



รายงานฉบับสมบูรณ์

ระบบเรดาร์ค้นหาบุคคลผ่านกำแพงหรือผนังด้วยคลื่น แถบความถี่กว้าง.

Ultra-Wideband Radar system through the wall

รองศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพงษ์ ผาสุกกิจ

ภาควิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานฉบับสมบูรณ์

ระบบเรดาร์ค้นหาบุคคลผ่านกำแพงหรือผนังด้วยคลื่น แลบความถี่กว้าง.
Ultra-Wideband Radar system through the wall

รองศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ
ภาควิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดโครงการ

- ชื่อโครงการ (ไทย) ระบบเรดาร์ค้นหาบุคคลผ่านกำแพงหรือผนังด้วยคลื่น แลບความถี่กว้าง.
- ชื่อโครงการ (อังกฤษ) Ultra-Wideband Radar system through the wall
- หัวหน้าโครงการ รองศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ
- สังกัด สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) ระบบเรดาห์ค้นหาบุคคลผ่านกำแพงหรือผนังด้วยคลื่น แอบความถี่กว้าง

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ รองศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ
 หน่วยงานต้นสังกัด สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
 คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาระบบเรดาห์สำหรับตรวจสอบบุคคลหลังกำแพงสามารถไปประยุกต์ใช้ ในด้านของการตรวจสอบบุคคลที่แอบซ่อน หลังต้นไม้ หรือนำเอาไปใช้ใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ ซึ่งระบบดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ใน การหาผู้ก่อการร้าย ที่แอบซ่อน เพื่อทำการจับกุม ระเบิด ที่แอบซ่อนอยู่ในรัศมีไม่เกิน 100 เมตร ซึ่งสามารถลดการเกิด การสูญเสียจากเหตุการณ์ก่อการร้ายและการสูญเสียในภาคใต้ได้ เนื่องจากที่ผ่านมาได้มีการพัฒนางานวิจัยมากมาย เพื่อนำไปเก็บกู้วัตถุระเบิด แต่ก็มี การสูญเสียตลอด เนื่องจากพฤติกรรมของผู้ก่อการร้ายเรียนรู้ และมีการวางแผน ที่ซับซ้อนขึ้น โดยจะมีการ หลอกวัตถุระเบิด 1 ชุดที่ง่ายต่อการเก็บกู้ แล้วล่อให้เจ้าหน้าที่เข้าไปในพื้นที่ แล้วค่อยสั่งให้ระเบิดอีกชุดหนึ่ง ทำงาน ซึ่งมีการสูญเสียบุคลากร ทางทหาร และ ประชาชนพลเรือน เป็นอย่างมาก ฉะนั้น ระบบที่ทางผู้วิจัย ได้ทำการศึกษาและพัฒนา มาเป็นระยะช่วงหนึ่ง เมื่อสำเร็จสามารถที่จะนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อ ประเทศชาติอย่างมาก จากรูปด้านบนนั้น ทางผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบว่าระบบดังกล่าว นั้นในประเทศ สหรัฐอเมริกา อังกฤษ มีการใช้งาน ในหน่วยงานด้านความมั่นคง เช่น FBI หรือ CIA ซึ่งมีราคาจำหน่ายที่ สูงมาก และ ในด้านของการจัดหา มาใช้งานค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ ที่มีทั้งประโยชน์ และโทษ ถ้ามีการตกไปอยู่ในกลุ่มไม่ดี ทางผู้วิจัยมุ่งหวังในการต่อยอดจากสิ่งที่ได้ศึกษาและทดลอง มาให้สามารถ นำมาใช้ได้จริง เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ต่อประเทศชาติ

คำสำคัญ : เรดาห์ทางชีวภาพ , สัญญาณย่านความถี่สูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Ultra-Wideband Radar system through the wall

Researcher: Assoc.Prof.Dr. Pattarapong Phasukkit

Faculty: Engineering

Department: Electronics Engineering

ABSTRACT

This research project presents the development of a radar system for monitoring the back wall can be applied. In the field of inspecting people who hide behind trees or use in 3 southern border provinces Which the system can be used to find hidden terrorists to spot the explosive insulation Hidden in a radius of not more than 100 meters Which can reduce the loss of terrorism and loss in the south Since the past, there has been a lot of research development To be used to recover explosives But there is a loss throughout Because of the behavior of terrorists to learn And planned More complex With 1 set of explosives that are easy to recover Then lure the authorities into the area Then ordered another bomb to work Which has lost a lot of military personnel and civilian people. Have studied and developed for a period of time When successfully able to be used to benefit the country greatly From the image above The researcher has verified that such systems in the United States of America are used in security agencies such as the FBI or the CIA, which have a very high selling price and in terms of procurement is quite complicated. Because it is a device That has both benefits and penalties if it falls into a bad group. The researcher hopes to expand from what has been studied and tested to be able to actually be used. For the benefit of the nation

Keywords : : Bio-Radar , UWB

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเงินทุนในการพัฒนางานวิจัย เพื่อให้งานวิจัยสำเร็จ ลุล่วงด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

รายละเอียดโครงการ	I
บทคัดย่อ.....	II
ABSTRACT.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1	1
บทนำ	1
1.1 ประวัติความเป็นของเรดาร์.....	1
1.2 ความสำคัญของงานวิจัย	5
1.3 การตรวจจับมนุษย์หลังกำแพงในปัจจุบันและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	8
บทที่ 2	9
ทฤษฎี.....	9
2.1 นิยามของ UWB เรดาร์.....	9
2.2 พื้นฐานของระบบ UWB เรดาร์.....	12
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3	20
วิธีการวิจัย	20
3.1 วิธีการวิจัย.....	20
3.2 สมการของสัญญาณที่ใช้ในการประมวลผล (RAW DATA).....	22
3.3 การตัดสัญญาณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (CLUTTER REDUCTION)	25
3.4 การใช้ตัวกรองสัญญาณชนิดเรียบ (SMOOTH FILTER).....	26
3.5 การแปลงฟูเรียร์ (SMOOTH FILTER).....	28
3.6 การประยุกต์ใช้ UWB เรดาร์ในการตรวจจับมนุษย์หลังกำแพง.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 หลักการระบุตำแหน่งของวัตถุในสองมิติโดยใช้หลักการฉายภาพกลับ	31
(BACK PROJECTION)	31
3.8 จำลองการขึ้นภาพสองมิติโดยใช้หลักการฉายภาพกลับ (BACK PROJECTION).....	35
3.9 การออกแบบเสาอากาศ UWB สำหรับการตรวจจับวัตถุหลังกำแพง.....	38
3.10 การคำนวณระยะทางของวัตถุที่อยู่หลังกำแพง.....	41
บทที่ 4	43
ผลการทดลอง.....	43
4.1 การทดลองการระบุตำแหน่งของวัตถุในสองมิติโดยใช้หลักการ BACK PROJECTION	43
บทที่ 5	54
บทสรุป.....	54
บทที่ 6	55
สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย.....	55
เอกสารอ้างอิง.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 ระบบพัลส์เรดาร์ (PULSE RADAR SYSTEM) ชนิดตัวส่งและตัวรับเดียวกัน.....	2
(MONOSTATIC RADAR).....	2
รูปที่ 1.2 สัญญาณรบกวนที่ส่งผลกระทบต่อเรดาร์.....	3
รูปที่ 1.3 การเปรียบเทียบ SNR กับระยะทางของเป้าหมายที่มี RCS แตกต่างกัน.....	4
รูปที่ 1.4 การประยุกต์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า UWB เพื่อตรวจจับและขึ้นภาพคนหลังกำแพง.....	5
รูปที่ 1.5 (ก) การทดลอง (ข) การระบุความถี่ดอปเพลอร์ที่ตำแหน่งของมนุษย์.....	6
รูปที่ 1.6 (ก) ระบบเรดาร์ SAR ถูกนำมาประยุกต์ใช้ขึ้นภาพเป้าหมายในระนาบสองมิติ (ข) การใช้ตัวกรองความถี่ดอปเพลอร์ผ่าน (DOPPLER FILTER OR CLUTTER FILTER) เพื่อเพิ่มความชัดของเป้าหมาย.....	7
รูปที่ 1.7 การจำลองการตรวจจับคนใต้ซากอาคาร พร้อมระบุตำแหน่งมนุษย์ในเวลาจริง.....	7
รูปที่ 2.1 รูปคลื่น UWB ที่มี $B_F > 0.25$ ตามเงื่อนไข FCC.....	9
รูปที่ 2.2 ชนิดของคลื่น UWB.....	11
รูปที่ 2.3 ระบบ UWB เรดาร์พื้นฐาน.....	12
รูปที่ 2.4 วิธี SAR สำหรับเครื่องบิน.....	13
รูปที่ 2.5 FMCW พัลส์เรดาร์สามารถจำแนกเป้าหมายได้ดีกว่า CW พัลส์เรดาร์.....	13
รูปที่ 2.6 ภาพสองมิติที่ได้จากอัลกอริทึม RANGE DOPPLER สำหรับ SAR ของระบบเครื่องบิน (ก) ข้อมูลดิบ (ข) บีบอัดระยะทางด้วย MATCHED FILTER (ค) บีบอัดมุมด้วย MATCHED FILTER.....	14
รูปที่ 2.9 การประยุกต์ UWB เรดาร์ในการตรวจจับคนหลังกำแพง.....	16
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.....	20
รูปที่ 3.2 สัญญาณภาคส่งจากการทดลองของรูปที่ 3.1.....	21
รูปที่ 3.3 แผนผังวิธีการตรวจจับการเคลื่อนที่ของมนุษย์จากการวัดความถี่ดอปเพลอร์.....	22
รูปที่ 3.4 สัญญาณภาครับที่เกิดจากการแกว่งแขนของมนุษย์.....	23
รูปที่ 3.6 สัญญาณภาครับจากการตัดสัญญาณที่ไม่เคลื่อนที่ออก (CLUTTER REDUCTION).....	26
รูปที่ 3.6 การใช้ตัวกรองสัญญาณชนิดเรียบ (SMOOTH FILTER).....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 การแปลงฟูเรียร์แต่ละแถวของตารางเพื่อหาความถี่ตอบเพลอร์.....	28
รูปที่ 3.8 การเซตระบบของการประมวลผลสัญญาณของการตรวจจับการเคลื่อนที่ของมนุษย์.....	29
รูปที่ 3.9 สัญญาณภาครับทั้งหมดที่บันทึกจากการแกว่งแขนของมนุษย์.....	30
รูปที่ 3.10 ใช้ FFT ตามแนวแกนนอนทุกแกนเพื่อหาความถี่ตอบเพลอร์.....	30
รูปที่ 3.11 วัตถุในระบบพิกัด SAR เรดาร์.....	31
รูปที่ 3.12 ข้อมูลในระบบพิกัด SAR เรดาร์.....	32
รูปที่ 3.14 BACK PROJECTION ที่ตำแหน่งเริ่มต้น.....	33
รูปที่ 3.15 การประมวลผลภาพสองมิติโดยใช้ BACK PROJECTION.....	34
รูปที่ 3.16 การจำลองตำแหน่งของวัตถุ.....	35
รูปที่ 3.17 (ก) สัญญาณ UWB ภาคส่ง (ข) สัญญาณภาครับที่ตำแหน่ง $U_L = 1$ เมตร ที่มีสัญญาณรบกวน (ค) สัญญาณภาครับที่ผ่านตัวกรองสัญญาณรบกวน.....	36
รูปที่ 3.18 (ก) เก็บข้อมูล 9 ตำแหน่ง (ข) ประมวลผลภาพโดยใช้ BACK PROJECTION.....	37
รูปที่ 3.19 (ก) ตำแหน่งของวัตถุ (ข) สัญญาณที่ได้จากวัตถุ (ค) ขึ้นภาพสองมิติของวัตถุ.....	38
รูปที่ 3.20 การจำลองเสาอากาศด้วยโปรแกรม CST.....	39
รูปที่ 3.21 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11}	39
รูปที่ 3.22 ภาพการจำลองอัตราขยายสัญญาณและมุมการส่ง.....	40
รูปที่ 3.23 เสาอากาศที่ได้จากชิ้นงานจริง.....	41
รูปที่ 3.24 การคำนวณระยะทางโดยคำนึงถึงพารามิเตอร์ของกำแพง.....	41
รูปที่ 4.1 การเซตระบบโดยมีเสาอากาศอาร์เรย์สองต้น.....	43
รูปที่ 4.2 การทดสอบการระบุตำแหน่งสองมิติของโลหะ.....	44
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ระยะต่าง ๆ ของโลหะในกรณีที่มีกำแพงและไม่มีกำแพง.....	45
รูปที่ 4.4 ทดสอบวัตถุโลหะที่ระยะเลื่อนตำแหน่ง 10 เซนติเมตร.....	46
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ระยะเลื่อน 10 CM.....	46
รูปที่ 4.6 การทดลองการตรวจจับระยะมนุษย์.....	47
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ระยะต่าง ๆ ของมนุษย์ในกรณีที่มีกำแพงและไม่มีกำแพง.....	48
รูปที่ 4.8 แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับบุคคลหลังกำแพง.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 แสดงตำแหน่งของ มนุษย์ และหุ่น.....	49
รูปที่ 4.10 แสดงภาพโดยรวมของระบบตรวจจับทั้งหมด.....	50
รูปที่ 4.11 แสดงรูปแบบการตรวจจับการเคลื่อนไหวของบุคคล.....	51
รูปที่ 4.12 แสดงการเลื่อนตำแหน่งของสายอากาศที่ใช้ในการตรวจจับ.....	51
รูปที่ 4.13 แสดงการตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยอาศัยค่า SD.....	52
รูปที่ 4.14 แสดงการค้นหาตำแหน่งที่ค่า SD สูงสุดปรากฏ.....	52
รูปที่ 4.15 แสดงการขึ้นภาพเฉพาะตำแหน่งที่มีบุคคลยืนอยู่.....	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของคลื่นที่ย่านความถี่ต่างๆ	4
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของคลื่นที่ย่านความถี่ต่างๆ	16
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางสายอากาศ VIVALDI และอุปกรณ์การทดลอง	21
ตารางที่ 3.3 อัลกอริทึมการฉายภาพกลับ (BACK PROJECTION) [5]	34



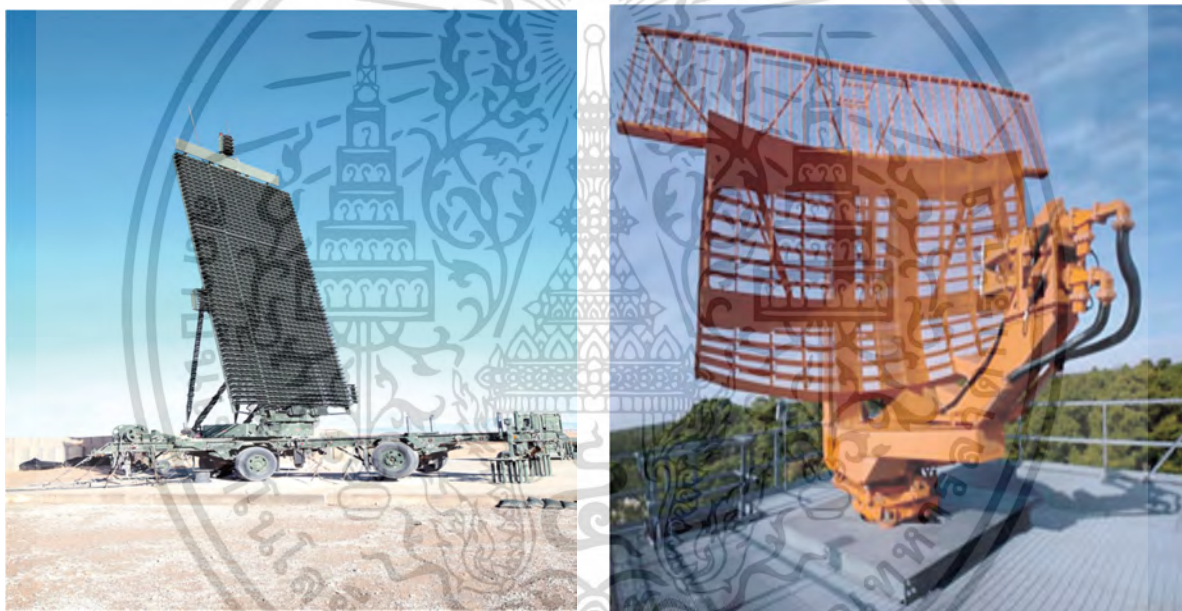
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

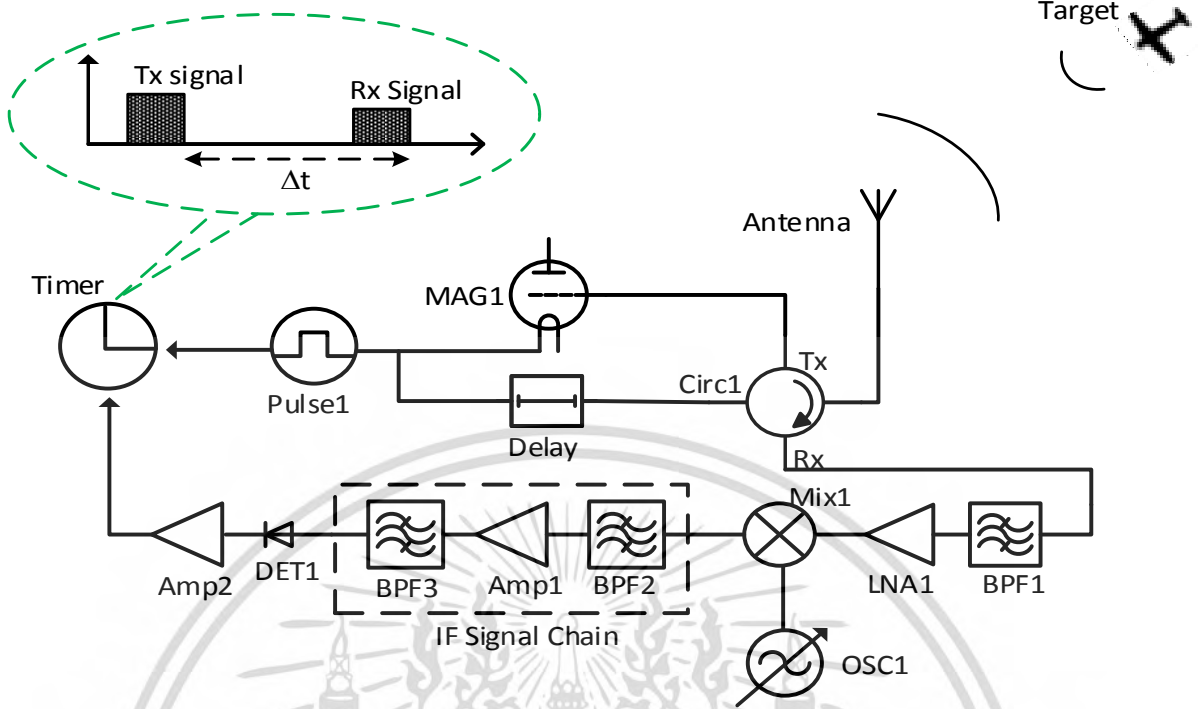
1.1 ประวัติความเป็นมาของเรดาร์

เรดาร์ (Radar) เริ่มถูกวิจัยและประยุกต์ใช้อย่างเข้มข้นในช่วงสงครามโลกครั้งที่สองเพื่อตรวจจับเครื่องบินฝ่ายตรงข้ามให้ได้แม่นยำและรวดเร็วที่สุดในเตรียมการและวางแผนล่วงหน้า 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]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



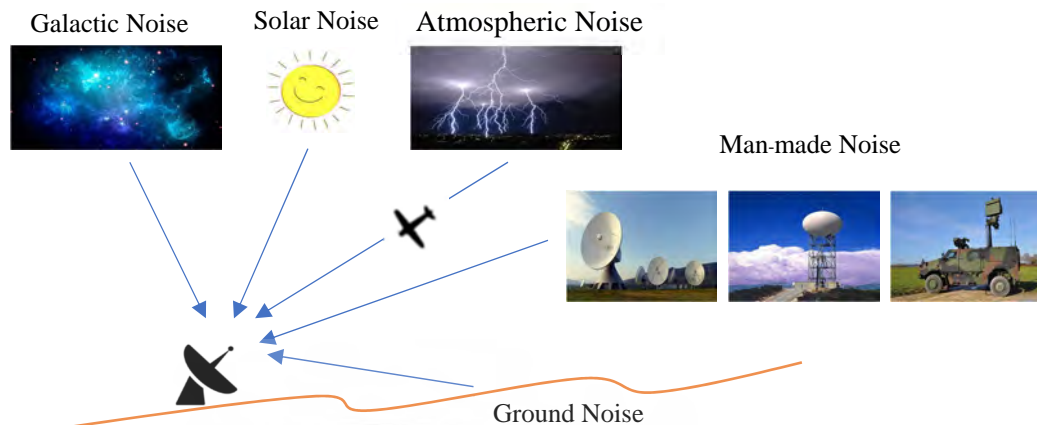
(ค) ไตอะแกรมการทำงานของระบบพัลส์เรดาร์

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

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

$$R = \frac{c\Delta t}{2} \tag{1.1}$$

นอกจากนี้ประสิทธิภาพของระบบเรดาร์ในการตรวจจับระยะเป้าหมายมากที่สุด (maximum range detection) รูปที่ 1.2 สามารถถูกคำนวณได้จากสมการ (1.2)



รูปที่ 1.2 สัญญาณรบกวนที่ส่งผลกระทบต่อเรดาร์

สมการระยะทางสูงสุดของเป้าหมายที่เรดาร์จะตรวจจับได้ [2]

$$R_{max}^4 = \frac{P_t \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4\pi)^3 \cdot \text{SNR} \cdot k \cdot T_0 \cdot F_n \cdot L \cdot B_n} \quad (1.2)$$

โดยที่

R_{max} คือ ระยะมากที่สุดที่จะตรวจจับเป้าหมายได้ (maximum range, m)

P_t คือ พิกของกำลังไฟฟ้าภาคส่ง (peak transmit power, W)

G คือ อัตราขยายของเสาอากาศ (antenna gain, dB)

λ คือ ความยาวคลื่น (wave length, m)

σ คือ พื้นผิวของเป้าหมายที่คลื่นภาคส่งตกกระทบ Radar Cross Section (RCS), m^2

SNR คือ อัตราส่วนของกำลังสัญญาณภาครับเทียบกับกำลังสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio, dB)

B_n คือ ความกว้างของความถี่สัญญาณรบกวน (system noise bandwidth, Hz)

k คือ ค่าคงที่ของ Boltzmann, $1.381 \cdot 10^{-23}$ (joul/deg)

