

ระบบเรดาร์ค้นหาการหายใจของบุคคลผ่านกำแพงหรือผนัง
ด้วยคลื่นแถบความถี่กว้าง

ULTRA-WIDEBAND RADAR SYSTEM FOR DETECTING HUMAN RESPIRATION
THROUGH THE WALL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2563
KMITL-2020-EN-M-040-114

ระบบเรดาร์ที่ค้นหาการหายใจของบุคคลผ่านกำแพงหรือผนัง
ด้วยคลื่นแถบความถี่กว้าง

ULTRA-WIDEBAND RADAR SYSTEM FOR DETECTING HUMAN RESPIRATION
THROUGH THE WALL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2563

KMITL-2020-EN-M-040-114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULTRA-WIDEBAND RADAR SYSTEM FOR DETECTING HUMAN RESPIRATION
THROUGH THE WALL



SUPAROEK JUTTAMALAKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRONICS ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2020

KMITL-2020-EN-M-040-114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2020

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบเรดาห์ค้นหาการหายใจของบุคคลผ่านกำแพงหรือผนังด้วยคลื่น แถบความถี่กว้าง
นักศึกษา	นายศุภฤกษ์ จัตตะมละกุล
รหัสประจำตัว	58601229
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2563
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอระบบเรดาห์ค้นหาการหายใจของบุคคลผ่านกำแพงหรือผนังด้วยคลื่น
แถบความถี่กว้าง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบบุคคลที่แอบซ่อนอยู่หลังกำแพงหรือช่วยเหลือน
บุคคลที่ติดอยู่ในซากปรักหักพัง เพื่อให้เข้าไปช่วยเหลือได้อย่างแม่นยำและทันท่วงที โดยระบบนี้จะ
ตรวจสอบโดยใช้การเคลื่อนไหวเป็นตัววัดว่ามีบุคคลหรือสิ่งมีชีวิตอยู่หลังกำแพงหรือไม่ ซึ่งจะวัดด้วยการ
หายใจเพราะการหายใจก็คือการเคลื่อนไหวชนิดหนึ่งที่มีการเคลื่อนไหวของหน้าอกหรือกระบังลม โดย
หน้าอกจะมีการขยับเข้าออกตลอดเวลา แล้วยังสามารถนำไปสู่การหาระยะทางความห่างระหว่างกำแพง
และบุคคลได้อีกด้วย วิทยานิพนธ์นี้จึงนำการเคลื่อนไหวชนิดนี้มาตรวจจับการหายใจของบุคคลที่อยู่หลัง
กำแพงได้ โดยได้จำลองสถานการณ์ให้มีบุคคลอยู่หลังกำแพง 2 ชนิดคือ กำแพงไม้และกำแพงอิฐมอดูแดง
เพื่อตรวจสอบว่าคลื่นสัญญาณที่ใช้ทดสอบจะสามารถทะลุผ่านกำแพงได้หรือไม่และสามารถนำ
คลื่นสัญญาณที่สะท้อนกลับมา นำมาวิเคราะห์และบ่งบอกว่ามีบุคคลอยู่หลังกำแพงได้จริง ทางผู้วิจัยเชื่อว่า
วิทยานิพนธ์นี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่นำไปพัฒนาต่อ เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ต่อประเทศชาติได้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบเรตาค์ค้นหาการหายใจของบุคคลผ่านกำแพงหรือผนังด้วยคลื่น แถบความถี่กว้าง
นักศึกษา	นายศุภฤกษ์ จัตตะมะละกุล
รหัสประจำตัว	58601229
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2563
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอระบบเรตาค์ค้นหาการหายใจของบุคคลผ่านกำแพงหรือผนังด้วยคลื่น
แถบความถี่กว้าง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการศึกษาตรวจสอบบุคคลที่แอบซ่อนอยู่หลังกำแพงหรือช่วยเหลือ
บุคคลที่ติดอยู่ในซากปรักหักพัง เพื่อให้เข้าไปช่วยเหลือได้อย่างแม่นยำและทันท่วงที โดยระบบนี้จะ
ตรวจสอบโดยใช้การเคลื่อนไหวเป็นตัววัดว่ามีบุคคลหรือสิ่งมีชีวิตอยู่หลังกำแพงหรือไม่ ซึ่งจะวัดด้วยการ
หายใจเพราะการหายใจคือการเคลื่อนไหวชนิดหนึ่งที่มีการเคลื่อนไหวของหน้าอกหรือกระบังลม โดย
หน้าอกจะมีการขยับเข้าออกตลอดเวลา แล้วยังสามารถนำไปสู่การหาระยะทางความห่างระหว่างกำแพง
และบุคคลได้อีกด้วย วิทยานิพนธ์นี้จึงนำการเคลื่อนไหวชนิดนี้มาตรวจจับการหายใจของบุคคลที่อยู่หลัง
กำแพงได้ โดยได้จำลองสถานการณ์ให้มีบุคคลอยู่หลังกำแพง 2 ชนิดคือ กำแพงไม้และกำแพงอิฐมอดูแดง
เพื่อตรวจสอบว่าคลื่นสัญญาณที่ใช้ทดสอบจะสามารถทะลุผ่านกำแพงได้หรือไม่และสามารถนำ
คลื่นสัญญาณที่สะท้อนกลับมา นำมาวิเคราะห์และบ่งบอกว่ามีบุคคลอยู่หลังกำแพงได้จริง ทางผู้วิจัยเชื่อว่า
วิทยานิพนธ์นี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่นำไปพัฒนาต่อ เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ต่อประเทศชาติได้

Thesis	Ultra-Wideband Radar system for detecting human respiration through the wall
Student	Suparoek Juttamalakul
Student ID	58601229
Degree	Master of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2020
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Pattharapong Phasukkij

ABSTRACT

This thesis Ultra-Wideband Radar system for detecting human respiration through the wall. To be applied to the detection of people hiding behind walls or helping people trapped in the ruins. This may help to provide accurate and timely manner. This system will detect using motion as a measure of whether a person or an organism is behind a wall or not. Measured by breathing because breathing is a type of movement that has movement of the chest or diaphragm. The chest will move in and out all the time and can also lead to finding the distance between the wall and the person. This thesis therefore uses this type of motion to detect the respiration of the person behind the wall. This thesis simulating the situation to have a person behind 2 types of walls, wooden walls and red brick walls to check whether the signal waves tested can pass through the wall or not and can reflect the reflected signal waves. Analyzed and indicates that there are people actually behind the wall. The researcher believes that this thesis will be useful to those who continue to develop. In order to benefit the nation.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีด้วยความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ ให้ความช่วยเหลือ เสนอแนะแนวทางช่วยสำหรับงานวิจัยและการวางแผนงานต่าง ๆ ให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการทำวิจัย ตลอดจนความเอาใจใส่ ความเป็นห่วงเป็นใยในการทําวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งความรู้ โอกาสและประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ผู้ทําวิจัยรู้สึกซาบซึ้งในการอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ รุ่งพีใน Burn Lab ที่คอยช่วยเหลือ เอื้ออำนวยในหลายๆ ด้านที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง สำหรับงานวิจัย สนับสนุน และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณนายพรเทพ จัตตะมละกุล และ นางอารยา จัตตะมละกุล ผู้เป็นบิดาและมารดาของข้าพเจ้า ที่เป็นคนส่งเสริมให้ข้าพเจ้าได้เรียนและเป็นกำลังใจเสมอมา

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์แก่บุคลากรทางการศึกษาและผู้สนใจทั่วไป ตลอดจนจะเป็นประโยชน์ในการสร้างอุปกรณ์เพื่อสุขภาพต่อไป

ศุภฤกษ์ จัตตะมละกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	5
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	5
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	6
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	6
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 นิยามของ UWB เรดาร์.....	7
2.1.1 การใช้ฟังก์ชันเกาส์เซียนสำหรับอธิบายสัญญาณ UWB	8
2.2 พื้นฐานของระบบ UWB เรดาร์.....	11
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.3.1 นิยามของ UWB เรดาร์.....	16

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	20
3.1 วิธีกรวิจัย	20
3.2 สมการของสัญญาณที่ใช้ในการประมวลผล (RAW DATA)	24
3.3 การตัดสัญญาณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (CLUTTER REDUCTION)	27
3.4 การใช้ตัวกรองสัญญาณชนิดเรียบ (SMOOTH FILTER)	29
3.5 การแปลงฟูเรียร์ (SMOOTH FILTER)	31
3.6 การประยุกต์ใช้ UWB เรดาร์ในการตรวจจับมนุษย์หลังกำแพง	32
3.7 หลักการระบุตำแหน่งของวัตถุในสองมิติโดยใช้หลักการฉายภาพกลับ (BACK PROJECTION)	36
3.8 จำลองการขึ้นภาพสองมิติโดยใช้หลักการฉายภาพกลับ (BACK PROJECTION)	41
3.9 การออกแบบเสาอากาศ UWB สำหรับการตรวจจับวัตถุหลังกำแพง	46
3.10 การคำนวณระยะทางของวัตถุที่อยู่หลังกำแพง	50
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	52
4.1 การทดลองการระบุตำแหน่งของวัตถุในสองมิติโดยใช้หลักการ BACK PROJECTION	52
4.2 การทดลองการระบุตำแหน่งบุคคลหลังกำแพง	59
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	76

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของคลื่นที่ย่านความถี่ต่างๆ.....	16
ตารางที่ 2.2 สมการพหุนามของเฮอริไมท์ที่ $H_n(x)$	18
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางสายอากาศ VIVALDI และอุปกรณ์การทดลอง.....	21
ตารางที่ 3.2 การตัดสัญญาณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Clutter Reduction).....	29
ตารางที่ 3.3 อัลกอริทึมการฉายภาพกลับ (BACK PROJECTION).....	40



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 ระบบพัลส์เรดาร์ (PULSE RADAR SYSTEM) ชนิดตัวส่งและตัวรับเดียวกัน (MONOSTATIC RADAR).....	2
รูปที่ 1.2 การเปรียบเทียบ SNR กับระยะทางของเป้าหมายที่มี RCS ต่างกัน.....	3
รูปที่ 1.3 การประยุกต์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า UWB เพื่อตรวจจับและขึ้นภาพคนหลังกำแพง [3], [4], [5],.....	4
รูปที่ 2.1 รูปคลื่น UWB ที่มี $B_F > 0.25$ ตามเงื่อนไข FCC	7
รูปที่ 2.2 ชนิดของคลื่น UWB.....	10
รูปที่ 2.3 ระบบ UWB เรดาร์พื้นฐาน.....	11
รูปที่ 2.4 วิธี SAR สำหรับเครื่องบิน [1].....	12
รูปที่ 2.5 FMCW พัลส์เรดาร์สามารถจำแนกเป้าหมายได้ดีกว่า CW พัลส์เรดาร์.....	12
รูปที่ 2.6 ภาพสองมิติที่ได้จากอัลกอริทึม RANGE DOPPLER สำหรับ SAR ของระบบเครื่องบิน (ก) ข้อมูลดิบ (ข) บีบอัดระยะทางด้วย MATCHED FILTER (ค) บีบอัดมุมด้วย MATCHED FILTER	13
รูปที่ 2.7 ระบบ SYNTHETIC APERTURE RADAR (SAR).....	14
รูปที่ 2.8 ระบบ SYNTHETIC APERTURE RADAR (SAR).....	14
รูปที่ 2.9 การประยุกต์ UWB เรดาร์ในการตรวจจับคนหลังกำแพง [2], [3], [4].....	15
รูปที่ 2.10 รูปคลื่น UWB ที่มี $B_F > 0.25$ ตามเงื่อนไข FCC	17
รูปที่ 2.11 ชนิดของคลื่น UWB	19
รูปที่ 3.1 การตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ขณะมีโลหะที่ระยะ 2 เมตร.....	21
รูปที่ 3.2 สัญญาณภาคส่งจากการทดลองของรูปที่ 3.1	22
รูปที่ 3.3 แผนผังวิธีการตรวจจับการเคลื่อนที่ของมนุษย์จากการวัดความถี่ดอปเพลอร์.....	23

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.4 สัญญาณภาครับที่เกิดจากการแกว่งแขนของมนุษย์	24
รูปที่ 3.5 สัญญาณข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลอง (Raw Data) ของรูปที่ 3.2.....	26
รูปที่ 3.6 สัญญาณภาครับจากการตัดสัญญาณที่ไม่เคลื่อนที่ออก (CLUTTER REDUCTION).....	28
รูปที่ 3.7 การใช้ตัวกรองสัญญาณชนิดเรียบ (SMOOTH FILTER)	29
รูปที่ 3.8 การแปลงฟูเรียร์แต่ละแถวของตารางเพื่อหาความถี่ดอปเพลอร์	31
รูปที่ 3.9 การเซตระบบของการประมวลผลสัญญาณของการตรวจจับการเคลื่อนที่ของมนุษย์.....	32
รูปที่ 3.10 สัญญาณภาครับทั้งหมดที่บันทึกจากการแกว่งแขนของมนุษย์	33
รูปที่ 3.11 ใช้ FFT ตามแนวแกนนอนทุกแกนเพื่อหาความถี่ดอปเพลอร์	33
รูปที่ 3.12 การประยุกต์ใช้ FFT เพื่อหาความถี่ดอปเพลอร์ของมนุษย์ [4].....	34
รูปที่ 3.13 วัตถุในระบบพิกัด SAR เรดาร์.....	36
รูปที่ 3.14 ข้อมูลในระบบพิกัด SAR เรดาร์.....	37
รูปที่ 3.15 BACK PROJECTION ที่ตำแหน่งเริ่มต้น	38
รูปที่ 3.16 BACK PROJECTION ที่ตำแหน่งเริ่มต้น	38
รูปที่ 3.17 การประมวลผลภาพสองมิติโดยใช้ BACK PROJECTION.....	39
รูปที่ 3.18 การจำลองตำแหน่งของวัตถุ.....	41
รูปที่ 3.19 (ก) สัญญาณ UWB ภาคส่ง (ข) สัญญาณภาครับที่ตำแหน่ง $U_L = 1$ เมตร ที่มีสัญญาณรบกวน (ค) สัญญาณภาครับที่ผ่านตัวกรองสัญญาณรบกวน	43
รูปที่ 3.20 (ก) เก็บข้อมูล 9 ตำแหน่ง (ข) ประมวลผลภาพโดยใช้ BACK PROJECTION.....	44
รูปที่ 3.21 (ก) ตำแหน่งของวัตถุ (ข) สัญญาณที่ได้จากวัตถุ (ค) ขึ้นภาพสองมิติของวัตถุ	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา ^{viii} เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.22 การจำลองเสอากาศด้วยโปรแกรม CST	46
รูปที่ 3.23 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11}	47
รูปที่ 3.24 ภาพการจำลองอัตราขยายสัญญาณและมุมการส่ง	48
รูปที่ 3.25 เสอากาศที่ได้จากชิ้นงานจริง	49
รูปที่ 3.26 การคำนวณระยะทางโดยคำนึงถึงพารามิเตอร์ของกำแพง	50
รูปที่ 4.1 การเซตระบบโดยมีเสอากาศอาร์เรย์สองต้น	53
รูปที่ 4.2 การทดสอบการระบุตำแหน่งสองมิติของโลหะ	53
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ระยะต่าง ๆ ของโลหะในกรณีที่มีกำแพงและไม่มีกำแพง	55
รูปที่ 4.4 ทดสอบวัตถุโลหะที่ระยะเลื่อนตำแหน่ง 10 เซนติเมตร	56
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ระยะเลื่อน 10 CM	56
รูปที่ 4.6 การทดลองการตรวจจับระยะมนุษย์	57
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ระยะต่าง ๆ ของมนุษย์ในกรณีที่มีกำแพงและไม่มีกำแพง	58
รูปที่ 4.8 แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับบุคคลหลังกำแพง	59
รูปที่ 4.9 แสดงตำแหน่งของ มนุษย์ และหุ่น	60
รูปที่ 4.10 แสดงภาพโดยรวมของระบบตรวจจับทั้งหมด	61
รูปที่ 4.11 แสดงรูปแบบการตรวจจับการเคลื่อนไหวของบุคคล	61
รูปที่ 4.12 แสดงการเลื่อนตำแหน่งของสายอากาศที่ใช้ในการตรวจจับ	62
รูปที่ 4.13 แสดงการตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยอาศัยค่า SD	63
รูปที่ 4.14 แสดงการค้นหาตำแหน่งที่ค่า SD สูงสุดปรากฏ	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.15 แสดงการขึ้นภาพเฉพาะตำแหน่งที่มีบุคคลยืนอยู่.....	64
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลหลังกำแพงไม้ที่อยู่ตรงกลางของกำแพงโดยห่างจากกำแพงเป็นระยะ 1.0 เมตร.....	65
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลหลังกำแพงไม้ที่อยู่ตรงกลางของกำแพงโดยห่างจากกำแพงเป็นระยะ 1.5 เมตร	65
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลหลังกำแพงไม้ที่อยู่ตรงกลางของกำแพงโดยห่างจากกำแพงเป็นระยะ 2 เมตร	66
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงด้านขวาห่างจากกำแพงเป็นระยะ 1 เมตร	66
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงไม้ด้านขวาห่างจากกำแพงเป็นระยะ 2 เมตร.....	67
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงไม้ด้านซ้ายห่างจากกำแพงเป็นระยะ 1.2 เมตร.....	67
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงไม้ด้านซ้ายห่างจากกำแพงเป็นระยะ 1.6 เมตร.....	68
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงตำแหน่งบุคคล 2 บุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงตำแหน่งตรงกลางห่างจากกำแพงเป็นระยะ 1 เมตร และด้านซ้ายของกำแพงระยะ 2 เมตร.....	68
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงตำแหน่งบุคคล 2 บุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงตำแหน่งตรงกลางห่างจากกำแพงเป็นระยะ 1 เมตร และด้านขวาของกำแพงระยะ 1.5 เมตร.....	69
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงตำแหน่งบุคคล 2 บุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงตำแหน่งตรงกลางห่าง จากกำแพงเป็นระยะ 1 เมตร และด้านขวาของกำแพงระยะ 2 เมตร.....	69

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.26 (ก) รูปภาพแสดงบุคคลยืนอยู่หลังกำแพงที่ระยะ 0.5 เมตร (ข) กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงอิฐมอญแดงที่ตำแหน่งตรงกลางห่างจากกำแพงเป็นระยะ 0.5 เมตร.....	70
รูปที่ 4.27 (ก) รูปภาพแสดงบุคคลยืนอยู่หลังกำแพงที่ระยะ 1 เมตร (ข) กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงอิฐมอญแดงที่ตำแหน่งตรงกลางห่างจากกำแพงเป็นระยะ 1 เมตร.....	71
รูปที่ 4.28 (ก) รูปภาพแสดงบุคคลยืนอยู่หลังกำแพงที่ระยะ 1.5 เมตร (ข) กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงอิฐมอญแดงที่ตำแหน่งตรงกลางห่างจากกำแพงเป็นระยะ 1.5 เมตร.....	72
รูปที่ 4.29 (ก) รูปภาพแสดงบุคคลยืนอยู่หลังกำแพงที่ระยะ 2.0 เมตร (ข) กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงอิฐมอญแดงที่ตำแหน่งตรงกลางห่างจากกำแพงเป็นระยะ 2.0 เมตร.....	73
รูปที่ 4.30 (ก) รูปภาพไม่สามารถแสดงบุคคลยืนอยู่หลังกำแพงที่ระยะ 2.5 เมตรได้ (ข) กราฟไม่สามารถแสดงตำแหน่งบุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงอิฐมอญแดงที่ตำแหน่งตรงกลางห่างจากกำแพงเป็นระยะ 2.5 เมตร.....	74

บทที่ 1

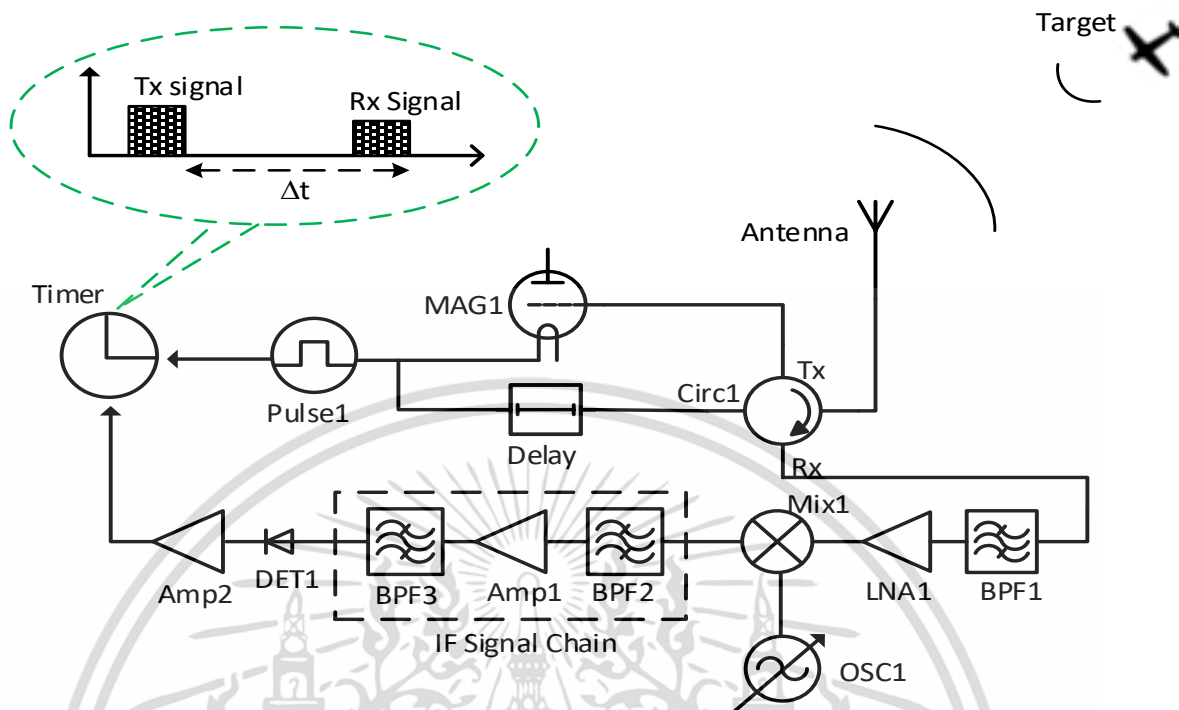
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เรดาร์ (Radar) เริ่มถูกวิจัยและประยุกต์ใช้อย่างเข้มข้นในช่วงสงครามโลกครั้งที่สองเพื่อตรวจจับเครื่องบินฝ่ายตรงข้ามให้ได้แม่นยำและรวดเร็วที่สุดเพื่อใช้ในเตรียมการและวางแผนล่วงหน้า นอกจากนี้เรดาร์สามารถตรวจจับเป้าหมายได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพทุกภาคสนามและสภาพอากาศมาก เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เรดาร์ส่งนั้นเป็นคลื่นที่มีความเร็วแสงและเป็นคลื่นที่ไม่อาศัยตัวกลางในการส่ง ในปัจจุบันเรดาร์ที่ใช้ตรวจจับเป้าหมายทางอากาศใช้ระบบพัลส์เรดาร์ (pulse radar system) คือการส่งสัญญาณคลื่นสั้น (short pulse) เพื่อตรวจสอบสัญญาณภาครับได้แม่นยำมากขึ้น ดังรูปที่แสดง 1.1 คือพัลส์เรดาร์ชนิดตัวส่งและตัวรับเดียวกัน (Monostatic radar)



(ก) ASR-9 เรดาร์ใช้สำหรับการจราจรทางอากาศ [1] (ข) TPS-59 3D เรดาร์ตรวจจับทางอากาศแบบเคลื่อนที่ได้ [1]



(ค) ไดอะแกรมการทำงานของระบบพัลส์เรดาร์

รูปที่ 1.1 ระบบพัลส์เรดาร์ (pulse radar system) ชนิดตัวส่งและตัวรับเดียวกัน (Monostatic radar)

จากรูปที่ 1.1(ค) เครื่องกำหนดสัญญาณพัลส์ (pulse1) ถูกใช้กระตุ้นแมกนีตรอน (mag1) ให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากำลังสูงในย่านความถี่ไมโครเวฟและมีรูปคลื่นพัลส์ สัญญาณพัลส์ถูกใช้กระตุ้น (trigger) เพื่อปรับ Circ1 ให้เป็นโหมดภาครับและกำหนดเวลาเริ่มรับสัญญาณภาครับที่ timer เมื่อได้รับสัญญาณภาครับแล้วทำการกรองสัญญาณรบกวนออก (BPF1) แล้วใช้ตัวขยายกำลังสัญญาณต่ำ (LNA1) ขึ้นตอนต่อไปนำสัญญาณออสซิลเลต (OSC1) และสัญญาณที่ออกจาก LNA1 มาทำการดีมอดูเลต (demodulate) ผ่านตัวคูณสัญญาณ (MIX1) จากนั้นผ่านตัวกรองความถี่กลาง (IF signal chain) สุดท้ายใช้อุปกรณ์ตรวจจับแบบไดโอดเพื่อหาสัญญาณภาครับมาหยุดเวลาที่ timer เพื่อคำนวณหาระยะเวลาเลื่อน (Δt) เมื่อทราบเวลาเลื่อนแล้วสามารถคำนวณหาระยะทางของเป้าหมายได้จากสมการต่อไปได้

พารามิเตอร์

$$P_t = 1.5 \text{ MW}$$

$$G = 45 \text{ dB}$$

$$f_0 = 5.6 \text{ GHz}$$

$$(\text{SNR})_{\min} = 20 \text{ dB}$$

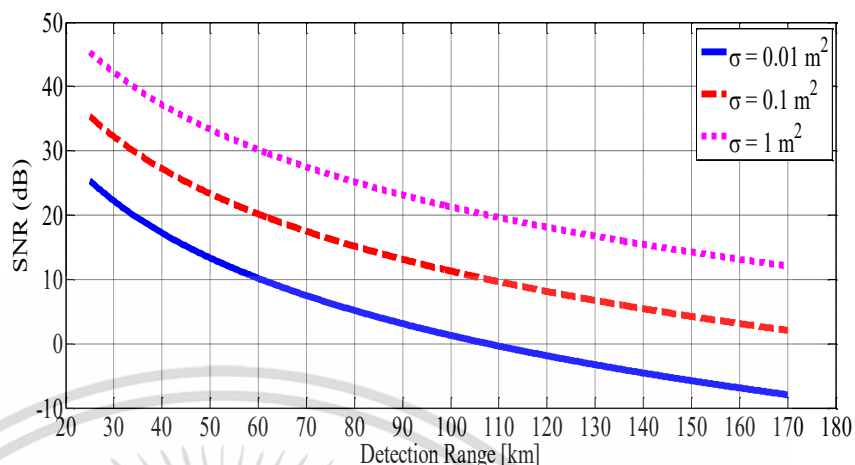
$$\text{RCS} = 0.1 \text{ m}^2$$

$$\tau = 0.2 \text{ } \mu\text{s}$$

$$L = 6 \text{ dB}$$

$$F = 3 \text{ dB}$$

$$T_0 = 290 \text{ K}$$



รูปที่ 1.2 การเปรียบเทียบ SNR กับระยะทางของเป้าหมายที่มี RCS ต่างกัน

จากรูปที่ 1.2 อธิบายว่าระบบเรดาร์ที่มีประสิทธิภาพที่ดีควรมีค่า SNR น้อย ทำให้ระบบสามารถตรวจจับเป้าหมายขนาดเล็กได้ไกลขึ้น

อย่างไรก็ตามรูปที่ 1.2 ไม่สามารถถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับมนุษย์หรือเป้าหมายสเกลระดับน้อยกว่าเซนติเมตรได้ (small and short range radar systems) เนื่องจากความกว้างของสัญญาณภาคส่งในแกนเวลา (τ) ต้องมีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับนาโนวินาทีเรียกว่า Ultra-wideband (UWB pulse radar) เพื่อให้ความละเอียดในการจำแนกเป้าหมายตั้งแต่หนึ่งขึ้นไปได้อย่างชัดเจน

ในวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือก UWB เป็นสัญญาณภาคส่งเรดาร์เพราะมีความละเอียดในการจำแนกมนุษย์ได้ดีที่สุดจากสัญญาณภาครับ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

