

การประเมินผลของการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ
สำหรับแบบจำลองแผงแป้นตัวเลขไร้การสัมผัส

EVALUATION OF INDOOR POSITIONING USING FINGERPRINTING TECHNIQUE
FOR TOUCHLESS NUMERIC KEYPAD MODEL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-D-018-032

การประเมินผลของการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ
สำหรับแบบจำลองแผงแป้นตัวเลขไร้การสัมผัส

EVALUATION OF INDOOR POSITIONING USING FINGERPRINTING TECHNIQUE
FOR TOUCHLESS NUMERIC KEYPAD MODEL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2559
KMITL-2016-EN-D-018-032

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EVALUATION OF INDOOR POSITIONING USING FINGERPRINTING TECHNIQUE
FOR TOUCHLESS NUMERIC KEYPAD MODEL



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016
KMITL-2016-EN-D-018-032

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประเมินผลของการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือสำหรับ
แบบจำลองแผงแป้นตัวเลขไร้การสัมผัส

Thesis Title Evaluation of Indoor Positioning using Fingerprinting Technique for Touchless
Numeric Keypad Model

นักศึกษา นางสาววิภัสสร วินิจฉัยกุล

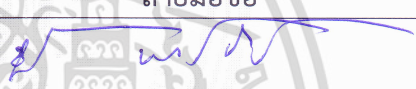


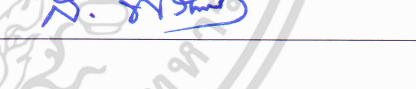
รหัสประจำตัว 56601033

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.สถาพร พรหมวงศ์

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-D-018-.032

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ชวงค์	พงศ์เจริญพาณิชย์	
ผศ.ดร.สมเกียรติ	ฤกษ์วีรญาณู	
ผศ.ดร.ทับทิม	อ่างแก้ว	
ผศ.ดร.ศรวิวัฒน์	ชีวิปรีชา	
ดร.สถาพร	พรหมวงศ์	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2559 เวลา 15.00-17.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินผลของการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกน ลายนิ้วมือสำหรับแบบจำลองแผงแป้นตัวเลขไร้การสัมผัส
นักศึกษา	นางสาววิภัสสร วิจิฉัยกุล
รหัสประจำตัว	56601033
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการประเมินผลแบบจำลองแผงแป้นตัวเลขไร้การสัมผัส (Touchless Numeric Keypad Model: TNKM) โดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับพารามิเตอร์ภาคตัดขวางเป่าเรดาร์ (Radar Cross Section: RCS) ซึ่งคำนวณจากสัญญาณกวาดความถี่เพื่อหาตำแหน่งของนิ้วชี้ของมนุษย์และแท่งอลูมิเนียมเหนือเซลล์ปุ่มกดของ TNKM โดยได้ทำการปรับปรุงสมการเรดาร์เพื่อหาพารามิเตอร์ RCS จากสัญญาณกวาดความถี่ ในการทดสอบ TNKM จะทำการทดสอบ 3 เงื่อนไข ได้แก่ พารามิเตอร์ รัศมีการวางสายอากาศ และความสูงของวัตถุเหนือเซลล์ปุ่มกดของ TNKM สำหรับพารามิเตอร์ ได้ทำการทดสอบ 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ พารามิเตอร์การสูญเสียเชิงวิถีและพารามิเตอร์การประวิงเวลาสำหรับสัญญาณแถบกว้างยิ่ง พารามิเตอร์การสูญเสียกำลังงานเฉลี่ยสำหรับสัญญาณแถบแคบ และพารามิเตอร์ RCS ที่ได้นำเสนอ สำหรับรัศมีการวางสายอากาศ ได้ทำการทดสอบในระนาบแนวตั้งกับแนวตั้งและระนาบแนวนอนกับแนวนอนของสายอากาศกรวยคู่ ในเรื่องความสูงของวัตถุเหนือเซลล์ปุ่มกด ได้กำหนดความสูงเริ่มต้นเป็น 19.50 cm ซึ่งเป็นความสูงเดียวกันกับความสูงของสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ในขณะที่ความสูงอีกระดับเป็น 29.50 cm เหนือเซลล์ปุ่มกดของ TNKM สัญญาณแถบกว้างยิ่งได้ทดสอบใน 2 มาตรฐานคือ IEEE802.15.3a และ IEEE802.15.4a ทุก ๆ การทดสอบได้ทำการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ในช่วงความถี่ 3 GHz ถึง 11 GHz ในการทดสอบแบ่งเป็น 4 การทดสอบ ได้แก่ การทดสอบพารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์ของอาสาสมัครทั้งหมด 7 คน การทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่ การทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก และสุดท้ายเป็นการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียม จากผลการทดสอบแรกได้แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ RCS อย่างมีนัยสำคัญเมื่อมุมเปลี่ยนไป และผลกระทบที่น้อยมากเมื่อทำการเปลี่ยนอาสาสมัคร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ RCS เป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการหาตำแหน่ง จากผลการทดสอบที่เหลือโดยภาพรวมแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ RCS กับการวางสายอากาศระนาบแนวนอนกับแนวนอน ได้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด ส่วนระดับความสูงของวัตถุ นั้น พบว่า สามารถนำมาใช้สำหรับ TNKM ได้ทั้ง 2 ระดับ

Thesis	Evaluation of Indoor Positioning Using Fingerprinting Technique for Touchless Numeric Keypad Model
Student	Ms. Wipassorn Vinicchayakul
Student ID.	56601033
Degree	Doctor of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Dr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

This thesis is to evaluate a touchless numeric keypad model (TNKM) by using fingerprinting technique to work together with radar cross section (RCS) parameter, which calculates from frequency sweep signal in order to locate of human's index finger and an aluminum hollow rod above button-cells of TNKM. The radar equation has been improved in order to find RCS parameter from frequency sweep signal. Three conditions for the TNKM testing are parameters, planes of antenna alignment, and heights of object above the button-cells of TNKM. For parameters, 4 parameters were tested, namely the path loss and delay time parameter for the ultra wideband (UWB) signal, the average power loss parameter for the narrow band (NB) signal and the proposed RCS parameters. For planes of antenna alignment, the vertical-vertical (V-V) plane and horizontal-horizontal (H-H) plane of biconical antennas were tested. For heights of object above the button-cells, the initial height of 19.50 cm is identical to the heights of transmitting (Tx) antenna and receiving (Rx) antennas, while the second height is 29.50 cm from the button-cell of TNKM. For the UWB signal, we follow to the standard of IEEE802.15.3a and IEEE802.15.4a. Every experiment, the frequency transfer function measurements were carried out in an indoor environment by using vector network analyzer (VNA) in frequency range of 3 GHz to 11 GHz. Four experiments were tested; the RCS parameter of human's index finger testing with 7 volunteers, the TNKM testing with human's index finger in a big TNKM, the TNKM testing with human's index finger in a small TNKM, and the TNKM testing with the aluminum hollow rod. From the first experiment, the results show that the significant effect of angle variation and minimal effect of human factor render the RCS parameters a good candidate for localization. From the second to forth experimental results, overall, the RCS parameters and H-H plane are the best results. Both of the heights of object can use for TNKM.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือด้านความรู้ คำปรึกษาแนะนำ การวางแผนการทำงาน แนะนำด้านเอกสารการค้นคว้าวิจัย อำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ อีกทั้งยังช่วยเหลือด้านการแก้ปัญหาที่เกิดจากการค้นคว้าทดลอง การตรวจและแก้ไขงานวิจัยจากอาจารย์ ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของข้าพเจ้า จึงขอกราบขอบพระคุณท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ดังกล่าวเป็นอย่างยิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล อาจารย์ประจำสาขาวิชาโทรคมนาคม ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษาแนะนำทางด้านเทคนิคการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ Vichit Lohprapan อาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิทางการเขียนงานวิจัย เป็นภาษาอังกฤษ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจงานงานวิจัยภาษาอังกฤษ ให้มีความถูกต้องจนได้รับความสำเร็จในการตีพิมพ์

ขอกราบขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นอย่างยิ่ง ที่ได้มอบทุนการศึกษาให้กับผู้วิจัยมาตลอด 3 ปี ที่ทำการศึกษาทั้งค่าใช้จ่ายส่วนตัว ค่าทำวิจัย ค่านำเสนอผลงาน และอื่น ๆ เป็นผลให้การศึกษาค้นคว้า และการจัดทำวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าเป็นไปด้วยความเรียบร้อย และมีประสิทธิผล

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัววิจิณัยกุล ทุกท่านที่ให้ความสำคัญ ให้คำปรึกษา ตลอดจนช่วยเหลือด้านทุนทรัพย์ และให้ความรัก ความห่วงใย รวมถึงกำลังใจให้กับผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาเอกและปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ ให้คำปรึกษาแนะนำ และช่วยเหลือทางด้านเทคนิคการใช้เครื่องมือต่าง ๆ จนเป็นผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ได้ช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาแนะนำ และให้กำลังใจ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครู อาจารย์ และนักวิชาการที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

วิภััสสร วิจิณัยกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา.....	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานก่อนการประยุกต์ใช้กับ TNKM.....	7
2.1 กล่าวนำ.....	7
2.2 ทบทวนวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.2.1 วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.2.2 สรุปการทบทวนวรรณกรรม.....	8
2.3 ระบบเรดาร์.....	9
2.3.1 ประวัติการพัฒนาของเรดาร์.....	10
2.3.2 ชนิดของเรดาร์.....	11
2.3.3 รูปแบบการใช้งานของเรดาร์.....	15
2.3.4 ชนิดของช่องสัญญาณ.....	16
2.3.5 ชนิดของเป้าหมาย.....	16
2.3.6 สมการเรดาร์ (Radar equation).....	17
2.4 เทคโนโลยี UWB.....	23
2.4.1 นิยามของสัญญาณ UWB.....	23
2.4.2 หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยี UWB.....	24
2.4.3 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสาร UWB.....	26
2.4.4 มาตรฐานของระบบการสื่อสาร UWB.....	28
2.4.5 ข้อดีของระบบการสื่อสาร UWB.....	28
2.4.6 การประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยี UWB.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 เทคนิคการหาตำแหน่งโดยทั่วไป (General localization techniques).....	31
2.5.1 การหาตำแหน่งโดยการพิจารณาจาก RSS.....	31
2.5.2 การหาตำแหน่งโดยการพิจารณาจาก TOA.....	33
2.5.3 การหาตำแหน่งโดยการพิจารณาจาก TDOA.....	33
2.5.4 การหาตำแหน่งโดยการพิจารณาจาก AOA.....	35
2.6 เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ.....	36
2.6.1 เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือหรือวิธีการพิจารณาความเป็นเอกลักษณ์ ของตำแหน่ง.....	36
2.6.2 อัลกอริทึม MRMSE.....	38
2.6.3 การวิเคราะห์ความแม่นยำของการหาตำแหน่ง.....	39
2.7 สรุป.....	39
บทที่ 3 การประยุกต์ใช้และปรับปรุงทฤษฎีพื้นฐานสำหรับ TNKM.....	40
3.1 กล่าวนำ.....	40
3.2 การสร้างสัญญาณส่ง.....	40
3.2.1 สัญญาณส่ง UWB.....	40
3.2.2 สัญญาณส่ง NB และสัญญาณกวาดความถี่.....	42
3.3 การประมวลผลสัญญาณรับ.....	42
3.3.1 พารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT.....	42
3.3.2 พารามิเตอร์ POL.....	43
3.3.3 พารามิเตอร์ RCS.....	43
3.4 การหาตำแหน่งของวัตถุเหนือเซลล์ปุ่มกด TNKM.....	45
3.5 สรุป.....	46
บทที่ 4 การออกแบบและจัดทำทดสอบ TNKM.....	47
4.1 กล่าวนำ.....	47
4.2 ฝั่งงานการประมวลผลสัญญาณและการประมวลผลตำแหน่งของ TNKM.....	47
4.2.1 ฝั่งงานการประมวลผลสัญญาณ.....	47
4.2.2 ฝั่งงานการประมวลผลตำแหน่งของ TNKM.....	50
4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ.....	52
4.4 แบบจำลองสำหรับการทดสอบและการเตรียมการวัดช่องสัญญาณ.....	54
4.4.1 การทดสอบพารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์.....	55
4.4.2 การทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่.....	56
4.4.3 การทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก.....	57
4.4.4 การทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมเมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในวงกว้าง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 ขั้นตอนการเตรียมการวัดช่องสัญญาณ.....	60
4.5.1 การเตรียมการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบพารามิเตอร์ RCS นิ้วชี้ของมนุษย์.....	61
4.5.2 การเตรียมการวัดสำหรับการทดสอบ TNKM ขนาดใหญ่กับนิ้วชี้ของ มนุษย์.....	62
4.5.3 การเตรียมการวัดสำหรับการทดสอบ TNKM ขนาดเล็กกับนิ้วชี้ของ มนุษย์.....	63
4.5.4 การเตรียมการวัดสำหรับการทดสอบ TNKM ขนาดใหญ่กับแท่งอลูมิเนียม..	64
4.6 สรุป.....	66
บทที่ 5 ผลการทดลองวิจัย.....	67
5.1 กล่าวนำ.....	67
5.2 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์.....	67
5.3 ผลการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่.....	70
5.4 ผลการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก.....	73
5.5 ผลการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียม.....	76
5.6 สรุป.....	91
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	93
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	93
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	94
เอกสารอ้างอิง.....	95
ภาคผนวก.....	100
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการ.....	100
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่.....	101
ภาคผนวก ค. ตารางผลการทดสอบค่าความเที่ยงตรงของพารามิเตอร์ RCS.....	102
ประวัติผู้เขียน.....	106

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานสำหรับการสื่อสาร UWB ภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC	28
4.1 พารามิเตอร์ในการวัดช่องสัญญาณด้วยเครื่อง VNA สำหรับการทดสอบพารามิเตอร์ RCS ของนิวซ์ของมนุษย์.....	55
4.2 พารามิเตอร์ในการวัดช่องสัญญาณด้วยเครื่อง VNA สำหรับการทดสอบ TNKM กับนิวซ์ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่.....	57
4.3 พารามิเตอร์ในการวัดช่องสัญญาณด้วยเครื่อง VNA สำหรับการทดสอบ TNKM กับนิวซ์ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก.....	59
4.4 พารามิเตอร์ในการวัดช่องสัญญาณด้วยเครื่อง VNA สำหรับการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมเมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่.....	60



