutorials, vol. 11, no. 1, pp. 13-32, Jan.-Mar. 2009.
- [4] H. Laitinen, J. Lahteenmaki, and T. Nordstrom, "Database Correlation Method for GSM Location," IEEE: Vehicular Technology Conference, Vol.4, pp. 2504-2508, May 2001.
- [5] T. Lin and P. Lin, "Performance comparison of indoor positioning techniques based on location fingerprinting in wireless networks," 2005 international conference on wireless networks, communications and mobile computing, Vol.2, pp. 1569-1574, June 2005.
- [6] J. Han and M. Kamber, "Data Mining Concepts and Techniques Second Edition," Elsevier, 2006.
- [7] E. Kreyszig, "Advanced Engineering Mathematics," John Wiley and Sons, 1993.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thailand – Japan MicroWave 2012



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study on Indoor Localization Using Ultra Wideband Fingerprinting Technique Based On IEEE802.15.4a Standard

Rattiya Uppahad[†], Jirapat Sangthong[†], and Sathaporn Promwong[‡]

[†]Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,

[‡]Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering,

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

E-Mail: {[†]s4611843, [†]s4610123, and [‡]kpsathap} @kmitl.ac.th

Abstract The localization is a gaining interest in home-entertainment applications or smart home, social, commercial, emergency services and military sectors. Then, this paper studies indoor localization using ultra wideband (UWB) fingerprinting technique. This technique is promising for high-accuracy indoor localization due to the characteristic of UWB signal. The experiments were done in the indoor multipath non-line-of-sight (NLOS) environment under IEEE 802.15.4a standard. The channel transfer functions were measured using vector network analyzer (VNA) ranging from 3 to 11 GHz. The biconical antennas were used as both transmitter (Tx) and receiver (Rx) antennas. The received signal strength and delay time are investigated to build the fingerprints and signatures. The accuracy and precision are also studied in the term of distance error. Finally, the cumulative distribution function (CDF) of distance error is shown.

Keyword Ultra Wideband, Localization, Fingerprinting

1. INTRODUCTION

In recent years, the positioning system is based on technologies such as wireless local area network (WLAN), radio frequency identification (RFID) and ultra wideband (UWB). Precision and accurate positioning in an indoor environment could provide widely researched because of its variety services [1] including position detection people such as miner in mine [2], medical instrumentation, industrial sensors and many others. This system requires high accuracy in an indoor environments which dense multipath. The position estimation techniques are related on signal parameters. Now, the fingerprinting localization is popularly used to estimate the location. The benefit of this technique provided highly accurate location estimation [3]. Usually IEEE 802.15.4a has developed an UWB based on MAC and physical layer standards for wireless personal area network (WPAN). The IEEE 802.15.4a had two signal formats based on impulse radio (IR) and chirp spread spectrum (CSS). The IR-UWB signal have three bands: sub-gigahertz band uses frequencies ranging between 250-750 MHz, the low band uses frequencies ranging between 3.244-4.742 GHz and the high band uses

frequencies ranging between 5.944-10.234 GHz; whereas the CSS signal use frequencies ranging between 2.400-2.4835 GHz. [4].

UWB-IR very high precision on position estimation in Line-of-Sight(LOS) conditions. However, it has always been a challenge to achieve reliable and robust position estimation while under non-line-of-sight (NLOS) conditions. Although many good technologies and algorithms are available for accurate positioning. Unfortunately, many practical applications require position estimation to be carried out in NLOS conditions

1.1 EQUATIONS

For UWB signal, the rectangular pass band waveform is considered as the UWB transmitted waveform. This rectangular pass band waveform in time domain $v_t(t)$ and its spectral density function $V_t(f)$ are represented by:

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

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

where A is the maximum amplitude, f_b is the bandwidth, f_c is the center frequency, f_L and f_H are the minimum and maximum frequencies, respectively. Consequently, the spectral

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

density of received signal $V_r(f)$ can be calculated by using

$$V_r(f) = V_t(f) \cdot H_c(f), \quad (3)$$

where $H_c(f)$ is the frequency transfer function of channel obtained. Then, the received signal in time domain $v_r(t)$ is evaluated by using inverse Fourier transform:

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_r(f) e^{j2\pi ft} df. \quad (4)$$

1.2 K-Nearest Neighbor Algorithm (K-NN)

The K-NN is an algorithm for classifying objects based on closest training examples in the feature space. It is amongst the simplest of all machine learning algorithms: an object is classified by a majority vote of its neighbors, with the object being assigned to the class most common amongst its k nearest neighbors (k is a positive integer, typically small).