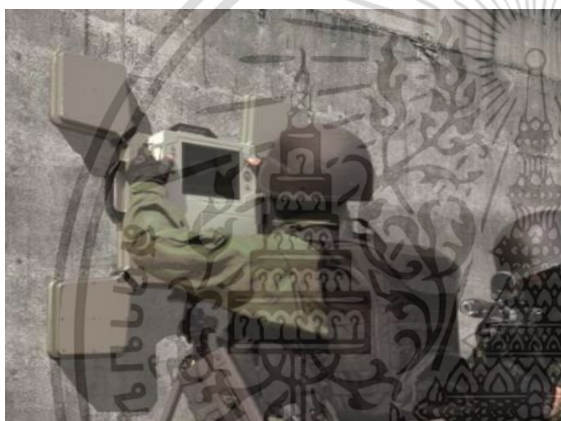
ในปัจจุบัน UWB เรดาร์ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการตรวจจับและแสดงภาพสองมิติของเป้าหมายจากระยะไกลและใกล้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อตอบสนองความต้องการที่จะเข้าใจและทราบพฤติกรรมของเป้าหมายและวัตถุโดยรอบจากระยะที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ข้อได้เปรียบของ UWB เรดาร์นี้สามารถนำไปใช้ในทางทหารและการช่วยเหลือมนุษย์ติดใต้ซากอาคารดังที่แสดงในรูป 1.3



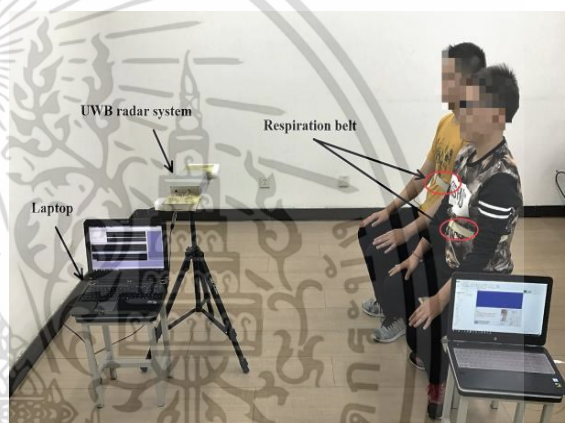
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 1.3 การประยุกต์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า UWB เพื่อตรวจจับและขึ้นภาพคนหลังกำแพง [3], [4], [5],

นอกจากนี้คลื่น UWB สามารถตรวจจับและแสดงความละเอียดในการจำแนกวัตถุในระดับเล็กกว่าสเกลเซนติเมตรได้มากกว่าคลื่นลักษณะอื่น นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ในการวัดอัตราการหายใจและอัตราการเต้นของหัวใจโดยใช้การสัมผัสของผิวหนัง (non-contact sensor) เพื่อลดการระคายเคืองของผิวหนังในกรณีที่มีคนไข้จำนวนมากหรือคนไข้เป็นโรคผิวหนังชนิดติดต่อผู้อื่นตามรูปที่ 1.4 (ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

ในปัจจุบันมีเทคนิคมากมายในการตรวจจับมนุษย์หลังกำแพงพร้อมประมวลผลภาพสองมิติหรือสามมิติโดยใช้ UWB เรดาร์ เนื่องจากมีความละเอียดสูงในการตรวจจับระยะทาง รูปร่าง และความถี่ดอปเพลอร์จากการเคลื่อนไหว ซึ่งในการวิจัยนี้ [6] สามารถใช้การตรวจจับมนุษย์จากความถี่ดอปเพลอร์ (Doppler Frequency) ของการเคลื่อนไหวและอัตราการหายใจ โดยใช้เครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าการแปลงฟูเรียร์ (Fourier transform) ในตรวจหาความถี่ดอปเพลอร์ เพื่อตรวจสอบบุคคลหรือสิ่งมีชีวิตที่เคลื่อนไหวอยู่หลังกำแพงได้และสิ่งกีดขวางจำพวก ไม้ อัฐ ปูน เป็นต้น ได้ ซึ่งถ้าสามารถวิจัยและผลิตอุปกรณ์ในขนาดที่เล็กลงในอนาคตได้ ทำให้อนาคตเราสามารถช่วยเหลือบุคคลหรือสิ่งมีชีวิตได้ขณะที่สายตาเรามองไม่เห็น

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยมีแนวคิดเรื่องการใช้คลื่นความถี่ขนาดต่ำและสูงเพื่อใช้ตรวจสอบสิ่งของหรือสิ่งมีชีวิตที่อยู่หลังสิ่งกีดขวางเพราะว่าคลื่นเหล่านี้สามารถทะลุผ่านได้ในบางตัวกลาง ทางผู้วิจัยจึงนำทฤษฎีบางอย่างมาประยุกต์ใช้เข้ากับงานวิจัยนี้ได้ดังนี้

1.4.1 พัฒนาระบบอัลกอริทึมของการประมวลผลสัญญาณ UWB ให้สามารถลดสัญญาณรบกวน (White Noise) และตัดสัญญาณที่ไม่ใช่เป้าหมายออก (clutter rejection) ให้มีความรวดเร็วโดยและไม่ลดทอนสัญญาณของเป้าหมาย เพื่อขึ้นภาพสองมิติของเป้าหมายได้อย่างแม่นยำ ชัดเจนและรวดเร็ว

1.4.2 พัฒนอัลกอริทึมของ FPGA ที่เชื่อมต่อฮาร์ดแวร์เพื่อลดจำนวนตัวอุปกรณ์ความถี่สูง เป็นผลให้ระบบมีขนาดที่ลดลงและราคาถูกลง พร้อมสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับสถานการณ์ต่างๆได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4.3 พัฒนาระบบการจำลองภาพสองมิติในโปรแกรม MATLAB Simulation เพื่อช่วยในการออกแบบฮาร์ดแวร์ของระบบให้เหมาะสมกับสถานการณ์

1.4.4 ออกแบบและพัฒนาสายอากาศของตัวส่งและตัวรับสัญญาณ UWB เพื่อเพิ่มอัตราขยายสัญญาณ (Gain) และลดค่าความเหนี่ยวนำร่วม (Mutual Inductance) ในย่านความถี่ที่กำหนด

1.4.5 พัฒนาระบบภาพสองมิติให้ตอบสนองเร็วขึ้นเมื่อเป้าหมายมีความเร็วและความเร่งที่เพิ่มขึ้น และสามารถบอกความเร็วของเป้าหมายนั้นได้

1.4.6 ศึกษาและพัฒนาระบบให้สามารถจำแนกวัตถุหลายๆชนิดได้โดยใช้หลักการ deep learning เป็นต้น

1.5 ขอบเขตการวิจัย

สร้างระบบการส่งคลื่นและรับ เพื่อแปลงออกมาเป็นสัญญาณภาพในรูปคลื่นได้ โดยใช้โปรแกรม MATLAB เข้าช่วยในการคำนวณ

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

การออกแบบและการวิเคราะห์ระบบการตรวจจับบุคคลหลังกำแพงโดยใช้ระเบียบวิธี อัลกอริทึมของการประมวลผลสัญญาณ UWB ได้อธิบายถึงขั้นตอนและวิธีการออกแบบ โดยส่วนเนื้อหาของบทต่างๆ ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนา ในบทนี้ได้กล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญ วัตถุประสงค์ของการวิจัย สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตการวิจัย รวมถึงขั้นตอนของการศึกษา เป็นต้น

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ในบทนี้จะกล่าวถึง ความรู้และเนื้อหาเกี่ยวกับระบบ อัลกอริทึมของการประมวลผลสัญญาณ UWB ,อัลกอริทึมของ FPGA ที่เชื่อมต่อฮาร์ดแวร์เพื่อลดจำนวนตัว อุปกรณ์ความถี่สูง และระบบการจำลองภาพสองมิติในโปรแกรม MATLAB Simulation เป็นต้น

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบโมเดลเสาอากาศที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ทั้งสูตรคำนวณในโปรแกรม MATLAB และระบบการจำลองภาพสองมิติในโปรแกรม MATLAB Simulation

บทที่ 4 ผลการทดลอง ในบทนี้จะกล่าวถึง ผลจากการจำลองเหตุการณ์ ที่ใช้องค์ประกอบของ กำแพงต่างกัน คือ กำแพงไม้ อิฐ และปูน เปรียบเทียบระหว่างบุคคลที่อยู่นิ่งและเดินไปมา เก็บค่า 4 ประเภท ได้แก่ สัญญาณข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลอง (Raw Data), สัญญาณภาครับจากการตัดสัญญาณที่ไม่เคลื่อนที่ออก (Clutter Reduction), การใช้ตัวกรองสัญญาณชนิดเรียบ (Smooth Filter), การแปลงฟูเรียร์แต่ละแถวของตารางเพื่อหาความถี่ต่อเพลอร์

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ในบทนี้จะกล่าวถึง สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะรวมถึงแนวทางในการพัฒนาการวิจัยต่อไป เพื่อผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำและใกล้เคียงความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

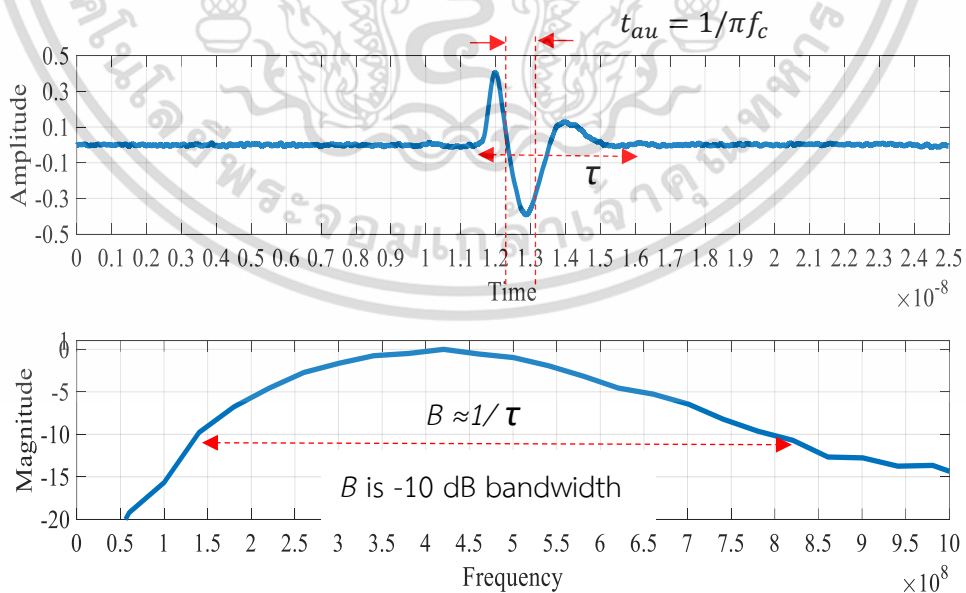
ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ UWB เรดาร์ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์พร้อมประมวลผลภาพสองมิติ และอธิบายการออกแบบระบบในการทดลองตลอดจนขบวนการประมวลผลสัญญาณภาครับ (Radar Signal Processing)

2.1 นิยามของ UWB เรดาร์

นิยามและสมการของสัญญาณ Ultra-wideband (UWB) เป็นสิ่งแรกที่ต้องรู้ในการออกแบบระบบเรดาร์ ซึ่งนิยามของสัญญาณ UWB ถูกกำหนดโดยสมาคม Federal Communications Commission (FCC) ตามนิยามดังต่อไปนี้ แบนด์วิธแคบ (Narrowband) ถ้า $0 < B_f \leq 0.01$ แบนด์วิธกว้าง (Wideband) ถ้า $0.01 < B_f \leq 0.25$ แบนด์วิธที่กว้างพิเศษ (Ultra-Wideband) ถ้า $0.25 < B_f$ โดยที่ B_f อธิบายตามสมการดังต่อไปนี้

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

โดยที่ f_H คือความถี่สูงสุดและ f_L คือความถี่ต่ำสุดวัดที่ตำแหน่งแอมพลิจูด -10 dB ตามรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปคลื่น UWB ที่มี $B_f > 0.25$ ตามเงื่อนไข FCC

เราสามารถกำหนด bandwidth ของคลื่น Ultra-wideBand ที่ต้องการได้โดยปรับให้ pulse width ให้กว้าง เมื่อ pulse width กว้างแล้ว bandwidth จะแคบตาม ซึ่งสามารถอธิบายดังสมการ (2.2)

$$\tau = \frac{1}{\text{Bandwidth}} \quad (2.2)$$

2.1.1 การใช้ฟังก์ชันเกาส์เซียนสำหรับอธิบายสัญญาณ UWB

จากฟังก์ชันเกาส์เซียนทั่วไป (Gaussian Distribution Function) สามารถอธิบายดังสมการ (2.3) โดยที่ σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) และ x คือชุดข้อมูล (Data)

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x}{\sqrt{2}\sigma}\right)^2} \quad (2.3)$$

จากสมการเกาส์เซียนนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้อธิบายสัญญาณ UWB เนื่องจากสัญญาณ UWB มีลักษณะเป็นคลื่นสั้น (pulse signal) ตามที่แสดงในสมการที่ (2.4) [1, Greg Barrie, “Ultra-Wideband Synthetic Aperture Data and Image Processing,” Defence R&D Canada-Ottawa.]

$$G(t, a) = A_0 e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^2} \quad (2.4)$$

จากสมการที่ (2.5) ตัวแปร $a = t_{au}/\sqrt{2}$ และอนุพันธ์ของสมการอันดับ n สามารถอธิบายตามสมการด้านล่าง เพื่อใช้ในการอธิบายลักษณะคลื่น UWB อันดับต่างๆ

$$G_n(t, a) = \frac{d^n G(t, a)}{dx^n} = (-1)^n \frac{1}{a^n} H_n\left(\frac{t}{a}\right) G(t, a) \quad (2.5)$$

โดยที่ H_n คือสมการพหุนามของเฮอริไมท์ (Hermite polynomials)

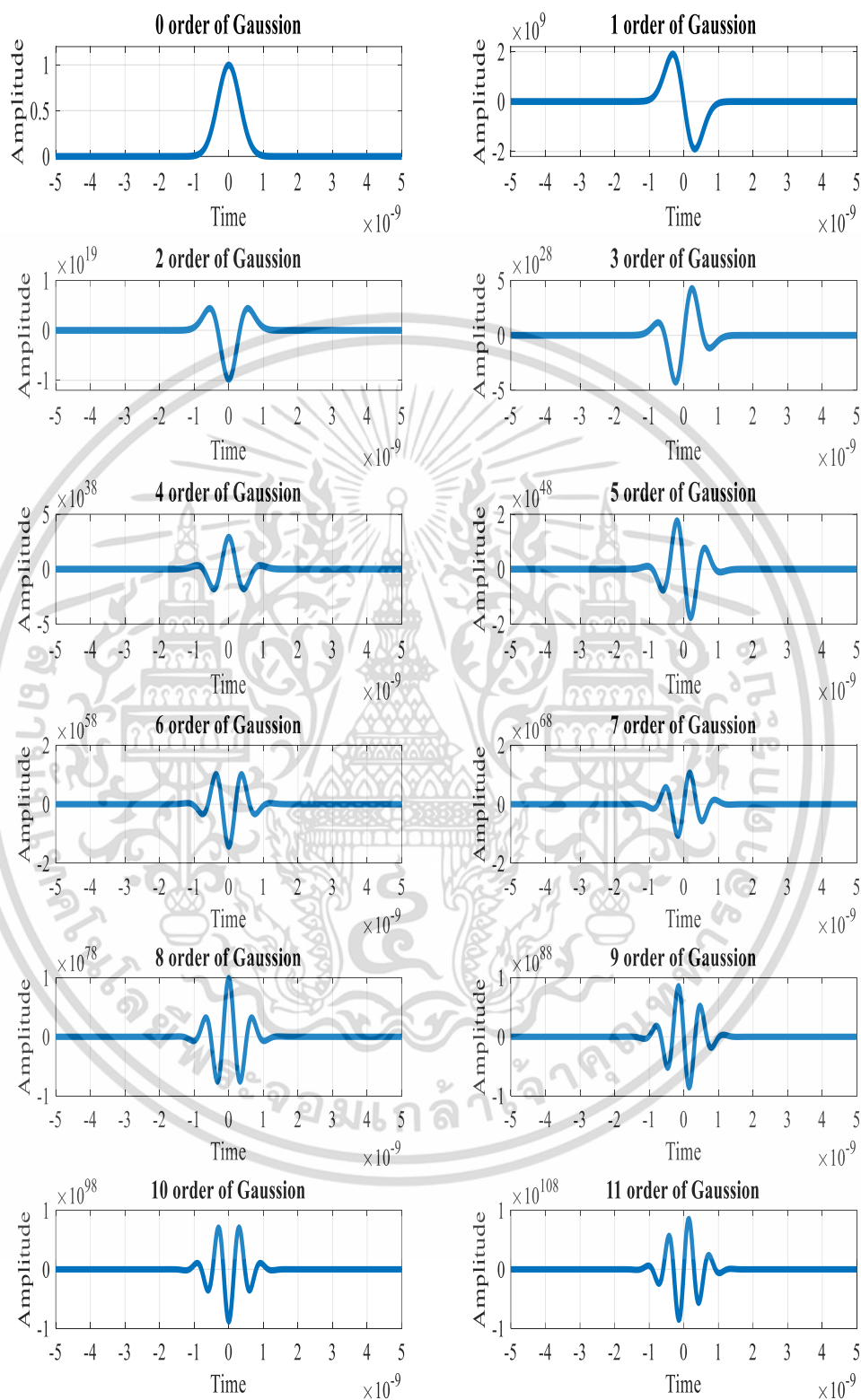
$$H_n\left(\frac{t}{a}\right) = (-1)^n e^{\left(\frac{t}{a}\right)^2} \frac{d^n}{dx^n} e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^2} \quad (2.6)$$

ตาราง 2.1 สมการพหุนามของเฮอริไมท์ที่ $H_n(x)$

$H_0(x) = 1$
$H_1(x) = 2x$
$H_2(x) = 4x^2 - 2$
$H_3(x) = 8x^3 - 12x$
$H_4(x) = 16x^4 - 48x^2 + 12$
$H_5(x) = 32x^5 - 160x^3 + 120x$

จากสมการที่ (2.5) นำมาอธิบายคลื่น UWB ลักษณะต่างๆ ตามที่แสดงรูปที่ 2.2 ซึ่งลักษณะคลื่นแต่ละชนิด จะถูกนำมาอธิบายตามการประยุกต์ของงานวิจัย



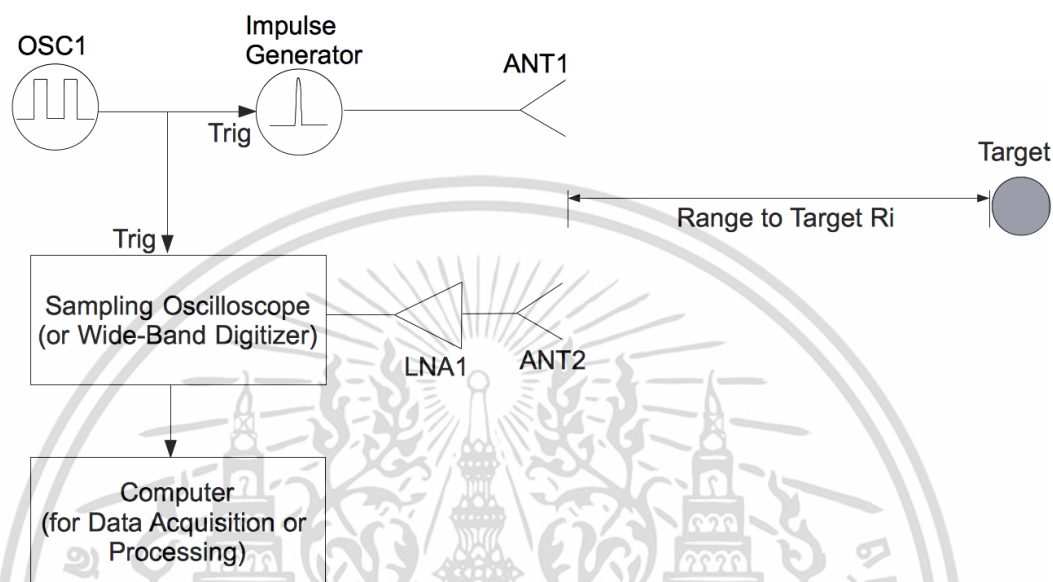


รูปที่ 2.2 ชนิดของคลื่น UWB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 พื้นฐานของระบบ UWB เรดาร์

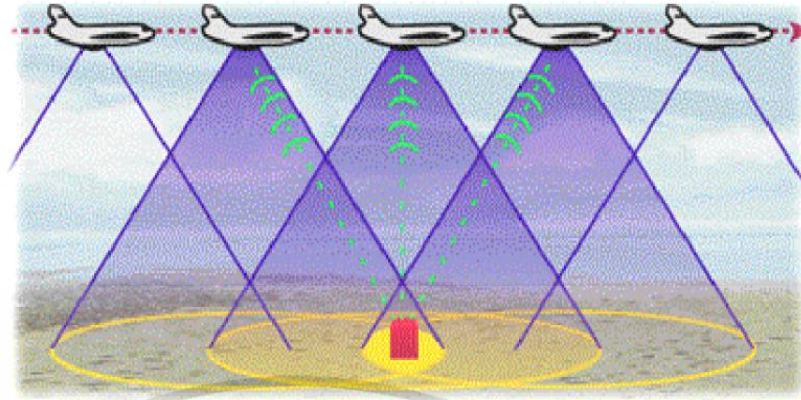
ระบบเรดาร์พื้นฐานนี้ถูกนำเสนอโดยใช้อุปกรณ์ห้องทดลองชั้นพื้นฐานในการสร้างตามรูปที่แสดงด้านล่าง



รูปที่ 2.3 ระบบ UWB เรดาร์พื้นฐาน

โดยที่สัญญาณสี่เหลี่ยมจาก OSC1 100kHz-500kHz เป็นตัวกำหนดการทำงานของเครื่องกำหนดพัลส์ (impulse generator) รุ่น HP 8133A 3GHz พร้อมกับเครื่องรับสัญญาณออสซิลโลสโคป (sampling oscilloscope) รุ่น Agilent DSO80604B 6GHz 40GSa/s เมื่อสัญญาณออกจากเครื่องกำหนดพัลส์ผ่านเสาอากาศ (Vivaldi antenna) จะส่งคลื่นไปตกกระทบบเป้าหมายและสะท้อนกลับมายังภาครับ โดยมีตัวขยายกำลังสัญญาณต่ำ (Low Noise Amplifier, LNA) รุ่น R&K-AA260-OS Small signal amplifier 2GHz-5GHz ทำหน้าที่ขยายสัญญาณต่ำเพื่อให้เครื่องรับตรวจจับเป้าหมาย

ในปัจจุบันวิธีการระบุตำแหน่งในสองมิติและสามมิติของเป้าหมายมีอยู่สองหลักการคือ Synthetic Aperture Radar (SAR) และ Inverse Synthetic Aperture Radar (ISAR) ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงระบบ SAR ซึ่งระบบ SAR ถือกำเนิดและถูกใช้สำหรับระบบเครื่องบินตามรูปที่แสดง 2.4

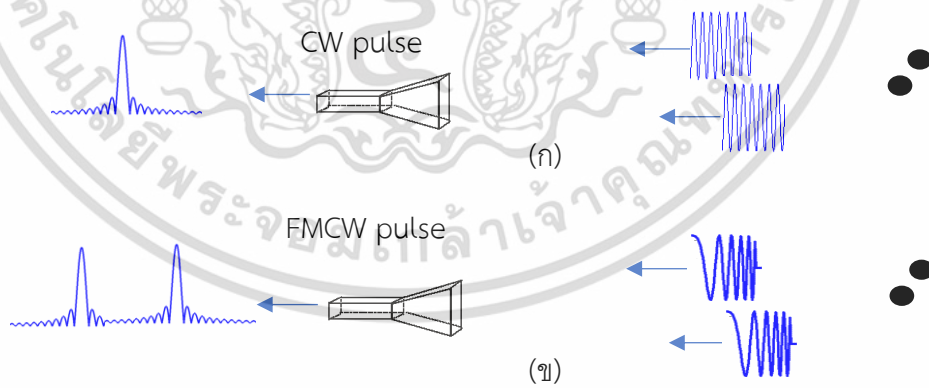


รูปที่ 2.4 วิธี SAR สำหรับเครื่องบิน [1]

และสัญญาณภาคส่งโดยมากนิยมใช้เป็น FMCW ตามสมการด้านล่าง

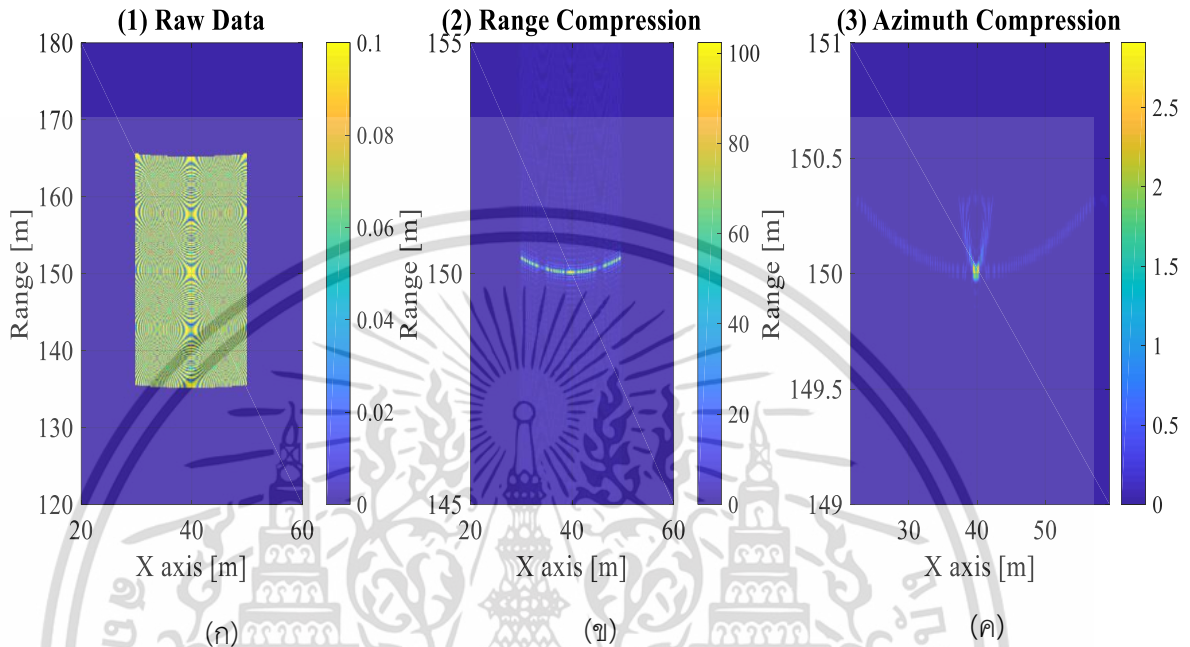
$$s(t) = \begin{cases} \cos\left(2\pi f_c t + \pi \frac{f_{sw}}{\tau} t^2\right), & t < \tau \\ 0, & t \geq \tau \end{cases} \quad (2.7)$$

เนื่องจากสามารถจำแนกเป้าหมายได้ดีกว่าคลื่นสัญญาณ Sine ขณะคลื่นเกิดการทับซ้อนกันดังรูปที่แสดง 2.5(ก) แต่คลื่นทับซ้อนที่มาจาก FMCW มีมมเฟสที่แตกต่างกันซึ่งสามารถแยกวัตถุได้ชัดเจนกว่าดังรูป 2.5(ข)



รูปที่ 2.5 FMCW พัลส์เรดาร์สามารถจำแนกเป้าหมายได้ดีกว่า CW พัลส์เรดาร์

จากรูปที่ 2.4 ระบบ SAR ของเครื่องบินคือการบินเป็นเส้นตรงเพื่อเก็บค่าสัญญาณภาครับหลายตำแหน่ง และได้ข้อมูลสัญญาณดังรูปที่แสดง 2.6(ก)



รูปที่ 2.6 ภาพสองมิติที่ได้จากอัลกอริทึม Range Doppler สำหรับ SAR ของระบบเครื่องบิน (ก) ข้อมูลดิบ (ข) บีบอัดระยะทางด้วย Matched Filter (ค) บีบอัดมุมด้วย Matched Filter