T_0 คือ ค่าอุณหภูมิมาตรฐาน 290^0K

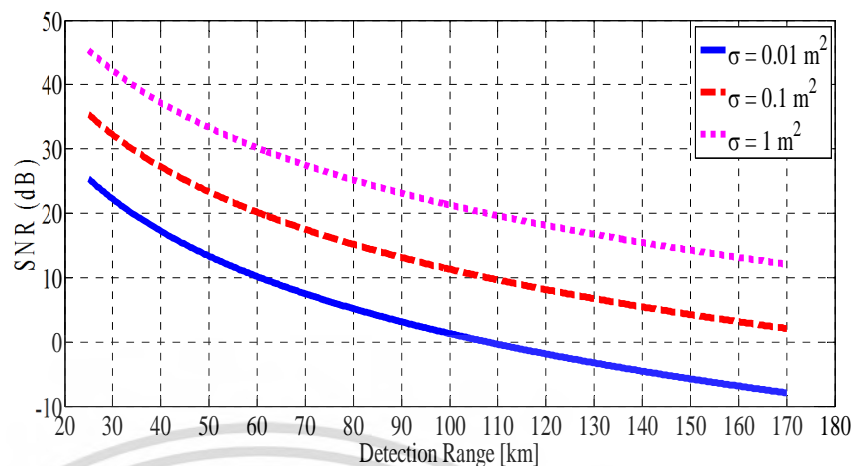
F_n คือ สัญญาณรบกวนจากระบบภาครับทั้งหมด (noise figure, dB)

L คือ ค่ากำลังสูญเสียทั้งหมดของระบบเรดาร์ (radar losses, dB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์

$P_t = 1.5 \text{ MW}$
 $G = 45 \text{ dB}$
 $f_0 = 5.6 \text{ GHz}$
 $(\text{SNR})_{\min} = 20 \text{ dB}$
 $\text{RCS} = 0.1 \text{ m}^2$
 $\tau = 0.2 \mu\text{s}$
 $L = 6 \text{ dB}$
 $F = 3 \text{ dB}$
 $T_0 = 290 \text{ K}$



รูปที่ 1.3 การเปรียบเทียบ SNR กับระยะทางของเป้าหมายที่มี RCS ต่างกัน

จากรูปที่ 1.3 อธิบายว่าระบบเรดาร์ที่มีประสิทธิภาพที่ดีควรมีค่า SNR น้อย ทำให้ระบบสามารถตรวจจับเป้าหมายขนาดเล็กได้ไกลขึ้น

อย่างไรก็ตามสมการที่ 1.2 ไม่สามารถถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับมนุษย์หรือเป้าหมายสเกลระดับน้อยกว่าเซนติเมตรได้ (small and short range radar systems) เนื่องจากความกว้างของสัญญาณภาคส่งในแกนเวลา (τ) ต้องมีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับนาโนวินาทีที่เรียกว่า Ultra-wideband (UWB pulse radar) เพื่อให้ความละเอียดในการจำแนกเป้าหมายตั้งแต่หนึ่งขึ้นไปได้อย่างชัดเจน ซึ่งรายละเอียดข้อดีและข้อเสียของ UWB เรดาร์จะถูกอธิบายตามตารางดังนี้

ตารางที่ 1.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของคลื่นที่ย่านความถี่ต่างๆ

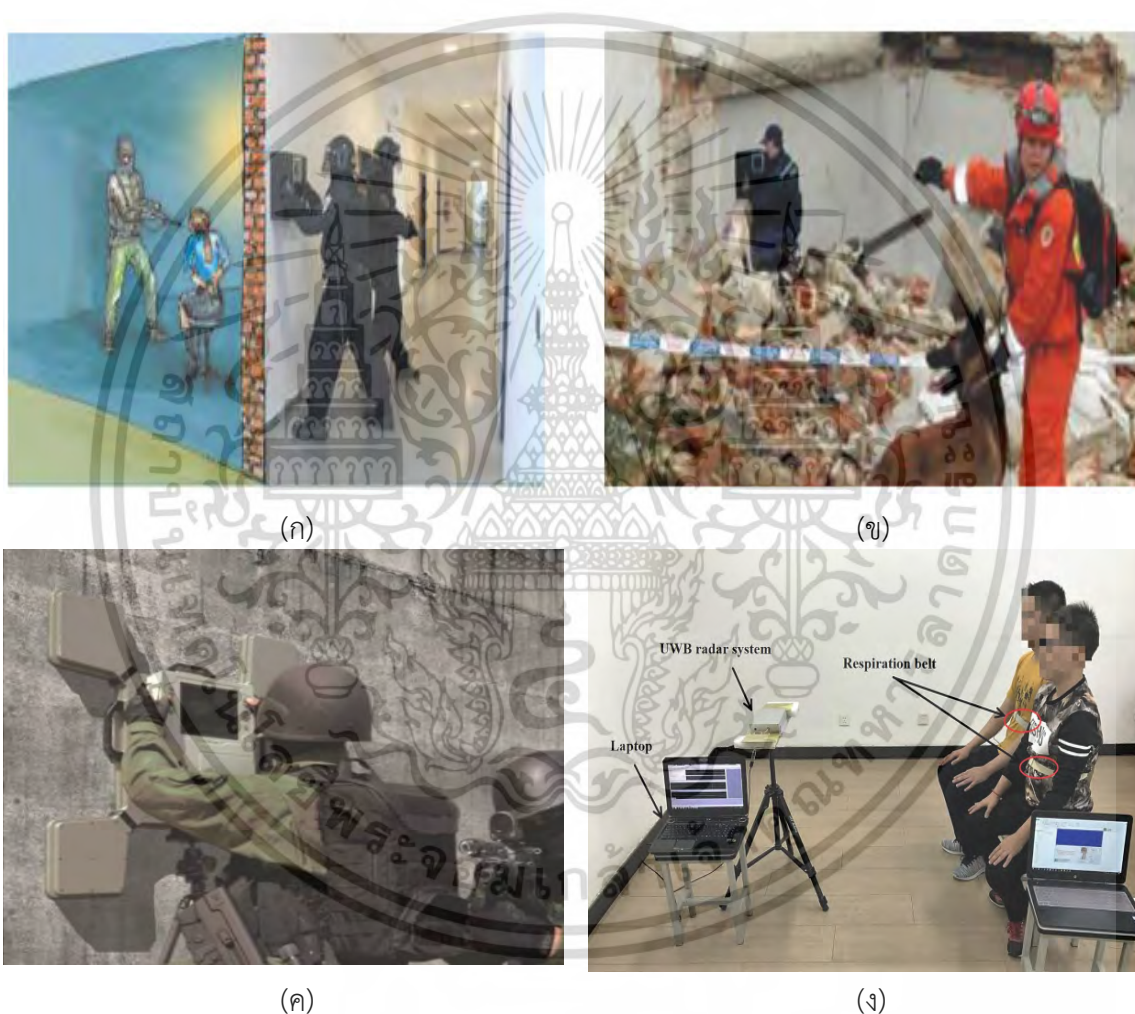
	CW	FMCW	UWB	Infrared	X-ray
Detecting multiple targets	Low resolution	High resolution	Very high resolution	Very high resolution	Very high resolution
Through the Concrete wall	low attenuation in wall	low attenuation in wall	Middle attenuation in wall	Can't through wall	low attenuation in wall
Range detection	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเงื่อนไขที่ 1 ของตารางที่ 1.1 ในวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือก UWB เป็นสัญญาณภาคส่งเรดาร์เพราะมีความละเอียดในการจำแนกมนุษย์ได้ดีที่สุดจากสัญญาณภาครับ

1.2 ความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบัน UWB เรดาร์ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการตรวจจับและแสดงภาพสองมิติของเป้าหมายจากระยะไกลและใกล้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อตอบสนองความต้องการที่จะเข้าใจและทราบพฤติกรรมของเป้าหมายและวัตถุโดยรอบจากระยะที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ข้อได้เปรียบของ UWB เรดาร์นี้สามารถนำไปใช้ในทางทหารและการช่วยเหลือมนุษย์ติดใต้ซากอาคารดังที่แสดงในรูป 1.4



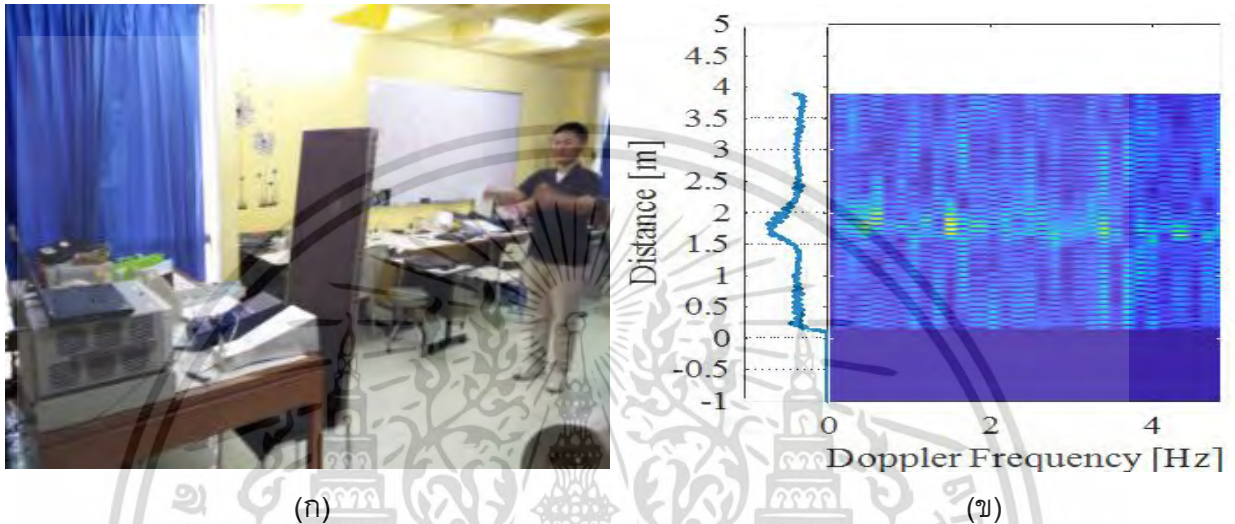
รูปที่ 1.4 การประยุกต์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า UWB เพื่อตรวจจับและขึ้นภาพคนหลังกำแพง [3], [4], [5]

นอกจากนี้คลื่น UWB สามารถตรวจจับและแสดงความละเอียดในการจำแนกวัตถุในระดับเล็กกว่าสเกลเซนติเมตรได้มากกว่าคลื่นลักษณะอื่น นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ในการวัดอัตราการหายใจและอัตราการเต้นของหัวใจโดยไร้การสัมผัสของผิวหนัง (non-contact sensor) เพื่อลดการระคายเคืองของผิวหนังในกรณีที่มีคนไข้จำนวนมากหรือคนไข้เป็นโรคผิวหนังชนิดติดต่อกับผู้อื่นตามรูปที่ 1.4 (ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

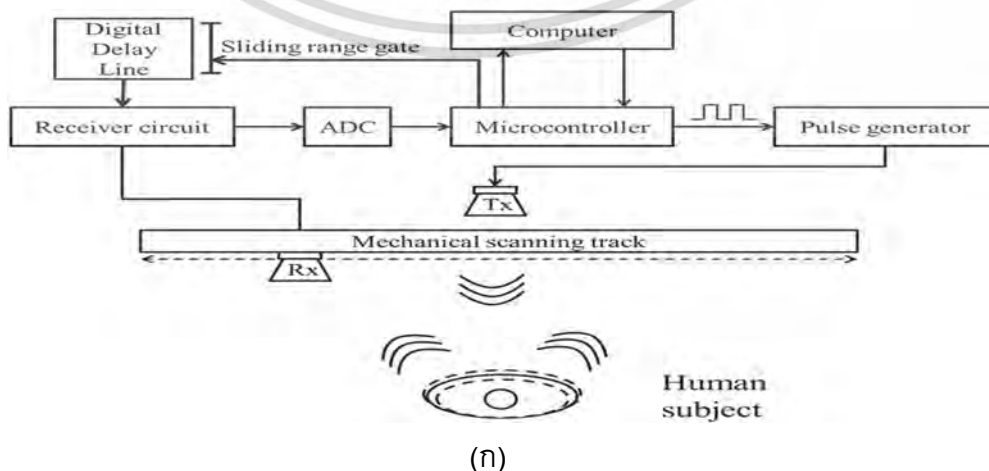
1.3 การตรวจจับมนุษย์หลังกำแพงในปัจจุบันและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันมีเทคนิคมากมายในการตรวจจับมนุษย์หลังกำแพงพร้อมประมวลผลภาพสองมิติหรือสามมิติโดยใช้ UWB เรดาร์ เนื่องจากมีความละเอียดสูงในการตรวจจับระยะทาง รูปร่าง และความถี่ดอปเพลอร์จากการเคลื่อนไหว ในงานวิจัย [6] ตรวจจับมนุษย์จากความถี่ดอปเพลอร์ (Doppler Frequency) ของการเคลื่อนไหวและอัตราการหายใจ โดยใช้เครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าการแปลงฟูเรียร์ (Fourier transform) ในตรวจหาความถี่ดอปเพลอร์



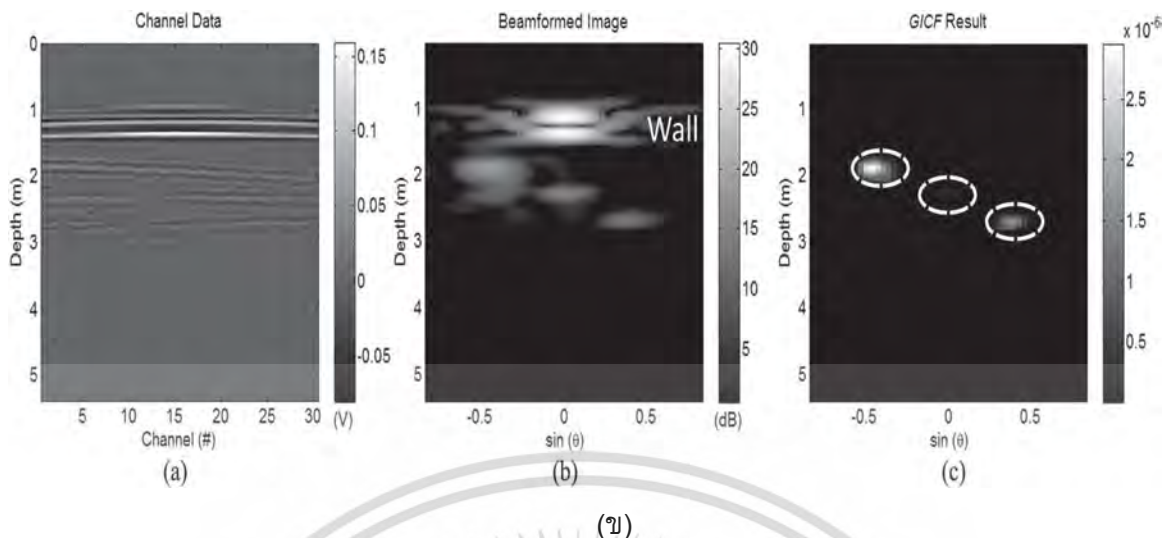
รูปที่ 1.5 (ก) การทดลอง (ข) การระบุความถี่ดอปเพลอร์ที่ตำแหน่งของมนุษย์

นอกจากนี้งานวิจัย [7] นำเสนอการตรวจจับการเคลื่อนไหวและการหายใจของมนุษย์ พร้อมสามารถระบุเป้าหมายในระนาบระนาบสองมิติ (x,y) โดยใช้หลักการเสาะอากาศตัวส่งหรือตัวรับหรือทั้งสองเคลื่อนที่ในการสแกนวัตถุหรือที่เรียกว่า Synthetic Aperture Radar (SAR) ดังรูปที่ 8 (ก) และใช้ตัวกรองดอปเพลอร์ (Doppler filter or Moving target indicator) เพื่อลดสัญญาณที่ไม่ใช่มนุษย์ออกจากระบบการประมวลผลภาพส่งผลให้ภาพมีความชัดมากขึ้นดังรูปที่ 8 (ข)



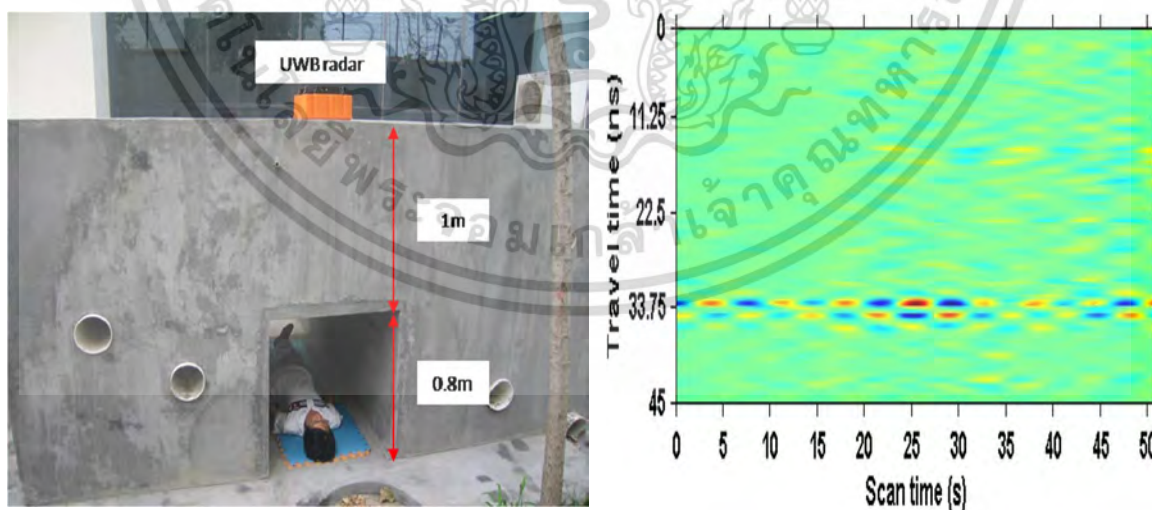
(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.6 (ก) ระบบเรดาร์ SAR ถูกนำมาประยุกต์ใช้ขึ้นภาพเป้าหมายในระนาบสองมิติ (ข) การใช้ตัวกรองความถี่ดอปเปลอร์ผ่าน (Doppler filter or Clutter filter) เพื่อเพิ่มความชัดของเป้าหมาย

งานวิจัยนี้ [8] นำเสนอการตรวจจับมนุษย์ที่ติดซากตึกโดยใช้เครื่อง GPR ในการส่งคลื่นและรับคลื่นสัญญาณพร้อมบันทึกข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และเครื่อง GPR มีขนาดเล็กซึ่งเหมาะสมกับการใช้งานช่วยเหลือคนในอาคาร โดยใช้หลักการปล่อยคลื่นที่ส่งหลายลูกคลื่นแล้วนำลูกคลื่นภาครับที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อลดสัญญาณที่สะท้อนของวัตถุอื่นเพื่อให้สัญญาณที่ได้รับจากมนุษย์มีความชัดเจนมากขึ้น พร้อมระบุระยะห่างของมนุษย์ที่ติดได้ซากอาคาร



รูปที่ 1.7 การจำลองการตรวจจับคนใต้ซากอาคาร พร้อมระบุตำแหน่งมนุษย์ในเวลาจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. พัฒนาระบบอัลกอริทึมของการประมวลผลสัญญาณ UWB ให้สามารถลดสัญญาณรบกวน (White Noise) และตัดสัญญาณที่ไม่ใช่เป้าหมายออก (clutter rejection) ให้มีความรวดเร็วโดยและไม่ลดทอนสัญญาณของเป้าหมาย เพื่อขึ้นภาพสองมิติของเป้าหมายได้อย่างแม่นยำ ชัดเจนและรวดเร็ว
2. พัฒนาอัลกอริทึมของ FPGA ที่เชื่อมต่อฮาร์ดแวร์เพื่อลดจำนวนตัวอุปกรณ์ความถี่สูง เป็นผลให้ระบบมีขนาดที่ลดลงและราคาถูกลง พร้อมสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับสถานการณ์ต่างๆได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. พัฒนาระบบการจำลองภาพสองมิติในโปรแกรม MATLAB Simulation เพื่อช่วยในการออกแบบฮาร์ดแวร์ของระบบให้เหมาะสมกับสถานการณ์
4. ออกแบบและพัฒนาสายอากาศของตัวส่งและตัวรับสัญญาณ UWB เพื่อเพิ่มอัตราขยายสัญญาณ (Gain) และลดค่าความเหนี่ยวนำร่วม (Mutual Inductance) ในย่านความถี่ที่กำหนด
5. พัฒนาระบบภาพสองมิติให้ตอบสนองเร็วขึ้นเมื่อเป้าหมายมีความเร็วและความเร่งที่เพิ่มขึ้นและสามารถบอกความเร็วของเป้าหมายนั้นได้
6. ศึกษาและพัฒนาระบบให้สามารถจำแนกวัตถุหลายๆชนิดได้โดยใช้หลักการ deep learning เป็นต้น

1.5 เอกสารอ้างอิง

- [1] Gregory L. Charvat, "Small and Short Range Radar Systems," CRC Press Taylor & Francis Group.
- [2] CANER ÖZDEMİR, "Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging with MATLAB Algorithms," WILEY.
- [3] <http://www.securico.co.jp/berds/rescue/df.html>
- [4] https://www.vosizneias.com/168553/2014/06/22/jerusalem-israels-camero-tech-ltd-s-through-the-wall-imaging-being-used-by-idf-in-search-for-kidnapped-teens/?comments_sort=desc
- [5] Chuanwei Ding, Jiaming Yan, Li Zhang, Heng Zhao, Hong Hong, and Xiaohua Zhu, "Noncontact Multiple Targets Vital Sign Detection Based on VMD Algorithm," 2017 IEEE Radar Conference.
- [6] Artit Rittiplang and Pattarapong Phasukkit, "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, Tottori Prefectural Lifelong Learning Center, Tottori, Japan.
- [7] Tsung-Chuan Chen, Jiang-Hung Liu, Pei-Yu Chao, and Pai-Chi Li, "Ultrawideband Synthetic Aperture Radar for Respiratory Motion Detection," IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL. 53, NO. 7, JULY 2015.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

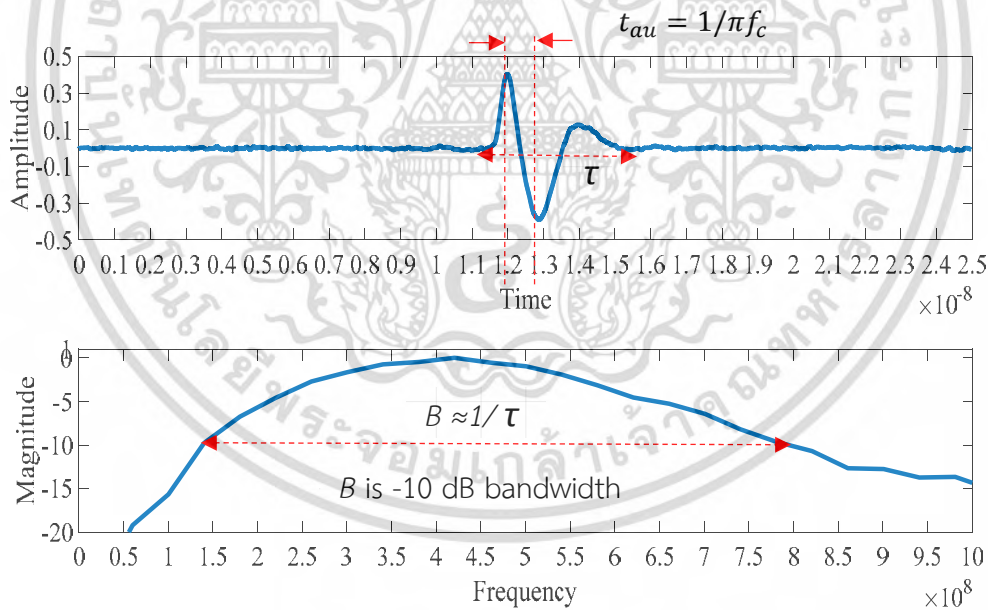
ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ UWB เรดาร์ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์พร้อมประมวลผลภาพสองมิติ และอธิบายการออกแบบระบบในการทดลองตลอดจนขบวนการประมวลผลสัญญาณภาครับ (Radar Signal Processing)