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา TNKM.....	5
2.1 องค์ประกอบโดยทั่วไปของระบบเรดาร์.....	10
2.2 เรดาร์เอกสถิต.....	12
2.3 เรดาร์ทวิสถิต.....	12
2.4 เรดาร์แบบหลายเครื่องส่งเครื่องรับ.....	13
2.5 ภาพรวมของระบบเรดาร์.....	18
2.6 เรดาร์สำหรับการสื่อสาร.....	21
2.7 ระบบส่งคลื่นผ่านบรรยากาศ.....	22
2.8 สัญญาณ UWB ซึ่งมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 หรือมีแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz.....	24
2.9 สัญญาณ UWB ซึ่งมีพัลส์แคบในโดเมนเวลาจึงมีแถบความถี่กว้างมากในโดเมนความถี่.....	25
2.10 เปรียบเทียบการใช้งานแถบความถี่ของการสื่อสาร UWB กับการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบอื่น ๆ	25
2.11 สเปกตรัมมาร์คสำหรับการจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นแถบกำลังงานสำหรับการสื่อสารภายในอาคารที่กำหนดโดย FCC	27
2.12 สเปกตรัมมาร์คสำหรับการจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นแถบกำลังงานสำหรับการสื่อสารภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC	27
2.13 สัญญาณหลายวิถีซึ่งเกิดจากการสะท้อนของสัญญาณ UWB ภายในห้องจากเครื่องส่งเครื่องรับ.....	29
2.14 การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยี UWB	30
2.15 วิธีการ Trilateration.....	31
2.16 วิธีการหาตำแหน่งโดยการพิจารณาของสัญญาณที่มาถึง.....	35
2.17 การทำงานของเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ.....	37
2.18 การตรวจสอบสินค้าในคลังสินค้า.....	37
3.1 ภาพรวมการประมวลผล TNKM.....	40
3.2 รูปคลื่นของสัญญาณส่ง UWB ในโดเมนเวลา.....	41
3.3 สเปกตรัมของสัญญาณส่ง UWB ในโดเมนความถี่.....	41
3.4 ขั้นตอนการทำฐานข้อมูลของเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึม MRMSE	45
3.5 ขั้นตอนการหาตำแหน่งของเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึม MRMSE	45
4.1 ผังงานการประมวลผลสัญญาณเป็นพารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT สำหรับ TNKM...	48
4.2 ผังงานการประมวลผลสัญญาณเป็นพารามิเตอร์ POL สำหรับ TNKM.....	49
4.3 ผังงานการประมวลผลสัญญาณเป็นพารามิเตอร์ RCS.....	50
4.4 ผังงานการประมวลผลตำแหน่งของ TNKM ขั้นการสร้างฐานข้อมูล.....	51
4.5 ผังงานขั้นการหาตำแหน่งเซลล์ปุ่มกดของวัตถุเหนือ TNKM.....	52
4.6 เครื่อง VNA ที่ใช้ในการทดสอบ TNKM	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 อัตราการขยายสายอากาศแบบกรวยคู่	53
4.8 $ S_{11} $ ของสายอากาศแบบกรวยคู่	54
4.9 สายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ในการทดสอบ	54
4.10 แบบจำลองการทดสอบพารามิเตอร์ RCS กับนิ้วมือมนุษย์ เมื่อมีการเปลี่ยนอาสาสมัคร.....	55
4.11 แบบจำลองการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่.....	57
4.12 แบบจำลองการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก.....	58
4.13 แบบจำลองการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมเมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่.....	60
4.14 การจำลองการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบพารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์ เมื่อมีการเปลี่ยนอาสาสมัคร 7 คน.....	61
4.15 การจำลองการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่.....	62
4.16 การจำลองการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก.....	63
4.17 การจำลองการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก.....	64
4.18 การจำลองการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมเมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่.....	65
4.19 แท่งอลูมิเนียมที่ใช้ในการจำลองการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบ TNKM กับ แท่งอลูมิเนียมเมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่.....	65
5.1 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS สูงสุดเมื่อทำการทดสอบกับอาสาสมัครทั้ง 7 คน ณ มุม ต่าง ๆ ที่ระดับความสูงของนิ้วชี้ของมนุษย์ 19.50 cm.....	68
5.2 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS เฉลี่ยเมื่อทำการทดสอบกับอาสาสมัครทั้ง 7 คน ณ มุม ต่าง ๆ ที่ระดับความสูงของนิ้วชี้ของมนุษย์ 19.50 cm.....	69
5.3 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS สูงสุดเมื่อทำการทดสอบกับอาสาสมัครทั้ง 7 คน ณ มุม ต่าง ๆ ที่ระดับความสูงของนิ้วชี้ของมนุษย์ 29.50 cm.....	69
5.4 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS เฉลี่ยเมื่อทำการทดสอบกับอาสาสมัครทั้ง 7 คน ณ มุม ต่าง ๆ ที่ระดับความสูงของนิ้วชี้ของมนุษย์ 29.50 cm.....	70
5.5 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS และ POL ที่ระดับความสูงนิ้วชี้ของมนุษย์เหนือเซลล์ ปุ่มกด 19.50 cm.....	71
5.6 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS และ POL ที่ระดับความสูงนิ้วชี้ของมนุษย์เหนือเซลล์ ปุ่มกด 29.50 cm.....	71
5.7 ผลการทดสอบของพารามิเตอร์ RCS เมื่อใช้สัญญาณกวาดความถี่.....	72
5.8 ผลการทดสอบของพารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT เมื่อใช้สัญญาณส่ง UWB.....	72
5.9 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS และพารามิเตอร์ POL กับ TNKM ขนาดเล็ก.....	73
5.10 ผลการทดสอบของพารามิเตอร์ RCS เมื่อใช้สัญญาณกวาดความถี่กับ TNKM ขนาดเล็ก.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IX อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.11 ผลการทดสอบของพารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT เมื่อใช้สัญญาณส่ง UWB กับ TNKM ขนาดเล็ก.....	74
5.12 การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ RCS ที่แต่ละความถี่ในช่วง 3 GHz ถึง 11 GHz ของ Rx1 เซลล์ปุ่มกดที่ 0.....	75
5.13 การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ RCS ที่แต่ละความถี่ในช่วง 3 GHz ถึง 11 GHz ของ Rx2 เซลล์ปุ่มกดที่ 0.....	75
5.14 การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ RCS ที่แต่ละความถี่ในช่วง 3 GHz ถึง 11 GHz ของ Rx3 เซลล์ปุ่มกดที่ 0.....	76
5.15 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS และพารามิเตอร์ POL กับแท่งอลูมิเนียมบน TNKM.....	77
5.16 ผลการทดสอบของพารามิเตอร์ PL พารามิเตอร์ DT และพารามิเตอร์ RCS เมื่อใช้ช่วงความถี่ของสัญญาณ UWB.....	77
5.17 ผลของพารามิเตอร์ RCS ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมเมื่อมีการลดความถี่จาก UWB-LB	78
5.18 พารามิเตอร์ RCS ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx1-Rx5.....	79
5.19 พารามิเตอร์ RCS ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx1.....	80
5.20 พารามิเตอร์ RCS ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx2.....	80
5.21 พารามิเตอร์ RCS ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx3.....	81
5.22 พารามิเตอร์ RCS ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx4.....	81
5.23 พารามิเตอร์ RCS ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx5.....	82
5.24 พารามิเตอร์ POL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx1-Rx5.....	82
5.25 พารามิเตอร์ POL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx1.....	83
5.26 พารามิเตอร์ POL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx2.....	83
5.27 พารามิเตอร์ POL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx3.....	84
5.28 พารามิเตอร์ POL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx4.....	84
5.29 พารามิเตอร์ POL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx5.....	85
5.30 พารามิเตอร์ PL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx1- Rx5.....	85
5.31 พารามิเตอร์ PL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx1.....	86
5.32 พารามิเตอร์ PL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx2.....	86
5.33 พารามิเตอร์ PL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx3.....	87
5.34 พารามิเตอร์ PL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx4.....	87
5.35 พารามิเตอร์ PL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx5.....	88
5.36 พารามิเตอร์ DT ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx1- Rx5.....	88
5.37 พารามิเตอร์ DT ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx1.....	89
5.38 พารามิเตอร์ DT ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx2.....	89
5.39 พารามิเตอร์ DT ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx3.....	90
5.40 พารามิเตอร์ DT ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx4.....	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ X ึ่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