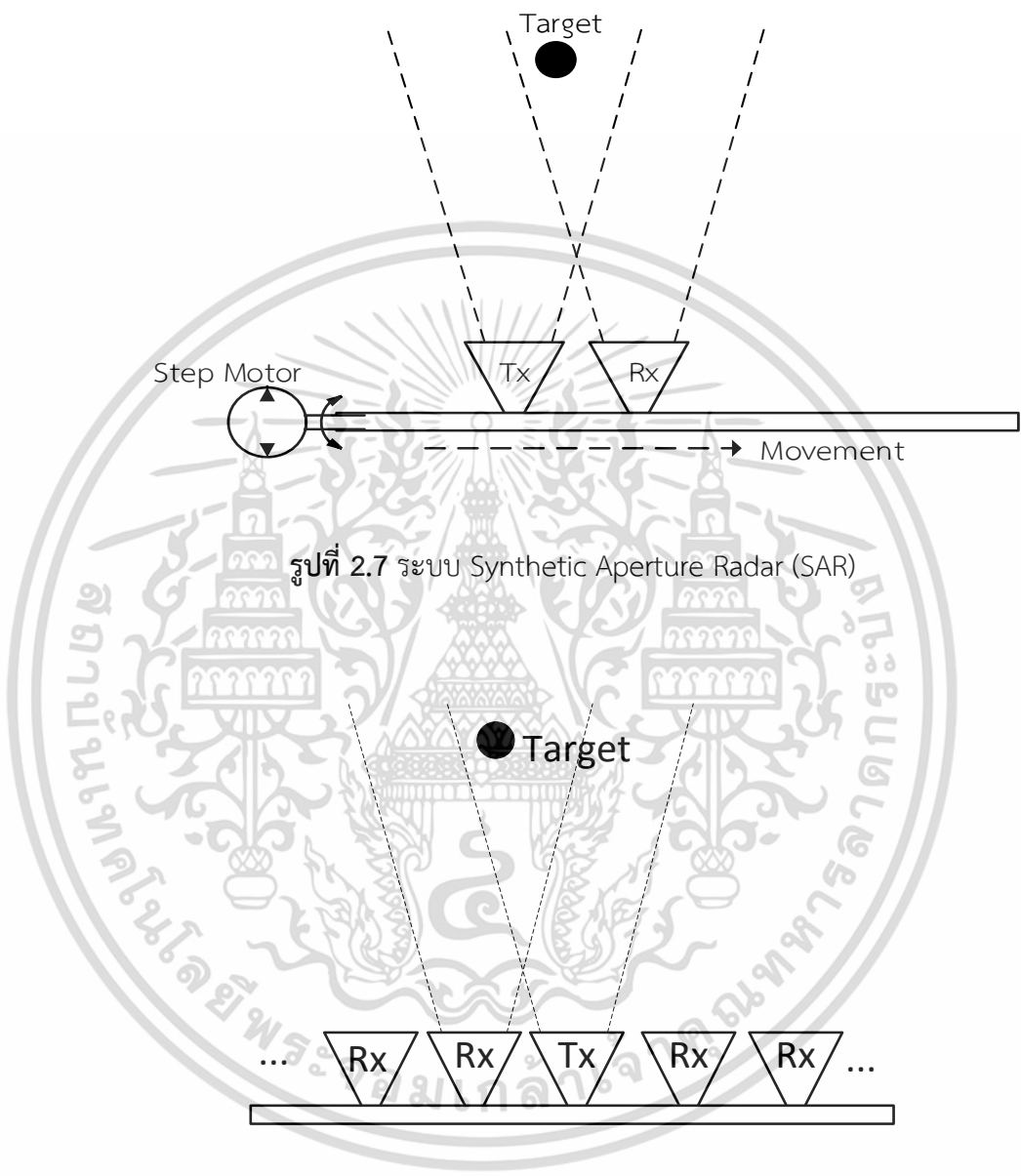
จากรูปที่แสดง 2.6(ก) สัญญาณภาครับมีหลายตำแหน่งจะทำให้ภาพที่ได้มีความคมชัดมากขึ้นโดยใช้วิธีการ matched filter ตามสมการด้านล่าง

$$y(t_s) = F^{-1}\{F\{s_{ref}(t)\} \cdot F\{s_{rx}(t)\}^*\} \quad (2.8)$$

ผลลัพธ์ที่ได้ถูกแสดงดังรูป 2.6(ข) และ 2.6(ค) โดยเรียกกระบวนการนี้ว่าการบีบอัดในแนวระยะทาง (range compression) และการบีบอัดในแนวมุม (azimuth compression) และเรียกหลักการขึ้นภาพนี้ว่า Range and Doppler algorithm (RD)

อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านี้ไม่เหมาะสมกับ UWB เรดาร์ตรวจจับมนุษย์หลังกำแพงเพราะมีพื้นที่สแกนที่จำกัด ดังนั้นจึงเป็นที่มาของวิธี back projection เพื่อใช้กับระบบ SAR ตามรูปที่ 2.7 หรือระบบ

เสาอากาศอาร์เรย์ตามรูปที่แสดง 2.8 โดยใช้ข้อมูลไม่ต้องมากก็สามารถขึ้นภาพสองมิติได้ จึงเป็นขอ
ได้เปรียบของวิธีนี้ซึ่งจะกล่าวต่อไป



รูปที่ 2.7 ระบบ Synthetic Aperture Radar (SAR)

รูปที่ 2.8 ระบบ Synthetic Aperture Radar (SAR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบัน Ultra-wideband (UWB) เรดาร์ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการตรวจจับและแสดงภาพสองมิติของเป้าหมายจากระยะไกลและใกล้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อตอบสนองความต้องการที่จะเข้าใจและทราบพฤติกรรมของเป้าหมายและวัตถุโดยรอบจากระยะที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ซึ่งนำไปสู่การประยุกต์ทางทหารและการช่วยเหลือมนุษย์ติดใต้ซากอาคารดังที่แสดงในรูป 2.9



รูปที่ 2.9 การประยุกต์ UWB เรดาร์ในการตรวจจับคนหลังกำแพง [2], [3], [4]

อย่างไรก็ตามในการประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดล้วนแต่มีข้อได้เปรียบและเสียเปรียบในการประยุกต์ใช้ที่แตกต่างกันไปดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของคลื่นที่ย่านความถี่ต่าง ๆ

	CW	FMCW	UWB	Infrared	X-ray
Detecting multiple targets	Low resolution	High resolution	Very high resolution	Very high resolution	Very high resolution
Through the Concrete wall	low attenuation in wall	low attenuation in wall	Middle attenuation in wall	Can't through wall	high attenuation in wall
Range detection	Difficult	Short and long ranges	Short and middle ranges	Short range	Short range
Dangerous to user	low	low	Very low (short pulse)	Cause heat to skin	Effect to DNA
Setup	Easy	Easy	Easy	Medium	Difficult
Cost	low	low	low	Medium	high

จากข้อที่หนึ่งของตาราง 2.1 จะเห็นได้ว่า UWB มีความละเอียดสูงที่สุดในการจำแนกหลายเป้าหมายพร้อมกับส่งผลอันตรายต่อผู้ใช้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับคลื่นชนิดต่าง ๆ ดังนั้น UWB พัลส์เรดาร์จึงมีความเหมาะสมในการตรวจจับและขึ้นภาพมนุษย์หรือวัตถุที่มีขนาดเล็กและต้องการความละเอียดสูง

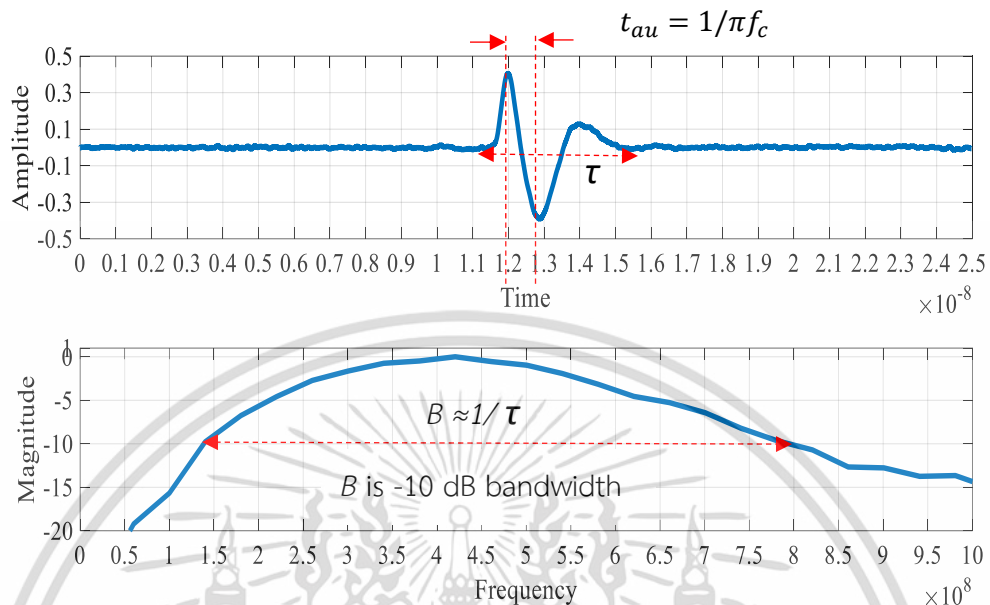
2.3.1 นิยามของ UWB เรดาร์

นิยามและสมการของสัญญาณ Ultra-wideband (UWB) เป็นสิ่งแรกที่ต้องรู้ในการออกแบบระบบเรดาร์ ซึ่งนิยามของสัญญาณ UWB ถูกกำหนดโดยสมาคม Federal Communications Commission (FCC) ตามนิยามดังต่อไปนี้ แบนด์วิธแคบ (Narrowband) ถ้า $0 < B_f \leq 0.01$ แบนด์วิธกว้าง (Wideband) ถ้า $0.01 < B_f \leq 0.25$ แบนด์วิธกว้างพิเศษ (Ultra-Wideband) ถ้า $0.25 < B_f$ โดยที่ B_f อธิบายตามสมการดังต่อไปนี้

$$B_f = \frac{B}{f_c} = 2 \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ f_H คือความถี่สูงสุดและ f_L คือความถี่ต่ำสุดวัดที่ตำแหน่งแอมพลิจูด -10 dB ตามรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.10 รูปคลื่น UWB ที่มี $B_f > 0.25$ ตามเงื่อนไข FCC

จากฟังก์ชันเกาส์เซียนทั่วไป (Gaussian Distribution Function) สามารถอธิบายดังสมการ (2.10) โดยที่ σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) และ x คือชุดข้อมูล (Data) [5]

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x}{\sqrt{2}\sigma}\right)^2} \quad (2.10)$$

จากสมการเกาส์เซียนนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้อธิบายสัญญาณ UWB เนื่องจากสัญญาณ UWB มีลักษณะเป็นคลื่นสั้น (pulse signal) ตามที่แสดงในสมการที่ (2.11) [5]

$$G(t, a) = A_0 e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^2} \quad (2.11)$$

จากสมการที่ (2.11) ตัวแปร

$$a = \sqrt{2}\sigma = \frac{t_{au}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{6}\tau$$

τ คือความกว้างสัญญาณ (pulse width) และอนุพันธ์ของฟังก์ชันอันดับ n สามารถอธิบายตามสมการด้านล่าง เพื่อใช้ในการอธิบายลักษณะคลื่น UWB อันดับต่าง ๆ

$$G_n(t, a) = \frac{d^n G(t, a)}{dx^n} = (-1)^n \frac{1}{a^n} H_n\left(\frac{t}{a}\right) G(t, a) \quad (2.12)$$

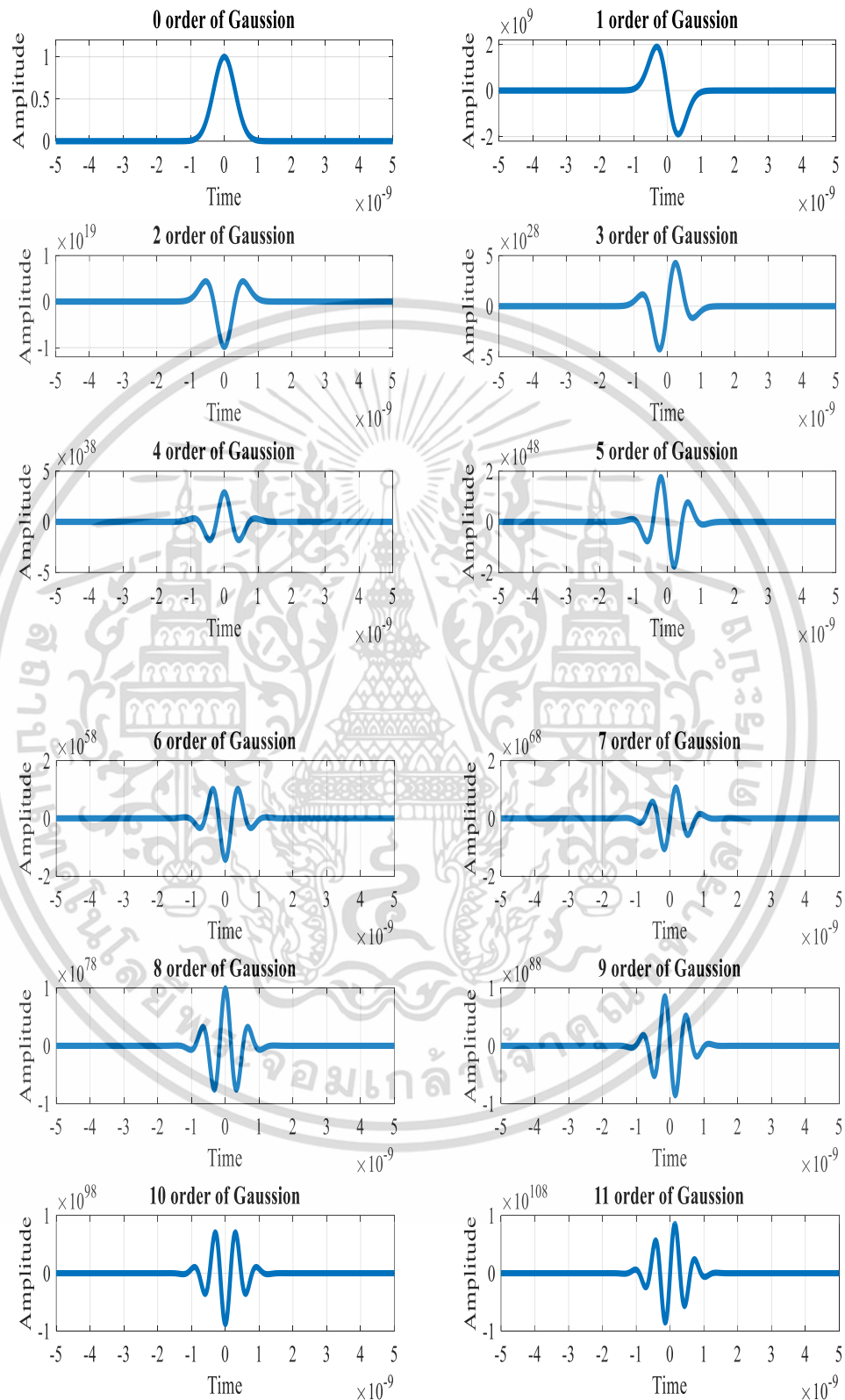
โดยที่ H_n คือสมการพหุนามของเฮอริไมท์ (Hermite polynomials)

$$H_n\left(\frac{t}{a}\right) = (-1)^n e^{\left(\frac{t}{a}\right)^2} \frac{d^n}{dx^n} e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^2} \quad (2.13)$$

ตารางที่ 2.2 สมการพหุนามของเฮอริไมท์ที่ $H_n(x)$

$H_0(x) = 1$
$H_1(x) = 2x$
$H_2(x) = 4x^2 - 2$
$H_3(x) = 8x^3 - 12x$
$H_4(x) = 16x^4 - 48x^2 + 12$
$H_5(x) = 32x^5 - 160x^3 + 120x$

จากสมการที่ (2.11) และ (2.12) นำมาอธิบายคลื่น UWB ลักษณะต่าง ๆ ตามที่แสดงรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ชนิดของคลื่น UWB

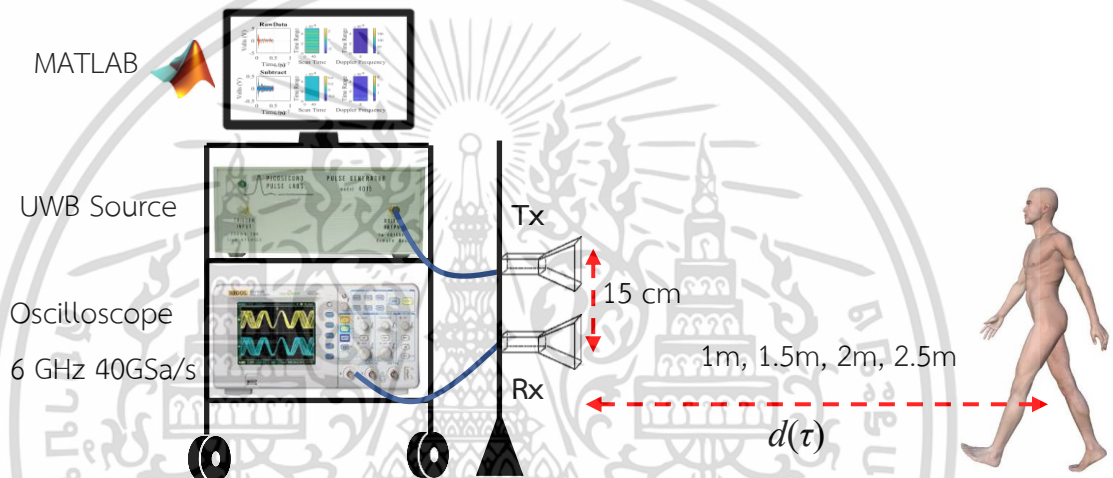
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 วิธีการวิจัย

หัวข้อนี้ได้ศึกษาการประมวลผลสัญญาณของการตรวจจับการเคลื่อนที่ของมนุษย์พร้อมคำนวณหาค่าระยะทางจากการทดลองจริงที่ระยะ 1, 1.5, 2, และ 2.5 เมตร ตามลำดับ



(ก) การเซตระบบของการประมวลผลสัญญาณของการตรวจจับการเคลื่อนที่ของมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) การทดลองจริง

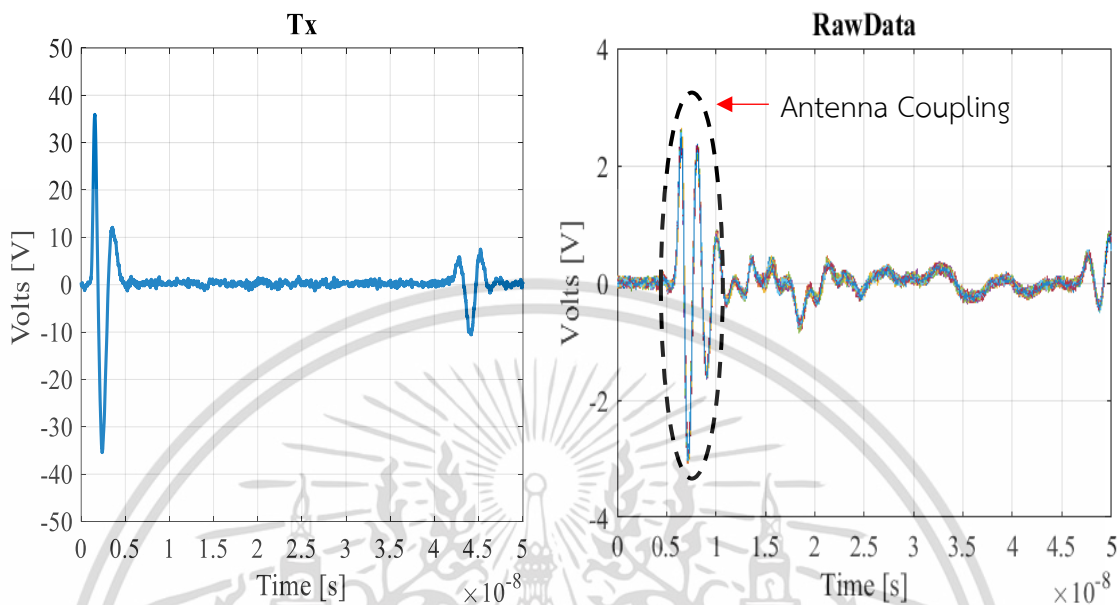
รูปที่ 3.1 การตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ขณะมีโลหะที่ระยะ 2 เมตร

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางสายอากาศ Vivaldi และอุปกรณ์การทดลอง

ความถี่กลางของเสาอากาศแบบ Vivaldi	1 GHz
ความกว้างของย่านความถี่ (Frequency Bandwidth)	520 MHz
ระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสอง	15 cm
ระยะห่างระหว่างมนุษย์และเสาอากาศ	1m, 1.5m, 2m
เครื่องกำเนิดสัญญาณ UWB ยี่ห้อ Picosecond Pulse Labs, Model-2600	$V_{out} = 45 \text{ V}$
อุปกรณ์รับสัญญาณ Agilent Oscilloscope, DSO80604B	ย่านความถี่ 6 GHz 40 GSa/s

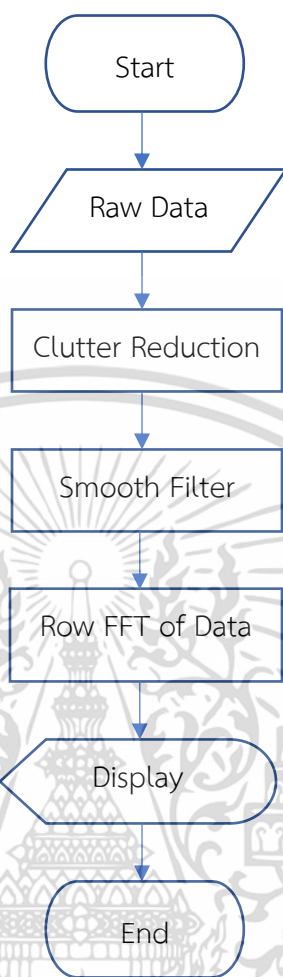
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการปล่อยคลื่นสัญญาณที่ภาคส่งแล้วทำการเก็บสัญญาณที่ภาครับแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สัญญาณภาคส่งจากการทดลองของรูปที่ 3.1

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าสัญญาณภาครับมีความเพี้ยนมากเนื่องพลังงานภาคส่งแพร่มายังภาครับมาก (Antenna Coupling, Mutual Inductance) ส่งผลให้สัญญาณที่สะท้อนจากมนุษย์เห็นค่าได้น้อยมาก สาเหตุเกิดจากความถี่กลางของเสาอากาศ 1 GHz ไม่เข้ากัน (Impedance Mismatch) กับความถี่กลางของเครื่องกำเนิดสัญญาณ ปัญหานี้สามารถถูกแก้โดยออกแบบเสาอากาศใหม่ให้เหมาะสมกับความถี่ของเครื่องกำเนิด อย่างไรก็ตามในหัวข้อนี้จะนำเสนอวิธีการตรวจจับสัญญาณของมนุษย์จากการวิธีการตรวจจับความถี่ต่อเพลอร์ของมนุษย์ตามแผนผังที่แสดงด้านล่าง (Signal Processing Flowchart) ดังต่อไปนี้

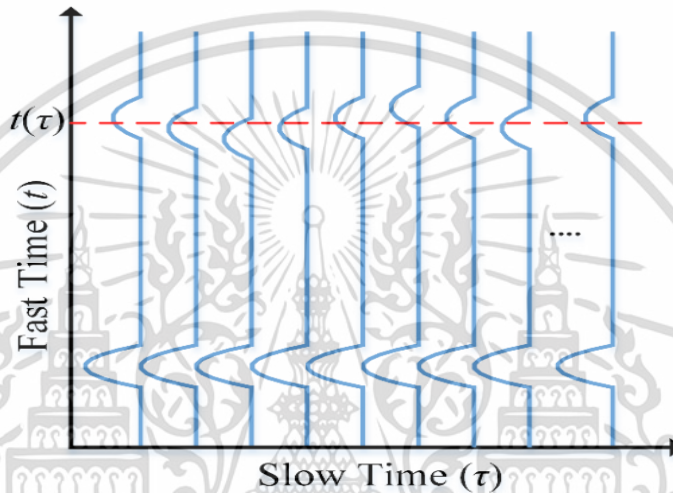


รูปที่ 3.3 แผนผังวิธีการตรวจจับการเคลื่อนที่ของมนุษย์จากการวัดความถี่ดอปเพลอร์

จากรูปที่ 3.3 แสดงวิธีการประมวลผลสัญญาณขั้นพื้นฐานของสัญญาณ UWB ในการตรวจจับการเคลื่อนที่ของมนุษย์หรือวัตถุอื่น ๆ จากการวัดความถี่ดอปเพลอร์ โดยขั้นตอนแรกคือการเก็บข้อมูลของสัญญาณ

3.2 สมการของสัญญาณที่ใช้ในการประมวลผล (Raw Data)

สัญญาณที่ภาครับ (Received Signal) มีความถี่ของสัญญาณภาคส่งบวกกับความถี่ดอปเพลอร์ของมนุษย์ (f_0+f_d) จึงเป็นการยากที่จะหาความถี่ดอปเพลอร์ด้วยวิธี demodulation ทั่วไป ดังนั้นในการหาความถี่ดอปเพลอร์นั้นสามารถหาได้จากการเปลี่ยนแปลงของมุมเฟสของสัญญาณที่สะท้อนจากมนุษย์ ($d\phi/dt = 2\pi f_d$) ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 สัญญาณภาครับที่เกิดจากการแกว่งแขนของมนุษย์

โดยที่

แกนตั้ง t คือแกนเวลาของสัญญาณภาครับเรียกว่า time range หรือ fast time

แกนนอน τ คือเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเรียกว่า scan time หรือ slow time

นอกจากนี้สัญญาณภาครับ $R(t, \tau)$ สามารถถูกอธิบายได้ตามสมการด้านล่างดังต่อไปนี้

$$R(t, \tau) = \sum_p \sigma_p s(t - t_p) + \sum_h \sigma_h s(t - t_h(\tau)) \quad (3.1)$$

โดยที่

$s(t)$ คือสัญญาณ UWB ภาคส่งถูกอธิบายในสมการ (1.13)

$\sum_p \sigma_p s(t - t_p)$ คือจำนวนสัญญาณที่ได้จากวัตถุที่ไม่เคลื่อนที่ (static target signals) โดย σ_p คือขนาดของสัญญาณสะท้อน (Reflection amplitude)

$\sum_h \sigma_h s(t - t_h(\tau))$ คือจำนวนสัญญาณที่ได้จากมนุษย์ (human motion) โดย σ_h คือขนาดของสัญญาณสะท้อนของมนุษย์ (Reflection human amplitude) นอกจากนี้ $t_h(\tau)$ คือเวลาที่เลื่อน (Time Shift) เนื่องจากการเคลื่อนที่ของวัตถุตั้งสมการที่ (3.2) โดยที่ c คือความเร็วแสงค่า ส่วนค่า “2” ในสมการนั้นหมายถึงการประมาณระยะทางขาไปบวกกับระยะทางขากลับของสัญญาณ เนื่องจากการว่างเสาอากาศทั้งสองมีระยะใกล้กันเมื่อเทียบกับตำแหน่งของมนุษย์

$$t_h(\tau) = \frac{2d(\tau)}{c} \quad (3.2)$$

และ $d(\tau)$ คือระยะห่างระหว่างมนุษย์และเสาอากาศถูกอธิบายสมการที่ (3.3)

$$d(\tau) = d_0 + A_w \sin(2\pi f_w \tau) + A_r \sin(2\pi f_r \tau) + A_h \sin(2\pi f_h \tau) \quad (3.3)$$

โดยที่ d_0 คือตำแหน่งของมนุษย์ที่ไม่เคลื่อนที่ (nominal distance) และ $A_w \sin(2\pi f_w \tau)$, $A_r \sin(2\pi f_r \tau)$, $A_h \sin(2\pi f_h \tau)$ คือระยะทางแบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย (simple harmonic motion) ที่เกิดจากการแกว่งแขน การหายใจ และการเต้นของหัวใจตามลำดับ โดยที่ A_w , A_r , A_h คือขนาดของสัญญาณ และ f_w , f_r , f_h คือความถี่ต่อเพลอร์