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 $0.01 < B_f \leq 0.25$ แบนด์วิธกว้างพิเศษ (Ultra-Wideband) ถ้า $0.25 < B_f$ โดยที่ B_f อธิบายตามสมการดังต่อไปนี้

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

โดยที่ f_H คือความถี่สูงสุดและ f_L คือความถี่ต่ำสุดวัดที่ตำแหน่งแอมพลิจูด -10 dB ตามรูปที่ 2.1



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

2.1.1 การใช้ฟังก์ชันเกาส์เซียนสำหรับอธิบายสัญญาณ UWB

จากฟังก์ชันเกาส์เซียนทั่วไป (Gaussian Distribution Function) สามารถอธิบายดังสมการ (2.2) โดยที่ σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) และ x คือชุดข้อมูล (Data)

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x}{\sqrt{2}\sigma}\right)^2} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการเกาส์เซียนนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้อธิบายสัญญาณ UWB เนื่องจากสัญญาณ UWB มีลักษณะเป็นคลื่นสั้น (pulse signal) ตามที่แสดงในสมการที่ (2.3) [1, Greg Barrie, “Ultra-Wideband Synthetic Aperture Data and Image Processing,” Defence R&D Canada-Ottawa.]

$$G(t, a) = A_0 e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^2} \quad (2.3)$$

จากสมการที่ (2.3) ตัวแปร $a = t_{au}/\sqrt{2}$ และอนุพันธ์ของสมการอันดับ n สามารถอธิบายตามสมการด้านล่าง เพื่อใช้ในการอธิบายลักษณะคลื่น UWB อันดับต่างๆ

$$G_n(t, a) = \frac{d^n G(t, a)}{dx^n} = (-1)^n \frac{1}{a^n} H_n\left(\frac{t}{a}\right) G(t, a) \quad (2.4)$$

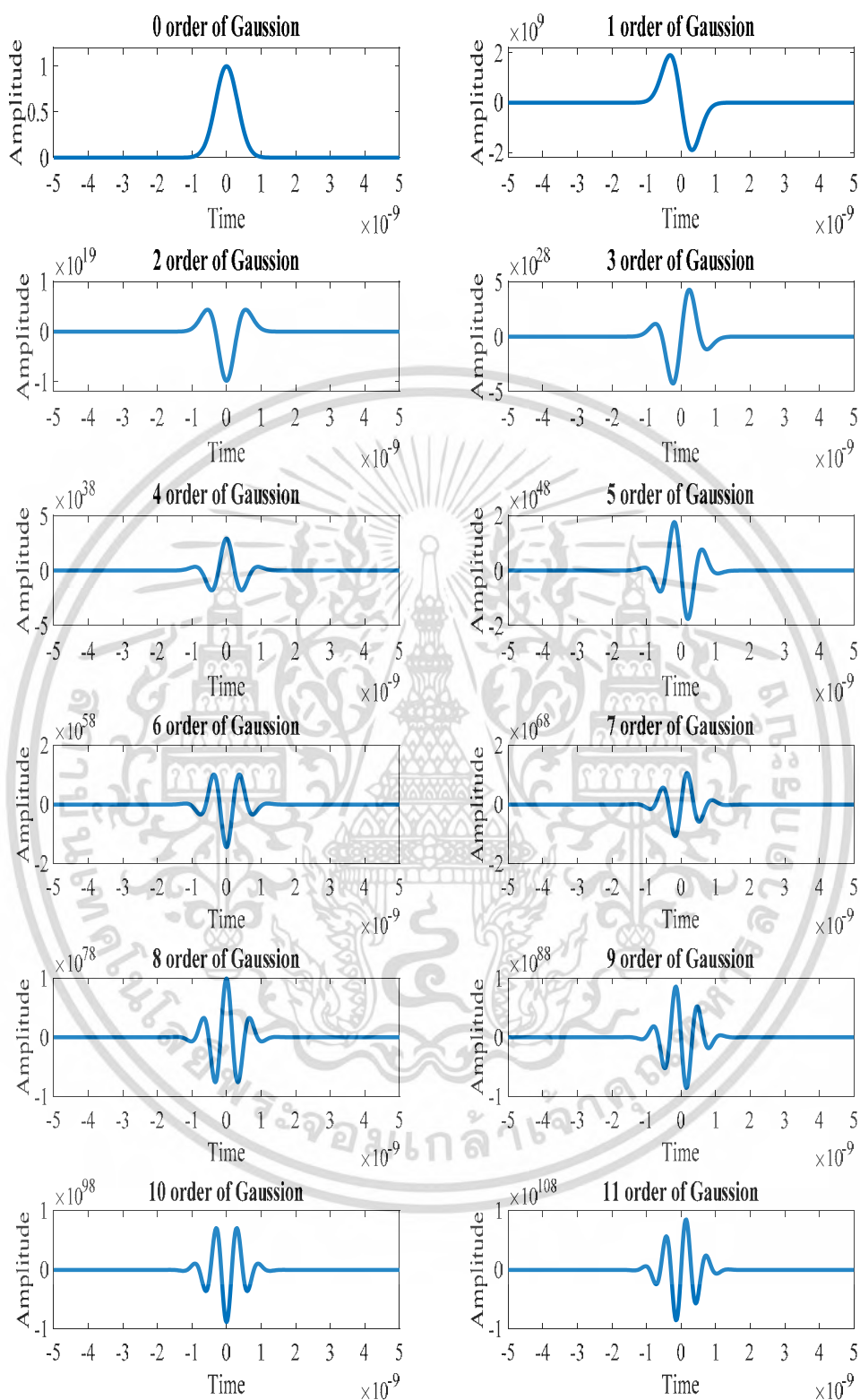
โดยที่ H_n คือสมการพหุนามของเฮอริไมท์ (Hermite polynomials)

$$H_n\left(\frac{t}{a}\right) = (-1)^n e^{\left(\frac{t}{a}\right)^2} \frac{d^n}{dx^n} e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^2} \quad (2.5)$$

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 (2.4) นำมาอธิบายคลื่น UWB ลักษณะต่างๆ ตามที่แสดงรูปที่ 2.2 ซึ่งลักษณะคลื่นแต่ละชนิดจะถูกนำมาอธิบายตามการประยุกต์ของงาน

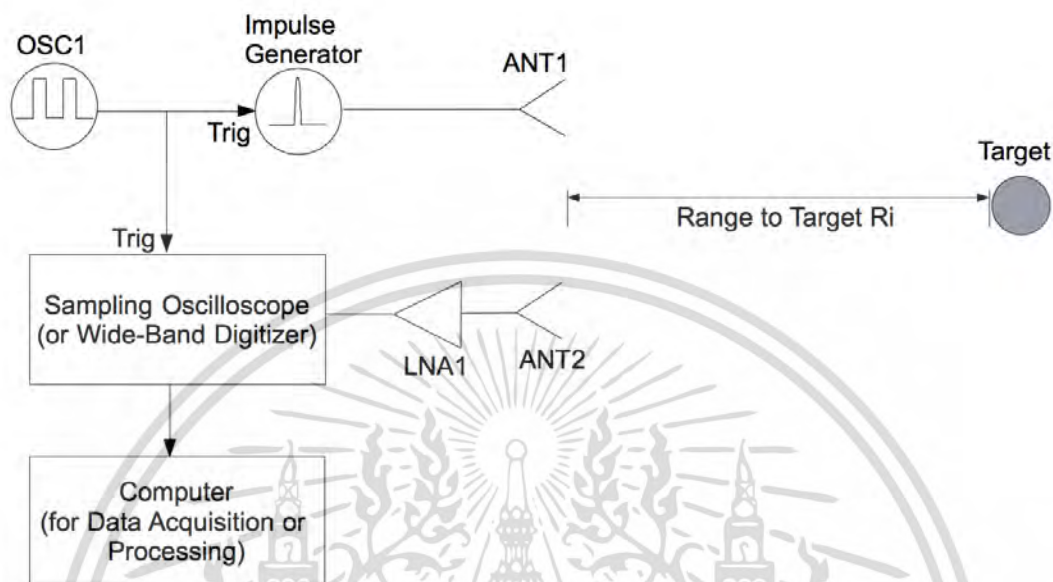


รูปที่ 2.2 ชนิดของคลื่น UWB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 พื้นฐานของระบบ UWB เรดาร์

ระบบเรดาร์พื้นฐานนี้ถูกนำเสนอโดยใช้อุปกรณ์ห้องทดลองชั้นพื้นฐานในการสร้างตามรูปที่แสดงด้านล่าง

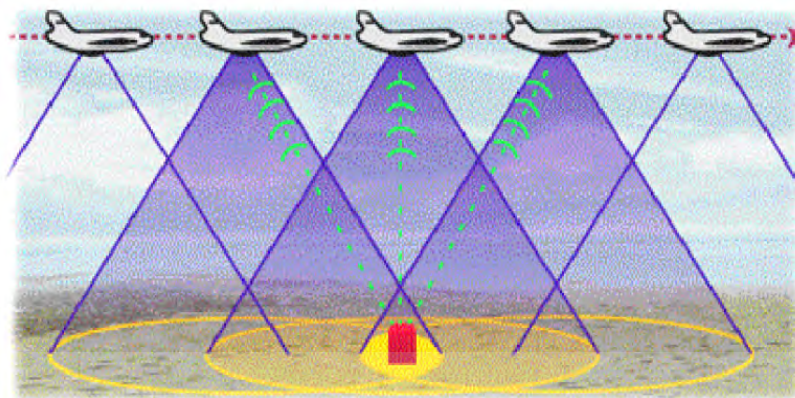


รูปที่ 2.3 ระบบ UWB เรดาร์พื้นฐาน [1]

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

ในปัจจุบันวิธีการระบุตำแหน่งในสองมิติและสามมิติของเป้าหมายมีอยู่สองหลักการคือ

1) Synthetic Aperture Radar (SAR) 2). Inverse Synthetic Aperture Radar (ISAR) ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงระบบ SAR ซึ่งระบบ SAR ถือกำเนิดและถูกใช้สำหรับระบบเครื่องบินตามรูปที่แสดง 2.4

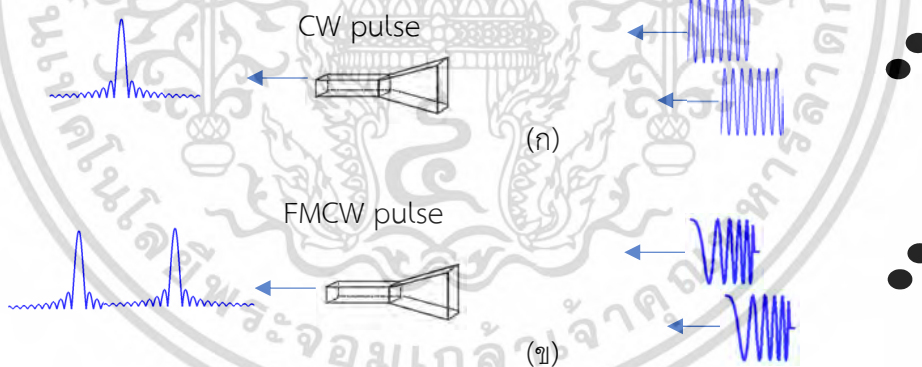


รูปที่ 2.4 วิธี SAR สำหรับเครื่องบิน [1]

และสัญญาณภาคส่งโดยมากนิยมใช้เป็น FMCW ตามสมการด้านล่าง

$$s(t) = \begin{cases} \cos\left(2\pi f_c t + \pi \frac{f_{sw}}{\tau} t^2\right), & t < \tau \\ 0, & t \geq \tau \end{cases} \quad (2.6)$$

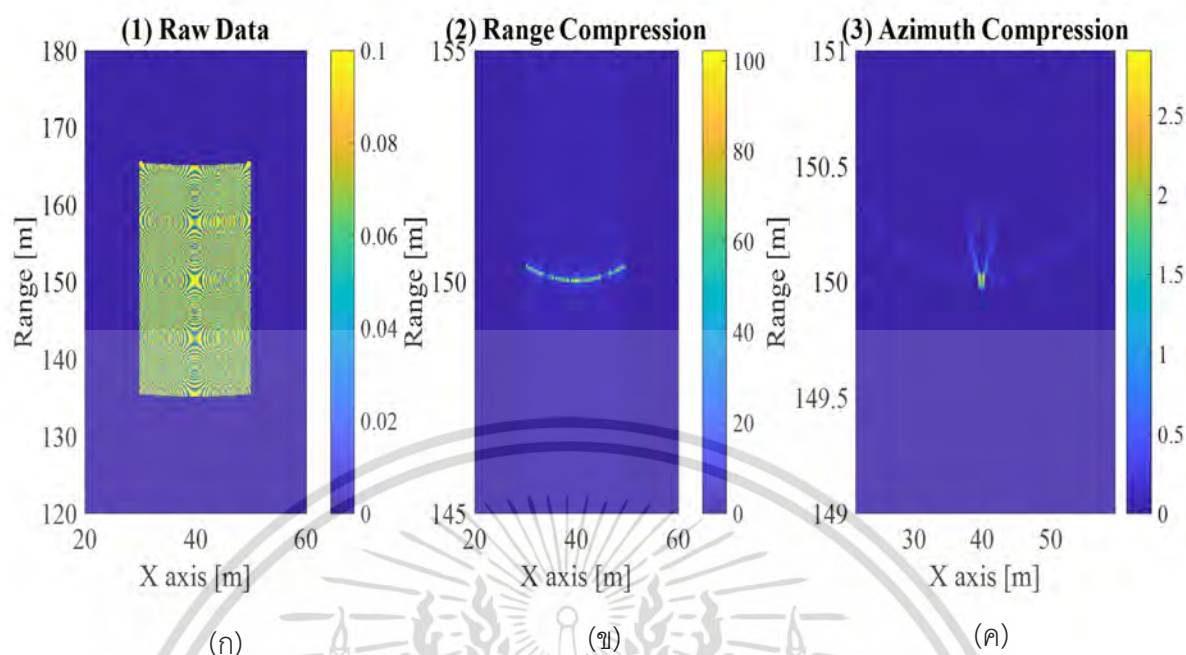
เนื่องจากสามารถจำแนกเป้าหมายได้ดีกว่าคลื่นสัญญาณ Sine ขณะคลื่นเกิดการทับซ้อนกันดังรูปที่แสดง 2.5(ก) แต่คลื่นทับซ้อนที่มาจาก FMCW มีมุมเฟสที่แตกต่างกันซึ่งสามารถแยกวัตถุได้ชัดเจนกว่าดังรูป 2.5(ข)



รูปที่ 2.5 FMCW พัลส์เรดาร์สามารถจำแนกเป้าหมายได้ดีกว่า CW พัลส์เรดาร์

จากรูปที่ 2.4 ระบบ SAR ของเครื่องบินคือการบินเป็นเส้นตรงเพื่อเก็บค่าสัญญาณภาครับหลายตำแหน่งและได้ข้อมูลสัญญาณดังรูปที่แสดง 2.6(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



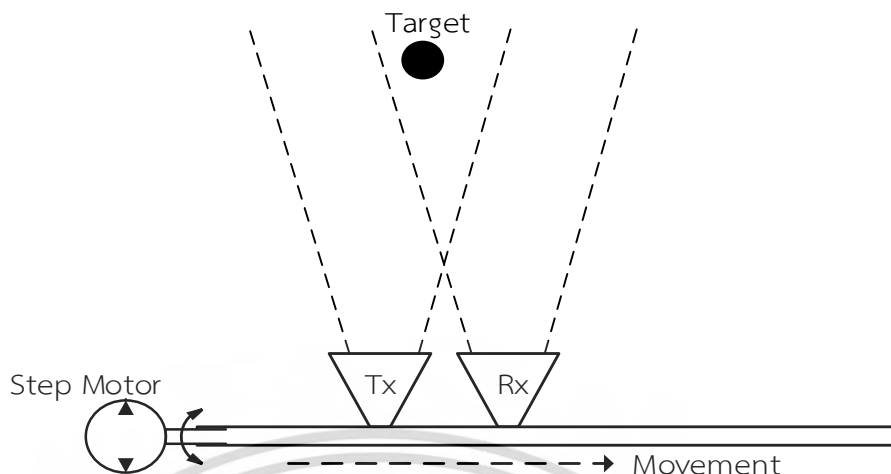
รูปที่ 2.6 ภาพสองมิติที่ได้จากอัลกอริทึม Range Doppler สำหรับ SAR ของระบบเครื่องบิน (ก) ข้อมูลดิบ (ข) บีบอัดระยะทางด้วย Matched Filter (ค) บีบอัดมุมด้วย Matched Filter

จากรูปที่แสดง 2.6(ก) สัญญาณภาครับมีหลายตำแหน่งจะทำให้ภาพที่ได้มีความคมชัดมากขึ้นโดยใช้วิธีการ matched filter ตามสมการด้านล่าง

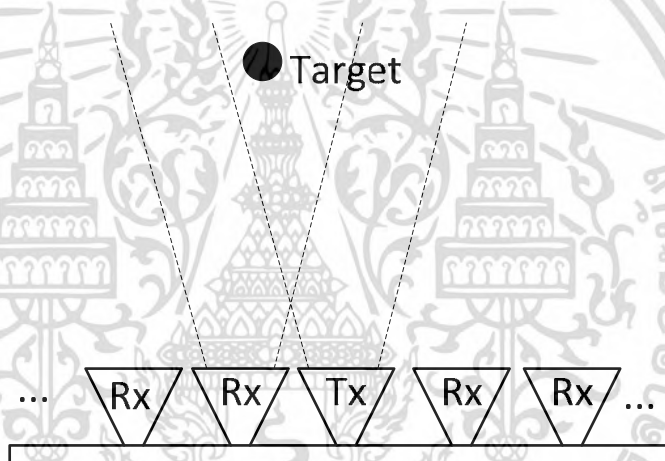
$$y(t_s) = F^{-1}\{F\{s_{ref}(t)\} \cdot F\{s_{rx}(t)\}^*\} \quad (2.7)$$

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 หรือระบบเสาอากาศอาร์เรย์ตามรูปที่แสดง 2.8 โดยใช้ข้อมูลไม่ต่องมากก็สามารถขึ้นภาพสองมิติได้ จึงเป็นข้อได้เปรียบของวิธีนี้ซึ่งจะกล่าวต่อในบทถัดไป



รูปที่ 2.7 ระบบ Synthetic Aperture Radar (SAR)



รูปที่ 2.8 ระบบ Synthetic Aperture Radar (SAR)

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบัน Ultra-wideband (UWB) เรดาร์ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการตรวจจับและแสดงภาพสองมิติของเป้าหมายจากระยะไกลและใกล้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อตอบสนองความต้องการที่จะเข้าใจและทราบพฤติกรรมของเป้าหมายและวัตถุโดยรอบจากระยะที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ซึ่งนำไปสู่การประยุกต์ทางทหารและการช่วยเหลือมนุษย์ติดได้ซากอาคารดังที่แสดงในรูป 2.9



รูปที่ 2.9 การประยุกต์ UWB เรดาร์ในการตรวจจับคนหลังกำแพง [2]-[4]

อย่างไรก็ตามในการประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดล้วนแต่มีข้อได้เปรียบและเสียเปรียบในการประยุกต์ใช้ที่แตกต่างกันไปดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของคลื่นที่ย่านความถี่ต่างๆ

	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำมาเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

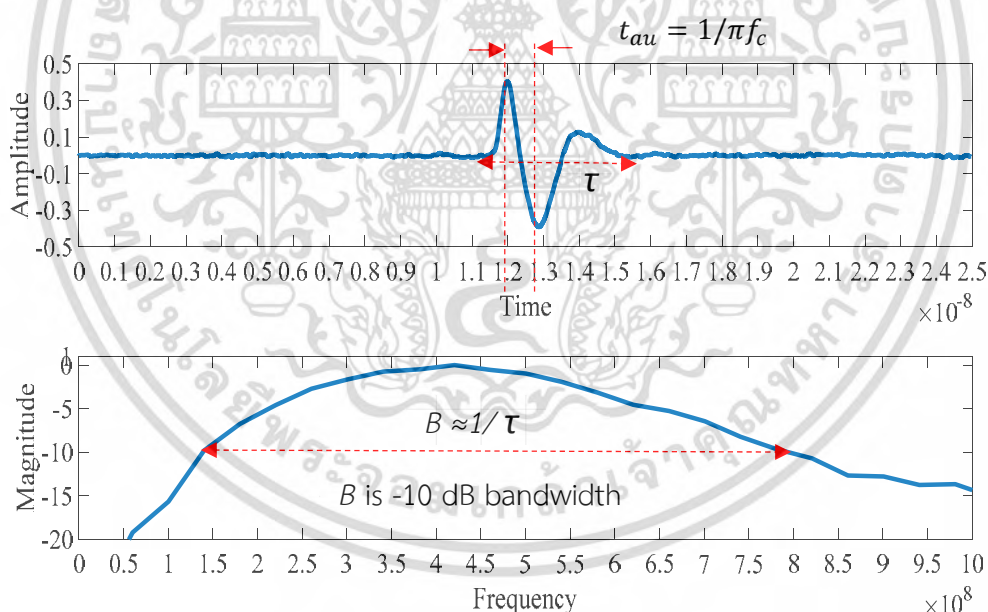
จากข้อที่หนึ่งของตาราง 2.1 จะเห็นได้ว่า UWB มีความละเอียดสูงที่สุดในการจำแนกหลายเป้าหมายพร้อมกับส่งผลอันตรงต่อผู้ใช้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับคลื่นชนิดต่างๆ ดังนั้น UWB พัลส์เรดาร์จึงมีความเหมาะสมในการตรวจจับและขึ้นภาพมนุษย์หรือวัตถุที่มีขนาดเล็กและต้องการความละเอียดสูง

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

$$B_f = \frac{B}{f_c} = 2 \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} \quad (2.8)$$

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 (2.9) โดยที่ σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) และ x คือชุดข้อมูล (Data) [5]

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x}{\sqrt{2}\sigma}\right)^2} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการเกาส์เซียนนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้อธิบายสัญญาณ UWB เนื่องจากสัญญาณ UWB มีลักษณะเป็นคลื่นสั้น (pulse signal) ตามที่แสดงในสมการที่ (2.10) [5]

$$G(t, a) = A_0 e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^2} \quad (2.10)$$