5.41 พารามิเตอร์ DT ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx5..... 91



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และขี้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันระบบการหาตำแหน่งเริ่มใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น การใช้ในการนำทางรถยนต์ไปยังจุดหมาย การใช้หาตำแหน่งของเครื่องบิน และการใช้ในการติดตามรถยนต์ เป็นต้น [1]-[2] ทั้งนี้ล้วนแล้วแต่อำนวยความสะดวก เพิ่มความปลอดภัยให้กับชีวิตและทรัพย์สินของมนุษย์เป็นอย่างมาก นอกจากนี้การนำระบบหาตำแหน่งมาประยุกต์ใช้กับภายนอกอาคารแล้ว นักวิจัยจำนวนมากได้นำระบบการหาตำแหน่งมาประยุกต์ใช้ภายในอาคาร เพื่อช่วยในการอำนวยความสะดวก เพิ่มความปลอดภัยให้กับชีวิตและทรัพย์สินของมนุษย์เช่นเดียวกันกับการใช้ภายนอกอาคาร เป็นต้นว่า การนำระบบการหาตำแหน่งมาใช้ในการหาตำแหน่งตนเองในห้างสรรพสินค้า การหาตำแหน่งของสินค้าในคลังสินค้า การระบุตำแหน่งของผู้ป่วยในโรงพยาบาล และการนำมาใช้ในเหตุการณ์ฉุกเฉิน เช่น การค้นหาตำแหน่งของนักดับเพลิงซึ่งเข้าไปค้นหาผู้ประสบภัยภายในอาคาร และอีกหลายการประยุกต์ใช้ เป็นต้น [3]-[14] ดังนั้น การพิจารณาตำแหน่งจึงควรต้องมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะระบบการหาตำแหน่งภายในอาคารซึ่งเกิดสภาพการจางหายหลายวิธีสูง จึงต้องคำนึงถึงเรื่องของสัญญาณและวิธีการที่ใช้ในการหาตำแหน่งเป็นอย่างมาก

ในเรื่องของสัญญาณ สัญญาณที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบการหาตำแหน่งเป็นส่วนมาก ได้แก่ สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband: UWB) [15]-[20] และสัญญาณแบบแถบแคบ (Narrow band: NB) [21]-[22] สำหรับสัญญาณ UWB นั้นมีลักษณะเด่นที่ทำให้เป็นที่สนใจ เนื่องจากเป็นสัญญาณไร้สายที่ใช้กำลังงานส่งต่ำจึงไม่ไปรบกวนสัญญาณอื่น ๆ อีกทั้งมีแบนด์วิดท์ที่กว้างจึงสามารถลดปัญหาที่เกิดมาจากองค์ประกอบของคลื่นหลายวิธีได้ จึงทำให้สัญญาณ UWB เป็นที่สนใจในการนำมาใช้เพื่อให้การหาตำแหน่งมีความแม่นยำมากขึ้น ส่วนทางด้านสัญญาณ NB นั้น มีใช้กันแพร่หลายในระบบการสื่อสารทั่วไปจึงรองรับอุปกรณ์ได้หลากหลาย และสามารถใช้ได้ในระยะไกลมากกว่าสัญญาณ UWB จึงทำให้สัญญาณ NB เป็นอีกหนึ่งสัญญาณที่ได้รับความนิยมโดยทั่วไป

ในเรื่องของวิธีการที่นำมาใช้ในการหาตำแหน่ง วิธีการที่นิยมนำมาใช้ในระบบหาตำแหน่งโดยทั่วไป เช่น วิธีการพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณ (Received Signal Strengths: RSS) วิธีการพิจารณาทิศทางการมาถึงของสัญญาณ (Angles of Arrival: AOA) วิธีการพิจารณาเวลาการมาถึงของสัญญาณ (Times of Arrival: TOA) และวิธีการพิจารณาความต่างของเวลาในการมาถึงของสัญญาณ (Time Difference of Arrival: TDOA) เป็นต้น [3], [23] ซึ่งวิธีการดังกล่าวอยู่ภายใต้เงื่อนไขการแพร่กระจายสัญญาณซึ่งมักได้รับผลกระทบจากคลื่นหลายวิธี หรือสภาวะที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา สำหรับในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร วิธีการเหล่านี้จึงไม่มีความแม่นยำในการหาตำแหน่งพอ [5]-[6] ดังนั้น เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ (Fingerprinting technique) จึงเป็นที่สนใจ เนื่องด้วยเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือนั้นใช้การพิจารณาเอกลักษณ์ของตำแหน่ง โดยได้นำเอาคุณลักษณะของช่องสัญญาณซึ่งเกิดจากตำแหน่งนั้น ๆ มาสร้างเป็นลายลักษณ์ต้นแบบ แล้วบันทึกลงฐานข้อมูล จากนั้นในขั้นตอนการหาตำแหน่ง ตำแหน่งต่าง ๆ ที่ต้องการทราบจะได้รับการประมวลผลโดยการนำลายลักษณ์

ของตำแหน่งนั้น ๆ มาเปรียบเทียบกับลายลักษณ์ต้นแบบที่ได้บันทึกไว้ในฐานข้อมูลด้วยอัลกอริทึมแบบรูป การจับคู่ ซึ่งมีหน้าที่ในการประมวลผลระหว่างลายลักษณ์จากตำแหน่งที่ได้ในขณะนั้นกับลายลักษณ์ ต้นแบบในฐานข้อมูลเป็นตำแหน่งต่าง ๆ

ด้วยคุณลักษณะเด่นของเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ ซึ่งอาศัยลักษณะเฉพาะของแต่ละตำแหน่ง ในการแยกแยะตำแหน่ง และจากงานวิจัยทางด้านเรดาร์ ซึ่งพบว่าแต่ละวัตถุจะมีคุณสมบัติในการสะท้อนคลื่น ไปยังทิศทางต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน หรือที่เรียกว่าสัญญาณการกระจัดกระจาย (Scattering signal) ซึ่ง สัญญาณการกระจัดกระจายจากวัตถุถูกนำมาแสดงในรูปแบบของภาคตัดขวางเป้าเรดาร์ (Radar cross section: RCS) ซึ่ง RCS นี้จะมีค่าเฉพาะตัวตามความแตกต่างของวัตถุ เช่น ต้นไม้ แก้ว และมนุษย์ เป็นต้น [24]-[29] นอกจากนี้ หากเป็นวัตถุเดียวกันค่า RCS สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงไปได้โดยขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ระยะทาง มุม และความถี่ เป็นต้น