2. MEASUREMENT SETUP

The VNA is used to measure the UWB channel measurement in the frequency response mode at three frequencies ranged based on IEEE 802.15.4a standard. We study the frequencies ranging from 5.944 GHz to 10.234 GHz, It's a high band. The experiments were done in the indoor multipath Line-of-sight (LOS) and non-line-of-sight (NLOS). The Experimental setup and measurement model are shown in Fig.1

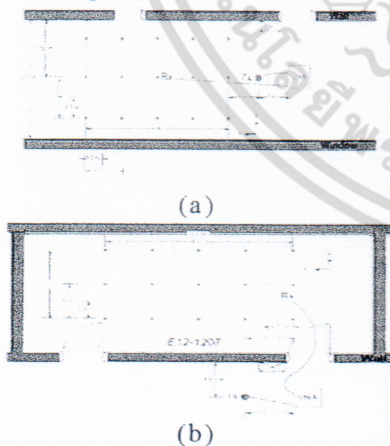


Fig. 1. Experimental setup and measurement model For LOS (a) and NLOS (b)

3. RESULTS

From the results, in LOS environment the average of distance error when k equal to 1, 2 and 3 is 0.9013m, 1.0159m and 0.8936m,

respectively in NLOS environment the average of distance error when k equal to 1, 2 and 3 is 2.1131m, 1.7912m, 1.8981m.

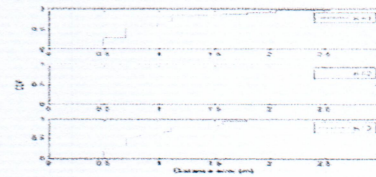


Fig.2 CDF for distance error with LOS

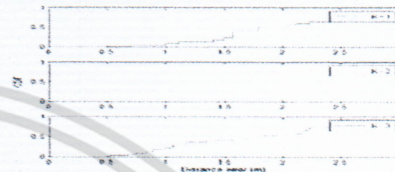


Fig.3 CDF for distance error with NLOS

4. CONCLUSIONS

This paper, we study on indoor localization using ultra wideband fingerprinting technique based on IEEE802.15.4a standard in high band using K-NN algorithm both LOS and NLOS environments. From the results, we found that in LOS environment $k=3$ is more accuracy than another value with average distance error is 0.8936 m. While, in NLOS environment $k= 2$ is more accuracy than another value with average distance error is 1.7912 m.

5. References

[1] K. Pahlavan, X Li and J. Makela, "Indoor geolocation science and technology," *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 2, pp. 112-118, Feb. 2002.
 [2] A.Toak, N.Kandil, S. Affes and S. Georges, "Fingerprinting localization using Ultra-Wideband and neural networks," *2007 International Symposium on Signals, Systems and Electronics*, pp. 529 - 532, July-Aug. 2007.
 [3] H. Laitinen, J. Lahteenmaki, and T. Nordstrom, "Database Correlation Method for GSM Location," *IEEE Vehicular Technology Conference*, Vol.4, pp. 2504-2508, May 2001.
 [4] E. Karapistoli, F. Pavlidou, I. Gragopoulos and I. Tsetsinas, "An Overview of the IEEE 802.15.4a Standard", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 48, No.1, pp. 47-53, Jan. 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลที่ได้จากการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้สัญญาณแถบกว้างยิ่ง

1. การวัดช่วงความถี่ 5.944-10.234 GHz

1.1 ข้อมูลเอกลักษณ์ต้นแบบ(Training) จากการวัดด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

พิกัดตำแหน่ง (x, y)	พารามิเตอร์ค่าความแรงของ สัญญาณ ที่ได้รับได้ (dB)	พารามิเตอร์เวลาที่สัญญาณ มาถึง (ns)
(1, 1)	-58.4654	18.33
(3, 1)	-57.9098	18.03
(5, 1)	-59.4451	18.35
(1, 3)	-56.1542	15.07
(3, 3)	-55.9698	14.7
(5, 3)	-56.6503	15.08
(1, 5)	-53.7867	11.84
(3, 5)	-53.6383	11.35
(5, 5)	-53.878	11.86
(1, 7)	-50.5107	8.72
(3, 7)	-49.8059	7.96
(5, 7)	-51.7907	8.74
(1, 9)	-47.1459	5.94
(3, 9)	-44.1946	4.64
(5, 9)	-47.1163	6.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ข้อมูลเอกลักษณ์ทดสอบ(Testing) จากการวัดด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