จากสมการที่ (2.10) ตัวแปร

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

τ คือความกว้างสัญญาณ (pulse width) และอนุพันธ์ของฟังก์ชันอันดับ n สามารถอธิบายตามสมการด้านล่าง เพื่อใช้ในการอธิบายลักษณะคลื่น UWB อันดับต่างๆ

$$G_n(t, a) = \frac{d^n G(t, a)}{dx^n} = (-1)^n \frac{1}{a^n} H_n\left(\frac{t}{a}\right) G(t, a) \quad (2.11)$$

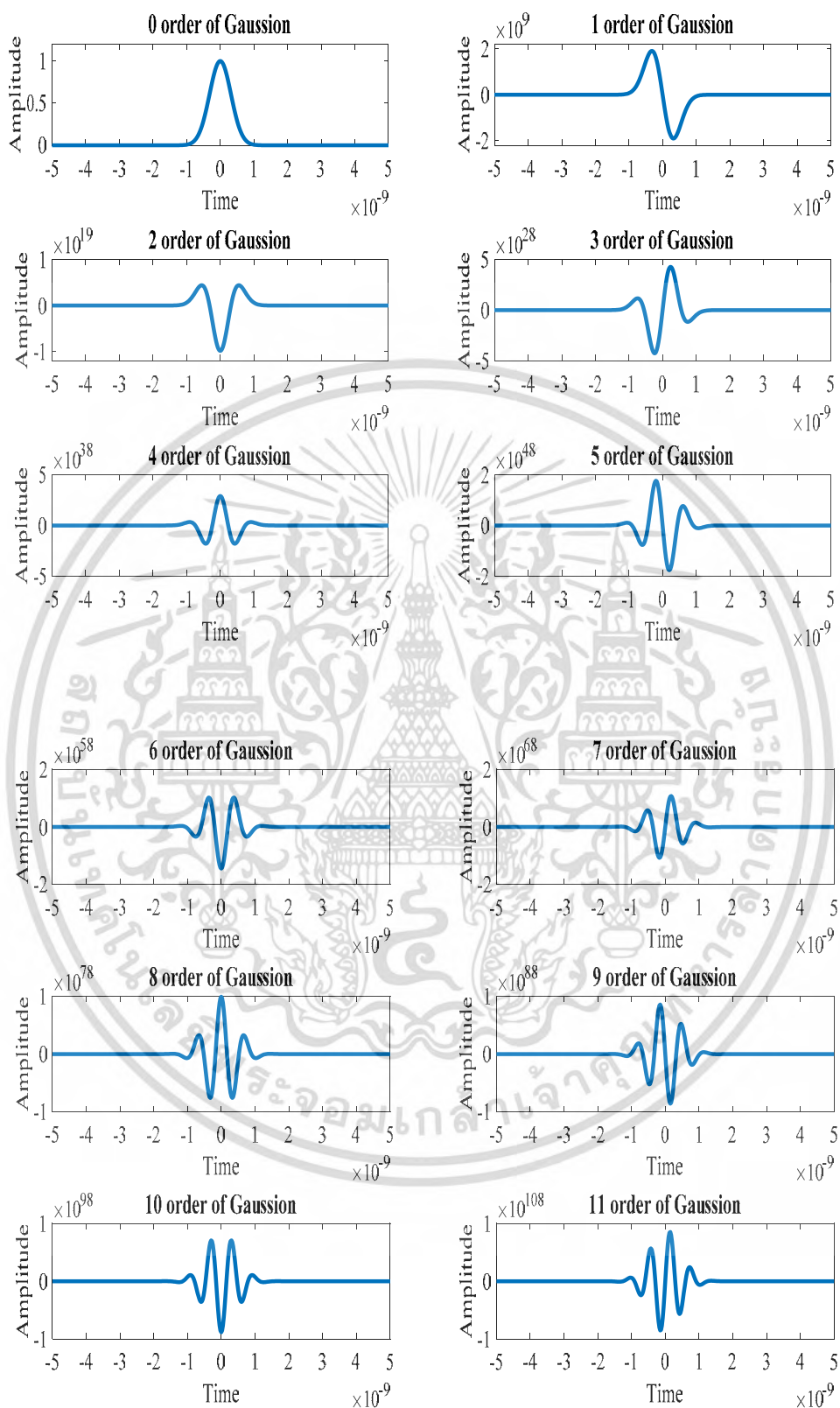
โดยที่ H_n คือสมการพหุนามของเฮอร์ไมท์ (Hermite polynomials)

$$H_n\left(\frac{t}{a}\right) = (-1)^n e^{\left(\frac{t}{a}\right)^2} \frac{d^n}{dx^n} e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^2} \quad (2.12)$$

ตารางที่ 2.2 สมการพหุนามของเฮอร์ไมท์ที่ $H_n(x)$

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

จากสมการที่ (2.11) และ (2.12) นำมาอธิบายคลื่น UWB ลักษณะต่างๆ ตามที่แสดงรูปที่ 2.11



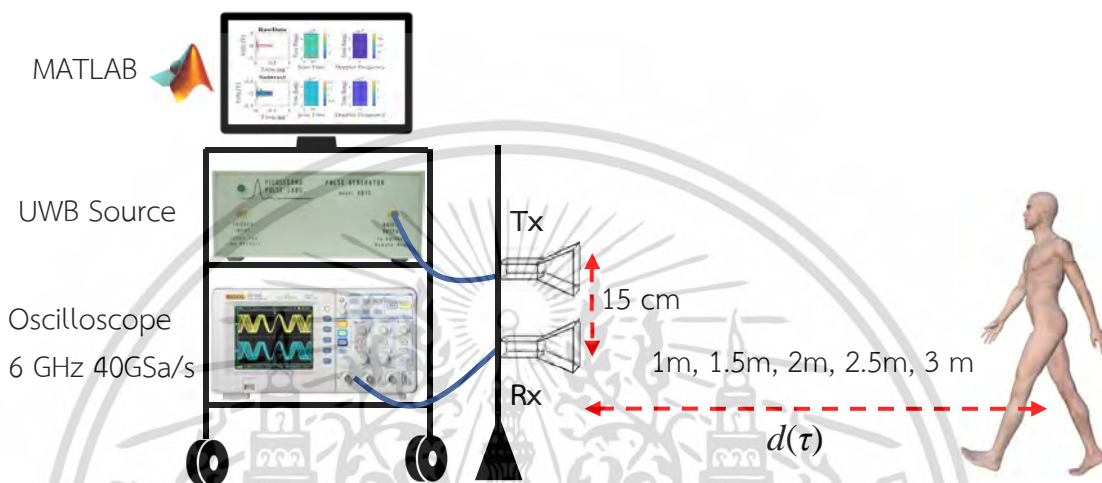
รูปที่ 2.11 ชนิดของคลื่น UWB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

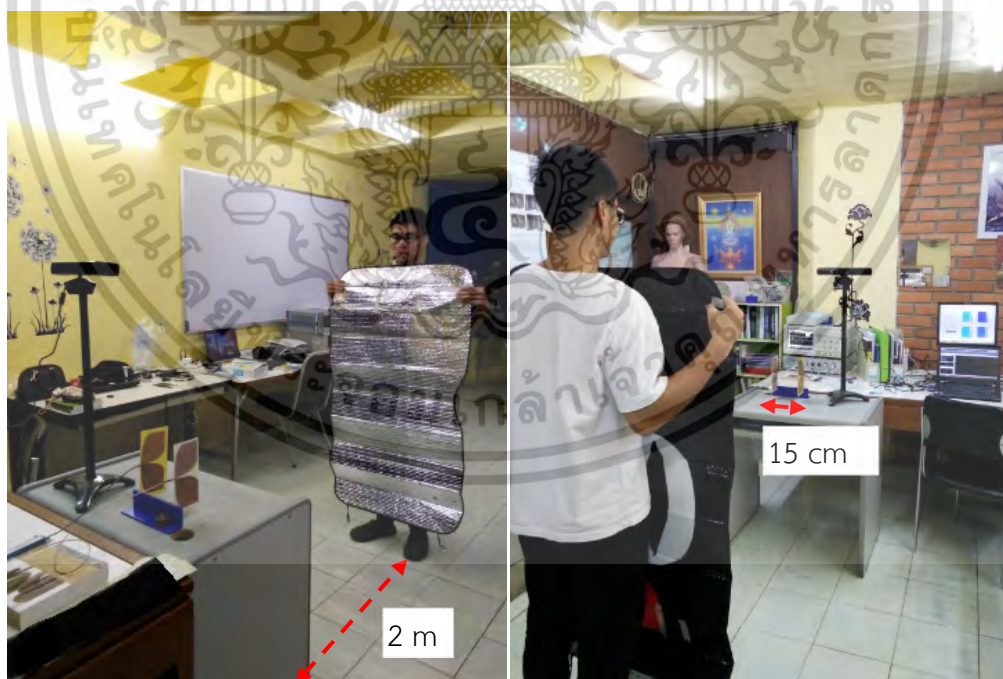
บทที่ 3 วิธีการวิจัย

3.1 วิธีการวิจัย

หัวข้อนี้ได้ศึกษาการประมวลผลสัญญาณของการตรวจจับการเคลื่อนที่ของมนุษย์พร้อมคำนวณหาค่าระยะทางจากการทดลองจริงที่ระยะ 1, 1.5, 2, 2.5, และ 3 เมตร ตามลำดับ



(ก) การเซตระบบของการประมวลผลสัญญาณของการตรวจจับการเคลื่อนที่ของมนุษย์



(ข) การทดลองจริง

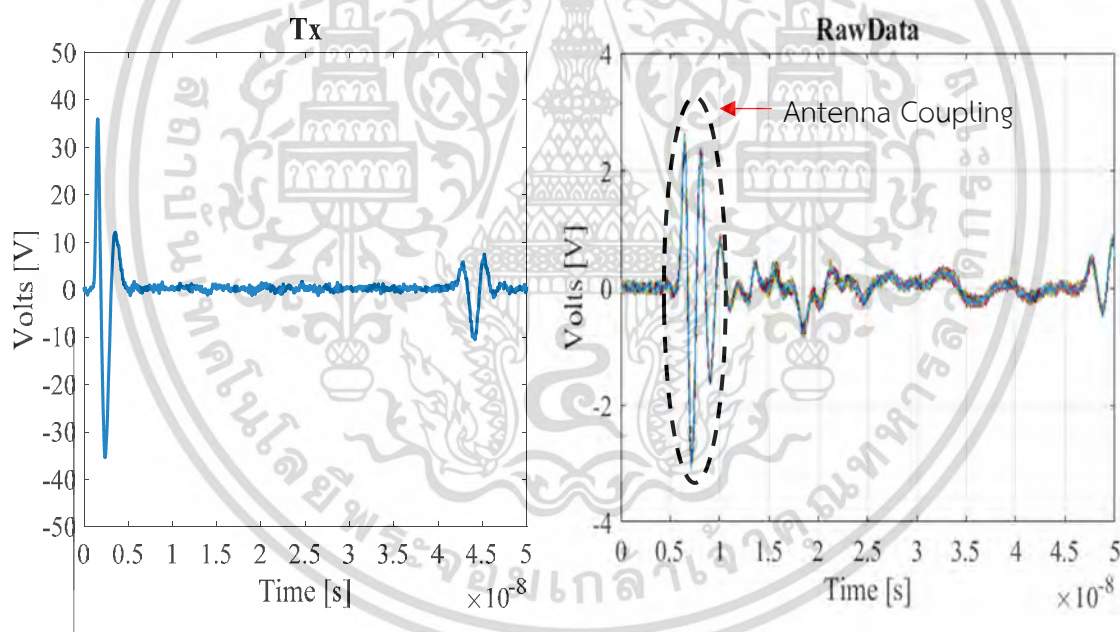
รูปที่ 3.1 การตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ขณะมีโลหะที่ระยะ 2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางสายอากาศ Vivaldi และอุปกรณ์การทดลอง

ความถี่กลางของเสาอากาศแบบ Vivaldi	1 GHz
ความกว้างของย่านความถี่ (Frequency Bandwidth)	520 MHz
ระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสอง	15 cm
ระยะห่างระหว่างมนุษย์และเสาอากาศ	1m, 1.5m, 2m, 2.5m, 3 m
เครื่องกำเนิดสัญญาณ UWB ยี่ห้อ Picosecond Pulse Labs, Model-2600	$V_{out} = 45 \text{ V}$
อุปกรณ์รับสัญญาณ Agilent Oscilloscope, DSO80604B	ย่านความถี่ 6 GHz 40 GSa/s

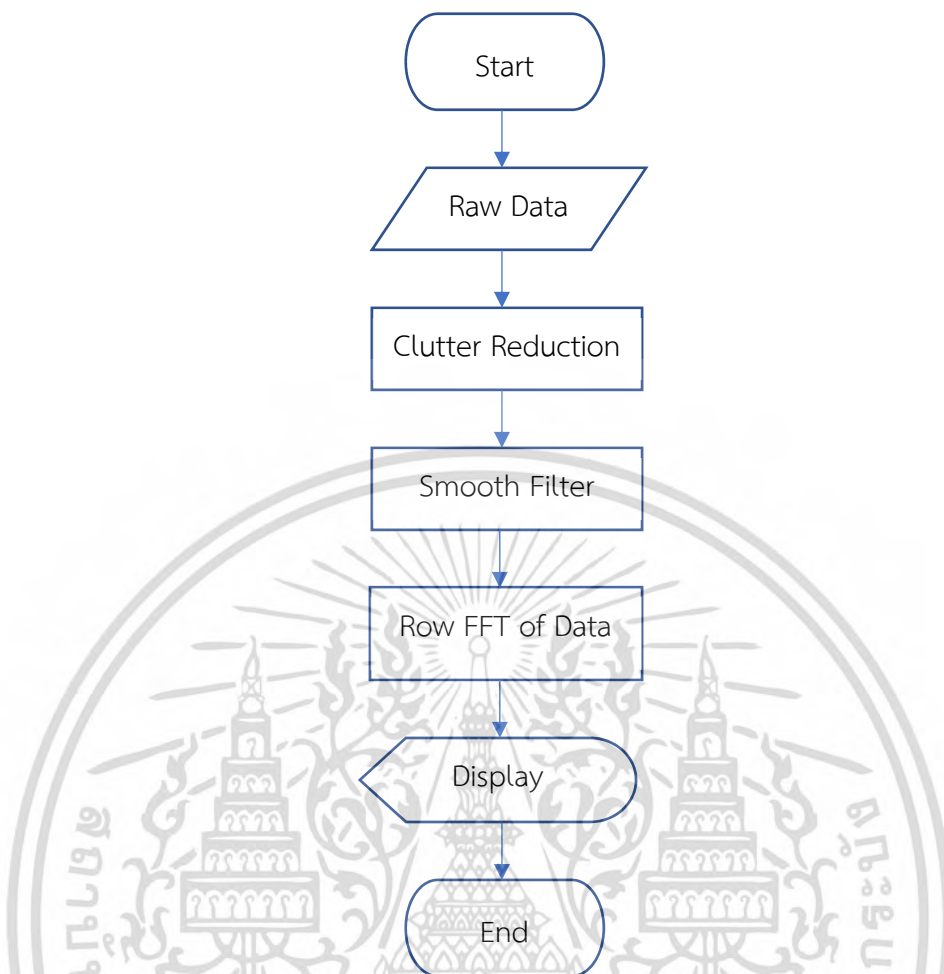
จากนั้นทำการปล่อยคลื่นสัญญาณที่ภาคส่งแล้วทำการเก็บสัญญาณที่ภาครับแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สัญญาณภาคส่งจากการทดลองของรูปที่ 3.1

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

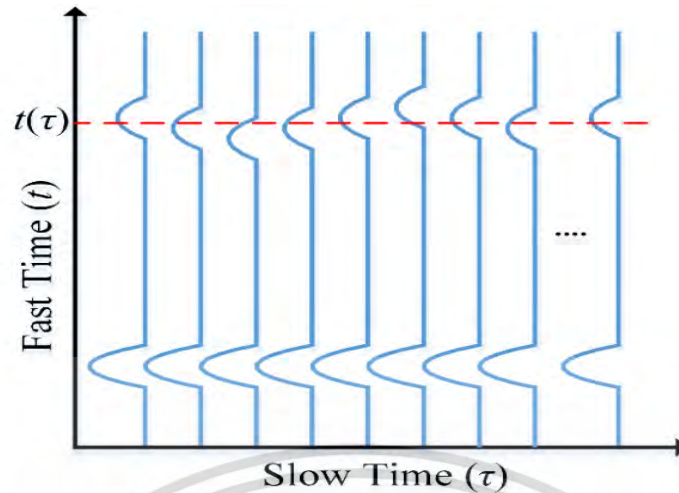


รูปที่ 3.3 แผนผังวิธีการตรวจจับการเคลื่อนที่ของมนุษย์จากการวัดความถี่ดอปเพลอร์

จากรูปที่ 3.3 แสดงวิธีการประมวลผลสัญญาณขั้นพื้นฐานของสัญญาณ UWB ในการตรวจจับการเคลื่อนที่ของมนุษย์หรือวัตถุอื่นๆ จากการวัดความถี่ดอปเพลอร์ โดยขั้นตอนแรกคือการเก็บข้อมูลของสัญญาณ

3.2 สมการของสัญญาณที่ใช้ในการประมวลผล (Raw Data)

สัญญาณที่ภาครับ (Received Signal) มีความถี่ของสัญญาณภาคส่งบวกกับความถี่ดอปเพลอร์ของมนุษย์ (f_o+f_d) จึงเป็นการยากที่จะหาความถี่ดอปเพลอร์ด้วยวิธี demodulation ทั่วไป ดังนั้นในการหาความถี่ดอปเพลอร์นั้นสามารถทำได้จากการเปลี่ยนแปลงของมูเฟสของสัญญาณที่สะท้อนจากมนุษย์ ($d\phi/dt = 2\pi f_d$) 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” ในสมการนั้น หมายถึงการประมาณระยะทางขาไปบวกกับระยะทางกลับของสัญญาณ เนื่องจากการว่างเสาอากาศทั้งสองมีระยะใกล้กันเมื่อเทียบกับตำแหน่งของมนุษย์

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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)

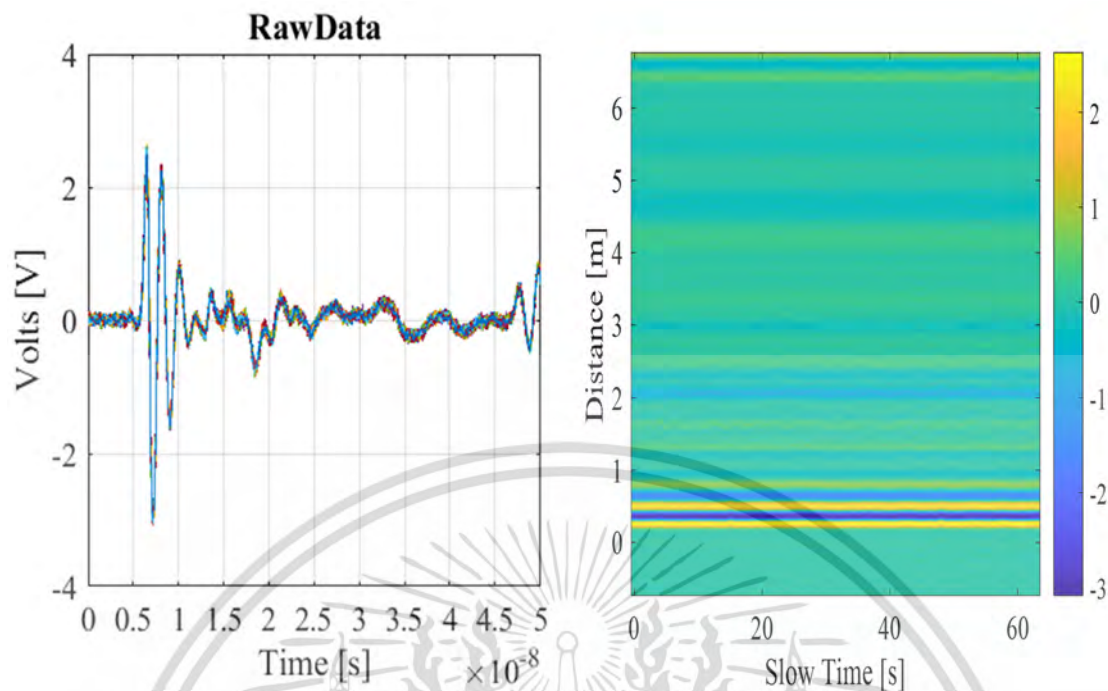
$c[n]$ คือสัญญาณรบกวนที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (static clutter) เกิดจากสัญญาณที่ส่งนั้นตกกระทบกับวัตถุที่ไม่เคลื่อนที่ เช่น กำแพงและวัตถุรอบๆ ของสนามทดสอบ

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

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

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

สุดท้ายการทดลองจริงของรูป 3.2 สามารถอธิบายในรูปสมการ (3.5) ได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 สัญญาณข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลอง (Raw Data) ของรูปที่ 3.2

ในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงวิธีการลดสัญญาณ $c[n]$, $l[n, m]$, $w[n, m]$ และ $q[n, m]$ ตามลำดับ ส่งผลให้สัญญาณ $h[n, m]$ มีความชัดเจนมากขึ้น เพื่อตรวจจับตำแหน่งของมนุษย์จากความถี่ต่อเพลอร์

3.3 การตัดสัญญาณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Clutter Reduction)

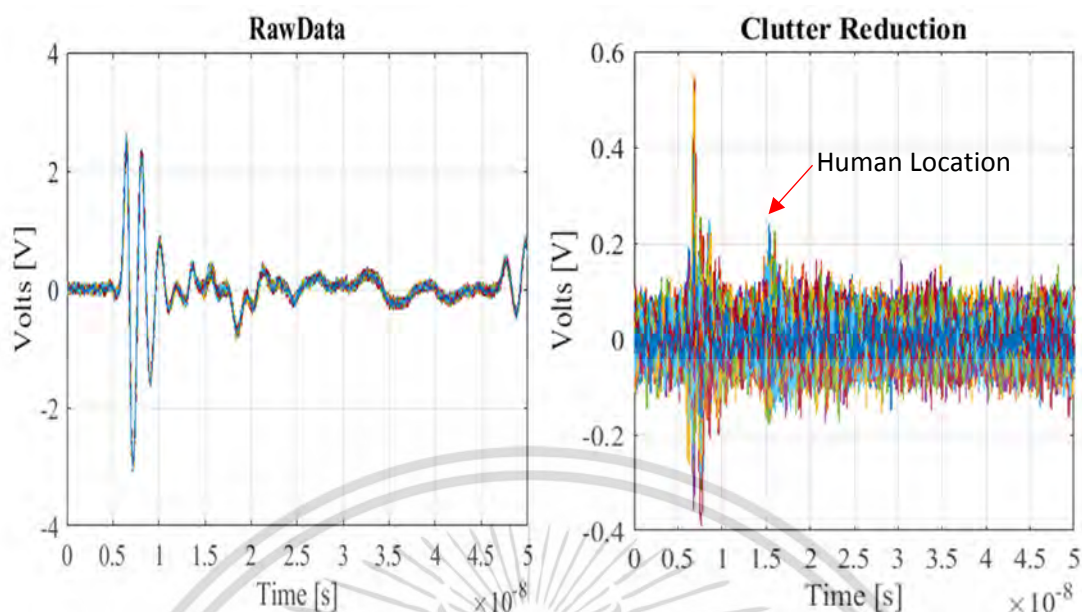
สัญญาณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง $c[n]$ สามารถถูกพิจารณาเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงหรือฟังก์ชันค่าเฉลี่ยได้ดังสมการด้านล่าง

$$c[n] = \sum_p \sigma_p s[n\Delta t - t_p] = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M R[n, m] \quad (3.6)$$