จากย่อหน้าแรก จะเห็นได้ว่าระบบการหาตำแหน่งนั้น ได้รับความนิยมนำมาใช้กับงานที่มีความ หลากหลาย อีกทั้งการหาตำแหน่งที่ได้ยกตัวอย่างมานั้น ส่วนมากเป็นการหาตำแหน่งซึ่งใช้เครื่องส่ง หาตำแหน่งเครื่องรับ หรือไม่มีเครื่องรับหาตำแหน่งเครื่องส่ง ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้ทำการทดสอบ การหาตำแหน่งของวัตถุซึ่งไม่มีแท็กติดที่ตัววัตถุ โดยการหาตำแหน่งนั้นได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้าง เป็นแบบจำลองแผงแป้นตัวเลขไร้การสัมผัส (Touchless Numeric Keypad Model: TNKM) ซึ่งเป็น เทคโนโลยีแห่งโลกอนาคต ซึ่งใช้หลักการประมวลผลสัญญาณรับเป็นพารามิเตอร์ต่าง ๆ ร่วมกับเทคนิค เสมือนการสแกนลายนิ้วมือและอัลกอริทึมแบบรูปการจับคู่รากของกำลังสองเฉลี่ยของความผิดพลาดต่ำที่สุด (Minimum Root Mean Square Error algorithm: MRMSE) อัลกอริทึม MRMSE ได้รับความเลือก เนื่องจากเป็นอัลกอริทึมที่ไม่มีความซับซ้อน มีการทำงานรวดเร็ว และไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพ ความผิดพลาดในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ ระบายการวางสายอากาศ และความสูงของวัตถุเหนือ เซลล์ปุ่มกด TNKM

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้จัดทำขึ้นโดยมีความมุ่งหมายในการพัฒนาวิธีการหาตำแหน่งของวัตถุ เพื่อให้ สามารถหาตำแหน่งของวัตถุได้ แม้ว่าจะไม่มีเครื่องส่งหรือเครื่องรับอยู่ที่วัตถุ โดยมีวัตถุประสงค์ของ การศึกษา ดังต่อไปนี้

- 1.2.1 เพื่อศึกษาเทคโนโลยี ทฤษฎีเรดาร์ และทฤษฎีการหาตำแหน่ง
- 1.2.2 เพื่อออกแบบและสร้าง TNKM
- 1.2.3 เพื่อศึกษาและทดสอบการใช้สัญญาณ UWB สัญญาณ NB และสัญญาณการกระจัดกระจาย จากวัตถุ ในการหาตำแหน่งของนิ้วชี้ของมนุษย์ และแท่งโลหะสำหรับ TNKM
- 1.2.4 เพื่อปรับปรุงสมการการหา RCS จากสมการเรดาร์ให้สามารถใช้กับสัญญาณกวาดความถี่ (Frequency sweep) ได้
- 1.2.5 เพื่อศึกษาและทดสอบการหาตำแหน่งของนิ้วชี้ของมนุษย์และแท่งอลูมิเนียมสำหรับ TNKM โดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึม MRMSE
- 1.2.6 เพื่อประเมินผลของ TNKM เมื่อทดสอบกับนิ้วชี้ของมนุษย์และแท่งอลูมิเนียม

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากความเป็นมา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา ได้นำไปสู่สมมติฐานของการศึกษาดังต่อไปนี้

1.3.1 สามารถนำ RCS มาประยุกต์ใช้กับการหาตำแหน่งของนิ้วชี้ของมนุษย์และแท่งอลูมิเนียมด้วยเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือสำหรับ TNKM ได้

1.3.2 การใช้พารามิเตอร์ RCS เป็นพารามิเตอร์อินพุตในการหาตำแหน่งของวัตถุเหนือเซลล์ปุ่มกดของ TNKM จะให้ผลลัพธ์ความแม่นยำของการหาตำแหน่งสูงกว่าพารามิเตอร์อื่น ๆ

1.3.3 การใช้พารามิเตอร์ RCS ที่ได้มาจากการใช้สัญญาณกวาดความถี่ จะให้ผลลัพธ์ความแม่นยำของการหาตำแหน่งบน TNKM ได้ดีกว่าการใช้พารามิเตอร์ RCS ที่ได้มาจากการใช้สัญญาณความถี่เดียว

1.3.4 สามารถประมวลผลตำแหน่งของนิ้วชี้ของมนุษย์และแท่งอลูมิเนียมเหนือเซลล์ปุ่มกดของ TNKM ได้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการออกแบบการจำลองและประเมินผลการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือสำหรับ TNKM โดยจำกัดขอบเขตการวิจัย ดังนี้

1.4.1 การออกแบบ จำลอง และการประเมินผลของการหาตำแหน่งวัตถุเหนือเซลล์ปุ่มกดสำหรับ TNKM นั้น ได้ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector network analyzer: VNA) ที่ช่วงความถี่ 3 GHz ถึง 11 GHz ร่วมกับสายอากาศกรวยคู่และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB ในห้องสัญญาณ และประมวลผลของ TNKM

1.4.2 การทำการทดสอบ จะทำอยู่ในพื้นที่ไม่เกิน 1.3×1.3 m ความสูงของวัตถุเหนือเซลล์ปุ่มกดสำหรับ TNKM นั้นไม่เกิน 30 cm และ TNKM จะวางไว้บนโต๊ะภายใต้สภาวะแวดล้อมภายในอาคาร

1.4.3 วัตถุที่ใช้ในการทดสอบมีเพียงแท่งอลูมิเนียมกลมยาว 28 cm มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 cm และนิ้วชี้ของมนุษย์เท่านั้น

1.4.4 อาสาสมัครที่ทำการทดสอบทั้ง 8 คน มีรูปร่างลักษณะที่ต่างกัน มีทั้งเพศชายและเพศหญิง มีช่วงอายุอยู่ระหว่าง 21 ปี ถึง 32 ปี มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 45 kg ถึง 90 kg และมีส่วนสูงอยู่ในช่วง 155 cm ถึง 180 cm

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้คำจำกัดความคำต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการอ่านและการทำความเข้าใจ ซึ่งประกอบไปด้วยคำต่าง ๆ ดังนี้

1.5.1 นิ้วชี้ของมนุษย์ ให้หมายถึง มือมนุษย์ที่กำลังชี้นิ้วชี้ออกไป

1.5.2 แท่งอลูมิเนียม หมายถึง แท่งอลูมิเนียมที่ใช้ในการทดสอบเท่านั้น

1.5.3 วัตถุ หมายถึง นิ้วชี้ของมนุษย์และแท่งอลูมิเนียมเท่านั้น

1.5.4 สัญญาณส่ง UWB ตามมาตรฐาน IEEE802.15.3a ซึ่งครอบคลุมความถี่ในช่วง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz จะเรียกว่าสัญญาณส่ง UWB เต็มแบนด์ (Full band: FB) และเรียกโดยรวมว่า UWB-FB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.5 สัญญาณส่ง UWB ตามมาตรฐาน IEEE802.15.4a ซึ่งครอบคลุมความถี่ 2 ช่วง ได้แก่

1.5.5.1 ช่วงความถี่ 3.244 GHz ถึง 4.742 GHz จะเรียกว่าสัญญาณส่ง UWB ในช่วงความถี่ต่ำ (Low band: LB) และเรียกโดยรวมว่า UWB-LB

1.5.5.2 ช่วงความถี่ 5.944 GHz ถึง 10.234 GHz จะเรียกว่าสัญญาณส่ง UWB ในช่วงความถี่สูง (High band: HB) และเรียกโดยรวมว่า UWB-HB

1.5.6 พารามิเตอร์การสูญเสียกำลังงานเชิงวิถี (Path loss parameter) ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้คำย่อเป็นพารามิเตอร์ PL และมีตัวแปรในสมการเป็น PL สำหรับการแสดงผลกราฟจะใช้คำย่อเป็น PL เท่านั้น

1.5.7 พารามิเตอร์การประวิงเวลา (Delay time parameter) จะใช้คำย่อเป็นพารามิเตอร์ DT และมีตัวแปรในสมการเป็น t สำหรับการแสดงผลในรูปแบบกราฟจะใช้คำย่อเป็น DT เท่านั้น