พิกัดตำแหน่ง (x, y)	พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณ ที่รับได้ (dB)	พารามิเตอร์เวลาที่สัญญาณมาถึง (ns)
(1, 1)	-58.4654	18.33
(2, 1)	-57.5289	18.07
(3, 1)	-57.9098	18.03
(4, 1)	-58.1982	18.08
(5, 1)	-59.4451	18.35
(1, 2)	-58.0123	16.72
(2, 2)	-57.2382	16.42
(3, 2)	-56.7156	16.37
(4, 2)	-57.394	16.42
(5, 2)	-57.0367	16.72
(1, 3)	-56.1542	15.07
(2, 3)	-55.7388	14.78
(3, 3)	-55.9698	14.7
(4, 3)	-55.8822	14.78
(5, 3)	-56.6503	15.08
(1, 4)	-54.8983	13.46
(2, 4)	-54.4935	13.11
(3, 4)	-54.3718	13
(4, 4)	-54.1092	13.13
(5, 4)	-54.4146	13.47
(1, 5)	-53.7867	11.84
(2, 5)	-53.6758	11.45
(3, 5)	-53.6383	11.35
(4, 5)	-53.3138	11.49
(5, 5)	-53.878	11.86
(1, 6)	-52.4887	10.28
(2, 6)	-53.0932	9.83
(3, 6)	-52.5534	9.67
(4, 6)	-52.5756	9.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ข้อมูลเอกลักษณ์ทดสอบ(Testing) จากการวัดด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง(ต่อ)

พิกัดตำแหน่ง (x, y)	พารามิเตอร์ค่าความแรงของ สัญญาณ ที่ได้รับได้ (dB)	พารามิเตอร์เวลาที่สัญญาณ มาถึง (ns)
(5, 6)	-53.1958	10.32
(1, 7)	-50.5107	8.72
(2, 7)	-49.9526	8.16
(3, 7)	-49.8059	7.96
(4, 7)	-50.7397	8.18
(5, 7)	-51.7907	8.74
(1, 8)	-49.5277	7.29
(2, 8)	-47.9525	6.59
(3, 8)	-48.1095	6.33
(4, 8)	-48.1719	6.58
(5, 8)	-49.9109	7.3
(1, 9)	-47.1459	5.94
(2, 9)	-45.2351	4.99
(3, 9)	-44.1946	4.64
(4, 9)	-44.9608	5.02
(5, 9)	-47.1163	6.05

2. การวัดช่วงความถี่ 3.244-4.742 GHz

2.1 ข้อมูลเอกลักษณ์ต้นแบบ(Training) จากการวัดด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

พิกัดตำแหน่ง (x, y)	พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณ ที่ได้รับได้ (dB)	พารามิเตอร์เวลาที่สัญญาณมาถึง (ns)
(1, 1)	-59.7739	73.32
(3, 1)	-59.6756	72.2
(5, 1)	-60.3683	73.36
(1, 3)	-57.1598	60.24
(3, 3)	-56.7888	58.72
(5, 3)	-57.3277	60.28
(1, 5)	-54.7526	47.36
(3, 5)	-54.6367	45.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ข้อมูลเอกลักษณ์ต้นแบบ(Training) จากการวัดด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง(ต่อ)

พิกัดตำแหน่ง (x, y)	พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณ ที่ได้รับได้ (dB)	พารามิเตอร์เวลาที่สัญญาณมาถึง (ns)
(5, 5)	-55.6692	47.36
(1, 7)	-51.5844	34.88
(3, 7)	-50.8644	31.8
(5, 7)	-52.5862	34.92
(1, 9)	-47.7875	23.76
(3, 9)	-45.4344	18.48
(5, 9)	-48.6299	24.2

2.2 ข้อมูลเอกลักษณ์ทดสอบ(Testing) จากการวัดด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

พิกัดตำแหน่ง (x, y)	พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณ ที่ได้รับได้ (dB)	พารามิเตอร์เวลาที่สัญญาณมาถึง (ns)
(1, 1)	-59.7739	73.32
(2, 1)	-59.6209	72.24
(3, 1)	-59.6756	72.2
(4, 1)	-59.311	72.4
(5, 1)	-60.3683	73.36
(1, 2)	-58.8642	66.88
(2, 2)	-58.2097	65.6
(3, 2)	-57.9821	65.52
(4, 2)	-58.8795	65.76
(5, 2)	-58.2009	66.88
(1, 3)	-57.1598	60.24
(2, 3)	-56.7052	59.12
(3, 3)	-56.7888	58.72
(4, 3)	-56.9404	59.12
(5, 3)	-57.3277	60.28
(1, 4)	-56.3915	53.8
(2, 4)	-55.351	52.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ข้อมูลเอกลักษณ์ทดสอบ(Testing) จากการวัดด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง(ต่อ)