ดังนั้นสัญญาณภาครับที่ถูกปรับปรุงคือ

$$\Omega[n, m] = R[n, m] - \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M R[n, m] \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 สัญญาณภาครับจากการตัดสัญญาณที่ไม่เคลื่อนที่ออก (Clutter Reduction)

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

Algorithm 3.1 Clutter Reduction

Require: we need to reduce the clutter environment

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

3.4 การใช้ตัวกรองสัญญาณชนิดเรียบ (Smooth Filter)

เมื่อทำการตัดสัญญาณชนิดคงที่แล้ว ต่อมาทำการลดสัญญาณรบกวนเพื่อเพิ่ม Signal to Noise Ratio (SNR) โดยอัลกอริทึมตามด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Algorithm 3.1 Clutter Reduction

Require: we need to reduce the clutter environment

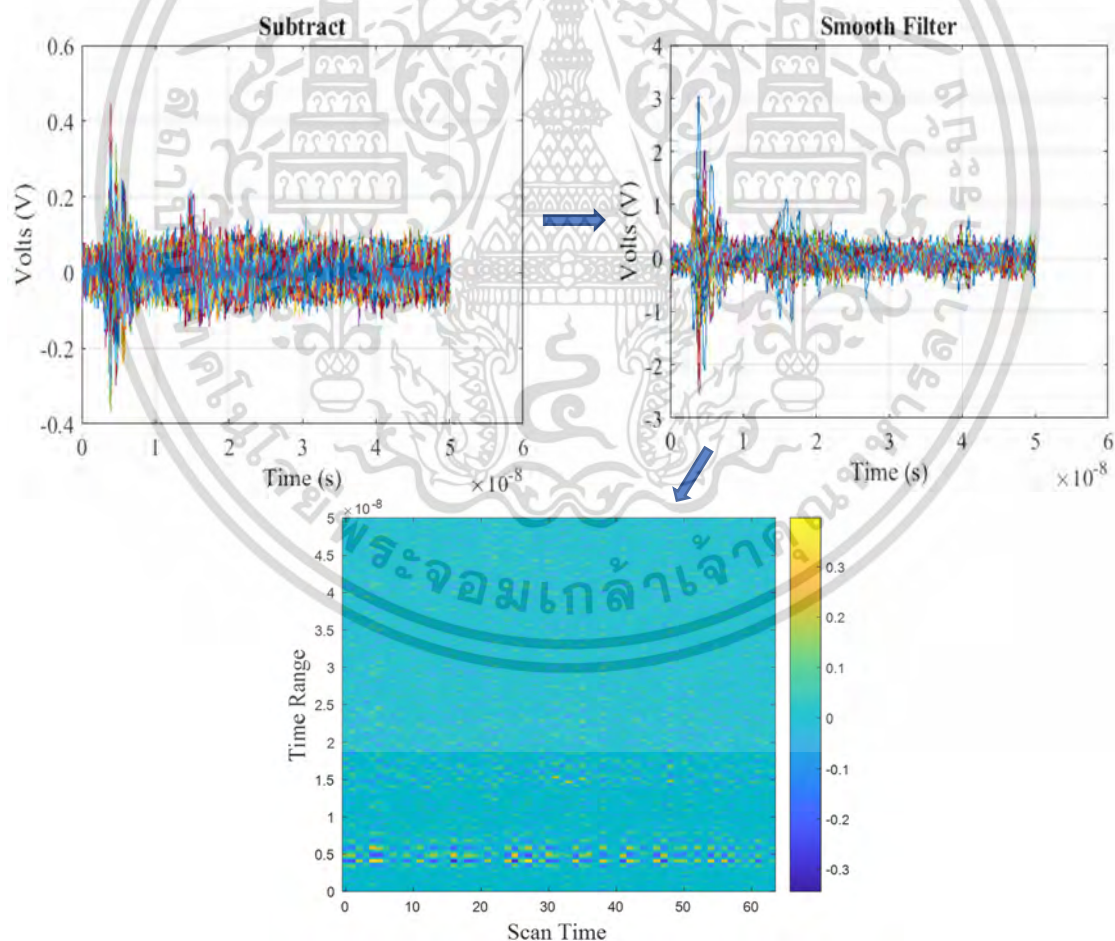
- 1: $s_{ac}[n, 1] = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M R[n, m]$
- 2: **for** $m = 1$ to M **do**
- 3: $R[n, m] = R[n, m] - s_{ac}[t, 1]$
- 4: **end for**

for $\tau = 1$ to M **do**

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

end for

โดย λ คือจำนวนค่าที่ใช้ในการเฉลี่ย

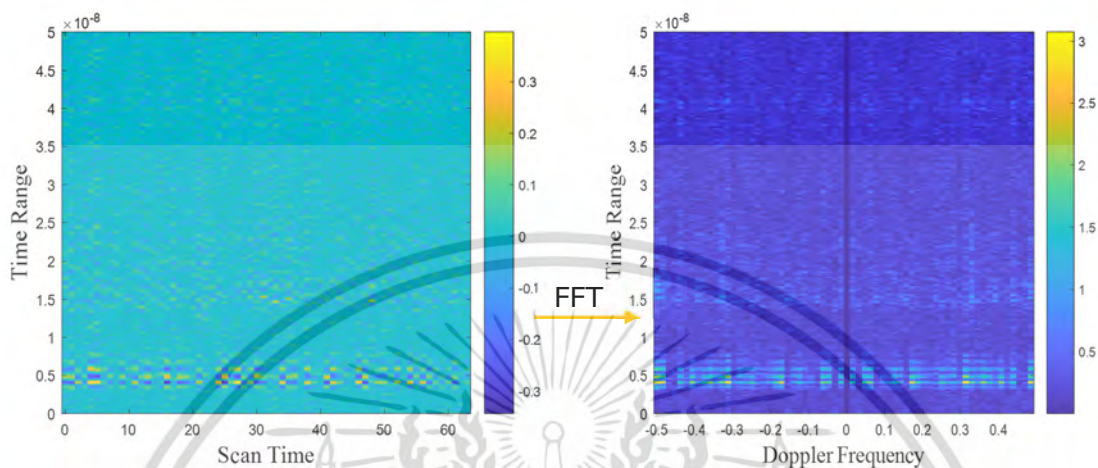


รูปที่ 3.6 การใช้ตัวกรองสัญญาณชนิดเรียบ (Smooth Filter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การแปลงฟูเรียร์ (Smooth Filter)

สุดท้ายใช้การแปลงฟูเรียร์ในแนวนอนของข้อมูล (FFT of Row Data) เพื่อหาความถี่ดอปเพลอร์ของเป้าหมายที่เคลื่อนที่ [3], [4]



รูปที่ 3.7 การแปลงฟูเรียร์แต่ละแถวของตารางเพื่อหาความถี่ดอปเพลอร์

คำนวณระยะห่างระหว่างมนุษย์อย่างง่ายที่ได้จากการทดลอง โดยระยะจริงคือ 2.1 เมตร

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

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

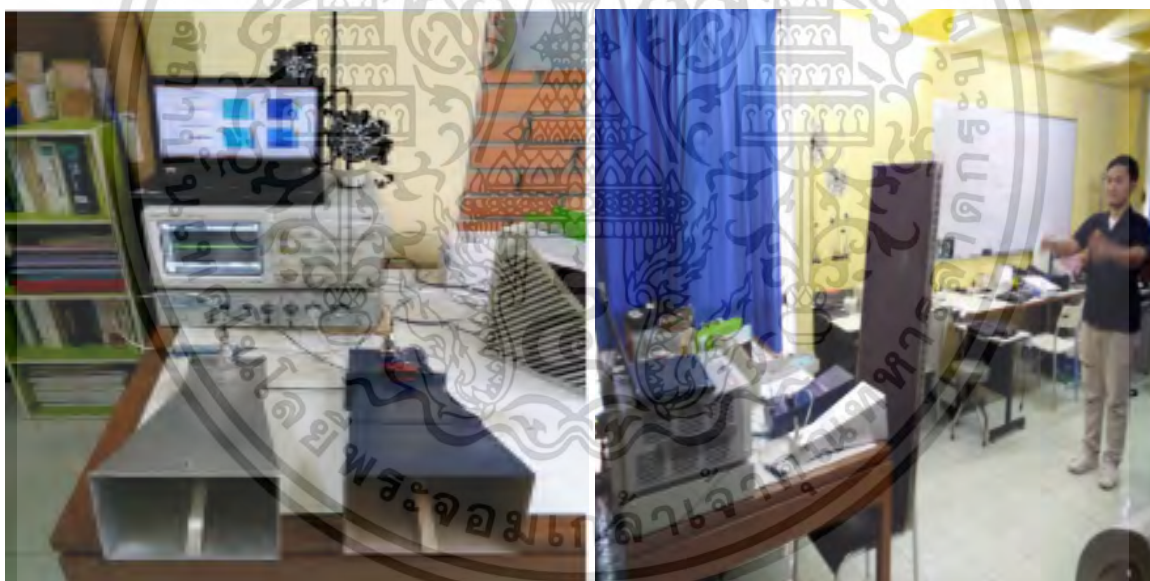
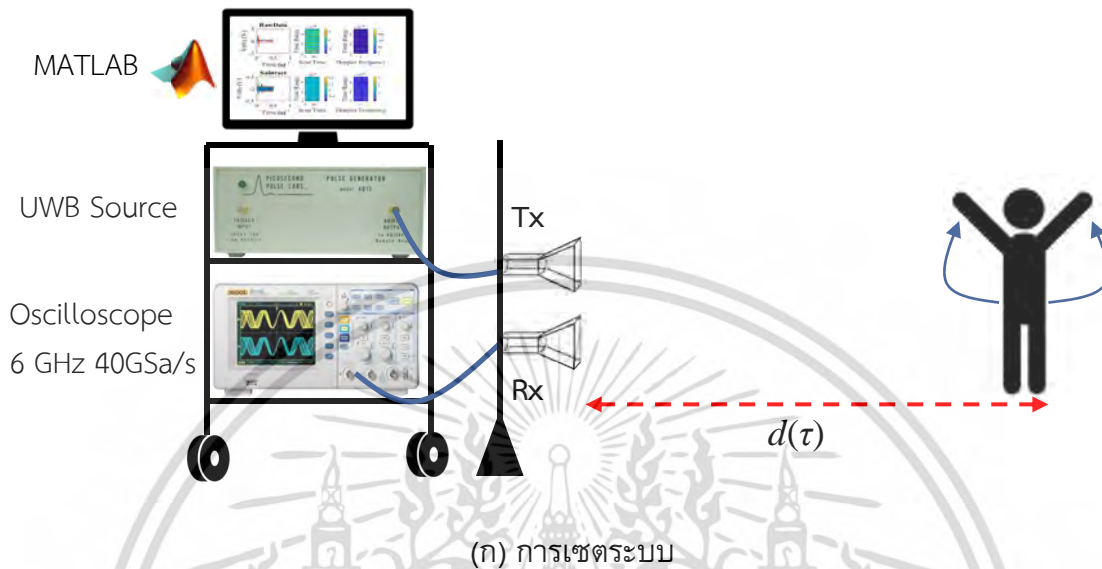
ความคลาดเคลื่อนของระยะทาง

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

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

3.6 การประยุกต์ใช้ UWB เรดาร์ในการตรวจจับมนุษย์หลังกำแพง

หัวข้อนี้ได้อธิบายวิธีการตรวจจับมนุษย์หลังกำแพงจากความถี่ตอบเพลอร์ของการเคลื่อนไหว โดยสัญญาณภาคส่งเป็น UWB ตามที่แสดงในรูป 2.4

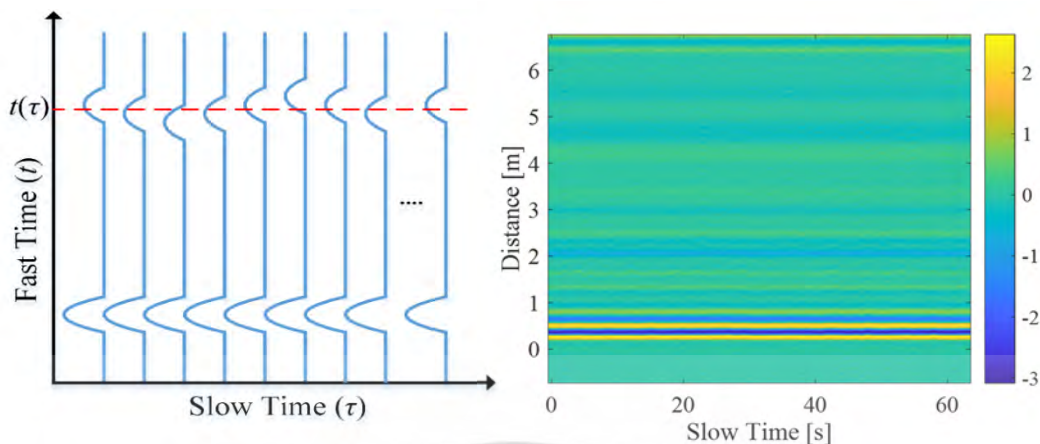


(ข) การทดลองจริง [4]

รูปที่ 3.8 การเซตระบบของการประมวลผลสัญญาณของการตรวจจับการเคลื่อนที่ของมนุษย์

สัญญาณ UWB ภาครับ (Received Signal) มีความถี่ของสัญญาณภาคส่งบวกกับความถี่ตอบเพลอร์ของมนุษย์ ($f_0 + f_d$) จึงเป็นการยากที่จะหาความถี่ตอบเพลอร์ด้วยวิธีดีมอดูเลต (demodulation) ทั่วไป ดังนั้นในการหาความถี่ตอบเพลอร์นั้นสามารถหาได้จากการเปลี่ยนแปลงของมุมเฟสของสัญญาณที่สะท้อนจากมนุษย์ ($d\phi/d\tau = 2\pi f_d$) ดังรูปที่ 3.8(ก)

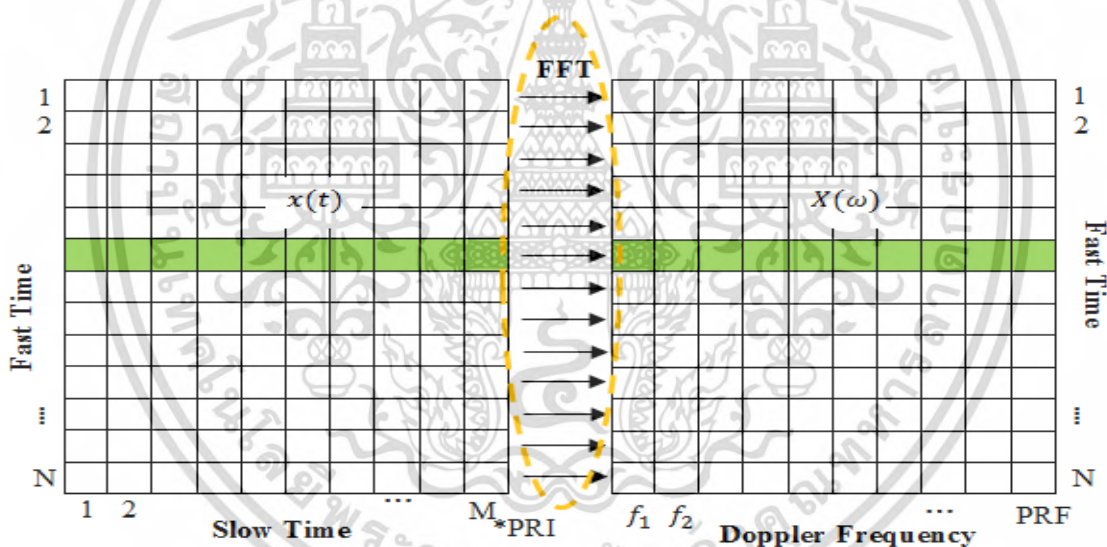
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) การจำลองข้อมูล (ข) ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

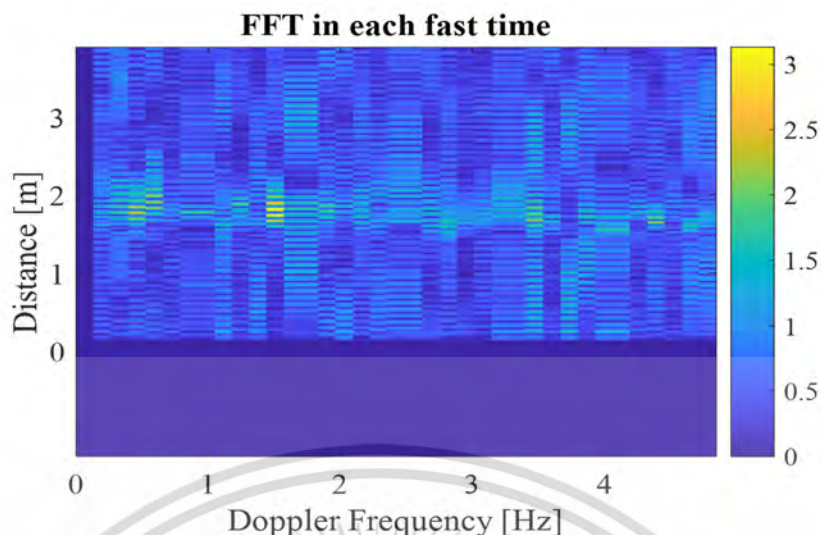
รูปที่ 3.9 สัญญาณภาครับทั้งหมดที่บันทึกจากการแกว่งแขนของมนุษย์

การตรวจจับมนุษย์สามารถทำได้โดยการหาความถี่ดอปเพลอร์ของมนุษย์จากการเคลื่อนไหว ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการใช้ fast Fourier transform (FFT) ในทุกแนวแกนนอนตามรูป 3.10



รูปที่ 3.10 ใช้ FFT ตามแนวแกนนอนทุกแกนเพื่อหาความถี่ดอปเพลอร์

นำหลักการนี้มาประยุกต์กับรูปที่ 3.9(ข) ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3.11

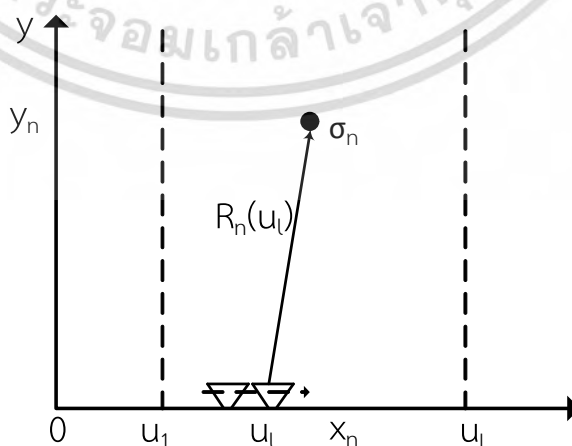


รูปที่ 3.11 การประยุกต์ใช้ FFT เพื่อหาความถี่ดอปเพลอร์ของมนุษย์ [4]

จากรูปที่ 2.7 ความถี่ดอปเพลอร์มีสองค่าคือ 0.5 Hz และ 1.5 Hz ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการหายใจและการแกว่งแขนตามลำดับ โดยค่าเหล่านี้อยู่ที่ตำแหน่ง 2 เมตร แสดงว่ามนุษย์ที่ถูกตรวจจับอยู่ที่ตำแหน่งหลังกำแพง 2 เมตร

3.7 หลักการระบุตำแหน่งของวัตถุในสองมิติโดยใช้หลักการฉายภาพกลับ (back projection)

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



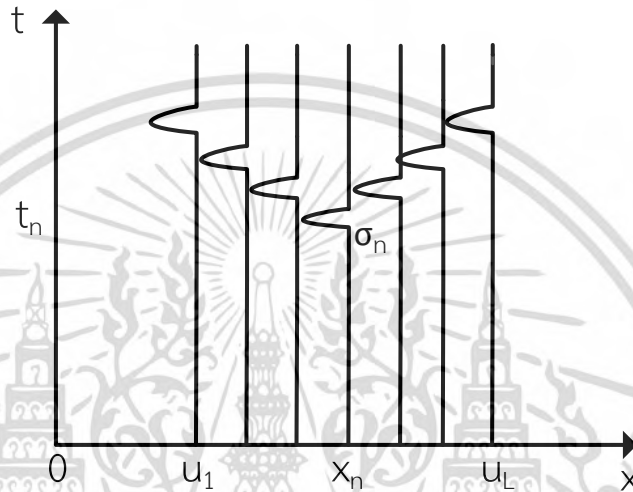
รูปที่ 3.11 วัตถุในระบบพิกัด SAR เรดาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.11 สมการ $R_n(u_l)$ คือระยะห่างระหว่างวัตถุ (x_n, y_n) และตำแหน่งของเสาอากาศ $(u_l, 0)$ มีค่าเท่ากับ

$$R_n(u_l) = \sqrt{(u_l - x_n)^2 + y_n^2} \quad (3.8)$$

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



รูปที่ 3.12 ข้อมูลในระบบพิกัด SAR เรดาร์

โดยที่แกนตั้งเป็นโดเมนเวลาของคลื่นที่เคลื่อนที่ไปกลับ นอกจากนี้สัญญาณภาครับที่แสดงดังรูป 3.12 มีค่าเท่ากับ

$$E(u_l, t) = \sum_{n=1}^N \sigma_n s(t - \underbrace{\frac{2}{c} \sqrt{(u_l - x_n)^2 + y_n^2}}_{\text{time shift}}) \quad (3.9)$$

โดยที่ $s(t)$ คือสัญญาณ UWB ภาดส่ง 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 (3.10)

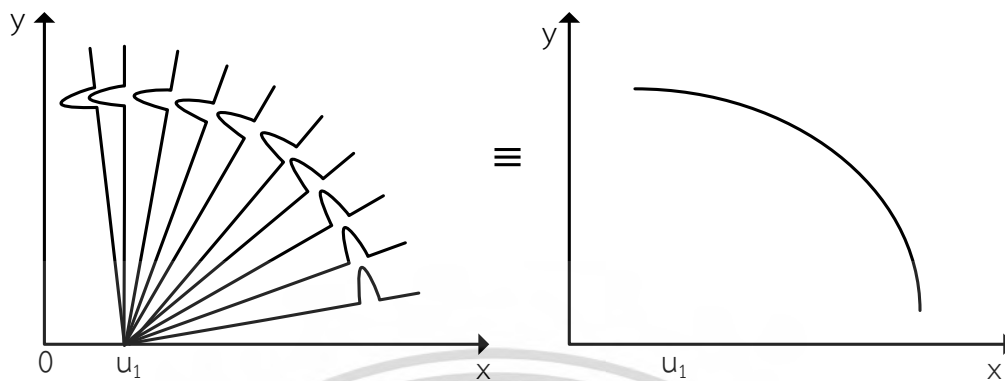
$$t = \frac{2}{c} \sqrt{(u_1 - x)^2 + y^2} \quad (3.10)$$