1.5.8 พารามิเตอร์การสูญเสียกำลังงานเฉลี่ย (Average power loss parameter) จะใช้คำย่อเป็นพารามิเตอร์ POL และมีตัวแปรในสมการเป็น POL สำหรับการแสดงผลในรูปแบบกราฟจะใช้คำย่อเป็น POL เท่านั้น

1.5.9 พารามิเตอร์ RCS จะใช้ตัวแปรในสมการเป็น R เนื่องจากสัญลักษณ์โดยปกติไปซ้อนทับกับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังนั้น เพื่อป้องกันการเข้าใจผิดจึงใช้สัญลักษณ์เป็น R ส่วนการแสดงผลกราฟจะใช้คำย่อเป็น RCS เท่านั้น

1.5.10 ความแม่นยำ หมายถึง ความใกล้เคียงกันของค่าที่ได้จากการทดสอบกับค่าจริง

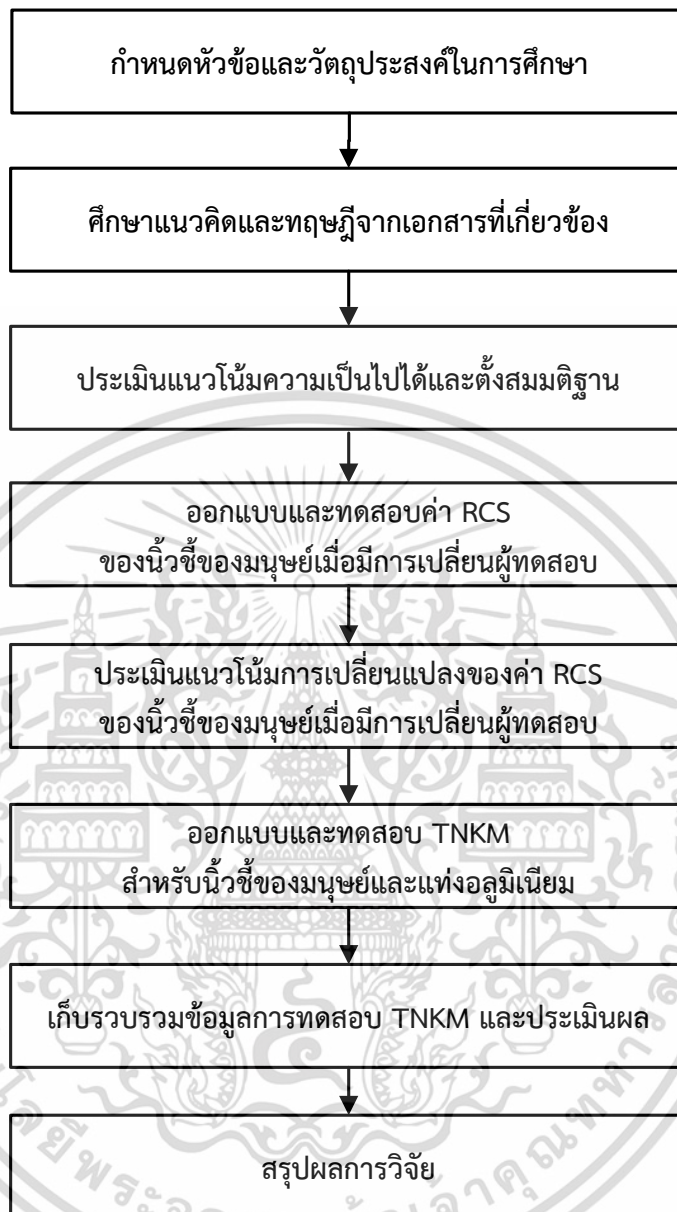
1.5.11 ความเที่ยงตรง หมายถึง ความใกล้เคียงกันภายในกลุ่มของค่าที่ได้จากการทดสอบ

1.5.12 การวางสายอากาศในระนาบแนวนอน หมายถึง การติดตั้งสายอากาศในระนาบแนวนอนทั้งสายอากาศส่งและสายอากาศรับ (Horizontal-Horizontal: H-H) สำหรับการแสดงผลกราฟจะใช้คำย่อเป็น H-H เท่านั้น

1.5.13 การวางสายอากาศในระนาบแนวตั้ง หมายถึง การติดตั้งสายอากาศในการทดสอบในระนาบแนวตั้งทั้งสายอากาศส่งและสายอากาศรับ (Vertical-Vertical: V-V) สำหรับการแสดงผลกราฟจะใช้คำย่อเป็น V-V เท่านั้น

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

สำหรับขั้นตอนการศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้เริ่มจากการศึกษาแนวคิด และทฤษฎีต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับงานวิจัย หลังจากได้แนวคิดในการวิจัยแล้วจึงได้ทำการออกแบบ TNKM โดยทำการออกแบบแบบจำลองตามทฤษฎีที่ได้ทำการศึกษา จากนั้น ทดสอบแบบจำลองโดยใช้เครื่อง VNA และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB แล้วทำการประเมินผล TNKM โดยขั้นตอนการศึกษาเป็นดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา TNKM

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท คือ
 บทที่ 1 บทนำ ประกอบไปด้วย 6 ส่วน คือ ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์การศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ขอบเขตของการศึกษา คำจำกัดความในการศึกษา และขั้นตอนการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานก่อนการประยุกต์ใช้กับ TNKM ได้แก่ การทบทวนวรรณกรรม หรือ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ระบบเรดาร์ เทคโนโลยี UWB เทคนิคการหาตำแหน่งทั่วไป และเทคนิคสุดท้ายเป็นการอธิบายเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ

บทที่ 3 เป็นการประยุกต์ใช้และปรับปรุงทฤษฎีพื้นฐานสำหรับ TNKM โดยบทนี้มีเนื้อหาหลัก ๆ คือ การส่งสัญญาณ การประมวลผลสัญญาณภาครับ และการระบุตำแหน่งของวัตถุ

บทที่ 4 การออกแบบและจัดทำกรวิจัยได้แสดงแผนผังการประมวลผลสัญญาณสำหรับการทดสอบ และรายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ รวมทั้งแสดงแบบจำลองในการทดสอบและการจัดเตรียมการวัดช่องสัญญาณ

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดลองวิจัยของการทดสอบ การวิเคราะห์ และประเมินผล โดยผลการทดสอบประกอบไปด้วย ผลการทดสอบเพื่อประเมินผลค่า RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์ เมื่อมีการเปลี่ยนอาสาสมัคร 7 คน ถัดไปเป็นผลจากการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่ จากนั้นเป็นผลการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก และผลการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียม สุดท้ายได้กล่าวถึงการสรุปผลการทดสอบจากทุก ๆ การทดสอบ

บทที่ 6 กล่าวถึงบทสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะจากการวิจัย

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานก่อนการประยุกต์ใช้กับ TNKM

2.1 กล่าวนำ

ทฤษฎีพื้นฐานก่อนการประยุกต์ใช้กับ TNKM ประกอบด้วย การทบทวนวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ระบบเรดาร์ เทคโนโลยี UWB เทคนิคการหาตำแหน่งโดยทั่วไป และเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2 ทบทวนวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องนี้ ได้นำเสนอเพียงส่วนหนึ่ง ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดแนวคิดในการทำวิทยานิพนธ์นี้ขึ้นมา โดยมีเนื้อหาดังนี้