(3, 4)	-55.4046	52
(4, 4)	-55.4978	52.48
(5, 4)	-56.4387	53.96
(1, 5)	-54.7526	47.36
(2, 5)	-54.3956	45.8
(3, 5)	-54.6367	45.36
(4, 5)	-55.31	45.96
(5, 5)	-55.6692	47.36
(1, 6)	-53.3531	41.12
(2, 6)	-54.1672	39.32
(3, 6)	-53.2999	38.68
(4, 6)	-54.0226	39.16
(5, 6)	-54.2356	41.32
(1, 7)	-51.5844	34.88
(2, 7)	-51.5243	32.64
(3, 7)	-50.8644	31.8
(4, 7)	-51.8392	32.68
(5, 7)	-52.5862	34.92
(1, 8)	-50.3187	29.12
(2, 8)	-48.9341	26.4
(3, 8)	-48.5946	25.32
(4, 8)	-49.331	26.4
(5, 8)	-50.6779	29.28
(1, 9)	-47.7875	23.76
(2, 9)	-46.3037	20
(3, 9)	-45.4344	18.48
(4, 9)	-45.8692	20.16
(5, 9)	-48.6299	24.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การวัดช่วงความถี่ 3.1-10.6 GHz

3.1 ข้อมูลเอกลักษณ์ต้นแบบ(Training) จากการวัดด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

พิกัดตำแหน่ง (x, y)	พารามิเตอร์ค่าความแรงของ สัญญาณ ที่รับได้ (dB)	พารามิเตอร์เวลาที่สัญญาณ มาถึง (ns)
(1, 1)	-47.85	5.94
(3, 1)	-51.66	8.72
(5, 1)	-54.47	11.85
(1, 3)	-56.83	15.07
(3, 3)	-58.76	18.33
(5, 3)	-44.75	4.64
(1, 5)	-50.71	7.96
(3, 5)	-54.45	11.35
(5, 5)	-56.91	14.69
(1, 7)	-59.13	18.03
(3, 7)	-48.07	6.05
(5, 7)	-52.18	8.74
(1, 9)	-54.63	11.86
(3, 9)	-56.85	15.09
(5, 9)	-59.99	18.35

3.2 ข้อมูลเอกลักษณ์ทดสอบ(Testing) จากการวัดด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

พิกัดตำแหน่ง (x, y)	พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณ ที่รับได้ (dB)	พารามิเตอร์เวลาที่สัญญาณมาถึง (ns)
(1, 1)	-47.72	5.94
(2, 1)	-50.16	7.29
(3, 1)	-51.28	8.72
(4, 1)	-53.24	10.28
(5, 1)	-54.40	11.85
(1, 2)	-55.70	13.46
(2, 2)	-56.98	15.07
(3, 2)	-58.36	16.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ข้อมูลเอกลักษณ์ทดสอบ(Testing) จากการวัดด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง(ต่อ)

พิกัดตำแหน่ง (x, y)	พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณ ที่รับได้ (dB)	พารามิเตอร์เวลาที่สัญญาณมาถึง (ns)
(4, 2)	-59.16	18.33
(5, 2)	-45.76	4.99
(1, 3)	-48.59	6.59
(2, 3)	-50.83	8.16
(3, 3)	-53.66	9.83
(4, 3)	-54.31	11.46
(5, 3)	-55.38	13.10
(1, 4)	-56.43	14.78
(2, 4)	-57.94	16.42
(3, 4)	-58.58	18.07
(4, 4)	-44.77	4.64
(5, 4)	-48.74	6.32
(1, 5)	-50.57	7.96
(2, 5)	-53.09	9.67
(3, 5)	-54.35	11.35
(4, 5)	-55.21	13.00
(5, 5)	-56.69	14.69
(1, 6)	-57.65	16.37
(2, 6)	-58.64	18.03
(3, 6)	-45.68	5.02
(4, 6)	-48.81	6.58
(5, 6)	-51.28	8.18
(1, 7)	-53.23	9.81
(2, 7)	-54.28	11.49
(3, 7)	-55.16	13.13
(4, 7)	-56.63	14.78
(5, 7)	-58.13	16.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ข้อมูลเอกลักษณ์ทดสอบ(Testing) จากการวัดด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง(ต่อ)

พิกัดตำแหน่ง (x, y)	พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณ ที่รับได้ (dB)	พารามิเตอร์เวลาที่สัญญาณมาถึง (ns)
(1, 8)	-58.99	18.08
(2, 8)	-47.78	6.05
(3, 8)	-50.53	7.30
(4, 8)	-52.33	8.74
(5, 8)	-53.85	10.32
(1, 9)	-54.65	11.86
(2, 9)	-55.46	13.47
(3, 9)	-57.04	15.09
(4, 9)	-57.83	16.72
(5, 9)	-59.97	18.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวรัตติยา อุปฮาด

วัน เดือน ปีเกิด 12 พฤษภาคม 2531

ที่อยู่ บ้านเลขที่ 61 หมู่ 3 ตำบลขามป้อม อำเภอลำลูกเกด จังหวัดมหาสารคาม 44120

ประวัติการศึกษา

- | | |
|--------------------|--|
| พ.ศ. 2550-2554 | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| พ.ศ. 2554-2558 | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| พ.ศ. 2554-ปัจจุบัน | Engineering บริษัท True Universal Convergence |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้