และนำค่า t ที่ได้มาแทนค่ากลับในสมการ (2.7) จะได้ค่าใหม่ E_{new} ตามสมการที่ (3.11)

$$E_{\text{new}}(x, y) = E(u_1, t) \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าที่จาก E_{new} มาพล็อตกราฟจะได้รูปที่แสดง 3.13(ก)



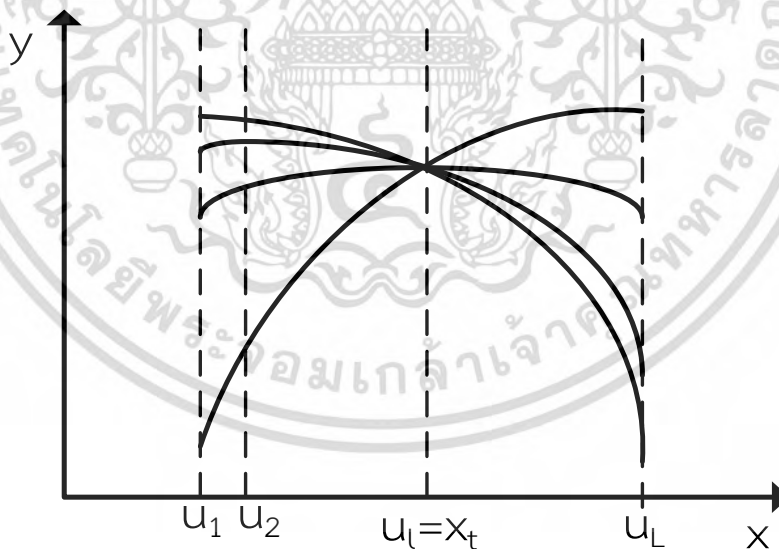
(ก) ข้อมูลใหม่ E_{new} ในพิกัด x,y

(ข) พิกัดสมมูลของ E_{new}

รูปที่ 3.13 back projection ที่ตำแหน่งเริ่มต้น

โดยจะใช้รูปที่ 3.13(ข) เป็นรูปเทียบเคียงของรูปที่ 3.13(ก) เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจในการมาใช้อธิบายในขั้นตอนนี้ต่อไป

2) เปลี่ยนตำแหน่งพิจารณาเป็น u_2 ทำแบบเดิมตามขั้นตอนที่ 1 จนถึงที่สุดตำแหน่ง u_L ได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3.14

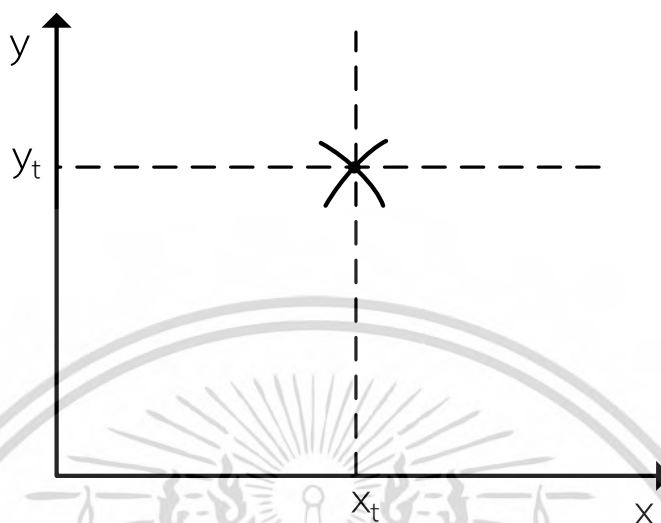


รูปที่ 3.14 back projection ที่ตำแหน่งเริ่มต้น

3. จากรูปที่ 3.14 นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้ตั้งแต่ u_1 ถึง u_L มารวมกันจะได้ผลลัพธ์ตามรูป 3.15 และสามารถอธิบายตามสมการ (2.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_{new}(x, y) = \sum_{l=1}^L E(u_l, t), \quad \text{where } t = \frac{2}{c} \sqrt{(u_l - x)^2 + y^2} \quad (3.11)$$



รูปที่ 3.15 การประมวลผลภาพสองมิติโดยใช้ back projection

อย่างไรก็ตามหลักการนี้ใช้เฉพาะระบุตำแหน่งวัตถุเท่านั้นไม่สามารถจำแนกได้ว่าวัตถุไหนคือมนุษย์หรือสิ่งแวดลอม จากขั้นตอนที่กล่าวมาขั้นตอนนี้สามารถอธิบายเป็นอัลกอริทึมตามตารางที่ 2.3

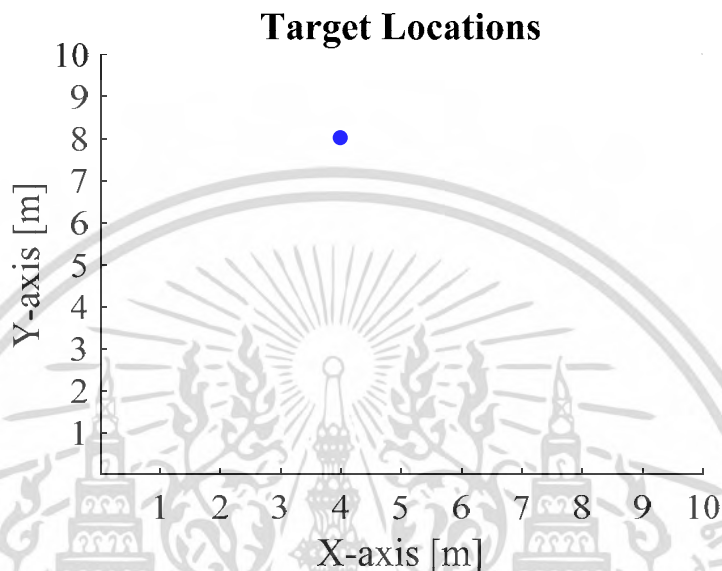
ตารางที่ 3.3 อัลกอริทึมการฉายภาพกลับ (back projection) [5]

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) = data(l,index)	-สร้างค่าข้อมูลใหม่ที่แกน x-y
End m loop	
End k loop	
E _{new} = E _{new} + E(k,m)	--ข้อมูลทั้งหมด
End l loop	

ในหัวข้อถัดไปจะนำอัลกอริทึมที่ได้กล่าวมาขั้นตอนนี้มาประยุกต์ใช้ โดยจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB

3.8 จำลองการขึ้นภาพสองมิติโดยใช้หลักการฉายภาพกลับ (back projection)

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการจำลองวัตถุตั้งแต่หนึ่งตัวอย่างจนหลายวัตถุและใช้ตัวกรองขั้นพื้นฐานในการลดสัญญาณรบกวน ตัวอย่างที่หนึ่งกรณีมีวัตถุเดียวที่ตำแหน่ง (4,8) ตามรูปที่แสดง 3.16



รูปที่ 3.16 การจำลองตำแหน่งของวัตถุ

สัญญาณ UWB ภาคส่งถูกอธิบายด้วยฟังก์ชันอันหนึ่งที่หนึ่งของสมการเกาส์เซียน ที่มีความถี่กลาง 500 MHz สัญญาณที่ได้ถูกแสดงดังรูป 3.17(ก) เมื่อได้รับสัญญาณภาครับแล้วตามรูปที่ 3.2(ข) ทำการกรองสัญญาณรบกวนออกโดยใช้ตัวกรองพื้นฐาน

1. การกรองความเพี้ยนแบบเชิงเส้น (Linear Trend Signal) [6]

$$y_1 = s_{re} - X(X^T X)^{-1} X^T s_{re} \quad (3.12)$$

โดยที่ s_{re} คือสัญญาณภาครับ

$$X = [x_1, x_2], \quad x_1 = [0, 1, \dots, N-1]^T, \quad x_2 = [1, 1, \dots, 1]^T_N \quad (3.13)$$

2. ตัวกรองแบบราบเรียบ (Smooth Filter) เพื่อลดสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำและความถี่สูง [6]

$$y_2 = \frac{1}{2\lambda + 1} \sum_{i=-\lambda}^{\lambda} y_1[n-i] \quad (3.14)$$

3. ตัวกรองความถี่กลางผ่าน (band pass filter) โดยใช้ Butterworth filter [6]

$$y_3 = F^{-1}\{F\{y_2\} * H(\omega)\} \quad (3.15)$$

โดยที่ $H(\omega)$ เป็นฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) เป็นสมการที่ (3.16) ที่อันดับ $N_f = 5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

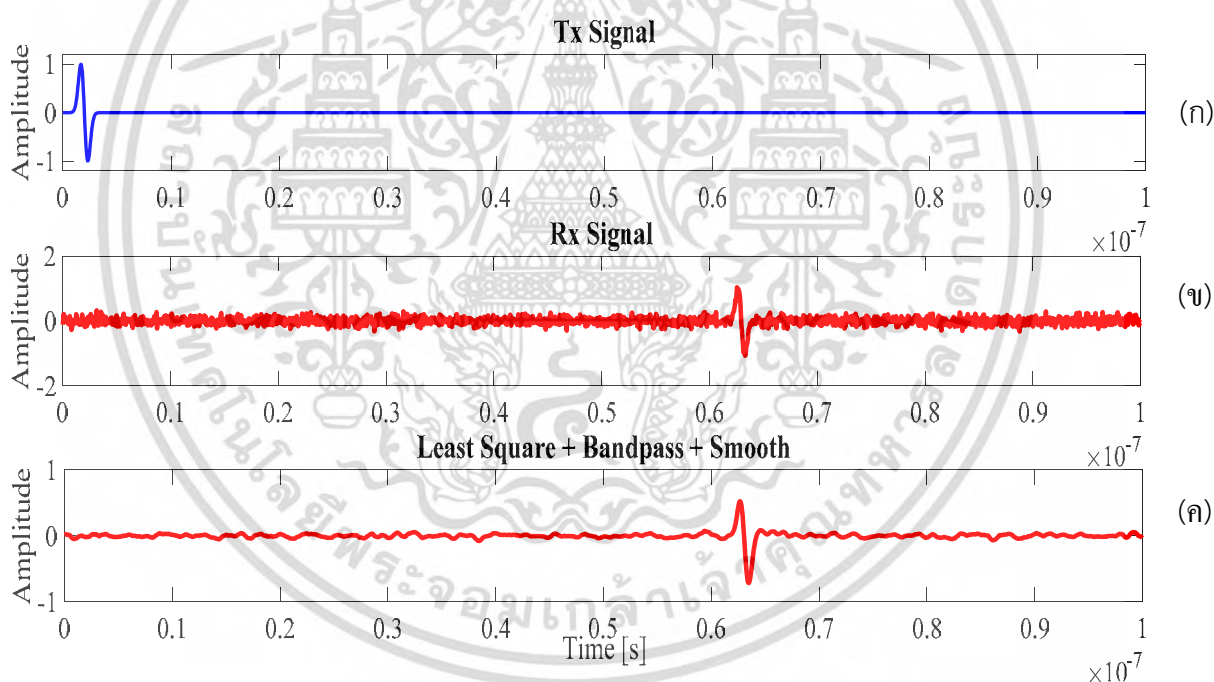
$$H(\omega) = \frac{1}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2N_f}} \quad (3.16)$$

เมื่อผ่านการกระบวนการกรองความถี่แล้วสัญญาณภาครับที่ได้ถูกแสดงดังรูปที่ 3.17(ค)

4. การตัดสัญญาณผลกระทบจากภาคส่ง (antenna coupling) ในการทดลองจริงจะเกิดปรากฏการณ์ antenna coupling ในสัญญาณภาครับ อย่างไรก็ตามปัญหานี้หรือปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณที่สะท้อนจากกำแพงสามารถถูกกำหนดให้เป็นศูนย์ตั้งสมการที่ (3.17) เพราะเรารู้อยู่แล้วว่าสัญญาณเหล่านี้มาก่อนสัญญาณของเป้าหมายเสมอ [4]

$$y_3[1, 2, \dots, N_{zero}] = 0 \quad (3.17)$$

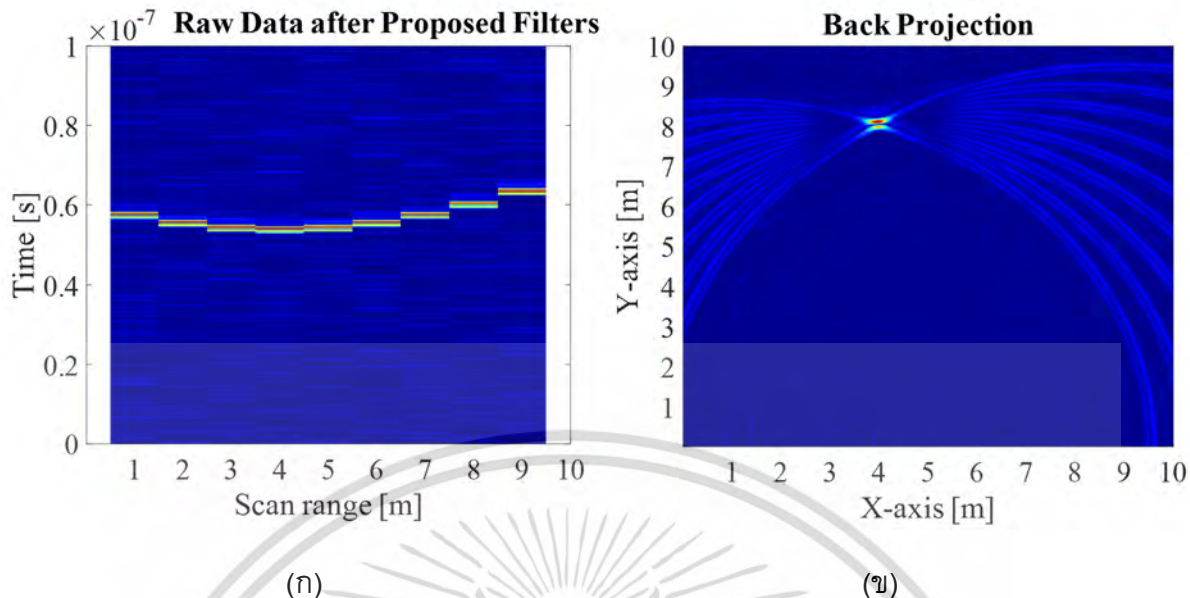
โดยที่ $N_{zero} = d_{min}/\Delta d$, d_{min} คือระยะทางที่น้อยที่สุดในการตรวจจับเป้าหมาย และ $\Delta d = c\Delta t/2$ คือความละเอียดในการซัดตัวอย่างของโดเมนระยะทาง



รูปที่ 3.17 (ก) สัญญาณ UWB ภาคส่ง (ข) สัญญาณภาครับที่ตำแหน่ง $u_t = 1$ เมตร ที่มีสัญญาณรบกวน (ค) สัญญาณภาครับที่ผ่านตัวกรองสัญญาณรบกวน

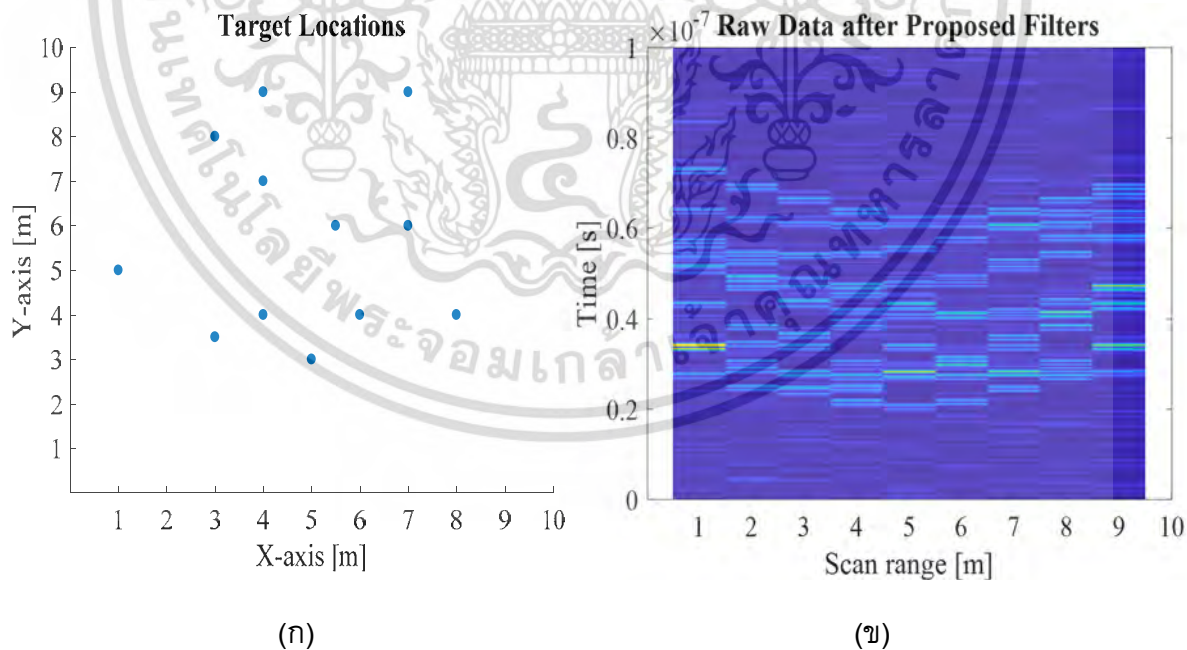
การจำลองนี้ใช้พารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ ตำแหน่งเสาอากาศ $u_r = 1:1:9$ คือ เริ่มต้นเก็บข้อมูลที่ 1 เมตร สิ้นสุดที่ 9 เมตร แต่ละตำแหน่งห่างกัน 1 เมตรตามรูปที่แสดง 3.18(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

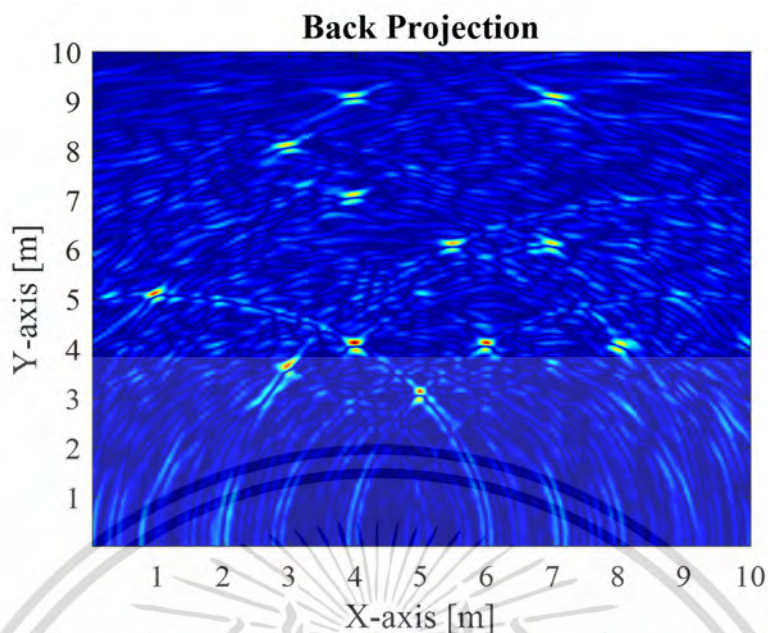


รูปที่ 3.18 (ก) เก็บข้อมูล 9 ตำแหน่ง (ข) ประมวลผลภาพโดยใช้ Back projection

จากนั้นใช้อัลกอริทึมที่กล่าวมาในตารางที่ 3.3 ผลลัพธ์ตามรูปที่แสดง 3.18(ข) โดยที่แกน x และ y ถูกกำหนดดังนี้ $x = 0.01:0.01:10$ เมตร และ $y = 0.01:0.01:10$ เมตร ตัวอย่างที่สองกรณีวัตถุมีหลายตัวดังรูปที่ 3.19(ก) กำหนดทุก ๆ พารามิเตอร์ของระบบตามตัวอย่างที่หนึ่งและสมมุติเสาอากาศภาคส่งและรับเป็นแบบ isotropic ส่งผลให้สัญญาณภาครับได้รับทุกสัญญาณจากวัตถุ 3.19(ข)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

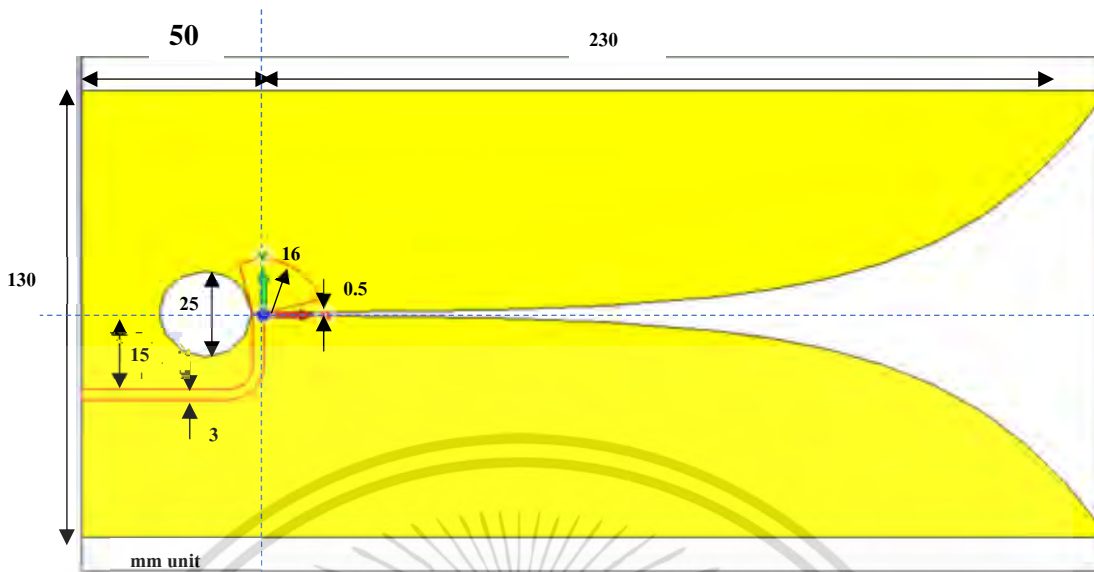
รูปที่ 3.19 (ก) ตำแหน่งของวัตถุ (ข) สัญญาณที่ได้จากวัตถุ (ค) ขึ้นภาพสองมิติของวัตถุ

จากรูป 3.19 (ค) วิธีการนี้สามารถขึ้นภาพและจำแนกหลายวัตถุได้อย่างชัดเจน และใช้ข้อมูลที่ได้แต่ละตำแหน่งน้อย