จากสมการ $R(t, \tau)$ เป็นฟังก์ชันเวลาต่อเนื่อง (continuous time signal) ถูกอธิบายเป็นฟังก์ชันเวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete Time Signal) เนื่องจากค่าที่ได้จากการวัดสัญญาณเป็นข้อมูลแบบดิจิทัล

$$R[n, m] = \sum_p \sigma_p s[n\Delta t - t_p] + \sum_h \sigma_h s[n\Delta t - t_h[m\Delta \tau]] = c[n] + h[n, m] \quad (3.4)$$

ในทางปฏิบัติจริงสัญญาณภาครับเกิดความเพี้ยนและสามารถถูกอธิบายได้ดังต่อไปนี้

$$R[n, m] = h[n, m] + c[n] + l[n, m] + w[n, m] + q[n, m] \quad (3.5)$$

โดยที่

$h[n, m]$ คือสัญญาณการเคลื่อนไหวของมนุษย์ (human micro-motion signal)

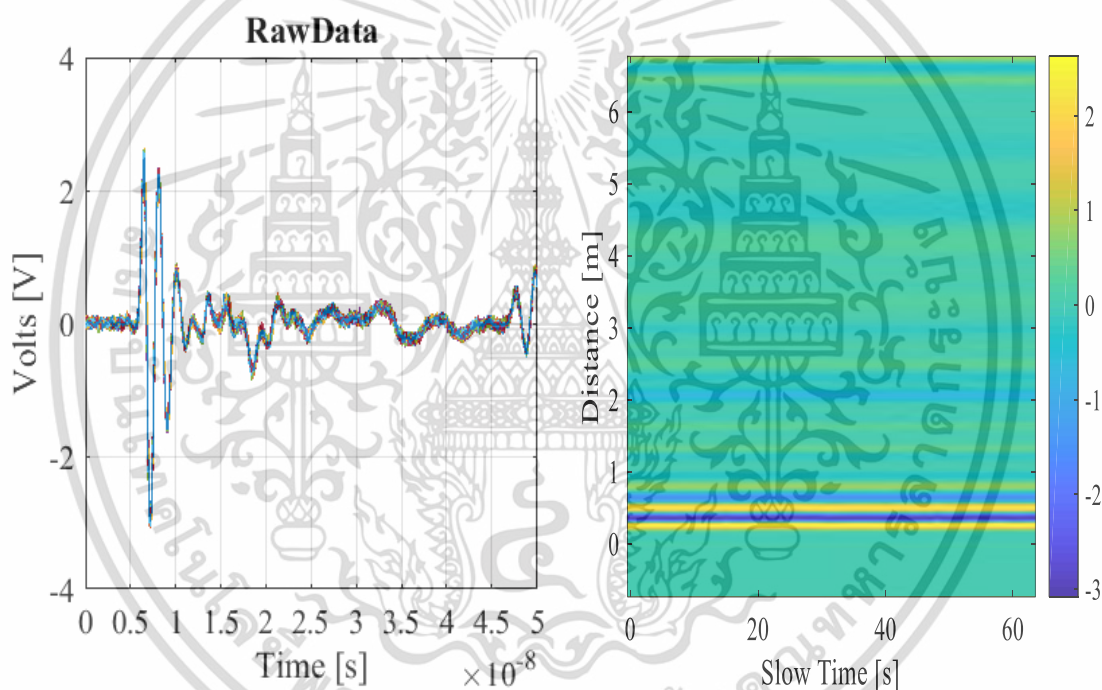
$c[n]$ คือสัญญาณรบกวนที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (static clutter) เกิดจากสัญญาณที่ส่งนั้นตกกระทบกับวัตถุที่ไม่เคลื่อนที่ เช่น กำแพงและวัตถุรอบ ๆ ของสนามทดสอบ

$[n, m]$ คือความเพี้ยนของสัญญาณเชิงเส้นตรง (linear trend) เกิดจากระบบการทริกเกอร์ของเรดาร์ (Radar Trigger) เช่น อุปกรณ์ A/D ที่ถูกรบกวนเป็นต้น

$w[n, m]$ คือสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน (Add White Gaussian Noise, AWGN) โดยมากเกิดจากความรบกวนของตัวอุปกรณ์ในระบบ

$q[n, m]$ คือสัญญาณรบกวนที่มีการเปลี่ยนแปลง (non-static clutter) เช่น วัตถุรอบข้างมีการเคลื่อนไหวที่ไม่ใช่มนุษย์

สุดท้ายการทดลองจริงของรูป 3.2 สามารถอธิบายในรูปสมการ (3.5) ได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 สัญญาณข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลอง (Raw Data) ของรูปที่ 3.2

โดยเราสามารถกำหนด sampling rate ได้โดยอ้างอิงจากสมการด้านล่าง

$$f_s \geq 2f_{max}$$

โดย f_s คือความถี่ที่จะทำการ sampling

f_{max} คือความถี่มากที่สุดในสัญญาณที่ทำการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

f_s จะเป็นตัวกำหนดความละเอียดของข้อมูลซึ่งจะสัมพันธ์กับสมการที่กำหนดอัตราการ sampling โดยอ้างอิงจากสมการด้านล่าง

$$\Delta t = \frac{1}{f_s} \quad (3.6)$$

โดย Δt คือระยะเวลาในการจับข้อมูลแต่ละครั้ง

ดังนั้นจึงสามารถกำหนดความละเอียดของข้อมูลโดยเพิ่มความถี่ f_s ได้

ในหัวข้อต่อ ๆ ไปจะกล่าวถึงวิธีการลดสัญญาณ $c[n]$, $l[n, m]$, $w[n, m]$ และ $q[n, m]$ ตามลำดับส่งผลให้สัญญาณ $h[n, m]$ มีความชัดเจนมากขึ้น เพื่อตรวจจับตำแหน่งของมนุษย์จากความถี่ต่อเพลอร์

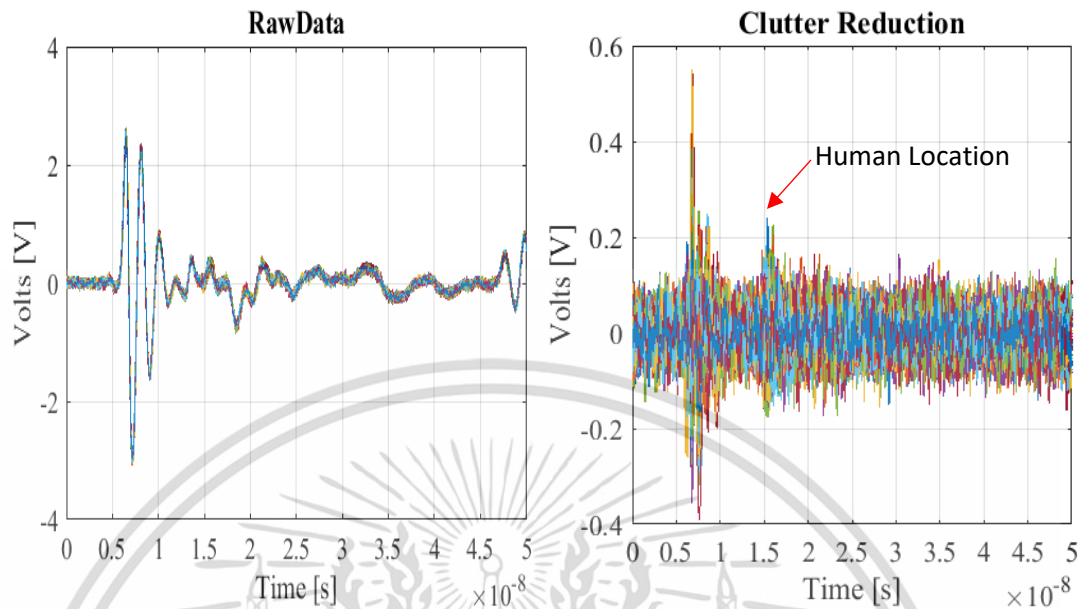
3.3 การตัดสัญญาณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Clutter Reduction)

สัญญาณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง $c[n]$ สามารถถูกพิจารณาเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงหรือฟังก์ชันค่าเฉลี่ยได้ดังสมการด้านล่าง

$$c[n] = \sum_p \sigma_p s[n\Delta t - t_p] = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M R[n, m] \quad (3.7)$$

ดังนั้นสัญญาณภาครับที่ถูกปรับปรุงคือ

$$\Omega[n, m] = R[n, m] - \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M R[n, m] \quad (3.8)$$



รูปที่ 3.6 สัญญาณภาครับจากการตัดสัญญาณที่ไม่เคลื่อนที่ออก (Clutter Reduction)

จากรูปที่ 3.6 สามารถระบุตำแหน่งของมนุษย์ได้จากการเคลื่อนไหวเล็กน้อย ในกรณีการทดลองสัญญาณของ antenna coupling มีขนาดสัญญาณที่มากและมีการเปลี่ยนแปลงของเวลาเล็กน้อย เนื่องจากความคลาดเคลื่อนอุปกรณ์ความถี่สูงภาครับภาคส่งและสิ่งแวดล้อมรอบข้าง อย่างไรก็ตามปัญหานี้หรือปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณของกำแพงสามารถถูกแก้โดยการกำหนดให้เป็นศูนย์เพราะเรารู้อยู่แล้วว่าขนาดสัญญาณเหล่านี้มีค่ามากกว่าสัญญาณของมนุษย์ เพราะกำลังภาครับแปรผกผันกับตำแหน่งของมนุษย์แบบยกกำลังสี่ $Pr \propto 1/d^4$ โดยกระบวนการทางโปรแกรมถูกนำเสนอที่อัลกอริทึม 3.1

Algorithm 3.1 Clutter Reduction

Require: we need to reduce the clutter environment

- 1: $s_{dc}[n, 1] = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M R[n, m]$
- 2: **for** $m = 1$ to M **do**
- 3: $R[n, m] = R[n, m] - s_{dc}[t, 1]$
- 4: **end for**

3.4 การใช้ตัวกรองสัญญาณชนิดเรียบ (Smooth Filter)

เมื่อทำการตัดสัญญาณชนิดคงที่แล้ว ต่อมาทำการลดสัญญาณรบกวนเพื่อเพิ่ม Signal to Noise Ratio (SNR) โดยอัลกอริทึมตามด้านล่าง

ตารางที่ 3.2 การตัดสัญญาณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Clutter Reduction)

Algorithm 3.1 Clutter Reduction

Require: we need to reduce the clutter environment

$$1: s_{dc}[n, 1] = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M R[n, m]$$

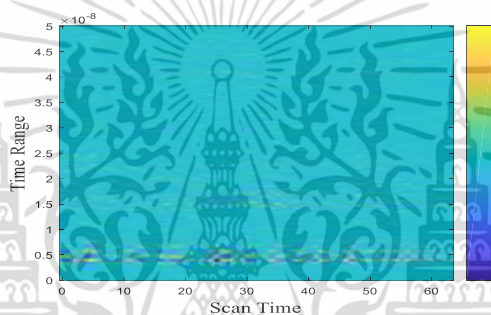
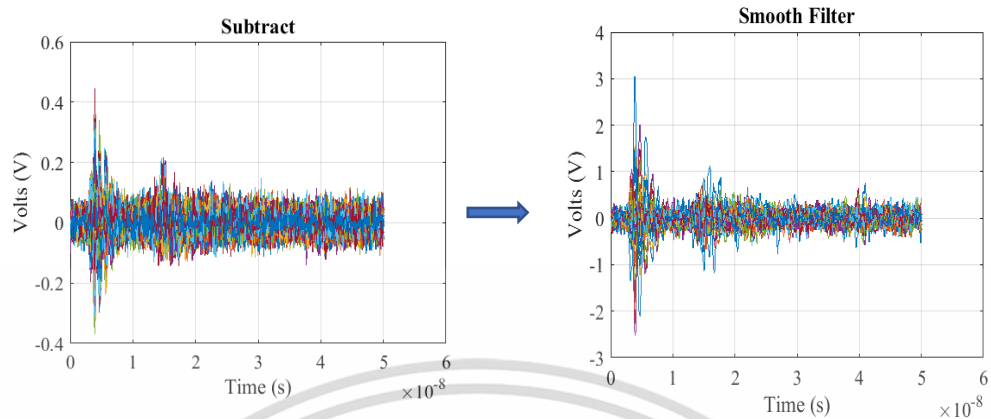
2: for $m = 1$ to M do

$$a: R[n, 1] = R[n, m]$$

for $\tau = 1$ to M do

$$R[t, \tau] = \frac{1}{2\lambda + 1} (R[t + \lambda, \tau] + R[t + \lambda - 1, \tau] + \dots + R[t - \lambda, \tau])$$

โดย λ คือจำนวนค่าที่ใช้ในการเฉลี่ย

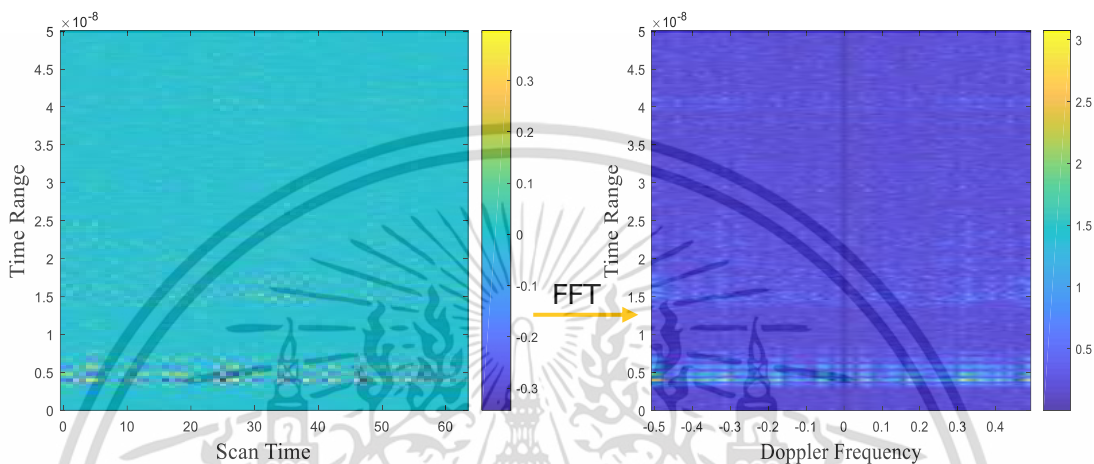


รูปที่ 3.7 การใช้ตัวกรองสัญญาณชนิดเรียบ (Smooth Filter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การแปลงฟูเรียร์ (Smooth Filter)

สุดท้ายใช้การแปลงฟูเรียร์ในแนวนอนของข้อมูล (FFT of Row Data) เพื่อหาความถี่ดอปเพลอร์ของเป้าหมายที่เคลื่อนที่



รูปที่ 3.8 การแปลงฟูเรียร์แต่ละแถวของตารางเพื่อหาความถี่ดอปเพลอร์

คำนวณระยะห่างระหว่างมนุษย์อย่างง่ายที่ได้จากการทดลอง โดยระยะจริงคือ 2.1 เมตร

$$R \approx \frac{ct}{2} = \frac{3 * 10^8 * 1.5 * 10^{-8}}{2}$$

$$R = 2.25 \text{ m}$$

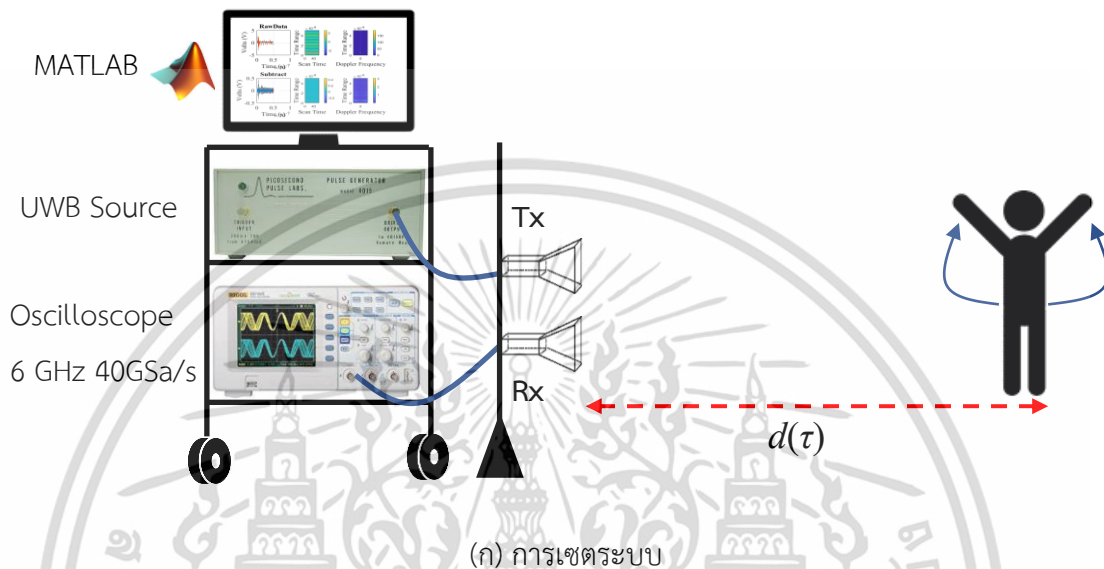
ความคลาดเคลื่อนของระยะทาง

$$\text{error} = \left| \frac{2.1 - 2.25}{2.1} \right| * 100 \% = 7.14 \%$$

ค่าความคลาดเคลื่อนโดยมากเกิดจากเสาอากาศตัวส่งและตัวรับอยู่ห่างกัน แต่มีความจำเป็นต้องวางระยะห่างถึง 15 cm เนื่องจากระยะใกล้กันมากขึ้นทำให้ความเหนี่ยวนำร่วมของเสาอากาศ (antenna coupling) มากขึ้น ส่งผลให้เกิดแรงดันที่ช่องสัญญาณของเครื่อง oscilloscope เกินพิกัน 5V

3.6 การประยุกต์ใช้ UWB เรดาร์ในการตรวจจับมนุษย์หลังกำแพง

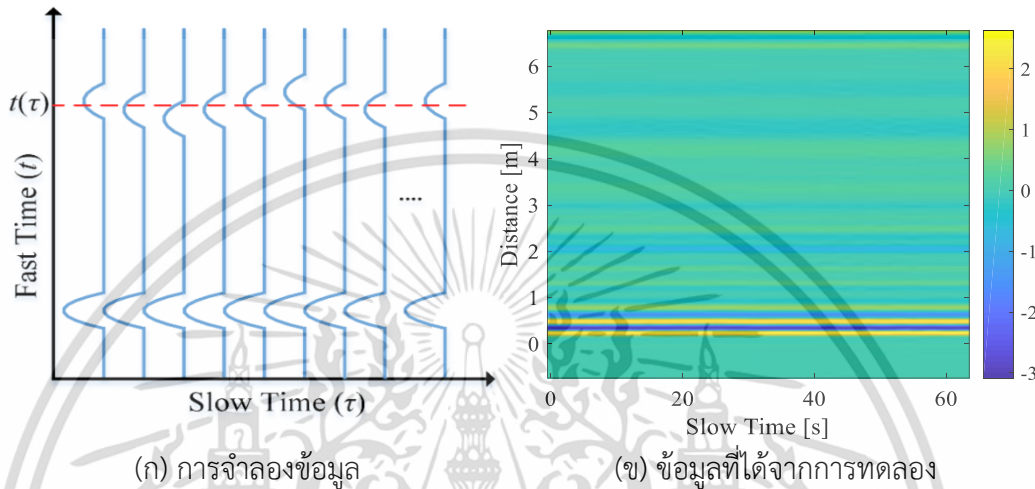
หัวข้อนี้ได้อธิบายวิธีการตรวจจับมนุษย์หลังกำแพงจากความถี่ตอบเพลอร์ของการเคลื่อนไหวโดยสัญญาณภาคส่งเป็น UWB ตามที่แสดงในรูป 2.4



รูปที่ 3.9 การเซตระบบของการประมวลผลสัญญาณของการตรวจจับการเคลื่อนที่ของมนุษย์

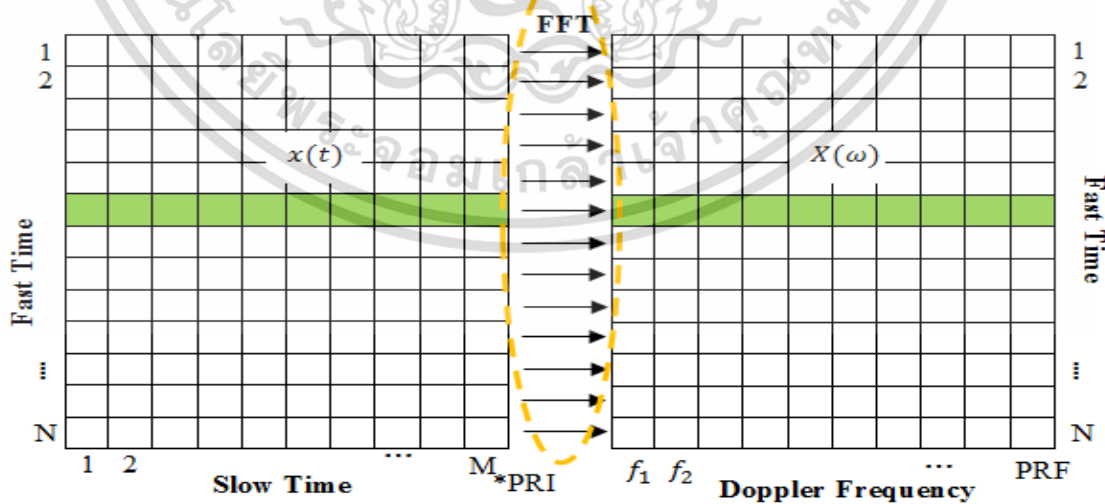
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ UWB ภาครับ (Received Signal) มีความถี่ของสัญญาณภาคส่งบวกกับความถี่ดอปเพลอร์ของมนุษย์ (f_0+f_d) จึงเป็นการยากที่จะหาความถี่ดอปเพลอร์ด้วยวิธีดีมอดูเลต (demodulation) ทั่วไป ดังนั้นในการหาความถี่ดอปเพลอร์นั้นสามารถหาได้จากการเปลี่ยนแปลงของมุมเฟสของสัญญาณที่สะท้อนจากมนุษย์ ($d\phi/d\tau = 2\pi f_d$) ดังรูปที่ 3.9(ก)



รูปที่ 3.10 สัญญาณภาครับทั้งหมดที่บันทึกจากการแกว่งแขนของมนุษย์

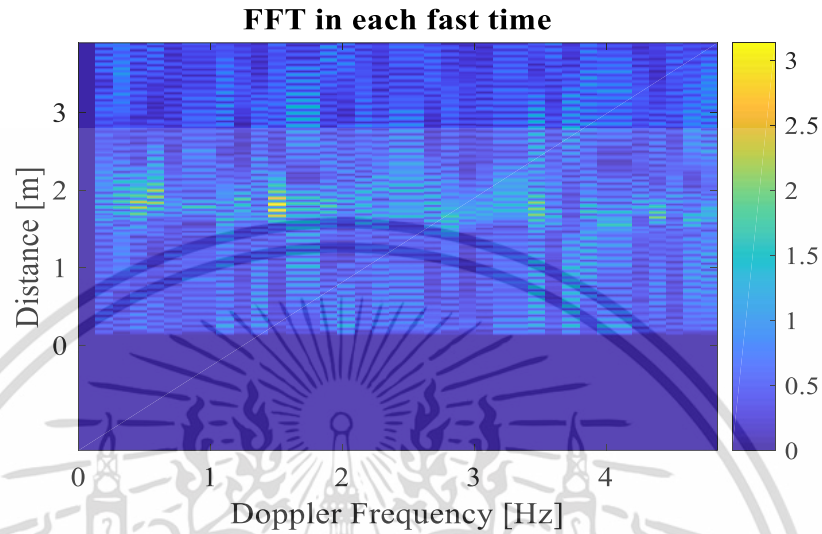
การตรวจจับมนุษย์สามารถทำได้โดยการหาความถี่ดอปเพลอร์ของมนุษย์จากการเคลื่อนไหว ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการใช้ fast Fourier transform (FFT) ในทุกแนวแกนนอนตามรูป 3.11



รูปที่ 3.11 ใช้ FFT ตามแนวแกนนอนทุกแกนเพื่อหาความถี่ดอปเพลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำหลักการนี้มาประยุกต์กับรูปที่ 3.10(ข) ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.12 การประยุกต์ใช้ FFT เพื่อหาความถี่ดอปเพลอร์ของมนุษย์ [4]

จากรูปที่ 3.8 ความถี่ดอปเพลอร์มีสองค่าคือ 0.5 Hz และ 1.5 Hz ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการหายใจและการแกว่งแขนตามลำดับ โดยค่าเหล่านี้อยู่ที่ตำแหน่ง 2 เมตร แสดงว่ามนุษย์ที่ถูกตรวจจับอยู่ที่ตำแหน่งหลังกำแพง 2 เมตร

การแปลง Fourier สามารถหา Doppler Frequency ของ vital sign ได้จากสมการด้านล่าง ดังนี้

$$Y(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} y(t, \tau) e^{-j2\pi f \tau} d\tau \quad (3.9)$$

$$Y(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} \left(\int_{-\infty}^{\infty} a_v s(t - t_v(\tau)) e^{-j2\pi k t} dt \right) e^{j2\pi k t} dk \quad (3.10)$$

$$Y(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} a_v S(k) e^{-j2\pi k t_v(\tau)} e^{j2\pi k t} dk \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y(t, f) = a_v S(k) \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j2\pi k t_v(\tau)} e^{-j2\pi f \tau} d\tau \quad (3.12)$$

$$a_v \sum_{l=-\infty}^{\infty} \left[\delta(f + lf_a) \int_{-\infty}^{\infty} J_l(\beta k) S(k) e^{j2\pi k(t-t_0)} dk \right] \quad (3.13)$$

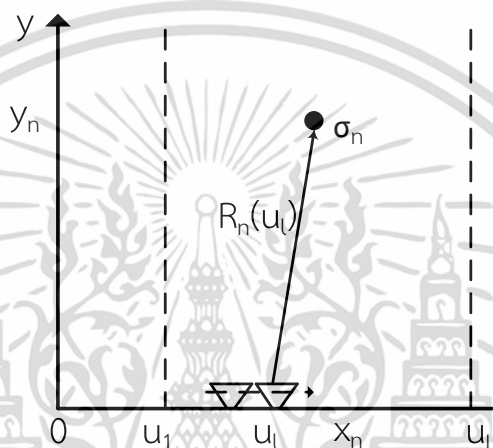
$$Y(t, f) \approx \sigma_h \sum_{l=-\infty}^{\infty} \delta(f + lf_a) C_l(t) \quad (3.14)$$

$$C_l(t) = \int_{-\infty}^{\infty} J_l(\beta k) S(k) e^{j2\pi k(t-t_0)} dk \quad (3.15)$$

โดย $Y(t, f)$ คือ spectrum ของ vital sign
 $y(t, \tau)$ คือ Raw data
 $C_l(t)$ คือ Magnitude ของ spectrum vital sign

3.7 หลักการระบุตำแหน่งของวัตถุในสองมิติโดยใช้หลักการฉายภาพกลับ (back projection)

หลักการ back projection เป็นหลักการพื้นฐานที่สุดที่ถูกใช้อย่างกว้างขวางในงานประมวลผลภาพที่ได้จากการสแกน (image reconstruction for basic CT scan) แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้หลักการ back projection สำหรับการระบุตำแหน่งของวัตถุในสองมิติกับระบบ UWB เรดาร์ดังรูปที่ 3.11