2.2.1 วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากบทความของ Y. Gu, A. Lo and I. Niemegeers เรื่อง A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks และหนังสือเรื่อง Ultra-Wideband Positioning Systems ของ Z. Sahinoglu, S. Gezici และ I. Guvenc ได้ทำการสำรวจการหาตำแหน่งภายในอาคารสำหรับโครงข่ายส่วนบุคคล โดยได้กล่าวถึงเทคโนโลยีแบบต่าง ๆ เช่น อินฟราเรด (Infrared: IR) คลื่นความถี่เหนือเสียง (Ultrasonic) อาร์เอฟไอดี (Radio-Frequency Identification: RFID) แลนไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) บลูทูธ (Bluetooth) และ UWB เป็นต้น และหนังสือเรื่อง Ultra-Wideband Positioning Systems ได้แสดงรายละเอียดของวิธีการหาตำแหน่งแบบต่าง ๆ เช่น Latelation AOA และเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ เป็นต้น

จากบทความของ J. Kämäräinen, A. Tenhunen, M. Pellinen และ T. Lehtonen เรื่อง Experimental results on obstacle indication on Impulse UWB radar imaging ทำให้ทราบว่ามีการใช้สัญญาณ UWB รูปแบบพัลส์เรดาร์ในการตรวจจับมนุษย์และวัตถุอื่น ๆ ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร โดยใช้วิธีการคิดแบบการรวมกันของสัญญาณ

จากบทความของ X. Chen, H. Leung และ M. Tian เรื่อง Multitarget Detection and Tracking for Through-the-Wall Radars ได้ทำการใช้พารามิเตอร์ทางเวลาการสะท้อนของสัญญาณ UWB ร่วมกับอัลกอริทึมต่าง ๆ ในการติดตามมนุษย์ภายในห้องทดลองแบบทะลุกำแพง

จากบทความของ B. Sun, X. Wang, B. Moran และ X. Li เรื่อง Target Tracking using Range and RCS Measurements in a MIMO Radar Network ได้ทำการจำลองการติดตามเป้าหมายโดยใช้ bistatic range measurement และใช้การวัด RCS ช่วยในการประมวลผลในเครือข่ายแบบ MIMO โดยผลลัพธ์ที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่าการใช้ RCS ช่วยในการประมวลผลให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการไม่ใช้ RCS ช่วยในการประมวลผล

จากบทความของ M. A. S. Miacci, E. L. Nohara, I. M. Martin, G. G. Peixoto และ M. C. Rezende เรื่อง Indoor Radar Cross Section Measurement of Simple Targets บทความของ I. Nicolaescu และ G. Iubu เรื่อง Simple and Collected Targets Radar Cross Section และ D. E. Bocanegra, D. P. Martinez, R. F. Recio, A. J. Lucena และ I. M. Sanchez เรื่อง New Benchmark Radar Targets for Scattering Analysis and Electromagnetic Software Validation ได้รายงานผลการวัดค่า RCS ของวัตถุรูปร่างพื้นฐานแต่ต่างชนิดกัน โดยทำการวัดในห้องไร้การสะท้อน สภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร และสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

จากบทความของ V. D. Esposti, F. Fuschini, E. M. Vitucci และ G. Falciasecca เรื่อง Measurement and Modelling of Scattering from Buildings บทความของ P. Pongsilamane และ H. L. Bertoni เรื่อง Specular and Nonspecular Scattering from Building Facades บทความของ Y. L. C. Jong และ M. H. A. J. Herben เรื่อง A Tree-Scattering Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells ได้ทำการวิเคราะห์ผลการวัด RCS ของผนัง สิ่งก่อสร้าง ต้นไม้ ตามลำดับ และบทความของ M. Ghorai, J. Takada และ T. Imai เรื่อง Radio Wave Scattering from Lampposts in Microcell Urban Mobile Propagation Channel ได้ทำการศึกษาการกระจายของสัญญาณจากสิ่งก่อสร้างภายนอกอาคาร เช่น เสาไฟถนน สัญญาณไฟจราจร และแผ่นป้ายต่าง ๆ

จากบทความของ A. S. Elons, M. Ahmed, H. Shedid และ M. F. Tolba เรื่อง Arabic Sign Language Recognition Using Leap Motion Sensor และ F. Weichert และคณะ ได้นำเสนอ บทความเรื่อง Analysis of the accuracy and robustness of the leap motion controller ได้นำเสนอหลักการงานและการประยุกต์ใช้ LEAP Motion (LM) ซึ่ง LM มีการทำงานหลักมาจากการใช้แสง IR 3 ตำแหน่งยิงขึ้นมาแบบ 3 มิติครอบคลุมพื้นที่ 150 องศา เพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหวของนิ้วมือ ผู้ใช้ทั้ง 10 นิ้ว และ ASTV ผู้จัดการออนไลน์ 14 มกราคม 2557 18:56 น. ได้รายงานด้านความแม่นยำ และการนำไปใช้งานจริงว่า ทางด้านความแม่นยำเป็นข้อสังเกตที่ LM ยังทำงานได้ไม่ดี อุปกรณ์ก็ยังคง ความแม่นยำและมีข้อผิดพลาดระหว่างใช้งานจำนวนมาก และนอกจากนั้นหากผู้ใช้ใช้ในขณะที่อยู่ในห้องที่มีความสว่างมากหรือนั่งเล่นอยู่ริมหน้าต่างที่มีแสงสว่าง อุปกรณ์ LM นี้จะใช้งานได้ยากขึ้น

2.2.2 สรุปการทบทวนวรรณกรรม

2.2.2.1 สำหรับวิธีการหาตำแหน่งในปัจจุบัน ส่วนมากนั้น จะใช้การหาตำแหน่งแบบเครื่องส่ง หาตำแหน่งของเครื่องรับ หรือไมก็เครื่องรับหาตำแหน่งของเครื่องส่ง ดังนั้น การหาตำแหน่งของวัตถุซึ่งไม่มีแท็กติดอยู่ที่วัตถุจึงเป็นที่สนใจ

2.2.2.2 จากปัญหาที่ว่า ทำอย่างไรจึงจะสามารถหาตำแหน่งของวัตถุ ซึ่งปราศจากแท็กติดอยู่ที่วัตถุ และจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีวิธีการระบุตำแหน่งโดยไม่มีแท็กติดอยู่ที่วัตถุ เช่น การใช้การสะท้อนของสัญญาณ UWB โดยใช้การวัดพารามิเตอร์ทางเวลาช่วยในการตรวจจับ การใช้วิธีการ Range measurement และ RCS ร่วมกับอัลกอริทึมอื่น ๆ การตรวจจับวัตถุโดยใช้แสง IR และเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ ฯลฯ

2.2.2.3 จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง จะเห็นได้ว่า สัญญาณการกระจายจากวัตถุ สามารถระบุลักษณะเฉพาะของวัตถุได้หลายชนิด โดยการนำมาหาเป็นค่า RCS และระบุได้ในสภาวะแวดล้อมที่หลากหลาย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะใช้ลักษณะเด่นข้อนี้ของสัญญาณการกระจายมาใช้หาวัตถุซึ่งไม่มีแท็กติดอยู่

2.2.2.4 จากการทบทวนวรรณกรรม จะเห็นได้ว่า มีการใช้สัญญาณต่าง ๆ ในการหาตำแหน่ง เช่น คลื่นความถี่เหนือเสียง สัญญาณ NB สัญญาณ UWB และแสง IR เป็นต้น และสามารถสรุปได้ว่า