3.9 การออกแบบเสาอากาศ UWB สำหรับการตรวจจับวัตถุหลังกำแพง

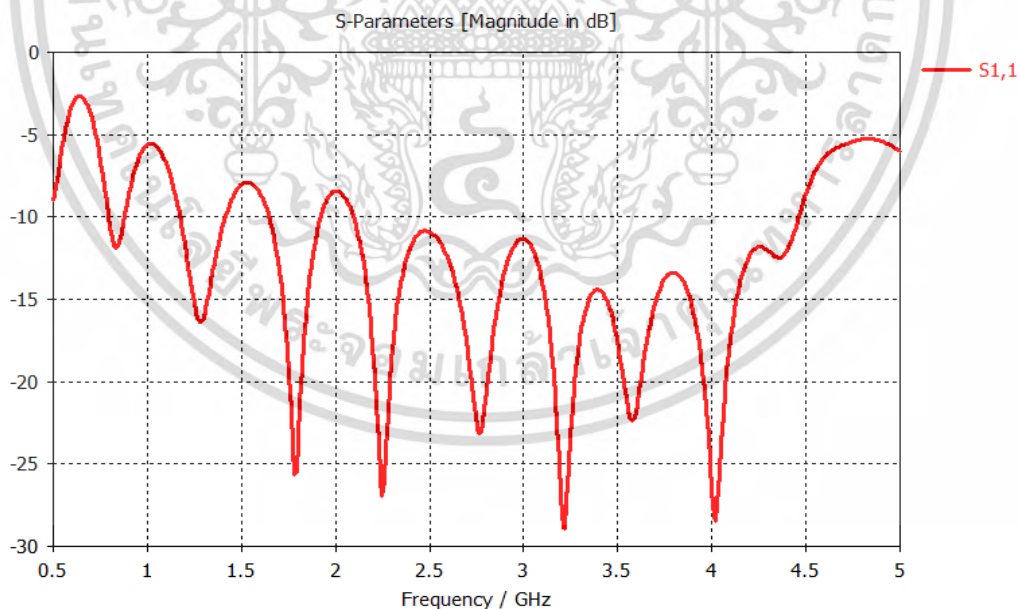
เสาอากาศเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากเป็นอันดับต้นๆของระบบเรดาร์ เพราะถ้าออกแบบเสาอากาศเหมาะสมกับความถี่ (matching impedance, $s_{11} < -10$ dB) ที่ใช้ที่มีอัตราขยายสัญญาณสูง (high gain) และมีมุมที่แคบ (angular width) ก็สามารถส่งกำลังได้ระยะไกลและรับสัญญาณได้อย่างชัดเจน ทำให้ระบบเรดาร์สามารถตรวจจับตำแหน่งวัตถุหลังกำแพงได้อย่างชัดเจนและรวดเร็วมากขึ้น โดยพารามิเตอร์ของเสาอากาศถูกอธิบายดังรูปที่ 3.20 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 การจำลองเสาอากาศด้วยโปรแกรม CST

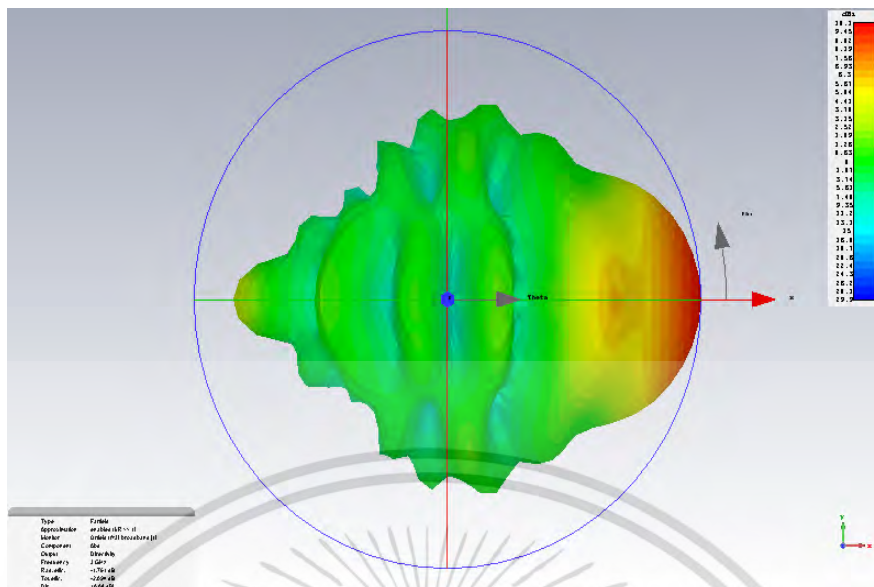
ความหนาของ FR-4 substrate คือ 1.575 mm ความหนาทองแดง 0.035 mm ค่าความเป็นฉนวน $\epsilon_r = 4.33$ สูตรท้ายสมการเอกซ์โพเนนเชียลใช้สร้างกราฟเส้นโค้งของเสาอากาศคือ $y = 0.25e^{0.024t}$ จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11} ผลลัพธ์ที่ได้ดังรูป 3.21



รูปที่ 3.21 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11}

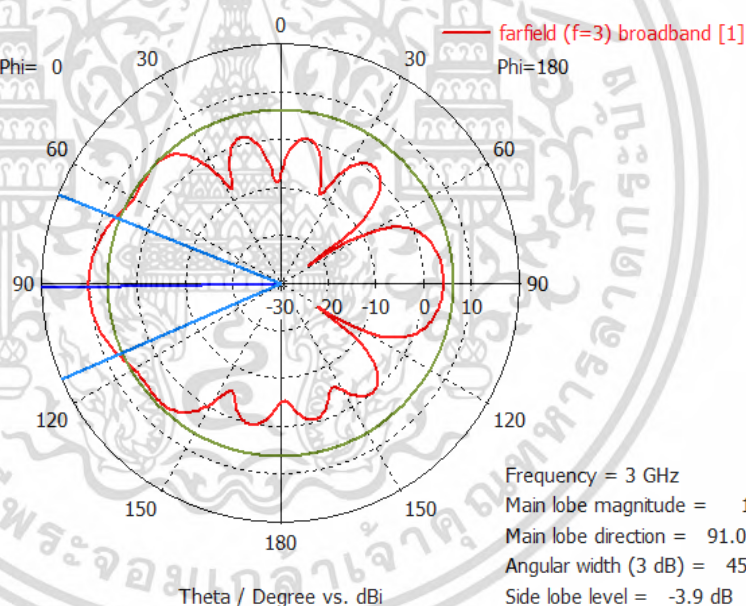
จากรูปที่ 3.21 จะเห็นได้ว่าความกว้างของสัญญาณที่น้อยกว่า -10 dB อยู่ในช่วงประมาณ 2.4 GHz-4.5 GHz เนื่องจากออกแบบความกว้างอยู่ 130 mm จากนั้นคำนวณค่าอัตราขยายสัญญาณและความกว้างของสัญญาณที่ความถี่กลาง 3 GHz ตามรูปที่แสดง 3.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพสามมิติ

Farfield Directivity Abs (Phi=0)

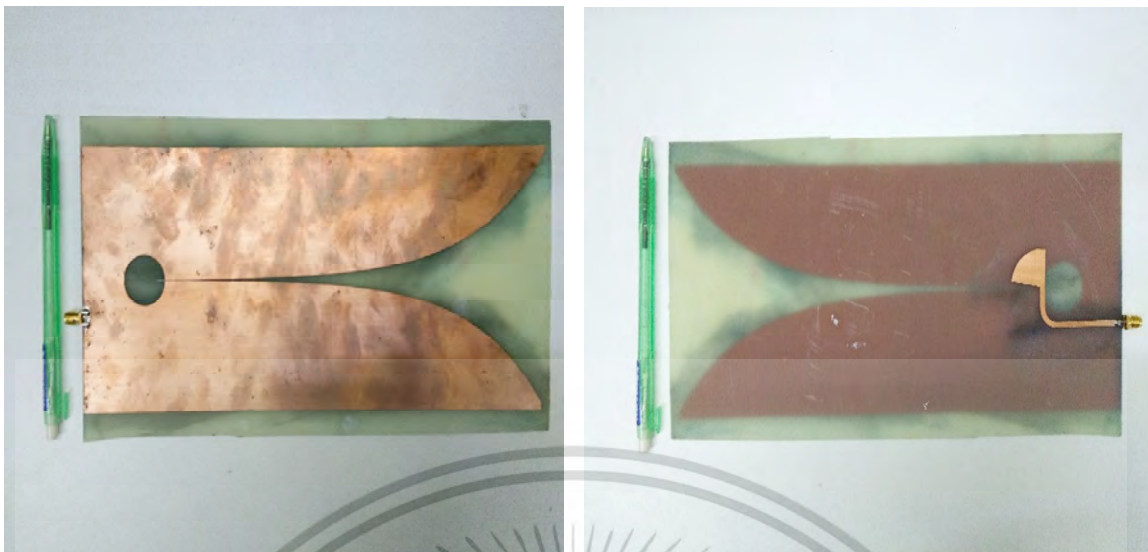


(ข) ภาพสองมิติ

รูปที่ 3.22 ภาพการจำลองอัตราขยายสัญญาณและมุมการส่ง

จากรูปที่ 3.22 จะเห็นได้ว่ามีอัตราขยายสัญญาณสูงสุดที่ 10.1 dBi เนื่องจากการออกแบบความยาวเสาอากาศที่มากถึง 230 mm และมีความกว้างของคลื่นในการส่งรับอยู่ที่ 45.2 องศา สดุดท้ายเสาอากาศ ชิ้นงานจริงแสดงดังรูปที่ 3.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ด้านกราวด์ของชิ้นงานจริง

(ข) ด้านท่อนของชิ้นงานจริง

รูปที่ 3.23 เสาอากาศที่ได้จากชิ้นงานจริง

3.10 การคำนวณระยะทางของวัตถุที่อยู่หลังกำแพง

ในหัวข้อนี้นำเสนอการคำนวณหาระยะห่างของวัตถุ โดยใช้เวลาเลื่อนที่ได้จากกระบวนการที่นำเสนอมาแล้ว และใช้พารามิเตอร์ของกำแพงเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการคำนวณ [7]



รูปที่ 3.24 การคำนวณระยะทางโดยคำนึงถึงพารามิเตอร์ของกำแพง

ใช้ความสัมพันธ์ของเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่มาวิเคราะห์ตามที่อธิบายด้านล่าง

$$\frac{t_{total}}{2} = t_1 + t_2 + t_3 \tag{3.18}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{t_{total}}{2} = \frac{S_{antenna}}{c} + \frac{S_{wall}}{v_{wall}} + \frac{S_h}{c} \quad (3.19)$$

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

$$v_{wall} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r}} = 2.0446 * 10^8 \text{ m/s} \quad (3.20)$$

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 (4.2)

$$\frac{14.1 * 10^{-9}}{2} = \frac{0.25}{0.3 * 10^9} + \frac{0.05}{0.2 * 10^9} + \frac{S_h}{0.3 * 10^9} \quad (3.21)$$

$$S_h = 1.79 \text{ m} \quad (3.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

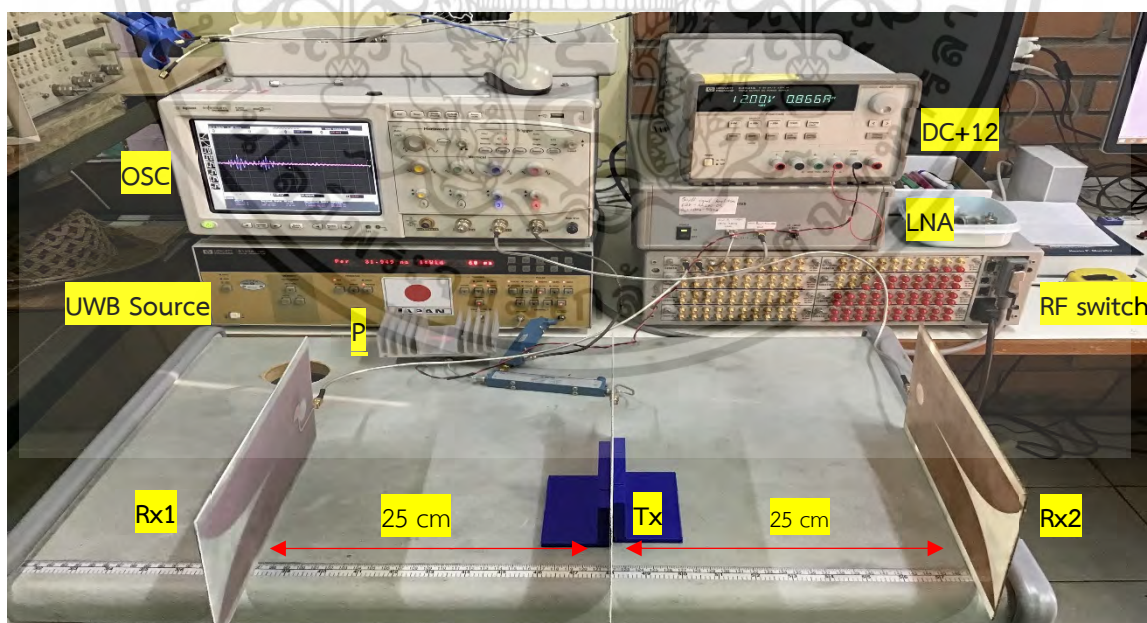
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดลองการระบุตำแหน่งของวัตถุในสองมิติโดยใช้หลักการ back projection

ในการทดลองของหัวข้อนี้ใช้เสาอากาศภาครับสองต้นเพื่อประยุกต์ใช้ในกรณีที่มีเนื้อที่จำกัด โดยแต่ละต้นมีระยะห่าง 25 เซนติเมตรจากตัวส่ง โดยใช้อุปกรณ์ดังต่อไปนี้

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



รูปที่ 4.1 การเซตระบบโดยมีเสาอากาศอาร์เรย์สองต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ข้อมูลแรกเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ในกรณีที่มีกำแพงและไม่มีกำแพง โดยทดสอบวัตถุโลหะเดี่ยวที่ตำแหน่ง 1 เมตร 1.5 และ 2 เมตร ที่มีกำแพงไม้หนา 2 นิ้วและไม่มีดังรูปที่แสดงด้านล่าง



(ก) ไม่มีกำแพงไม้

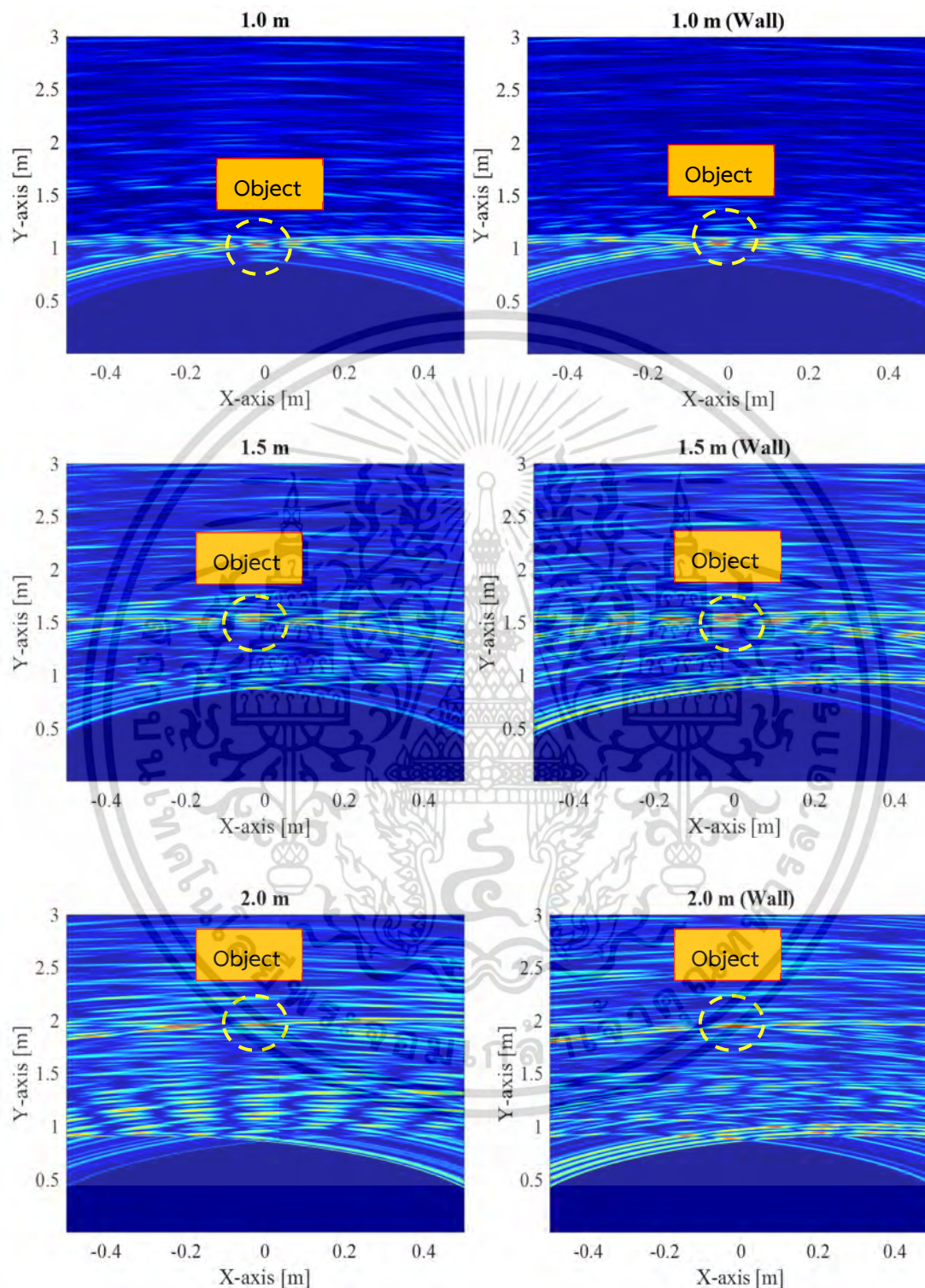


(ข) มีกำแพงไม้

รูปที่ 4.2 การทดสอบการระบุตำแหน่งสองมิติของโลหะ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



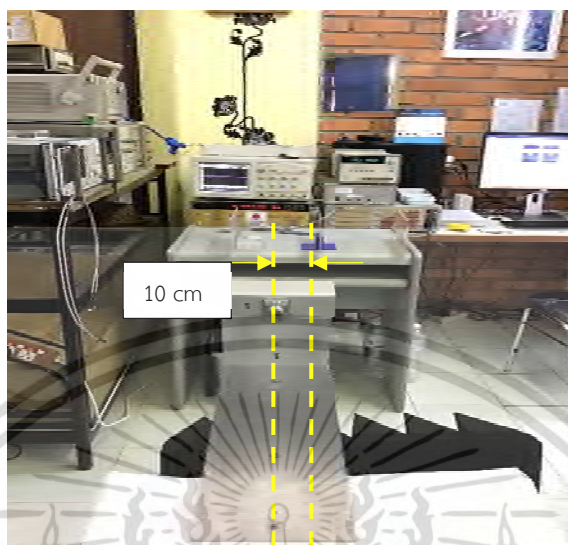
(ก) ไม่มีกำแพง

(ข) มีกำแพงไม้หนา 2 นิ้ว

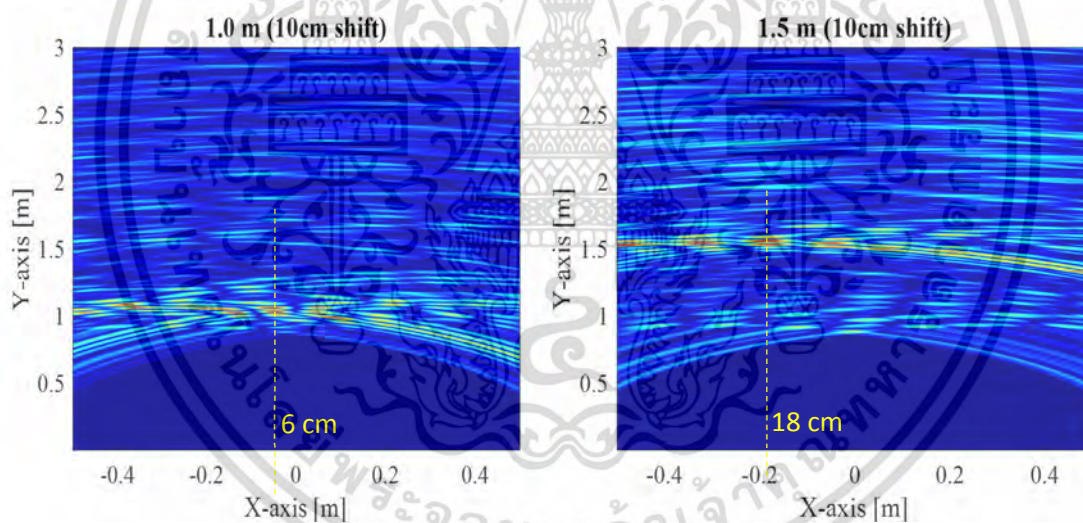
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ระยะต่าง ๆ ของโลหะในกรณีที่มีกำแพงและไม่มีกำแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) จากนั้นทำการทดสอบที่ตำแหน่งของวัตถุอยู่ห่างทางซ้ายและขวา 10 เซนติเมตรดังรูป ที่ระยะต่างๆกัน



รูปที่ 4.4 ทดสอบวัตถุโลหะที่ระยะเลื่อนตำแหน่ง 10 เซนติเมตร



(ก) ที่ระยะ 1 เมตร

(ข) ที่ระยะ 1.5 เมตร

รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ระยะเลื่อน 10 cm

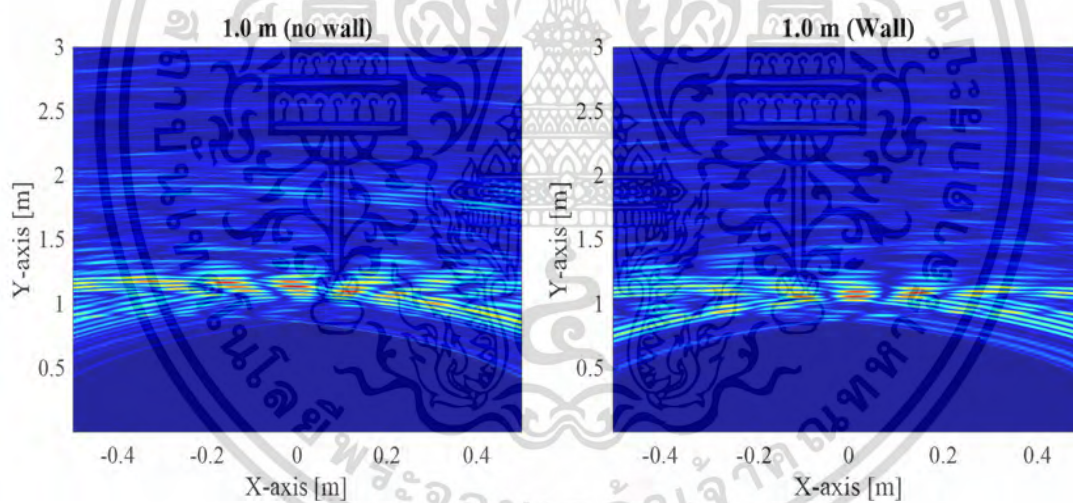
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