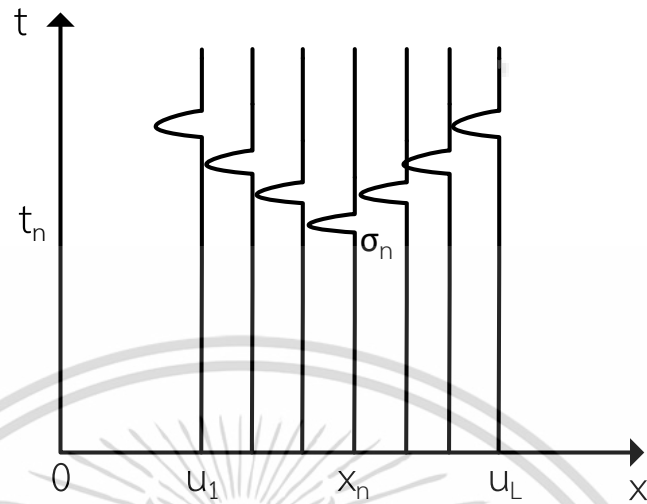


รูปที่ 3.13 วัตถุในระบบพิกัด SAR เรดาร์

จากรูปที่ 3.12 สมการ $R_n(u_l)$ คือระยะห่างระหว่างวัตถุ (x_n, y_n) และตำแหน่งของเสาอากาศ $(u_l, 0)$ มีค่าเท่ากับ

$$R_n(u_l) = \sqrt{(u_l - x_n)^2 + y_n^2} \quad (3.16)$$

2) เมื่อเก็บสัญญาณจากจุดเริ่มต้น (u_1) จนถึงสิ้นสุดแล้ว (u_L) จะได้ข้อมูลในโดเมนเวลาตามรูปที่แสดง 3.12



รูปที่ 3.14 ข้อมูลในระบบพิกัด SAR เรดาร์

โดยที่แกนตั้งเป็นโดเมนเวลาของคลื่นที่เคลื่อนที่ไปกลับ นอกจากนี้สัญญาณภาครับที่แสดงดังรูป 3.13 มีค่าเท่ากับ

$$E(u_l, t) = \sum_{n=1}^N \sigma_n s(t - \underbrace{\frac{2}{c} \sqrt{(u_l - x_n)^2 + y_n^2}}_{\text{time shift}}) \quad (3.17)$$

โดยที่ $s(t)$ คือสัญญาณ UWB ภาคส่ง โดยตัวอย่างนี้มีวัตถุหนึ่งตัวอย่าง $N=1$ วิธีการ back projection คือการนำข้อมูลที่ได้จากสัญญาณภาครับมาพล็อตใหม่ในแกน x และ y

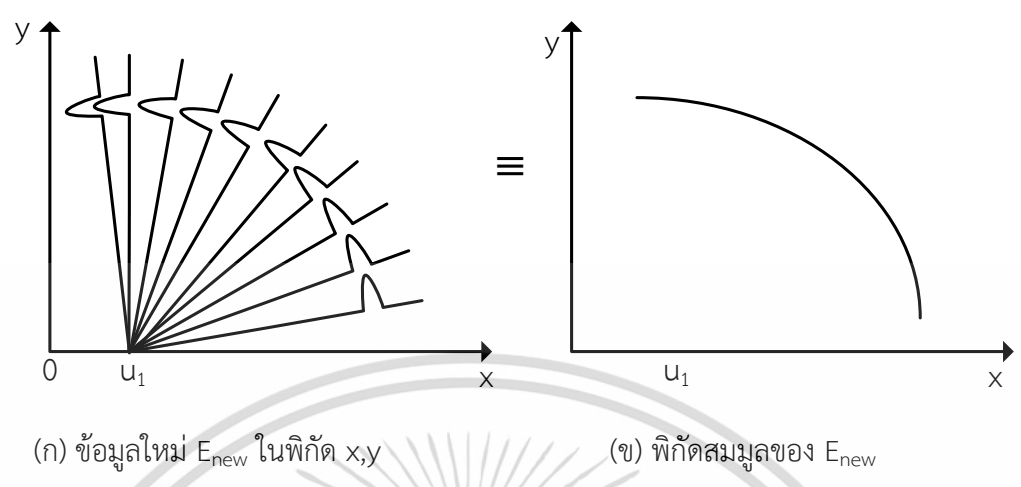
1) จากรูปที่ 3.12 เริ่มต้นที่ข้อมูลตำแหน่ง u_1 และแทนค่าโดเมน (x, y) คือ $0 < x < x_{\max}$ และ $0 < y < y_{\max}$ แทนค่าลงสมการ (3.18)

$$t = \frac{2}{c} \sqrt{(u_1 - x)^2 + y^2} \quad (3.18)$$

และนำค่า t ที่ได้มาแทนค่ากลับในสมการ (2.7) จะได้ค่าใหม่ E_{new} ตามสมการที่ (3.19)

$$E_{\text{new}}(x, y) = E(u_1, t) \quad (3.19)$$

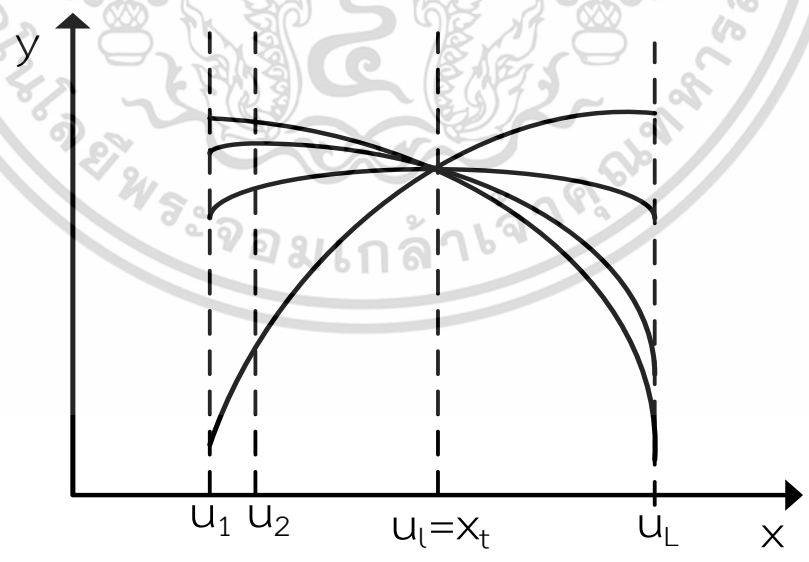
นำค่าที่จาก E_{new} มาพล็อตกราฟจะได้รูปที่แสดง 3.13(ก)



รูปที่ 3.15 back projection ที่ตำแหน่งเริ่มต้น

โดยจะใช้รูปที่ 3.14(ข) เป็นรูปเทียบเคียงของรูปที่ 3.14(ก) เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจในการมาใช้อธิบายในขั้นตอนต่อไป

2) เปลี่ยนตำแหน่งพิจารณาเป็น u_2 ทำแบบเดิมตามขั้นตอนที่ 1 จนถึงที่สุดตำแหน่ง u_L ได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3.15

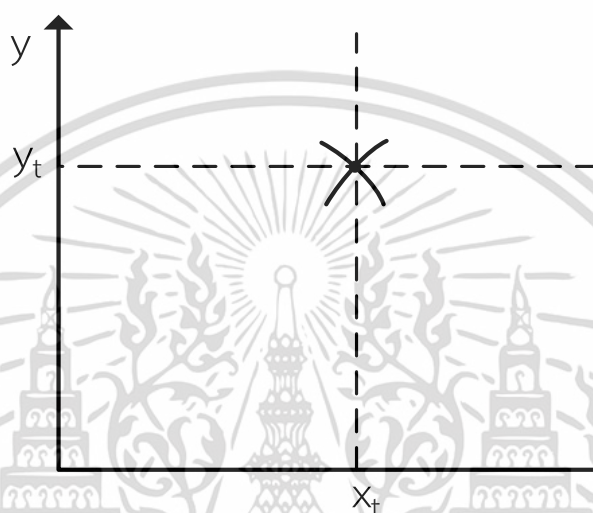


รูปที่ 3.16 back projection ที่ตำแหน่งเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) จากรูปที่ 3.15 นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้ตั้งแต่ u_1 ถึง u_L มารวมกันจะได้ผลลัพธ์ตามรูป 3.16 และสามารถอธิบายตามสมการ (3.20)

$$E_{new}(x, y) = \sum_{l=1}^L E(u_l, t), \quad \text{where } t = \frac{2}{c} \sqrt{(u_l - x)^2 + y^2} \quad (3.20)$$



รูปที่ 3.17 การประมวลภาพสองมิติโดยใช้ back projection

อย่างไรก็ตามหลักการนี้ใช้เฉพาะระบุตำแหน่งวัตถุเท่านั้นไม่สามารถจำแนกได้ว่าวัตถุไหนคือมนุษย์หรือสิ่งแวดล้อม จากขั้นตอนที่กล่าวมาขั้นต้นนี้สามารถอธิบายเป็นอัลกอริทึมตามตารางที่ 3.3

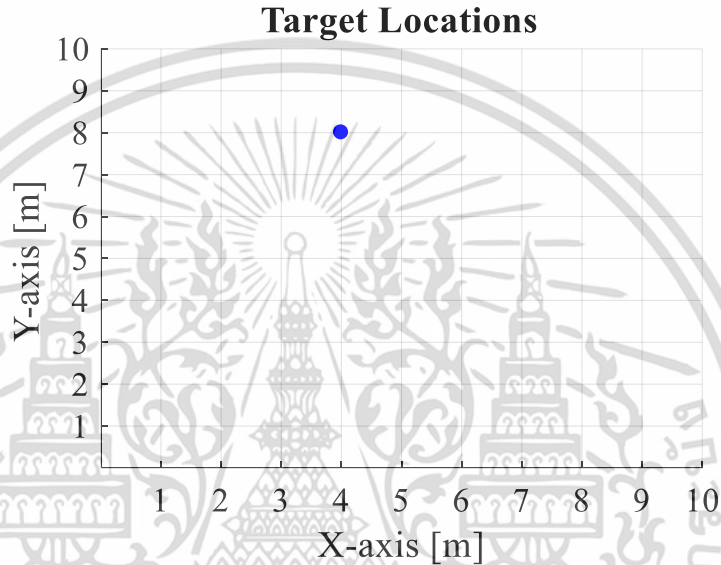
ตารางที่ 3.3 อัลกอริทึมการฉายภาพกลับ (back projection)

Do $l = 1$ to L	-ลูปของตำแหน่งเสาอากาศ, L ระยะสแกนมากที่สุด
Do $k = 1$ to K	-ลูปสำหรับโดเมน x
Do $m = 1$ to M	-ลูปสำหรับโดเมน y
$t_{km} = \frac{2}{c} \sqrt{(u_l - x_k)^2 + y_m^2}$	-เวลาของคลื่นเคลื่อนที่
Index = integer($t_{km}/\Delta t$)	-จำนวนนับที่ตรงกับช่องข้อมูล
$E(k,m) = \text{data}(l,\text{index})$	-สร้างค่าข้อมูลใหม่ที่แกน x - y
End m loop	
End k loop	
$E_{\text{new}} = E_{\text{new}} + E(k,m)$	--ข้อมูลทั้งหมด
End l loop	

ในหัวข้อถัดไปจะนำอัลกอริทึมที่ได้กล่าวมาข้างต้นนี้มาประยุกต์ใช้ โดยจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB

3.8 จำลองการขึ้นภาพสองมิติโดยใช้หลักการฉายภาพกลับ (back projection)

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการจำลองวัตถุตั้งแต่หนึ่งตัวอย่างจนหลายวัตถุและใช้ตัวกรองขั้นพื้นฐานในการลดสัญญาณรบกวน ตัวอย่างที่หนึ่งกรณีมีวัตถุเดียวที่ตำแหน่ง (4,8) ตามรูปที่แสดง 3.16



รูปที่ 3.18 การจำลองตำแหน่งของวัตถุ

สัญญาณ UWB ภาคส่งถูกอธิบายด้วยฟังก์ชันอันดับหนึ่งที่หนึ่งของสมการเกาส์เซียน ที่มีความถี่กลาง 500 MHz สัญญาณที่ได้ถูกแสดงดังรูป 3.18(ก) เมื่อได้รับสัญญาณภาครับแล้วตามรูปที่ 3.2(ข) ทำการกรองสัญญาณรบกวนออกโดยใช้ตัวกรองพื้นฐาน

3.8.1 การกรองความเพี้ยนแบบเชิงเส้น (Linear Trend Signal)

$$y_1 = s_{re} - X(X^T X)^{-1} X^T s_{re} \quad (3.21)$$

โดยที่ s_{re} คือสัญญาณภาครับ

$$X = [x_1, x_2], \quad x_1 = [0, 1, \dots, N-1]^T, \quad x_2 = [1, 1, \dots, 1]^T_N \quad (3.22)$$

3.8.2 ตัวกรองแบบราบเรียบ (Smooth Filter) เพื่อลดสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำและความถี่สูง

$$y_2 = \frac{1}{2\lambda + 1} \sum_{i=-\lambda}^{\lambda} y_1[n-i] \quad (3.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตัวกรองความถี่กลางผ่าน (band pass filter) โดยใช้ Butterworth filter

$$y_3 = F^{-1}\{F\{y_2\} * H(\omega)\} \quad (3.24)$$

โดยที่ $H(\omega)$ เป็นฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) เป็นสมการที่ (3.25) ที่อันดับ $N_f = 5$

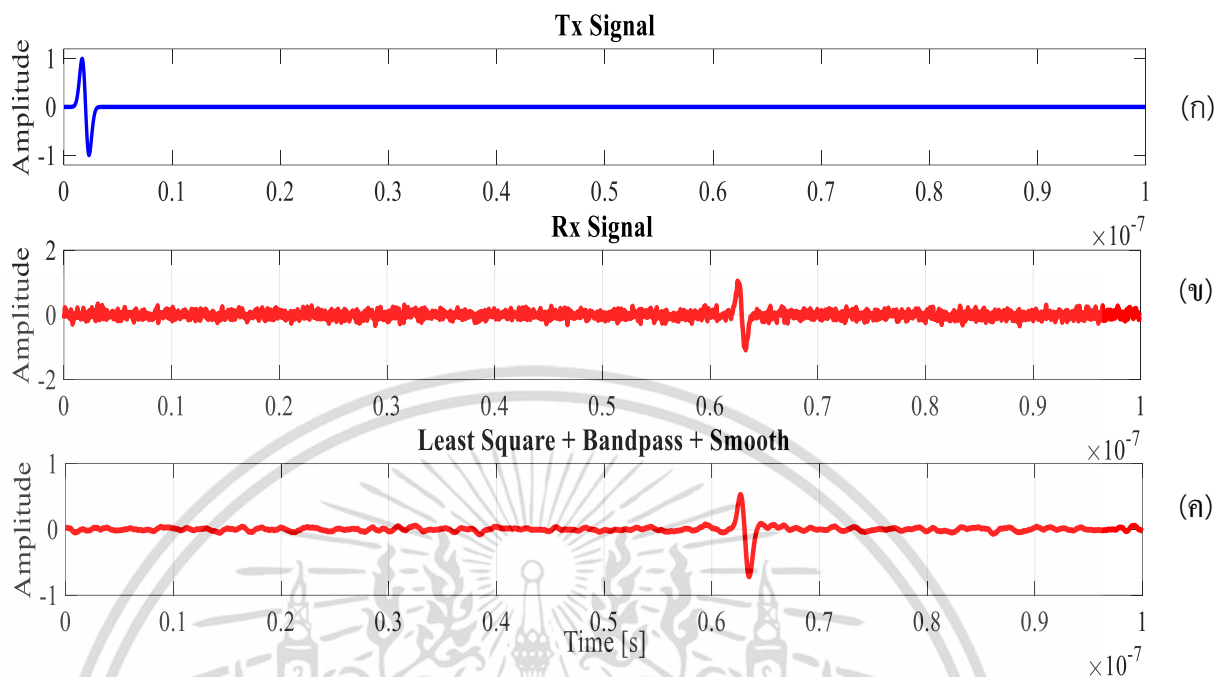
$$H(\omega) = \frac{1}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2N_f}} \quad (3.25)$$

เมื่อผ่านการกระบวนการกรองความถี่แล้วสัญญาณภาครับที่ได้ถูกแสดงดังรูปที่ 3.17(ค)

4. การตัดสัญญาณผลกระทบจากภาคส่ง (antenna coupling) ในการทดลองจริงจะเกิดปรากฏการณ์ antenna coupling ในสัญญาณภาครับ อย่างไรก็ตามปัญหานี้หรือปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณที่สะท้อนจากกำแพงสามารถถูกกำหนดให้เป็นศูนย์ดังสมการที่ (3.26) เพราะเรารู้อยู่แล้วว่าสัญญาณเหล่านี้มาก่อนสัญญาณของเป้าหมายเสมอ

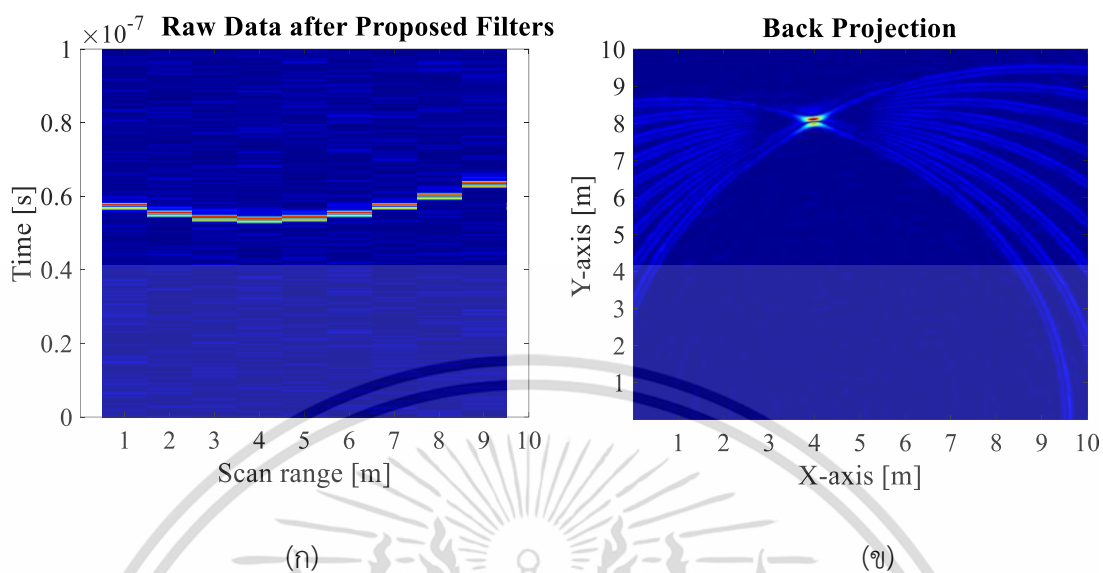
$$y_3[1, 2, \dots, N_{zero}] = 0 \quad (3.26)$$

โดยที่ $N_{zero} = d_{min}/\Delta d$, d_{min} คือระยะทางที่น้อยที่สุดในการตรวจจับเป้าหมาย และ $\Delta d = c\Delta t/2$ คือความละเอียดในการชักตัวอย่างของโดเมนระยะทาง



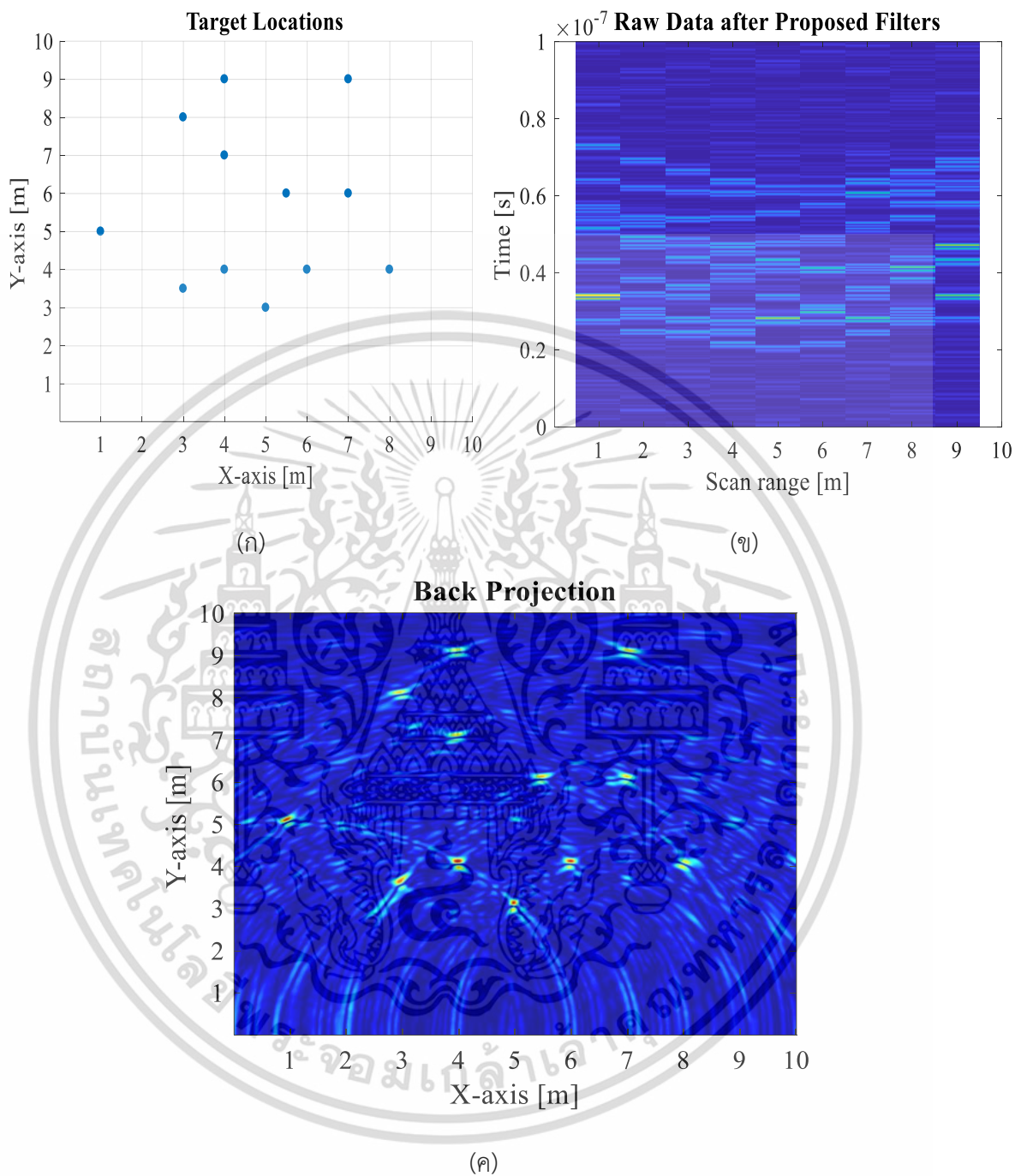
รูปที่ 3.19 (ก) สัญญาณ UWB ภาคส่ง (ข) สัญญาณภาครับที่ตำแหน่ง $u_l = 1$ เมตร ที่มีสัญญาณรบกวน (ค) สัญญาณภาครับที่ผ่านตัวกรองสัญญาณรบกวน

การจำลองนี้ใช้พารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ ตำแหน่งเสาอากาศ $u_l = 1:1:9$ คือ เริ่มต้นเก็บข้อมูลที่ 1 เมตร สิ้นสุดที่ 9 เมตร แต่ละตำแหน่งห่างกัน 1 เมตรตามรูปที่แสดง 3.19(ก)



รูปที่ 3.20 (ก) เก็บข้อมูล 9 ตำแหน่ง (ข) ประมวลผลภาพโดยใช้ Back projection

จากนั้นใช้อัลกอริทึมที่กล่าวมานี้จากตารางที่ 3.3 ผลลัพธ์ตามรูปที่แสดง 3.19(ข) โดยที่แกน x และ y ถูกกำหนดดังนี้ $x = 0.01:0.01:10$ เมตร และ $y = 0.01:0.01:10$ เมตร ตัวอย่างที่สองกรณีวัตถุมีหลายตัวดังรูปที่ 3.20(ก) กำหนดทุก ๆ พารามิเตอร์ของระบบตามตัวอย่างที่หนึ่งและสมมุติเสาอากาศภาคส่งและรับเป็นแบบ isotropic ส่งผลให้สัญญาณภาครับได้รับทุกสัญญาณจากวัตถุ 3.20(ข)



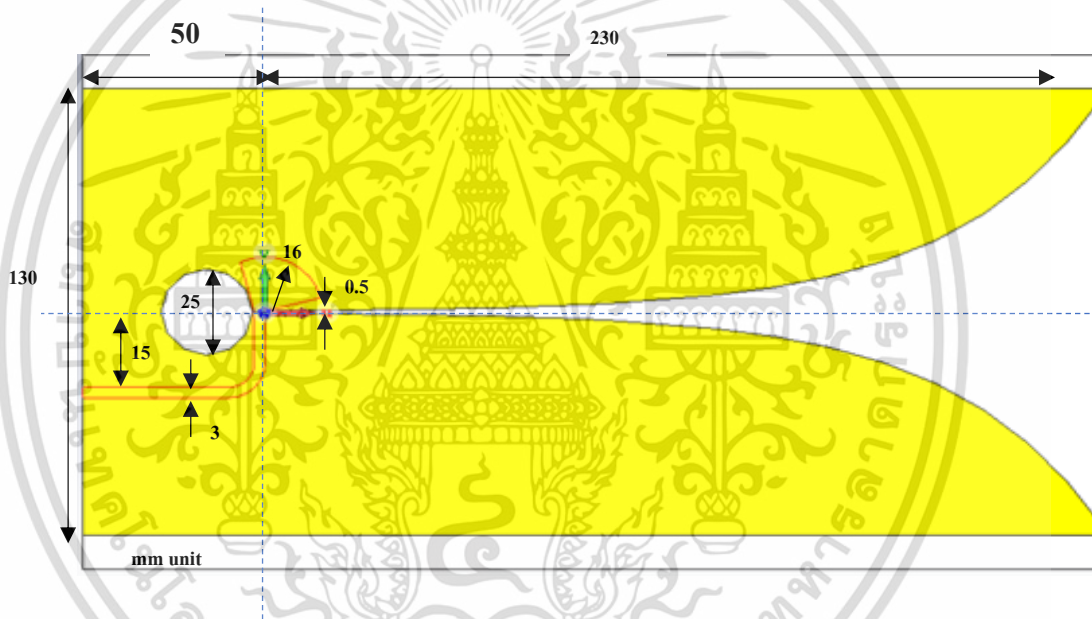
รูปที่ 3.21 (ก) ตำแหน่งของวัตถุ (ข) สัญญาณที่ได้จากวัตถุ (ค) ชั้นภาพสองมิติของวัตถุ

จากรูป 3.20 (ค) วิธีการนี้สามารถขึ้นภาพและจำแนกหลายๆวัตถุได้อย่างชัดเจน และใช้ข้อมูลที่ได้แต่ละตำแหน่งน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

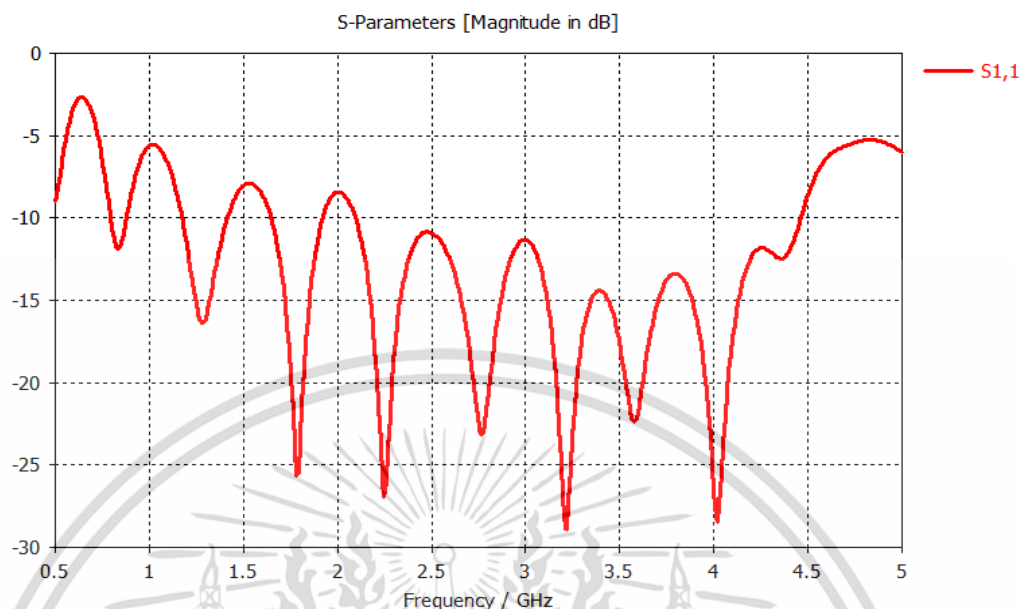
3.9 การออกแบบเสาอากาศ UWB สำหรับการตรวจจับวัตถุหลังกำแพง

เสาอากาศเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากเป็นอันดับต้นๆของระบบเรดาร์ เพราะถ้าออกแบบเสาอากาศเหมาะสมกับความถี่ (matching impedance, $s_{11} < -10$ dB) ที่ใช้ที่มีอัตราขยายสัญญาณสูง (high gain) และมีมุมที่แคบ (angular width) ก็สามารถส่งกำลังได้ระยะไกลและรับสัญญาณได้อย่างชัดเจน ทำให้ระบบเรดาร์สามารถตรวจจับตำแหน่งวัตถุหลังกำแพงได้อย่างชัดเจนและรวดเร็วมากขึ้น โดยพารามิเตอร์ของเสาอากาศถูกอธิบายดังรูปที่ 3.21 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)



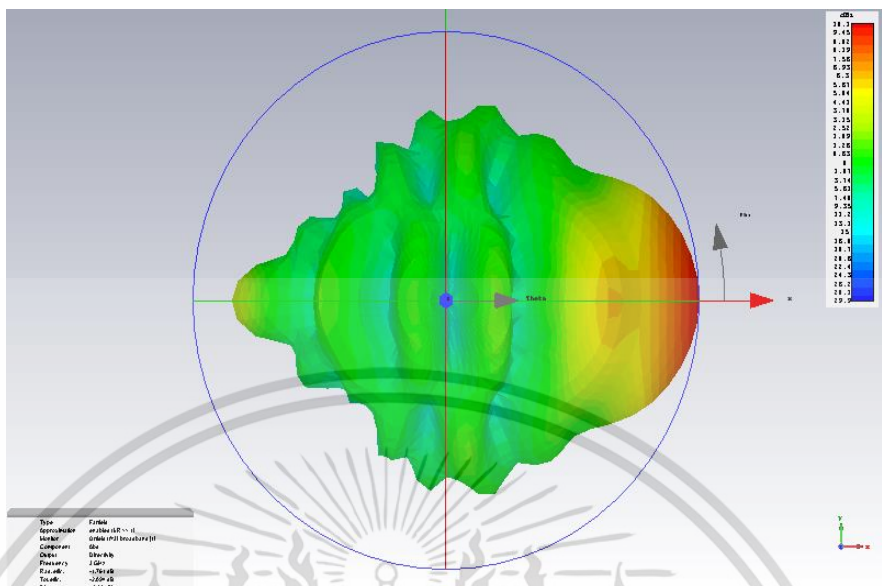
รูปที่ 3.22 การจำลองเสาอากาศด้วยโปรแกรม CST

ความหนาของ FR-4 substrate คือ 1.575 mm ความหนาทองแดง 0.035 mm ค่าความเป็นฉนวน $\epsilon_r = 4.33$ สูตรท้ายสมการเอกซ์โพเนนเชียลใช้สร้างกราฟเส้นโค้งของเสาอากาศคือ $y = 0.25e^{0.024x}$ จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11} ผลลัพธ์ที่ได้ดังรูป 3.22

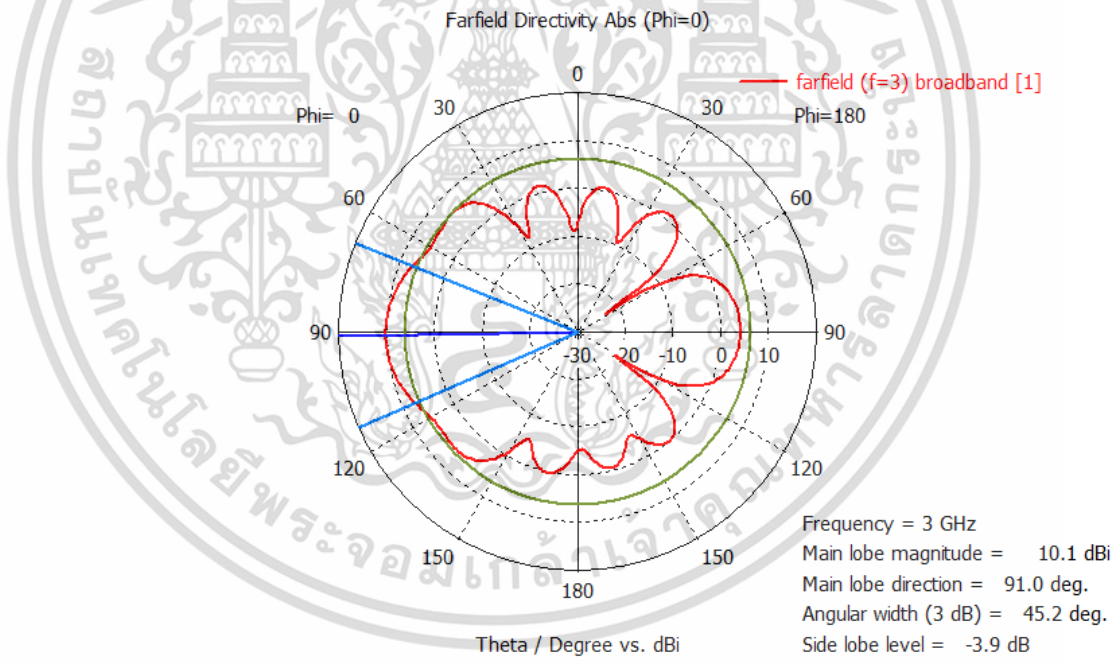


รูปที่ 3.23 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11}

จากรูปที่ 3.22 จะเห็นได้ว่าความกว้างของสัญญาณที่น้อยกว่า -10 dB อยู่ในช่วงประมาณ 2.4 GHz-4.5 GHz เนื่องจากออกแบบความกว้างอยู่ 130 mm จากนั้นคำนวณค่าอัตราขยายสัญญาณและความกว้างของสัญญาณที่ความถี่กลาง 3 GHz ตามรูปที่แสดง 3.23



(ก) ภาพสามมิติ



(ข) ภาพสองมิติ

รูป

รูปที่ 3.24 ภาพการจำลองอัตราขยายสัญญาณและมุมการส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.23 จะเห็นได้ว่ามีอัตราขยายสัญญาณสูงสุดที่ 10.1 dBi เนื่องจากการออกแบบความยาวเสาอากาศที่มากถึง 230 mm และมีความกว้างของคลื่นในการส่งรับอยู่ที่ 45.2 องศา สุดท้ายเสาอากาศชิ้นงานจริงแสดงดังรูปที่ 3.24



(ก) ด้านกราวด์ของชิ้นงานจริง

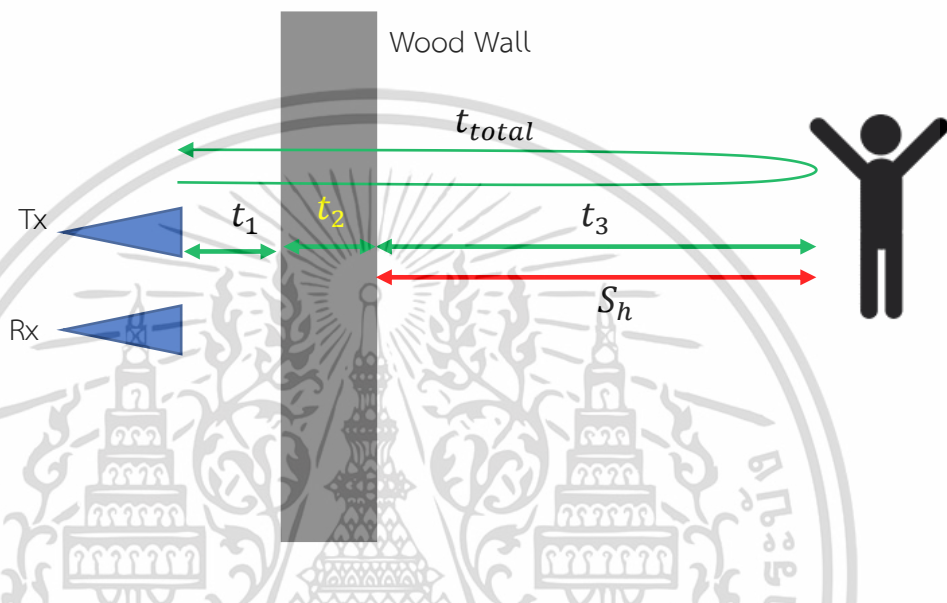
(ข) ด้านท่อนของชิ้นงานจริง

รูปที่ 3.25 เสาอากาศที่ได้จากชิ้นงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 การคำนวณระยะทางของวัตถุที่อยู่หลังกำแพง

ในหัวข้อนี้นำเสนอการคำนวณหาระยะห่างของวัตถุ โดยใช้เวลาที่เคลื่อนที่ได้จากกระบวนการที่นำเสนอมาแล้ว และใช้พารามิเตอร์ของกำแพงเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการคำนวณ



รูปที่ 3.26 การคำนวณระยะทางโดยคำนึงถึงพารามิเตอร์ของกำแพง

ใช้ความสัมพันธ์ของเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่มาวิเคราะห์ตามที่อธิบายด้านล่าง

$$\frac{t_{total}}{2} = t_1 + t_2 + t_3 \tag{3.27}$$

$$\frac{t_{total}}{2} = \frac{S_{antenna}}{c} + \frac{S_{wall}}{v_{wall}} + \frac{S_h}{c} \tag{3.28}$$

โดยที่ ความหนาของกำแพงสองนิ้วเท่ากับ (S_{wall}) 5.08 cm ระยะห่างของเสาอากาศกับกำแพง ($S_{antenna}$) 25 cm ความเร็วของคลื่นขณะอยู่กำแพง (v_{wall}) เท่ากับ

$$v_{wall} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r}} = 2.0446 * 10^8 \text{ m/s} \tag{3.29}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเป็นฉนวนของกำแพงไม้ Wood dry $\epsilon_r = 2.15$, $\epsilon_0 = 8.854187 * 10^{-12} \text{F/m}$ และ $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \text{H/m}$ จากนั้น แทนค่าพารามิเตอร์ลงในสมการที่ (3.28)

$$\frac{14.1 * 10^{-9}}{2} = \frac{0.25}{0.3 * 10^9} + \frac{0.05}{0.2 * 10^9} + \frac{S_h}{0.3 * 10^9} \quad (3.30)$$

$$S_h = 1.79 \text{ m} \quad (3.31)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

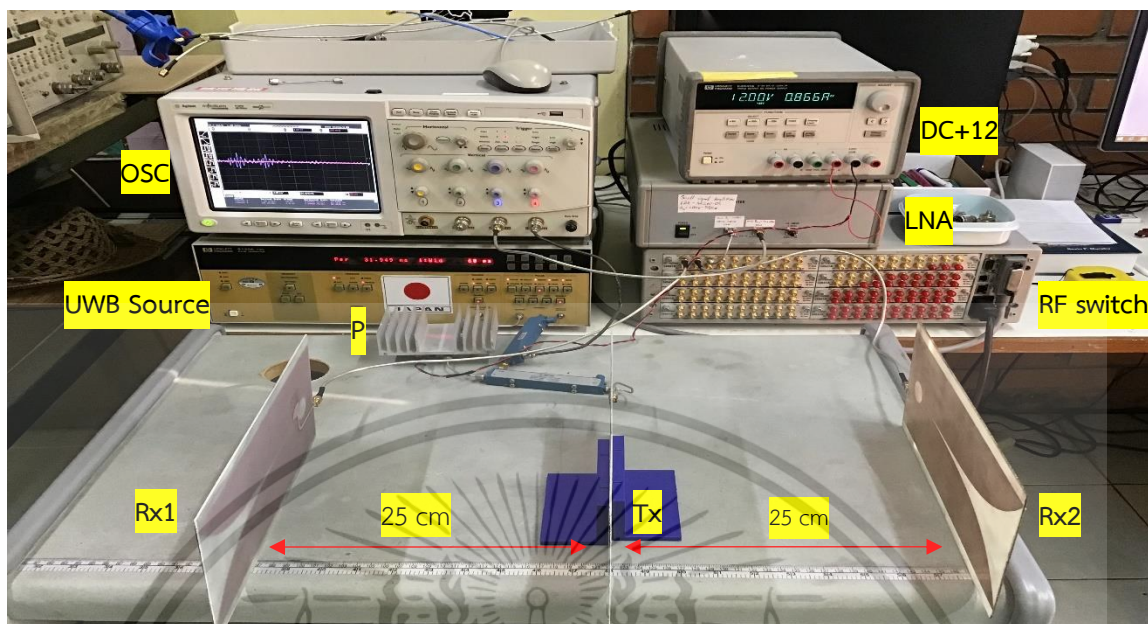
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การทดลองการระบุตำแหน่งของวัตถุในสองมิติโดยใช้หลักการ back projection

ในการทดลองของหัวข้อนี้ใช้เสาอากาศภาคครึ่งสองต้นเพื่อประยุกต์ใช้ในกรณีที่มีเนื้อที่จำกัด โดยแต่ละต้นมีระยะห่าง 25 เซนติเมตรจากตัวส่ง โดยใช้อุปกรณ์ดังต่อไปนี้

- 1). Agilent DSO80604B Oscilloscope 6 GHz 40 GSa/s (OSC) เป็นตัวรับสัญญาณภาคครึ่งและส่งข้อมูลเวลาจริง (real time) ผ่าน GPIB ไปยังโปรแกรม MATLAB
- 2). HP Pulse Generator 8133A 3GHz (UWB Source) ใช้สร้างสัญญาณ UWB เรดาร์โดยกำหนดความกว้างของคลื่นเท่ากับ 200 psec เมื่ออ่านค่าจาก OSC
- 3). Mini-Circuits Amplifier ZVE-8G 2 GHz – 8 GHz (PA) ใช้ขยายกำลังสัญญาณของภาคส่ง
- 4). R&K-AA260-OS Small Signal Amplifier 2GHz – 5 GHz (LNA) ใช้ขยายกำลังสัญญาณของภาครับ
- 5). Agilent Multifunction Switch 34980A (RF Switch) ใช้สวิตช์เสาอากาศภาคครึ่งแต่ละต้นในการรับสัญญาณ โดยชุดควบคุมต่อขนานกับ OSC ผ่าน GPIB ซึ่งถูกควบคุมผ่านโปรแกรมที่เขียนขึ้นเองใน MATLAB



รูปที่ 4.1 การเซตระบบโดยมีเสาอากาศอาร์เรย์สองต้น

4.1.1 ข้อมูลแรกเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ในกรณีที่มีกำแพงและไม่มีกำแพง โดยทดสอบวัสดุโลหะเดี่ยวที่ตำแหน่ง 1 เมตร 1.5 และ 2 เมตร ที่มีกำแพงไม้หนา 2 นิ้วและไม่มีดังรูปที่แสดงด้านล่าง



(ก) ไม่มีกำแพงไม้



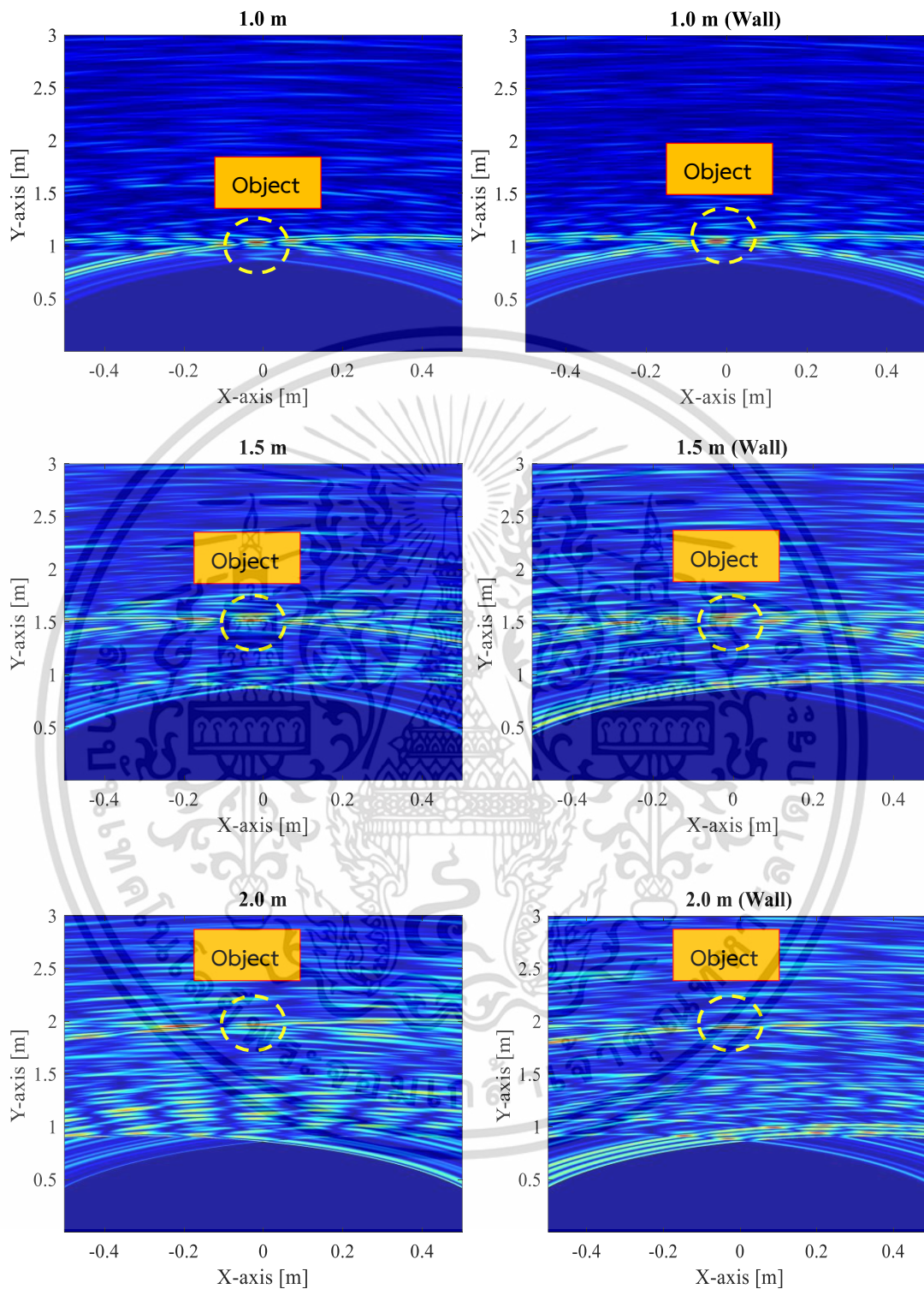
(ข) มีกำแพงไม้

รูปที่ 4.2 การทดสอบการระบุตำแหน่งสองมิติของโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองนี้ในขั้นต้นจะทำการศึกษาถึงการขึ้นภาพสัญญาณ UWB เรดาร์จากการส่งคลื่นไปกระทบยังเป้าหมายที่เป็นโลหะที่มีการสะท้อนกลับของสัญญาณอย่างแน่นอน โดยจะใช้หลักการในการขึ้นภาพด้วย Back projection ซึ่งจะต้องอาศัยตัวรับสัญญาณหลายๆชุด เพื่อที่จะทำการคำนวณหาสัญญาณรับในมุมที่แตกต่างกัน การขึ้นภาพนั้นจะเกิดจากการตัดกันของการขึ้นภาพจากสายอากาศชุดรับแต่ละต้น ซึ่งเมื่อเพิ่มจำนวนของชุดรับก็จะทำให้จุดตัดของการรับหรือการขึ้นภาพมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งที่มีการตัดของสัญญาณตามรูป 4.3 ก็จะได้เห็นว่า ตำแหน่งดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่วัตถุที่ทำการตรวจจับปรากฏอยู่





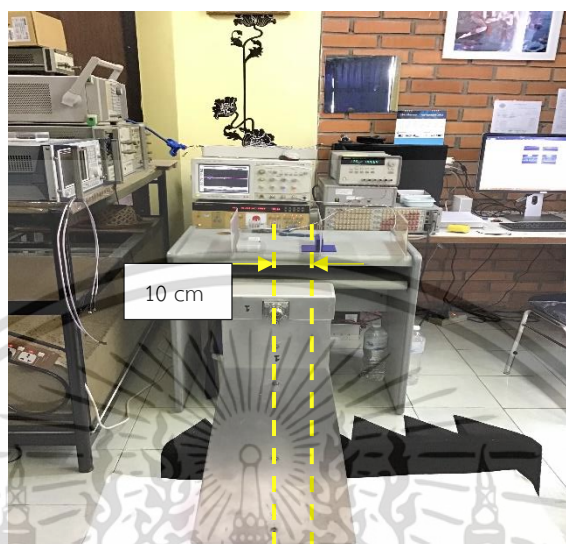
(ก) ไม่มีกำแพง

(ข) มีกำแพงไม่หนา 2 นิ้ว

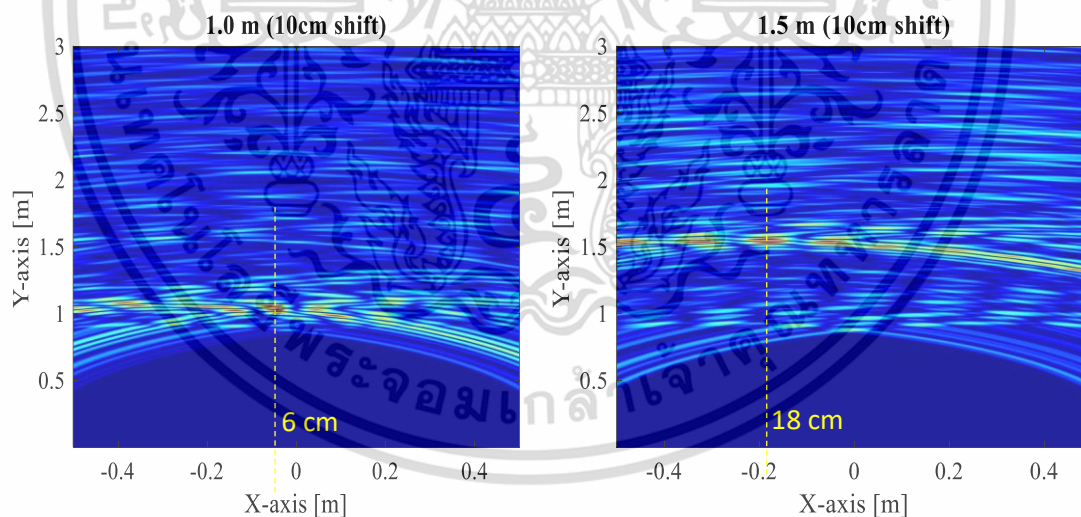
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ระยะต่าง ๆ ของโลหะในกรณีที่มีกำแพงและไม่มีกำแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 จากนั้นทำการทดสอบที่ตำแหน่งของวัตถุอยู่ห่างทางซ้ายและขวา 10 เซนติเมตรดังรูป ที่ระยะต่างๆ กัน



รูปที่ 4.4 ทดสอบวัตถุโลหะที่ระยะเลื่อนตำแหน่ง 10 เซนติเมตร



(ก) ที่ระยะ 1 เมตร

(ข) ที่ระยะ 1.5 เมตร

รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ระยะเลื่อน 10 cm

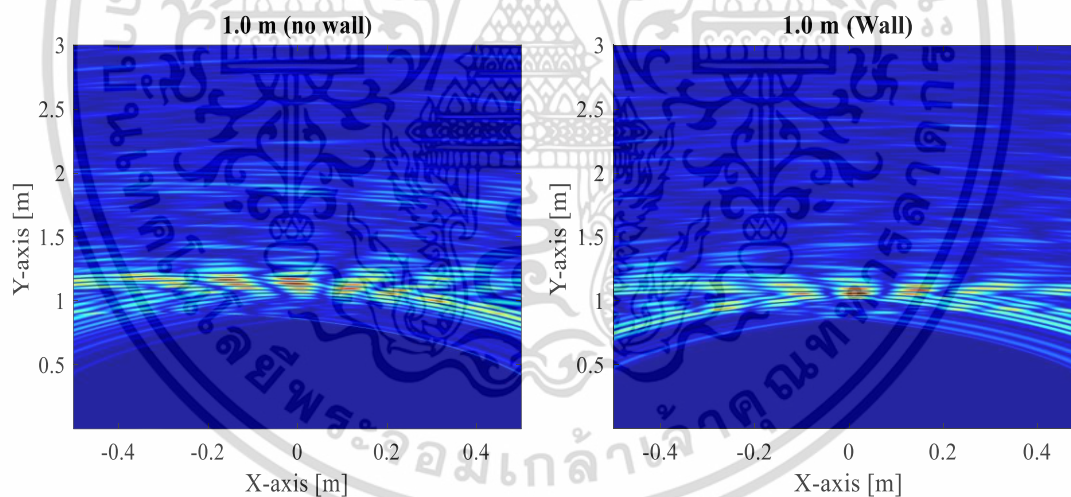
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



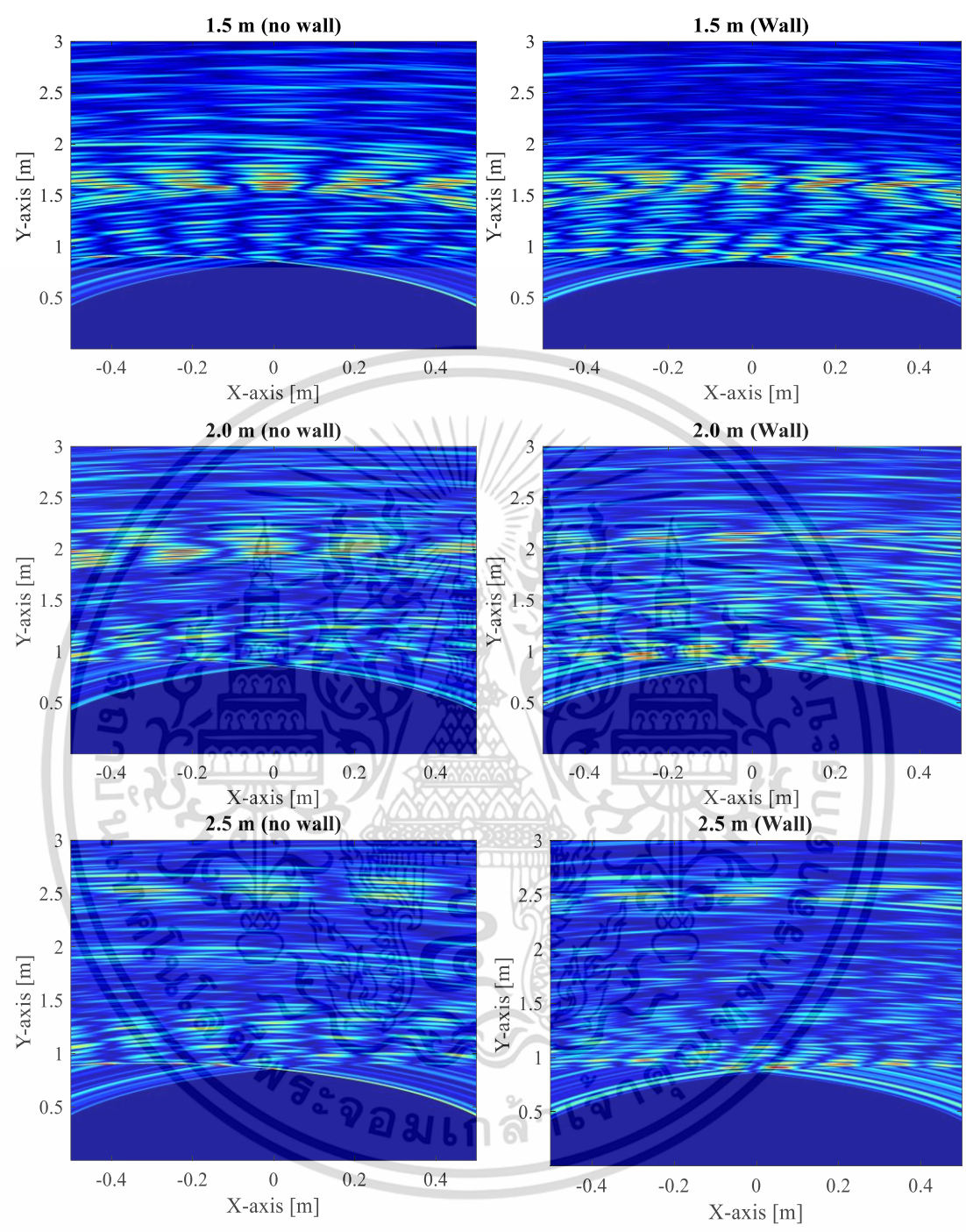
(ก) ไม่มีกำแพงไม้

(ข) มีกำแพงไม้

รูปที่ 4.6 การทดลองการตรวจจับสนามแม่เหล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