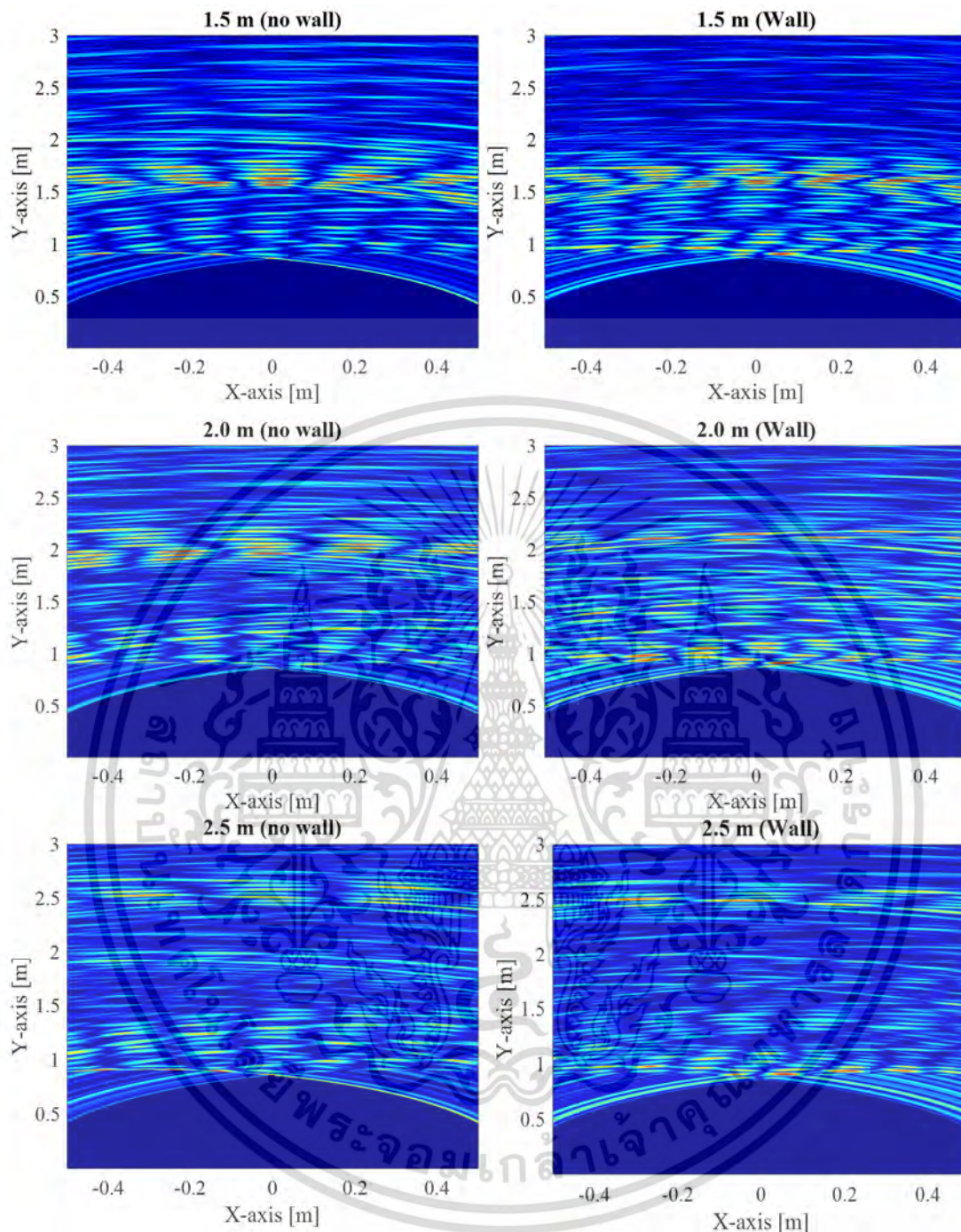
(ก) ไม่มีกำแพงไม้

(ข) มีกำแพงไม้

รูปที่ 4.6 การทดลองการตรวจจับสนุสนามมนุษย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ไม่มีกำแพง

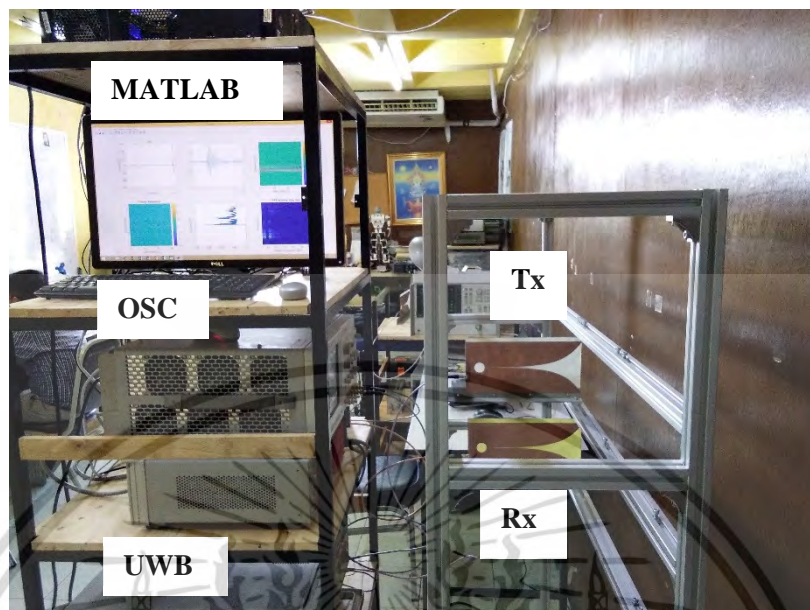
(ข) มีกำแพงไม่หนา 2 นิ้ว

รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ระยะต่าง ๆ ของมนุษย์ในกรณีที่มีกำแพงและไม่มีกำแพง

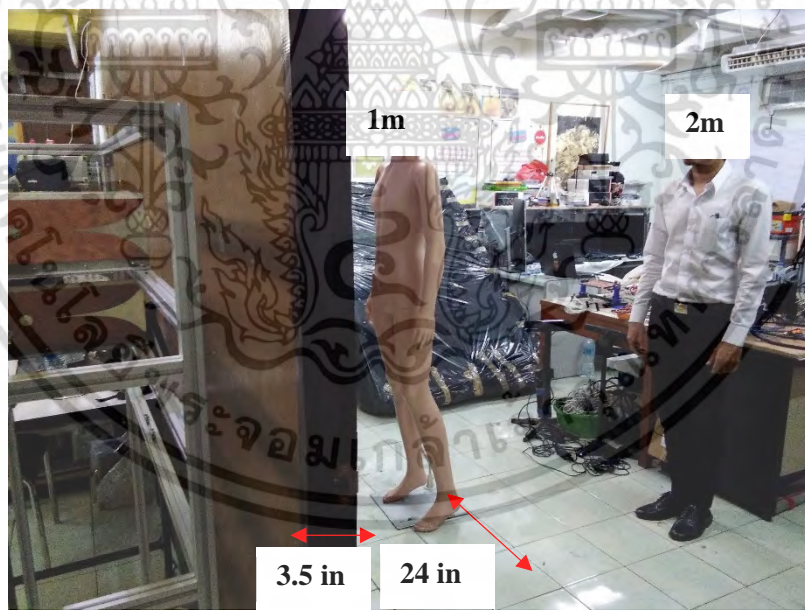
จากรูปที่ 4.3 4.5 และ 4.7 จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะทดสอบมากขึ้นความชัดเจนของตำแหน่งที่ตรวจจับจะมีค่าน้อยลง เนื่องจากการสัญญาณภาครับที่สะท้อนจากวัตถุมีขนาดลดลงตามสมการกำลังสี่ $s_{re} \propto 1/R^4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองการระบุตำแหน่งบุคคลหลังกำแพง



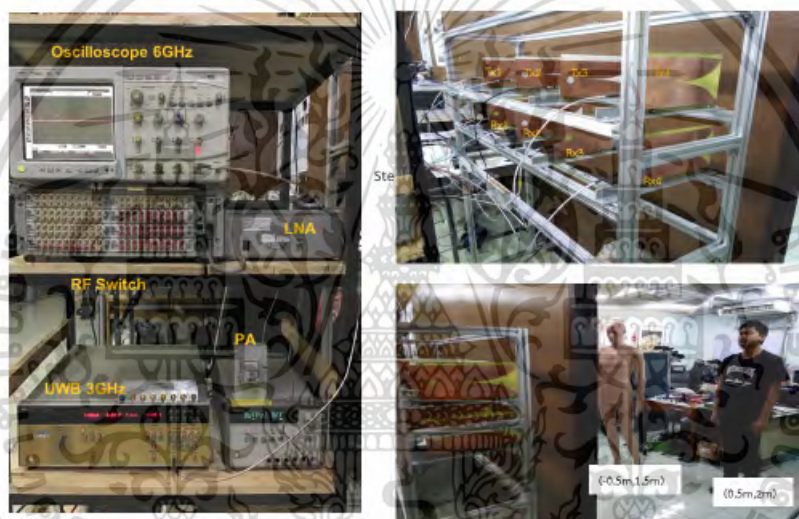
รูปที่ 4.8 แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับบุคคลหลังกำแพง



รูปที่ 4.9 แสดงตำแหน่งของ มนุษย์ และหุ่น

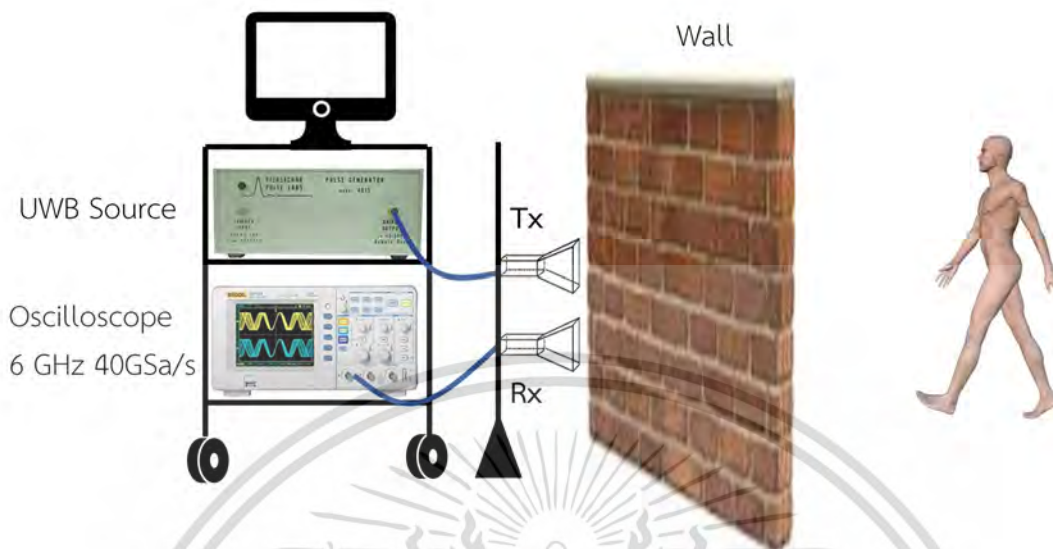
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



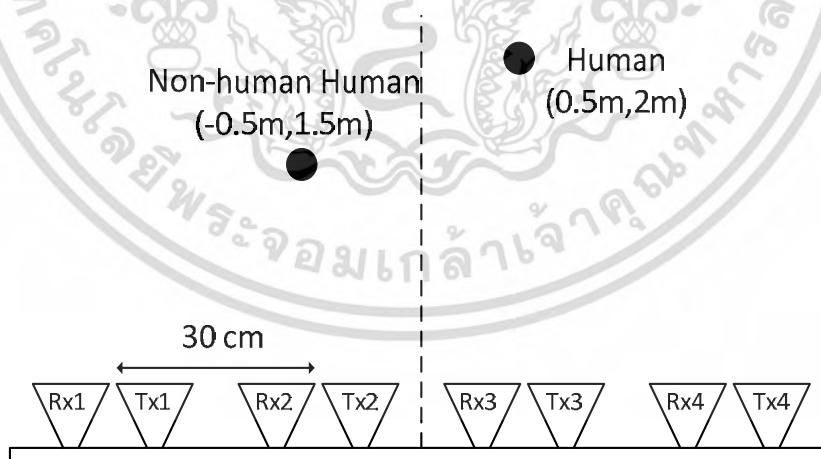
รูปที่ 4.10 แสดงภาพโดยรวมของระบบตรวจจับทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



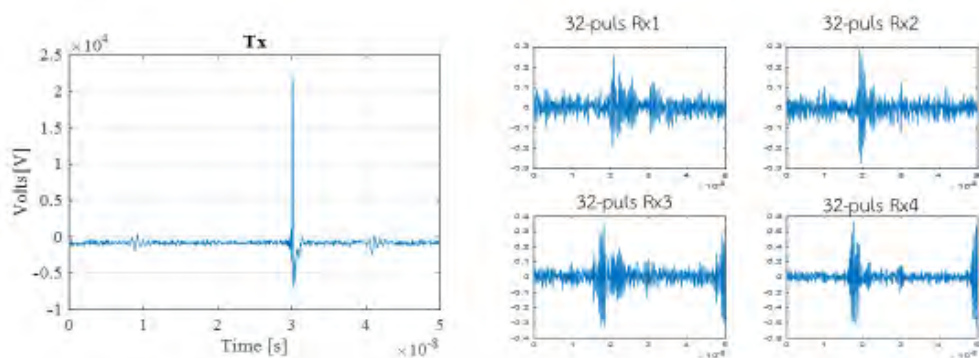
รูปที่ 4.11 แสดงรูปแบบการตรวจจับการเคลื่อนไหวของบุคคล

รูปที่ 4.11 แสดงการเคลื่อนไหวในรูปแบบของการเดินซึ่งระบบตรวจสอบคนหลังกำแพงนั้นสามารถตรวจจับได้ง่ายดาย เนื่องจากการที่บุคคลมีการเคลื่อนไหวในลักษณะของการเดินนั้นจะสร้าง ความถี่ดรอปปเปอร์ขนาดใหญ่ สามารถตรวจจับได้โดยง่าย ในการทดลองต่อไปจะทำการทดลองในการตรวจจับบุคคลที่อยู่กับที่ไม่ได้มีการเคลื่อนไหว

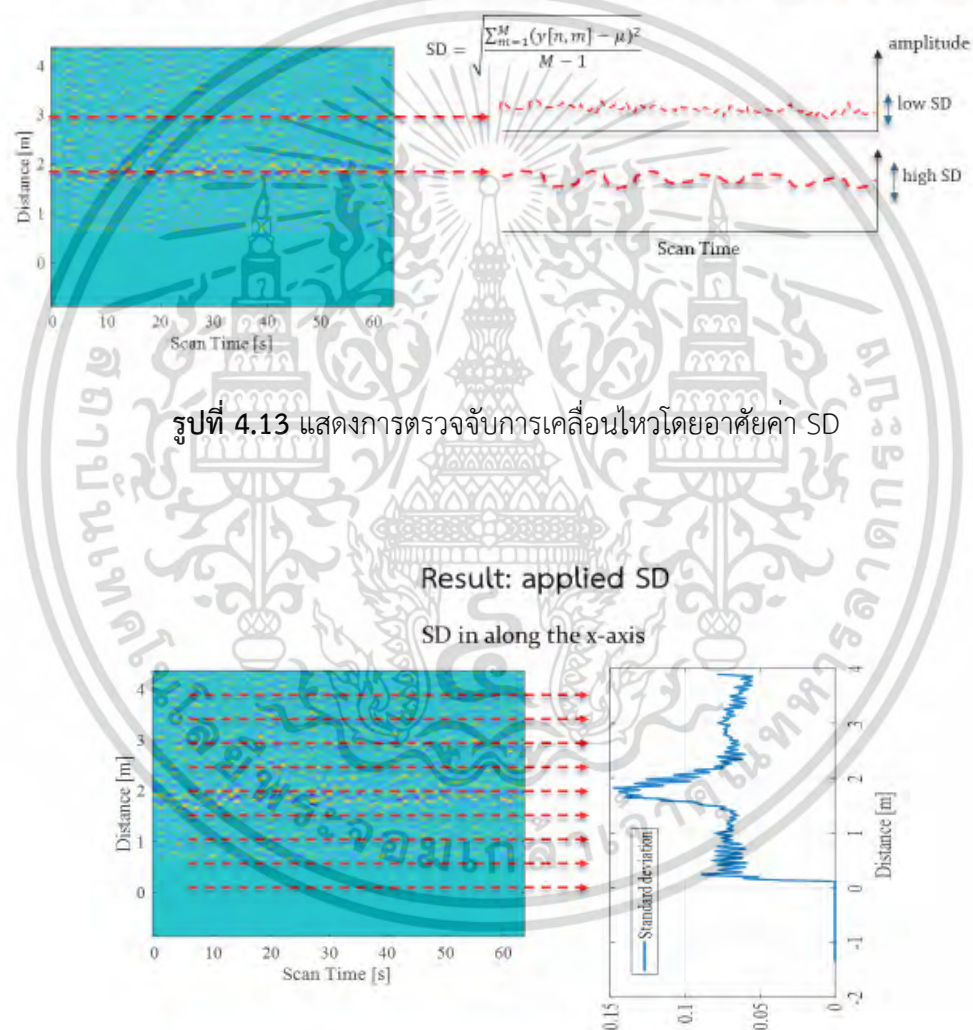


รูปที่ 4.12 แสดงการเลื่อนตำแหน่งของสายอากาศที่ใช้ในการตรวจจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



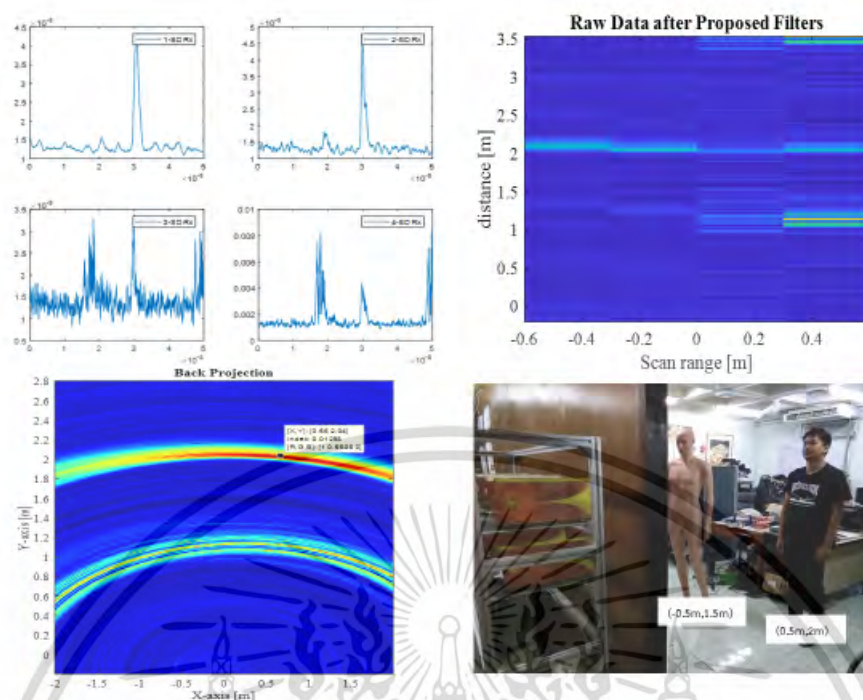
Standard deviation (SD) can be applied to received data at each the fast time to indicate the human location



รูปที่ 4.13 แสดงการตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยอาศัยค่า SD

รูปที่ 4.14 แสดงการค้นหาตำแหน่งที่ค่า SD สูงสุดปรากฏ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงการขึ้นภาพเฉพาะตำแหน่งที่มีบุคคลยืนอยู่

จากผลการทดสอบตรวจจับบุคคลที่ไม่ได้มีการเคลื่อนไหว เปรียบเทียบกับหุ่น ที่ไม่ใช่คน ระบบสามารถทำการแยกแยะความแตกต่างของคน และไม่ใช่คนได้ โดยดูจากการแกว่งของค่า SD หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ถ้าเป็นคน ก็จะเกิดค่า SD เกิดขึ้น ซึ่ง SD นี้เกิดขึ้นมาจากการกระพือมของหน้าอก หรือการเคลื่อนไหวใดๆ ของคนที่หยุดอยู่กับที่ ที่ยังมีชีวิตก็จะทำให้ค่า SD นั้นปรากฏ แตกต่างจากหุ่น ที่ไม่มีการเคลื่อนไหวใดๆ ค่า SD นี้จะมีค่าเท่ากับศูนย์ทำให้เราสามารถแยกแยะ ระหว่างหุ่น กับมนุษย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

โครงการวิจัยฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาระบบเรดาร์สำหรับประยุกต์ใช้ในการตรวจจับบุคคลหลังกำแพง ในบทนี้กล่าวถึงวิธีการขึ้นภาพสองมิติของวัตถุทั้งการจำลองและการทดลองในระบบ UWB เรดาร์แบบอาร์เรย์โดยใช้หลักการ back projection นอกจากนี้ยังกล่าวถึงวิธีการออกแบบเสาอากาศ UWB กำลังขยายสัญญาณสูงเพื่อให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ตรวจจับวัตถุหลังกำแพง ในบทที่ 3 อธิบายขั้นตอนในการลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณภาครับ พร้อมอธิบายวิธีการตรวจจับมนุษย์หลังกำแพงด้วยการตรวจจับความถี่ดอปเพลอร์จากการเคลื่อนไหวของมนุษย์ ในงานวิจัยขั้นต่อไปจะหาวิธีการระบุและจำแนกตำแหน่งมนุษย์และวัตถุออกจากกันในระนาบสองมิติเพื่อเพิ่มความชัดเจนในการวิเคราะห์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

จากการศึกษาวิจัยการตรวจจับบุคคลหลังกำแพง ทางที่วิจัยได้พัฒนาอัลกอริทึมในการตรวจจับ ซึ่งได้มีการนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการนานาชาติ และในขณะนี้กำลังจัดเตรียมข้อมูลและผลการทดลองเพื่อที่จะตีพิมพ์ในวารสารวารการนานาชาติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Schlutz, Matthew. "Synthetic Aperture Radar Imaging Simulated in MATLAB." (2009).
- [2] https://www.vosizneias.com/168553/2014/06/22/jerusalem-israels-camero-tech-ltd-s-through-the-wall-imaging-being-used-by-idf-in-search-for-kidnapped-teens/?comments_sort=desc.
- [3] Chuanwei Ding, Jiaming Yan, Li Zhang, Heng Zhao, Hong Hong, and Xiaohua Zhu, "Noncontact Multiple Targets Vital Sign Detection Based on VMD Algorithm," 2017 IEEE Radar Conference.
- [4] Artit Rittiplang and Pattarapong Phasukkit, "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, Tottori Prefectural Lifelong Learning Center, Tottori, Japan.
- [5] Greg Barrie, "Ultra-Wideband Synthetic Aperture Data and Image Processing," Defence R&D Canada-Ottawa.
- [6] X. Liang, H. Zhang, G. Fang, S. Ye and T. A. Gulliver, "An Improved Algorithm for Through-Wall Target Detection Using Ultra-Wideband Impulse Radar," in *IEEE Access*, vol. 5, pp. 22101-22118, 2017.
- [7] J. Li, Z. Zeng, J. Sun and F. Liu, "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, Nov. 2012.