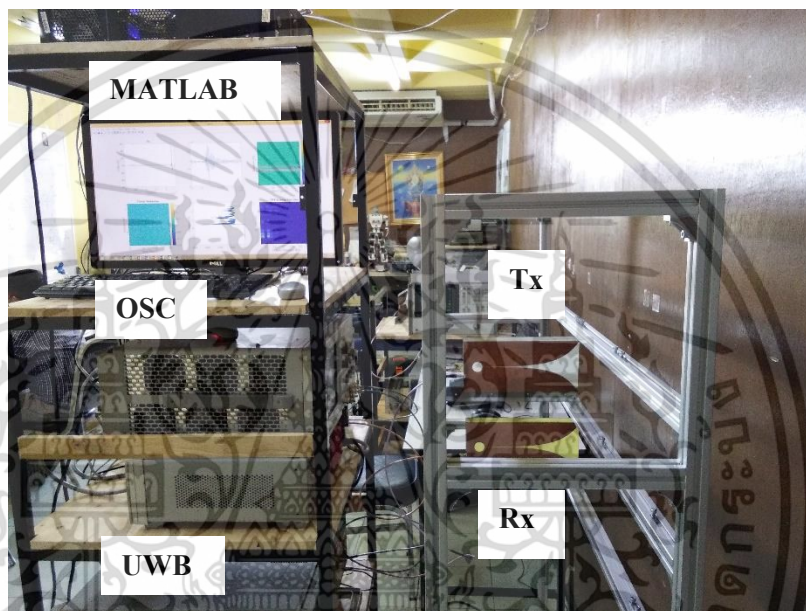
(ก) ไม่มีกำแพง (ข) มีกำแพงไม่หนา 2 นิ้ว

รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ระยะต่าง ๆ ของมนุษย์ในกรณีที่มีกำแพงและไม่มีกำแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

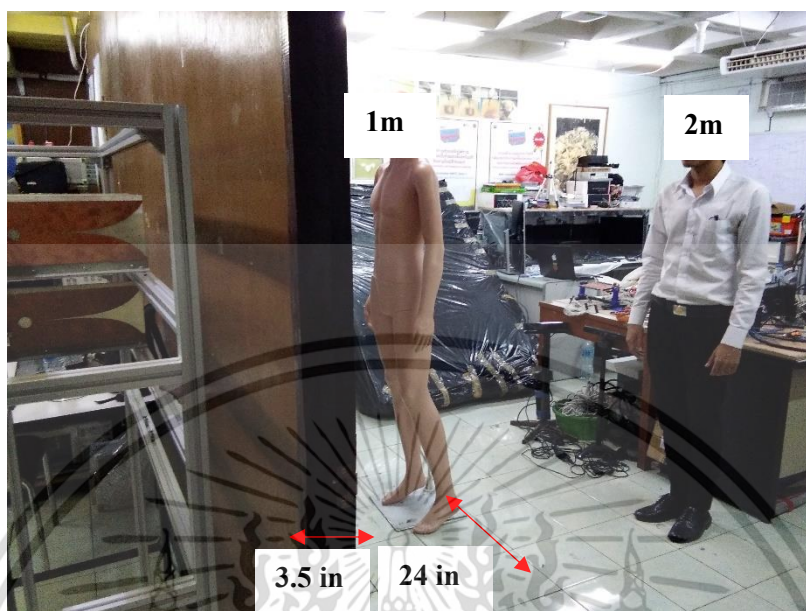
จากรูปที่ 4.3 4.5 และ 4.7 จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะทดสอบมากขึ้นความชัดเจนของตำแหน่งที่ตรวจจับจะมีค่าน้อยลง เนื่องจากการสัญญาณภาครับที่สะท้อนจากวัตถุมีขนาดลดลงตามสมการกำลังสี่ $S_{re} \propto 1/R^4$

4.2 การทดลองการระบุตำแหน่งบุคคลหลังกำแพง



รูปที่ 4.8 แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับบุคคลหลังกำแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



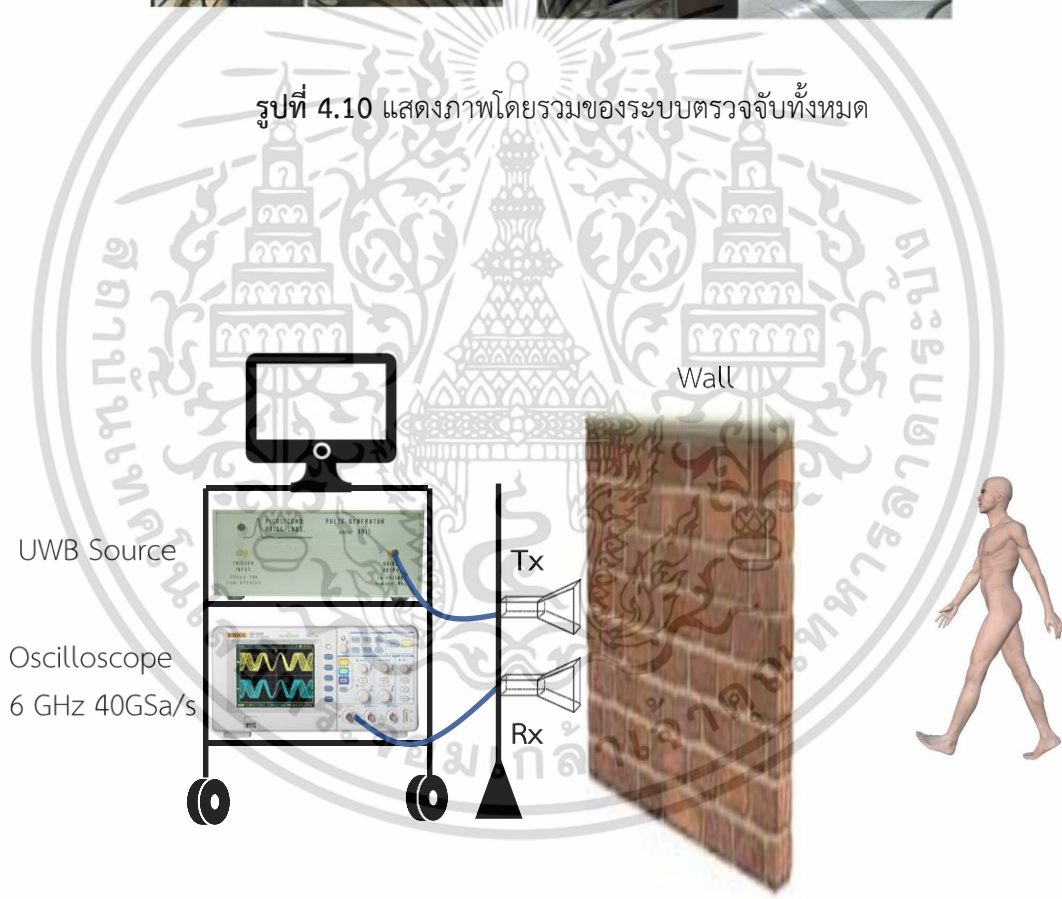
รูปที่ 4.9 แสดงตำแหน่งของ มนุษย์ และหุ่น

UWB generator	HP 8133A 3GHz
oscilloscope	Agilent DSO80604B 6GHz
GPIB	Agilent 82357B
Tx/Rx	Vivaldi antenna 2-4 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



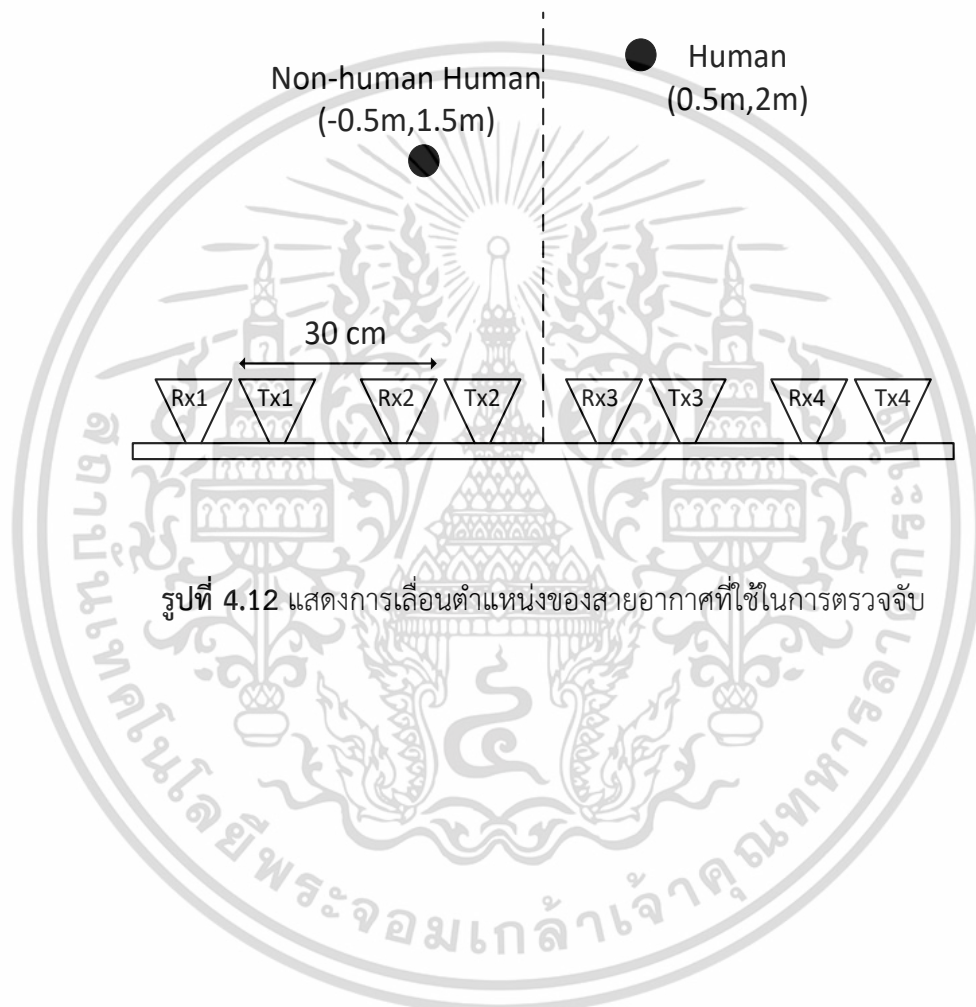
รูปที่ 4.10 แสดงภาพโดยรวมของระบบตรวจจับทั้งหมด



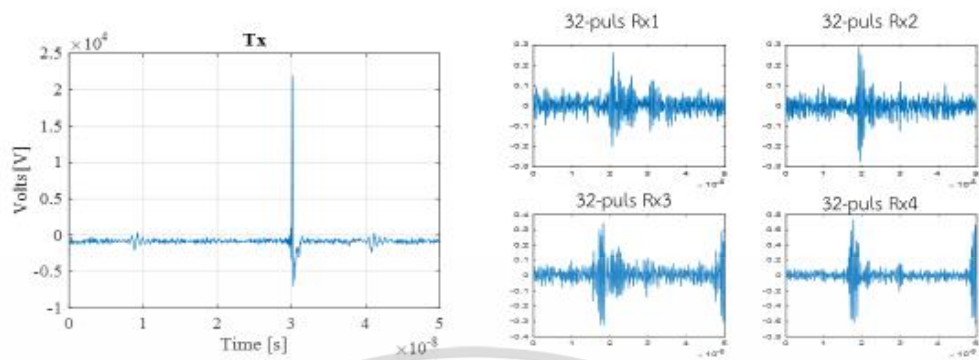
รูปที่ 4.11 แสดงรูปแบบการตรวจจับการเคลื่อนไหวของบุคคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

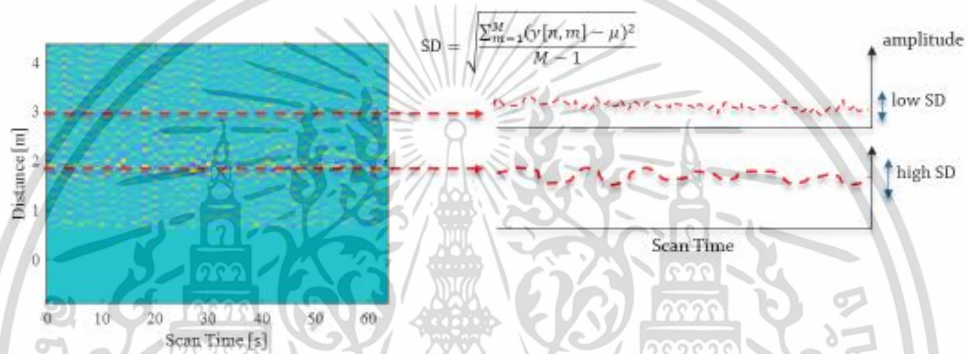
รูปที่ 4.11 แสดงการเคลื่อนไหวในรูปแบบของการเดินซึ่งระบบตรวจสอบคนหลังกำแพงนั้นสามารถตรวจจับได้ง่ายดาย เนื่องจากการที่บุคคลมีการเคลื่อนไหวในลักษณะของการเดินนั้นจะสร้างความถี่รอบเปอร์ขนาดใหญ่ สามารถตรวจจับได้โดยง่าย ในการทดลองต่อไปจะทำการทดลองในการตรวจจับบุคคลที่อยู่กับที่ไม่ได้มีการเคลื่อนไหว



รูปที่ 4.12 แสดงการเลื่อนตำแหน่งของสายอากาศที่ใช้ในการตรวจจับ



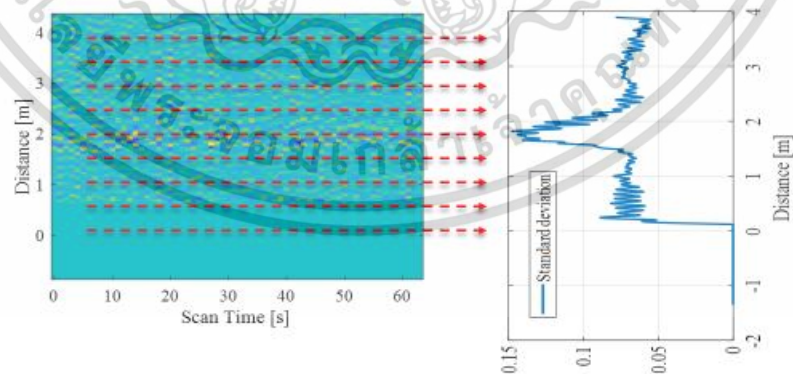
Standard deviation (SD) can be applied for received data at each the fast time to indicate the human location



รูปที่ 4.13 แสดงการตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยอาศัยค่า SD

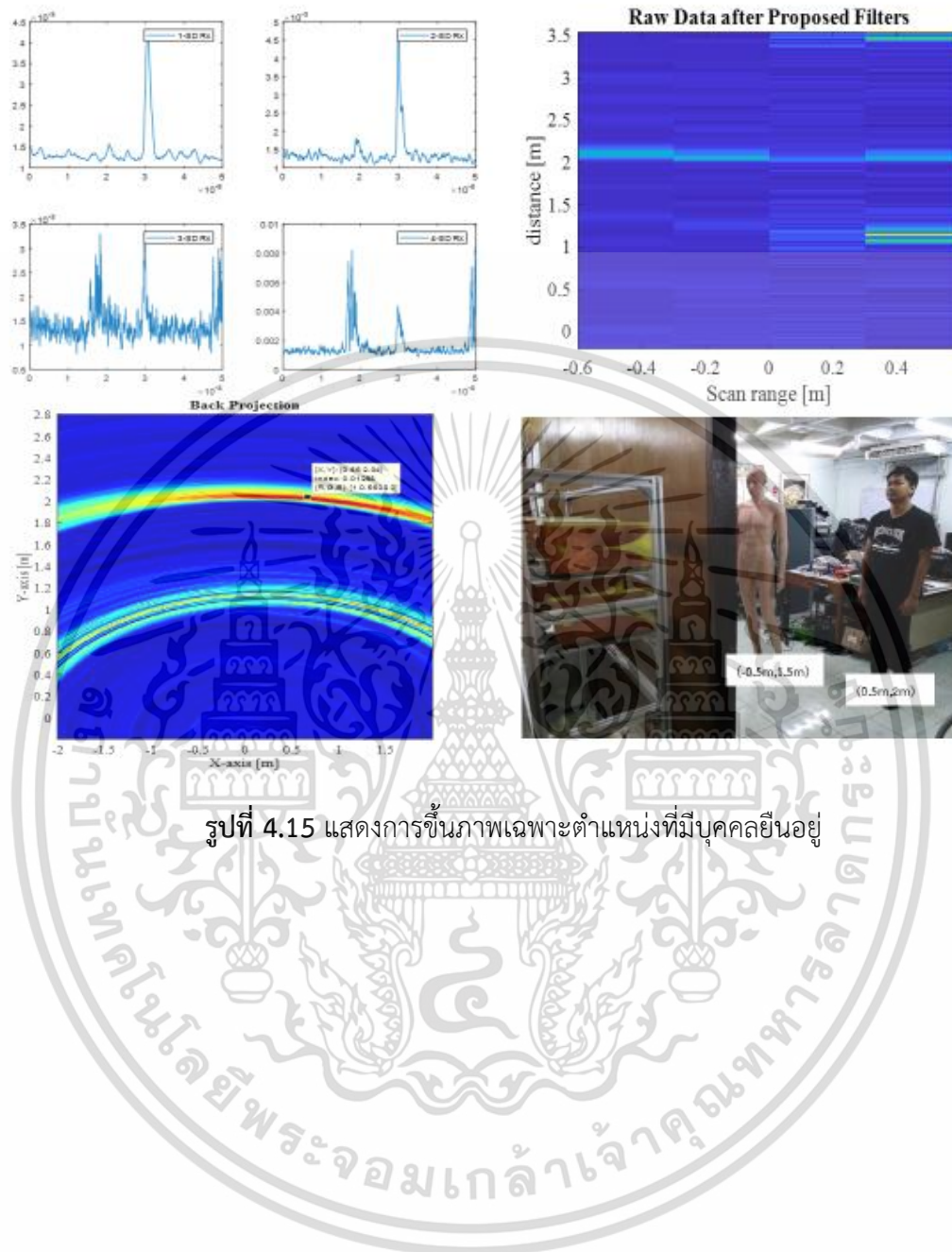
Result: applied SD

SD in along the x-axis



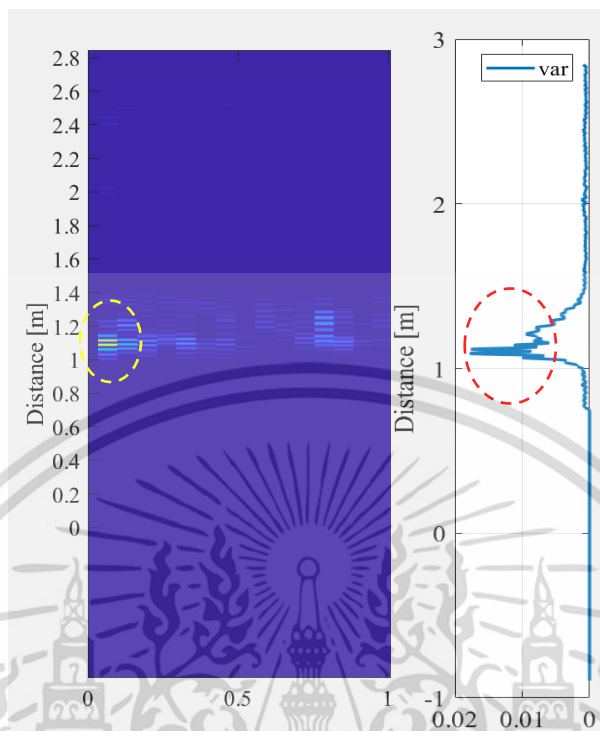
รูปที่ 4.14 แสดงการค้นหตำแหน่งที่ค่า SD สูงสุดปรากฏ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

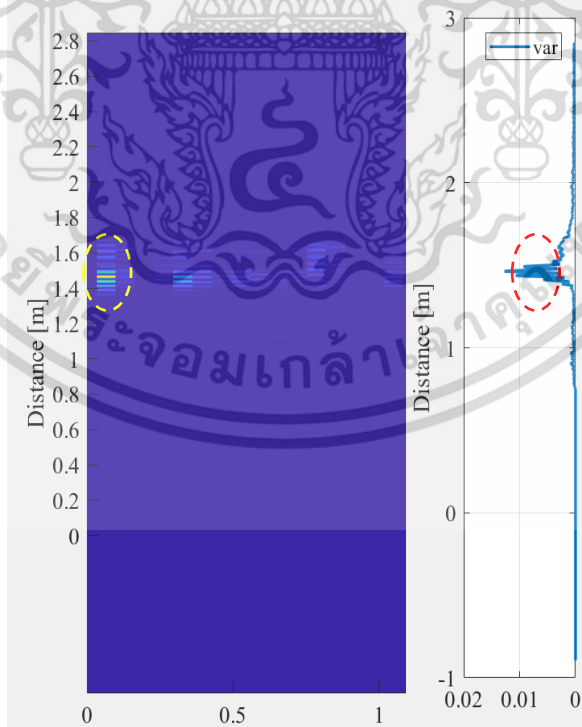


รูปที่ 4.15 แสดงการขึ้นภาพเฉพาะตำแหน่งที่มีบุคคลยืนอยู่

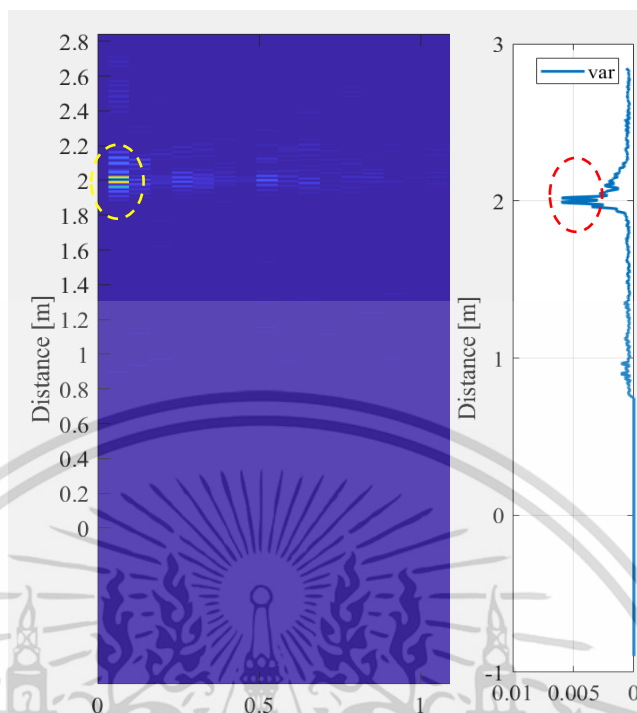
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



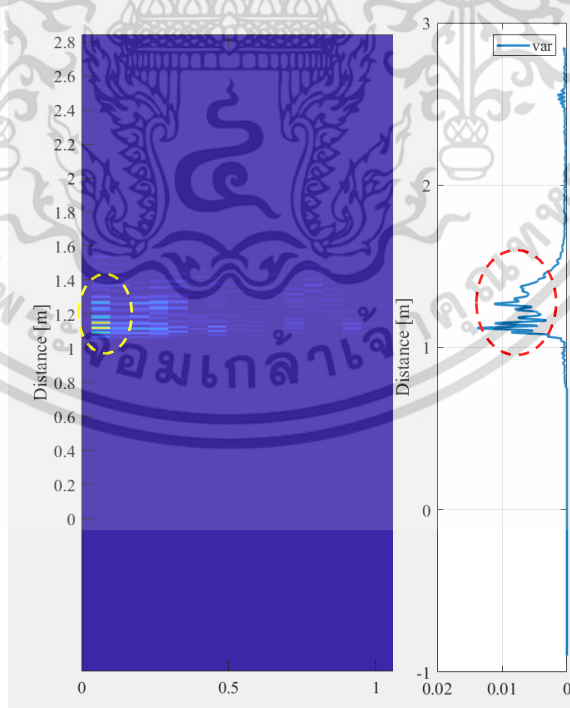
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลหลังกำแพงที่อยู่ตรงกลางของกำแพงโดยห่างจากกำแพงเป็นระยะ 1.0 เมตร



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลหลังกำแพงที่อยู่ตรงกลางของกำแพงโดยห่างจากกำแพงเป็นระยะ 1.5 เมตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

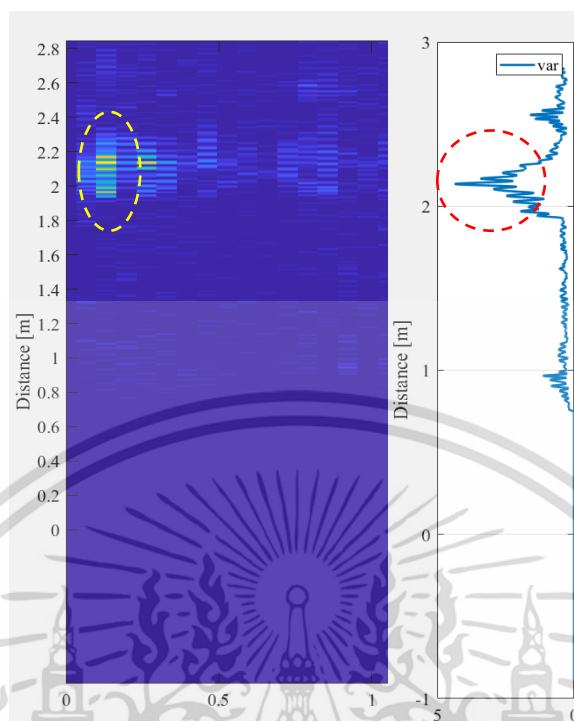


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลหลังกำแพงที่อยู่ตรงกลางของกำแพงไม้โดยห่างจากกำแพงเป็นระยะ 2 เมตร

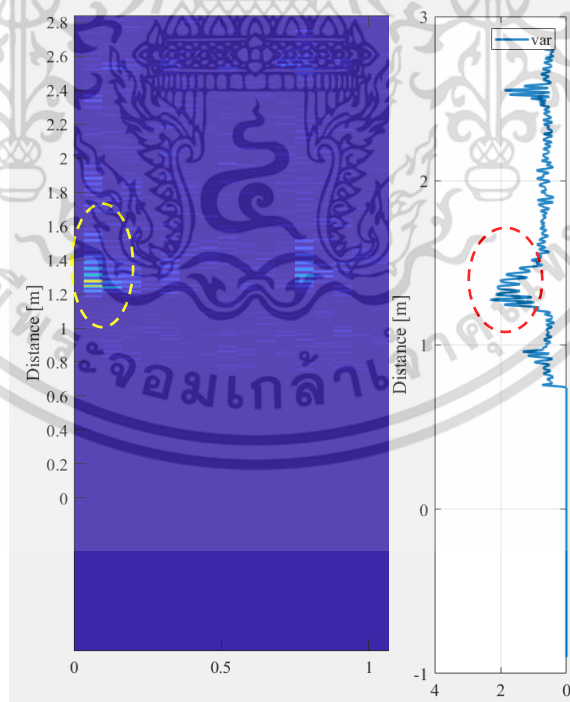


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงไม้ด้านขวาห่างจากกำแพงเป็นระยะ 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

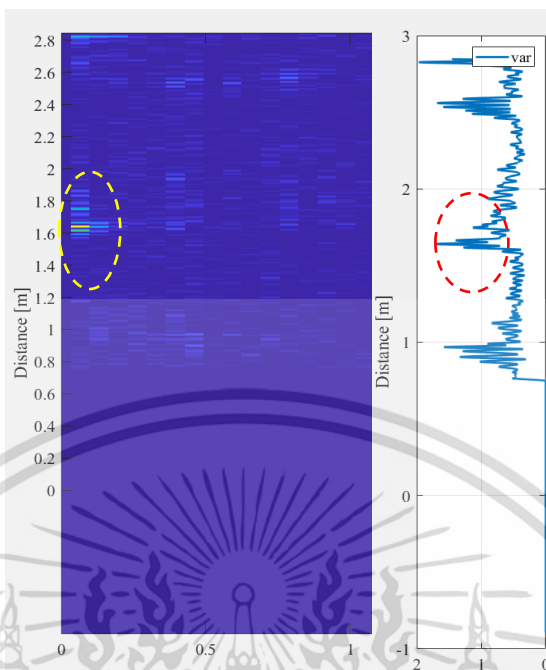


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงไม้ด้านขวาห่างจากกำแพงเป็นระยะ 2 เมตร

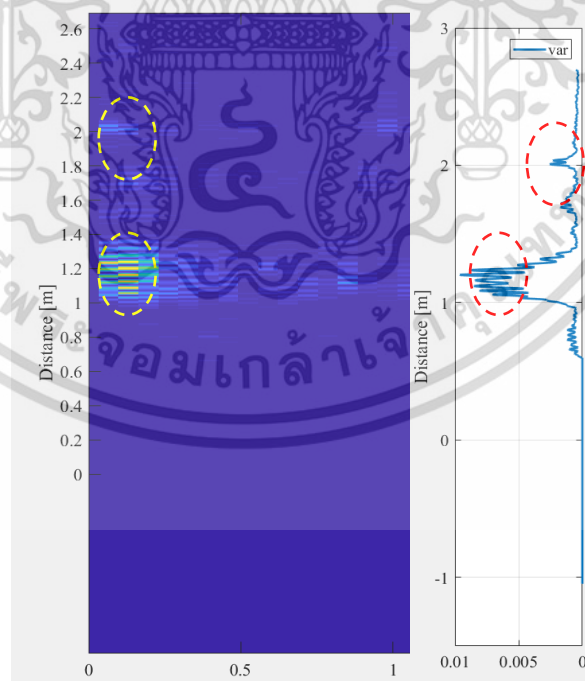


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงไม้ด้านซ้ายห่างจากกำแพงเป็นระยะ 1.2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

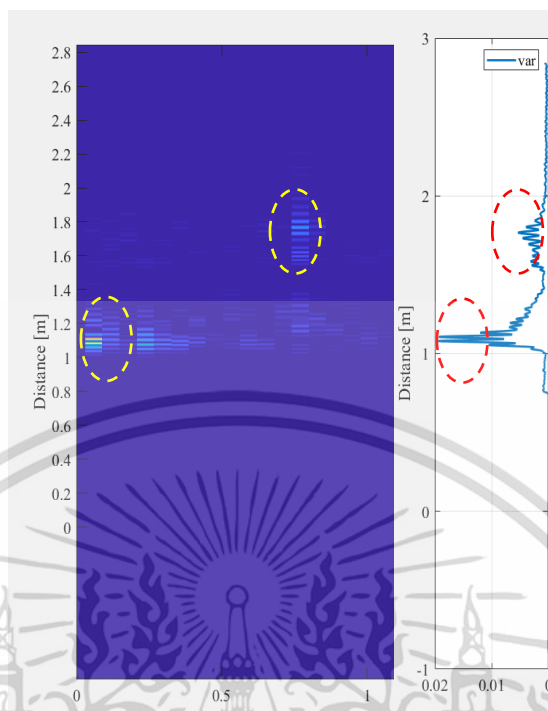


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงไม้ด้านซ้ายห่างจากกำแพงเป็นระยะ 1.6 เมตร

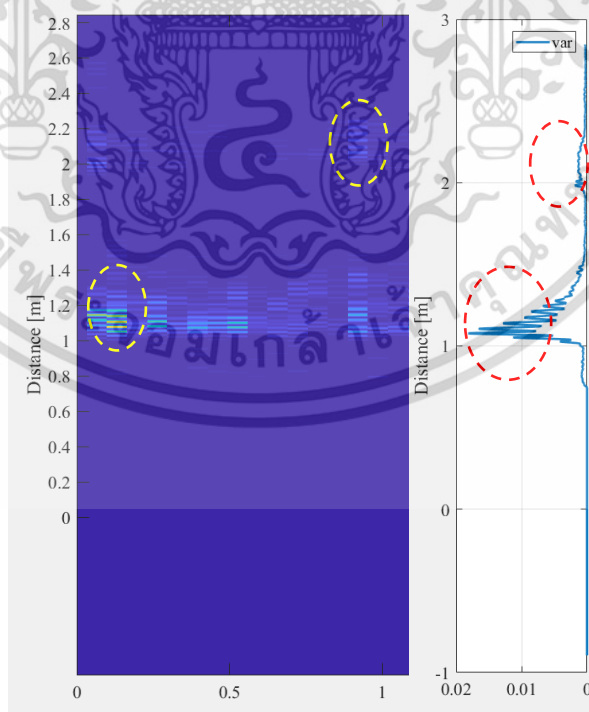


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงตำแหน่งบุคคล 2 บุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงตำแหน่งตรงกลางห่างจากกำแพงเป็นระยะ 1 เมตร และด้านซ้ายของกำแพงระยะ 2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

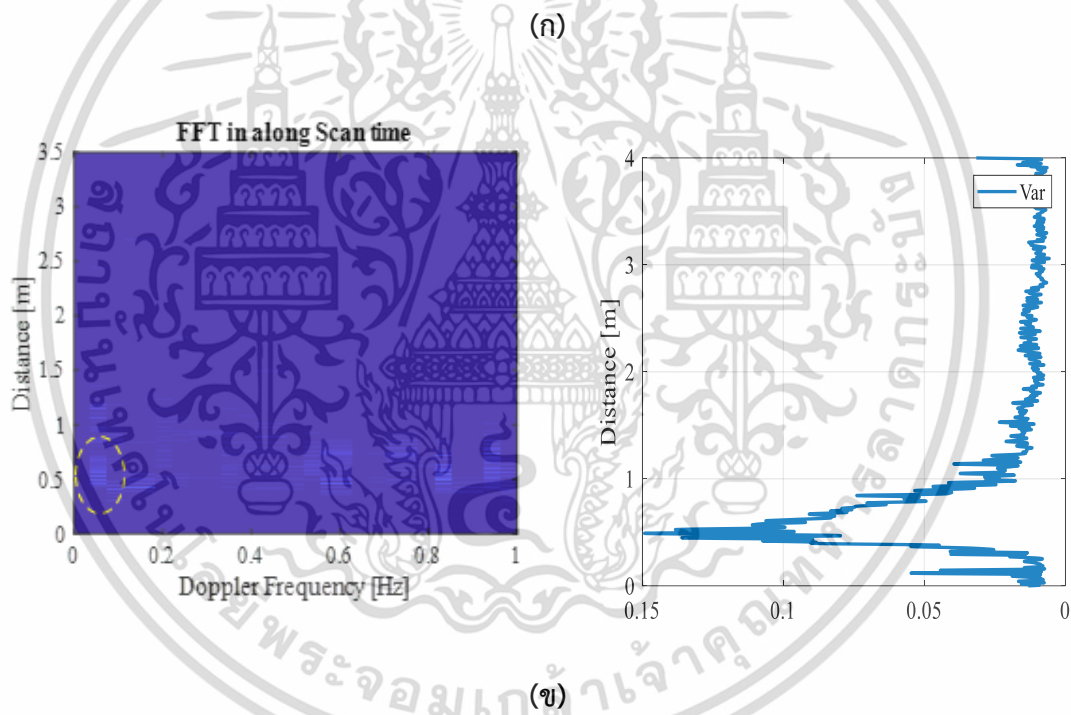
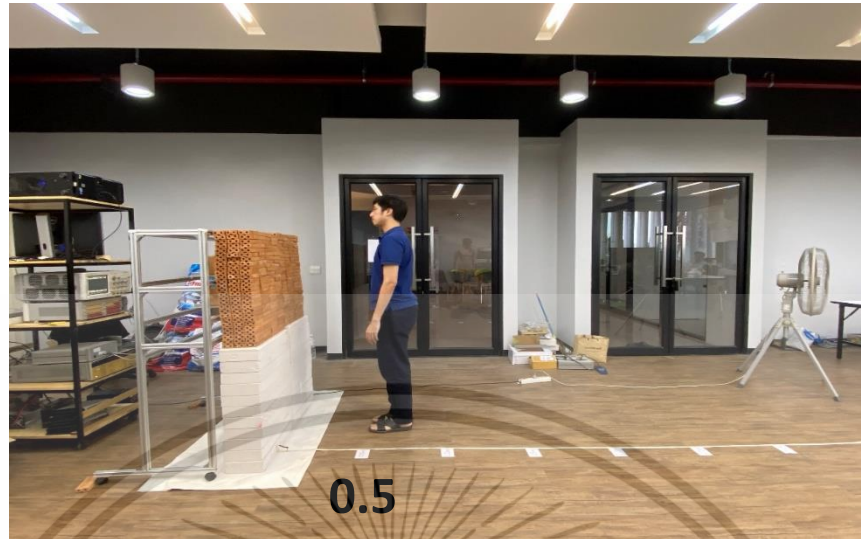


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงตำแหน่งบุคคล 2 บุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงตำแหน่งตรงกลางห่างจากกำแพงเป็นระยะ 1 เมตร และด้านขวาของกำแพงระยะ 1.5 เมตร



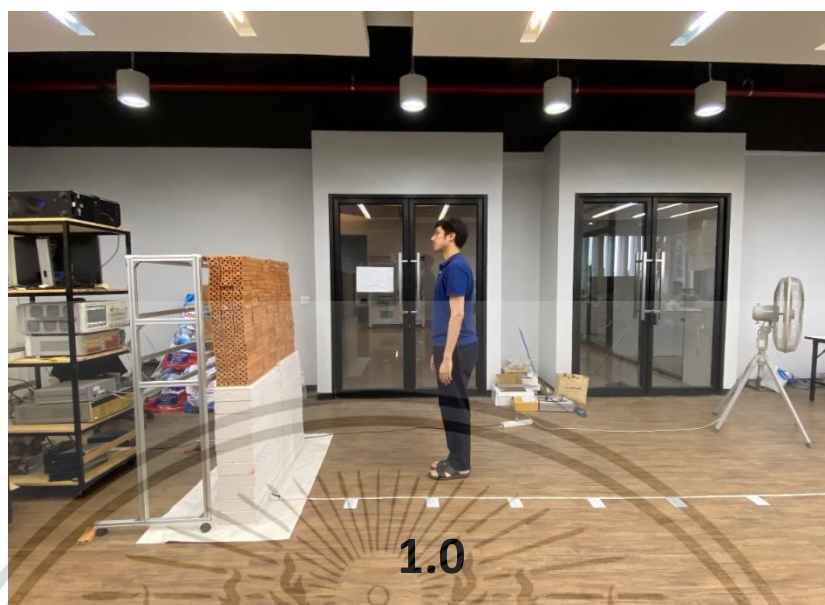
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงตำแหน่งบุคคล 2 บุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงตำแหน่งตรงกลางห่าง

จากกำแพงเป็นระยะ 1 เมตร และด้านขวาของกำแพงระยะ 2 เมตร
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของอาจารย์ ดร. อธิวัฒน์ อธิวัฒน์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



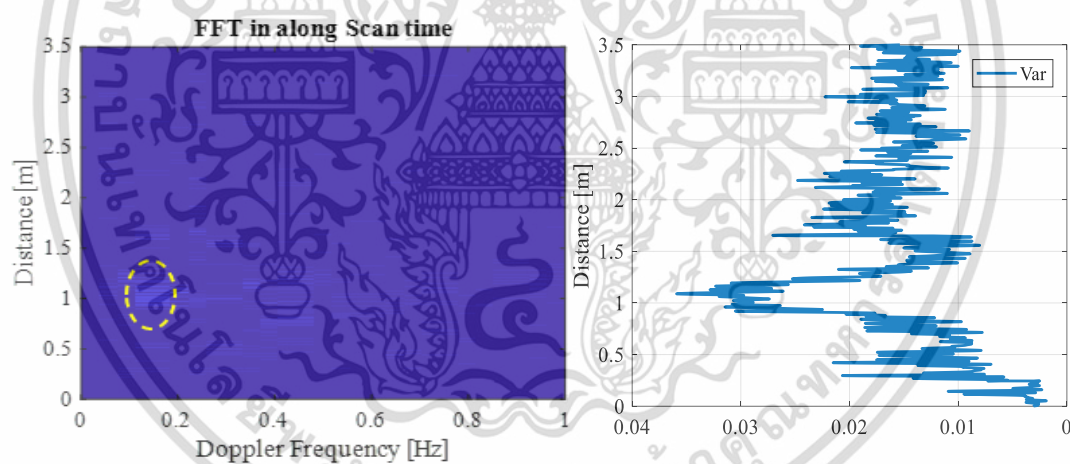
รูปที่ 4.26 (ก) รูปภาพแสดงบุคคลยืนอยู่หลังกำแพงที่ระยะ 0.5 เมตร (ข) กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงอิฐมอดูแดงที่ตำแหน่งตรงกลางห่างจากกำแพงเป็นระยะ 0.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1.0

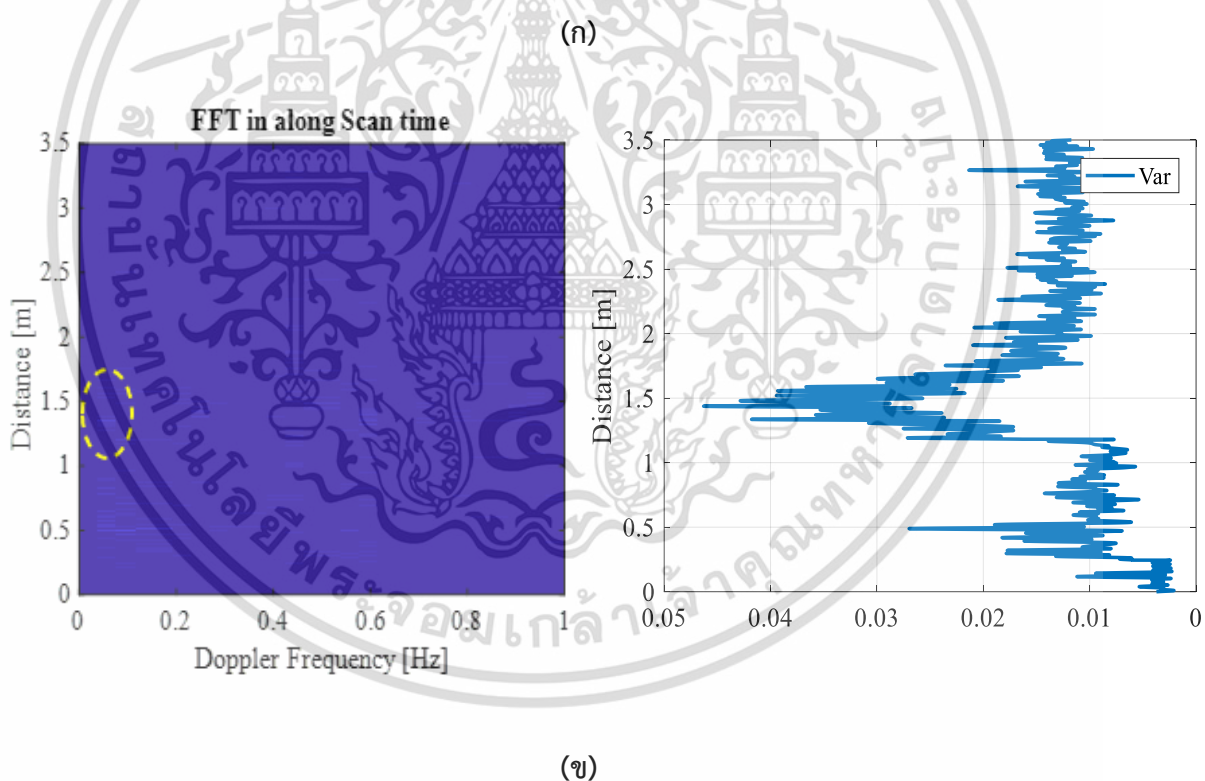
(ก)



(ข)

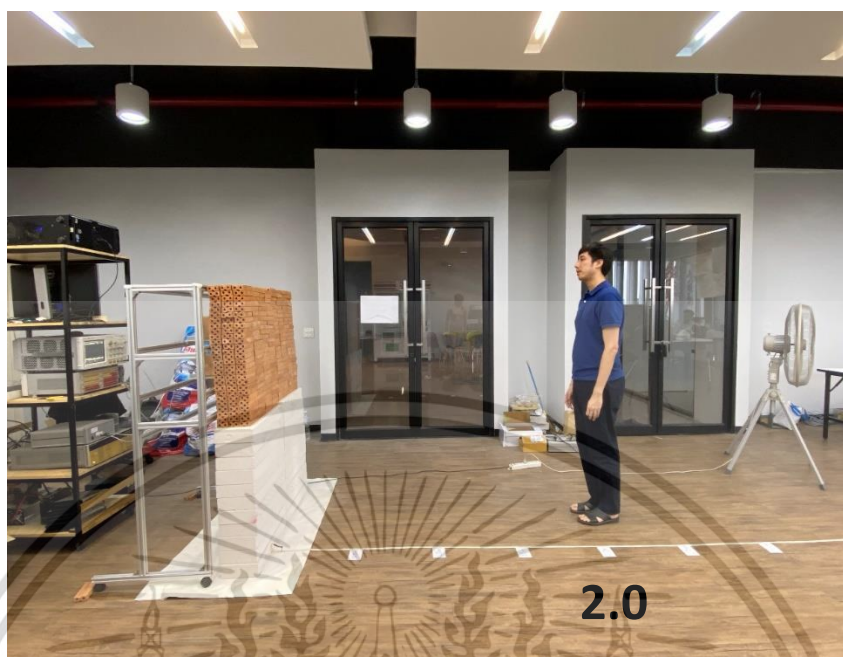
รูปที่ 4.27 (ก) รูปภาพแสดงบุคคลยืนอยู่หลังกำแพงที่ระยะ 1 เมตร (ข) กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงอิฐมอดูแดงที่ตำแหน่งตรงกลางห่างจากกำแพงเป็นระยะ 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

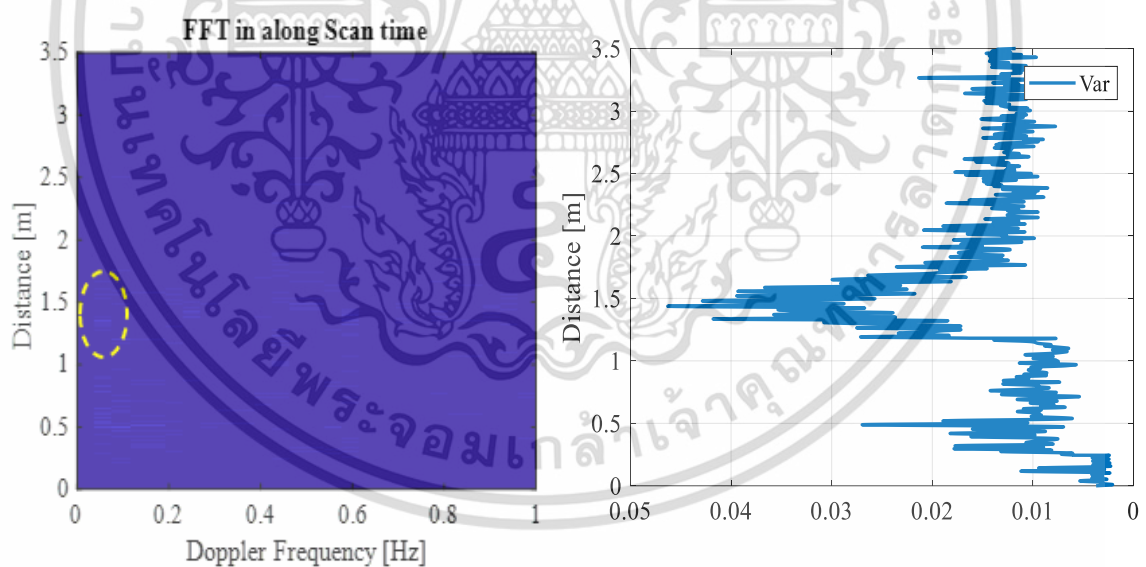


รูปที่ 4.28 (ก) รูปภาพแสดงบุคคลยืนอยู่หลังกำแพงที่ระยะ 1.5 เมตร (ข) กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงอิฐมอญแดงที่ตำแหน่งตรงกลางห่างจากกำแพงเป็นระยะ 1.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



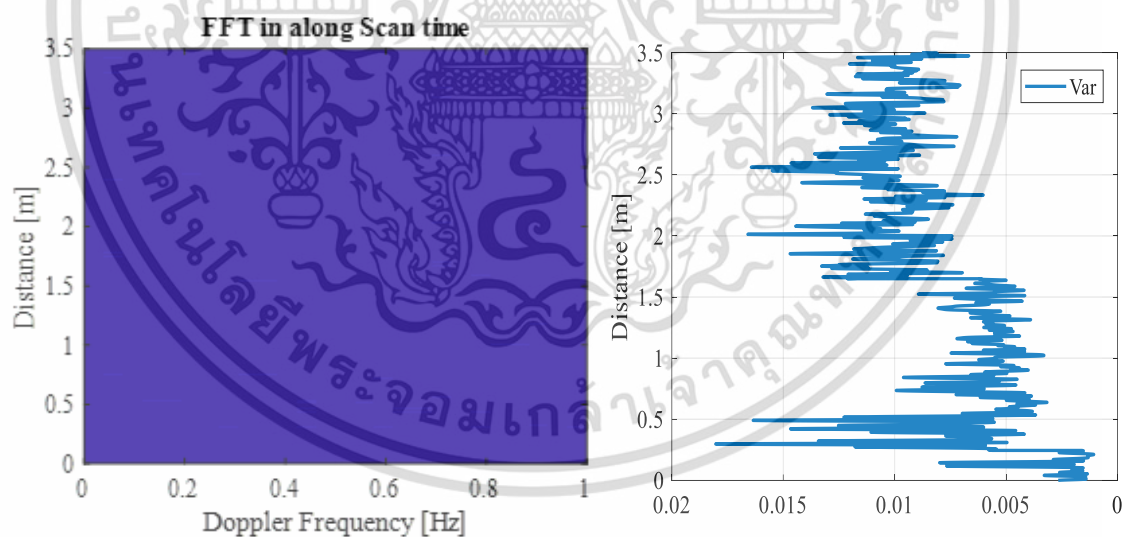
(ข)

รูปที่ 4.29 (ก) รูปภาพแสดงบุคคลยืนอยู่หลังกำแพงที่ระยะ 2.0 เมตร (ข) กราฟแสดงตำแหน่งบุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงอิฐมอดูแดงที่ตำแหน่งตรงกลางห่างจากกำแพงเป็นระยะ 2.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.30 (ก) รูปภาพไม่สามารถแสดงบุคคลยืนอยู่หลังกำแพงที่ระยะ 2.5 เมตรได้ (ข) กราฟไม่สามารถแสดงตำแหน่งบุคคลที่ยืนอยู่หลังกำแพงอิฐมอญแดงที่ตำแหน่งตรงกลางห่างจากกำแพงเป็นระยะ 2.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบตรวจจับบุคคลที่ไม่ได้มีการเคลื่อนไหวเปรียบเทียบกับหุ่นที่ไม่ใช่คนหรือไม่มีบุคคล ระบบสามารถทำการแยกแยะความแตกต่างของคนและไม่ใช่คนได้ โดยดูจากการแกว่งของค่า SD หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ถ้าเป็นคน ก็จะเกิดค่า SD เกิดขึ้น ซึ่ง SD นี้เกิดขึ้นมาจากการกระเพื่อมของหน้าอกหรือการเคลื่อนไหวใดๆ ของคนที่หยุดอยู่กับที่ ที่ยังมีชีวิตก็จะทำให้ค่า SD นั้นปรากฏ แตกต่างจากหุ่น ที่ไม่มีการเคลื่อนไหวใดๆ ค่า SD นี้จะมีค่าเท่ากับศูนย์ทำให้เราสามารถแยกแยะ ระหว่างหุ่นกับมนุษย์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาระบบเรดาร์สำหรับประยุกต์ใช้ในการตรวจจับบุคคล หลังกำแพง ในบทความนี้กล่าวถึงวิธีการขึ้นภาพสองมิติของวัตถุทั้งการจำลองและการทดลองในระบบ UWB เรดาร์แบบอาร์เรย์โดยใช้หลักการ back projection นอกจากนี้ยังกล่าวถึงวิธีการออกแบบเสาอากาศ UWB กำลังขยายสัญญาณสูงเพื่อให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ตรวจจับวัตถุหลังกำแพง ในบทที่ 3 อธิบายขั้นตอนในการลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณภาครับ พร้อมอธิบายวิธีการตรวจจับมนุษย์ หลังกำแพงด้วยการตรวจจับความถี่ดอปเพลอร์จากการเคลื่อนไหวของมนุษย์ จะเห็นได้ชัดว่าเราสามารถเห็นสัญญาณบุคคลหรือสิ่งของที่อยู่หลังกำแพงได้อย่างชัดเจนเนื่องจากใช้หลักการทั้ง 4 แบบคือ สัญญาณ ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลอง (Raw Data), สัญญาณภาครับจากการตัดสัญญาณที่ไม่เคลื่อนที่ออก (Clutter Reduction), การใช้ตัวกรองสัญญาณชนิดเรียบ (Smooth Filter), การแปลงฟูเรียร์แต่ละแถวของตารางเพื่อหาความถี่ดอปเพลอร์ เมื่อได้นำทั้ง 4 อย่างนี้มาวิเคราะห์และคำนวณ จึงได้เห็นสัญญาณภาพออกมาได้แบบ 2 มิติ ดังนั้นจะเห็นได้ว่างานวิจัยนี้เราสามารถเห็นภาพที่เราไม่สามารถเห็นได้ในด้านหลังกำแพงแล้วยังสามารถต่อยอดได้อีกในรูปแบบ 3 มิติและการคำนวณที่รวดเร็วในระดับ real time , เพิ่มความถูกต้องและแม่นยำได้อีกมากขึ้นด้วย ผู้วิจัยเชื่อว่าในอนาคตโลกของเราจะมีอุปกรณ์ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกให้กับบุคคลที่เข้าไปช่วยผู้ประสบภัยได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Schlutz, Matthew. 2009. **“Synthetic Aperture Radar Imaging Simulated in MATLAB.”**
[Online]. Available : <https://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?>
- [2] Artit Rittiplang and Pattarapong Phasukkit, 2018 **“Human Movement Detection behind the Wall based on Doppler Frequency and Standard Deviation,”** 2018 International Symposium on Multimedia and Communication Technology (ISMAC), August 29-31, 2018, pp. 85-88.
- [3] Greg Barrie, 2012 **“Ultra-Wideband Synthetic Aperture Data and Image Processing,”** Defence R&D Canada-Ottawa.
[Online]. Available : <https://cradpdf.drdc-rddc.gc.ca/PDFS/unc06/p518888.pdf>
- [4] X. Liang, H. Zhang, G. Fang, S. Ye and T. A. Gulliver, 2017 **“An Improved Algorithm for Through-Wall Target Detection Using Ultra-Wideband Impulse Radar,”** in IEEE Access, vol. 5, pp. 22101-22118.
- [5] J. Li, Z. Zeng, J. Sun and F. Liu, 2012 **“Through-Wall Detection of Human Being's Movement by UWB Radar,”** in IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 9, no. 6, pp. 1079-1083.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายศุภฤกษ์ จัตตะมละกุล
วัน เดือน ปีเกิด 23 ตุลาคม 2535 ที่ชลบุรี
ที่อยู่ 406 ถ.วชิรปราการ ตำบลบางปลาสร้อย อำเภอเมืองชลบุรี
ชลบุรี 20000 โทร 038-791-066
ประวัติการศึกษา 2554 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย
พ.ศ.2558 ตีพิมพ์หัวข้อวิจัย Time Domain Antenna Analysis for Ultra wide band
System ในงาน 2015 International Symposium on Multimedia and
Communication Technology.
พ.ศ.2560 ตีพิมพ์หัวข้อวิจัย Through the wall radar Simulation of human
Dielectric scattering ในงาน 2017 International Symposium on
Multimedia and Communication Technology.
ปัจจุบัน พนักงานบริษัท เอ็นทีที โซลูชั่นส์ (ประเทศไทย) จำกัด
ตำแหน่ง วิศวกรเครือข่ายและเชี่ยวชาญด้านอุปกรณ์ไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้