1. การใช้คลื่นความถี่เหนือเสียงนั้นหากวัตถุมีขนาดเล็กก็ไม่สามารถตรวจจับได้

2. แสง IR นั้นมีคุณลักษณะของการตรวจจับวัตถุได้เป็นอย่างดี แต่ว่าหากนำแสง IR ไปใช้ในพื้นที่ที่มีแสงสว่างมาก เช่น แสงแดดและแสงสว่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีความเข้มแสงมาก ๆ การใช้แสง IR จะมีความผิดพลาดในการตรวจจับเป็นอย่างมาก

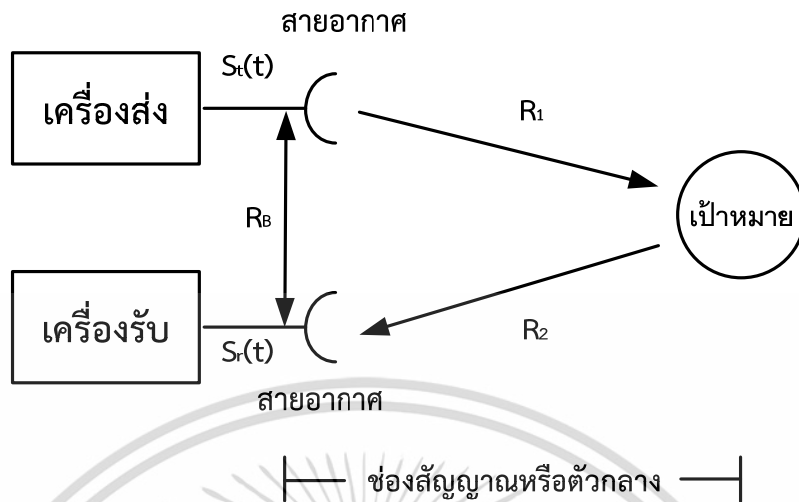
ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะใช้สัญญาณย่านความถี่วิทยุมาทำการทดสอบ ได้แก่ สัญญาณ NB และสัญญาณ UWB

2.2.2.5 จากบทความประเภท LM ซึ่งใช้การตรวจจับการเคลื่อนไหวของนิ้วมือและมือมนุษย์ที่อยู่กลางอากาศ และจากตัวอย่างการกรดรหัสเข้าอาคารหรือห้องต่าง ๆ แฝงแป้นตัวเลขจึงเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจ

จากทฤษฎีที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม ได้ถูกรวบรวมและนำมาเสนอ เป็น TNKM ซึ่งทฤษฎีที่ใช้หลัก ๆ ประกอบไปด้วย การใช้คลื่นความถี่วิทยุในการหาตำแหน่งของเซลล์ปุ่มกด ซึ่งจะแบ่งเป็นสัญญาณ UWB สัญญาณ NB และสัญญาณการกระจายจากวัตถุร่วมกับเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือและอัลกอริทึม MRMSE อีกทั้ง โดยปกติแล้วสัญญาณการกระจายจากวัตถุจะถูกแสดงในรูปแบบของค่า RCS ซึ่งหาได้จากสมการ RCS จากการส่งสัญญาณความถี่เดียว ดังนั้น การปรับปรุงสมการการหา RCS ให้สามารถใช้งานกับสัญญาณกวาดความถี่ได้ จึงเป็นที่น่าสนใจ

2.3 ระบบเรดาร์ [30]-[46]

คำว่า เรดาร์ มาจากคำว่า Radio Detection And Ranging (RADAR) ซึ่งหมายถึง การตรวจจับและการวัดระยะเป้าหมายด้วยคลื่นวิทยุ เรดาร์ จะใช้การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและเทคโนโลยีการสื่อสารในการวัดหาระยะทาง มุม หรือความเร็วของเป้าหมาย องค์ประกอบของระบบเรดาร์ โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยเครื่องส่ง เครื่องรับ สัญญาณส่ง สัญญาณรับ สายอากาศ ช่องสัญญาณหรือตัวกลางและเป้าหมาย ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบโดยทั่วไปของระบบเรดาร์

2.3.1 ประวัติการพัฒนาระดาร์

ปี ค.ศ.1886 ไฮน์ริช เฮิร์ตซ์ (Heinrich Hertz) ได้ทำการทดสอบทฤษฎีของแมกซ์เวลล์ (Maxwell) และอธิบายความคล้ายกันระหว่างคลื่นวิทยุและคลื่นแสง เฮิร์ตซ์ได้แสดงให้เห็นว่าคลื่นวิทยุสามารถที่จะสะท้อนกับโลหะและไดอิเล็กตริกได้ การทดลองดังกล่าวเป็นที่น่าสนใจอย่างยิ่ง ถึงแม้ว่าการทดลองของเฮิร์ตซ์จะปฏิบัติการกับความยาวคลื่นสั้น (66 เซนติเมตร) แต่ในงานเชิงวิศวกรรมคลื่นวิทยุต่อมาเกือบจะทั้งหมดจะใช้เวลาความยาวคลื่นยาวทั้งหมด ความยาวคลื่นสั้นจึงไม่ถูกนำมาใช้จนกระทั่งอีก 30 ปีถัดมา

ปี ค.ศ.1903 ฮาวส์ไมเยอร์ (Hulsmeyer) วิศวกรชาวเยอรมันได้ทดลองการตรวจจับของคลื่นวิทยุจากเรือ และเขาก็ได้รับเกียรติบัตรในปี ค.ศ.1904 จากหลายประเทศ สำหรับเครื่องตรวจจับสิ่งกีดขวางและอุปกรณ์นำทางของเรือ วิธีการของเขาได้ถูกแสดงต่อทหารเรือเยอรมัน แต่มันเป็นที่น่าสนใจเพียงเล็กน้อยเนื่องจากเทคโนโลยีนั้นจำกัดขอบเขตของระยะทางเพียงแค่ 1 ไมล์ แต่ทว่าช่วงระยะ 1 ไมล์นั้นนักเดินเรือสามารถสังเกตเห็นสิ่งกีดขวางได้ด้วยตนเอง

ปี ค.ศ.1904 ฮาวส์ไมเยอร์ ได้ทำการทดลองการตรวจจับเรือที่อยู่ท่ามกลางหมอกที่บีบได้จนสำเร็จ แต่ยังไม่สามารถระบุตำแหน่งของเรือได้

ปี ค.ศ.1917 นิโคลา เทสลา (Nikola Tesla) ได้อธิบายหลักการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการตรวจจับและวัดความเร็วของวัตถุได้อย่างมีคุณภาพ

ปี ค.ศ.1922 อัลเบิร์ต เทย์เลอร์ (Albert H. Taylor) และลีโอ ยัง (Leo C. Young) แห่งหน่วยวิจัยกองทัพเรืออเมริกา (United States Naval Research Laboratory: NRL) ได้ประสบความสำเร็จในการสาธิตการตรวจจับตำแหน่งของเรือโดยใช้เรดาร์

ปี ค.ศ.1930 ลอว์เรนซ์ ไฮแลนด์ (Lawrence A. Hyland) จาก NRL สามารถตรวจจับเครื่องบินโดยใช้เรดาร์ได้สำเร็จ ซึ่งส่งผลให้มีการจดสิทธิบัตรเรดาร์ชนิดสัญญาณต่อเนื่อง (Continuous wave: CW) ในปี ค.ศ. 1934

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปี ค.ศ.1936 ในสหรัฐอเมริกา โรเบิร์ต มอร์ริส เพจ (Robert Morris Page) จาก NRL สามารถพัฒนาเรดาร์แบบใหม่ที่เรียกว่าสัญญาณรูปคลื่นพัลส์ (Pulse waveform) ได้สำเร็จ ต่อจากนั้น 2 ปีถัดไปเรดาร์ก็ถูกเริ่มนำมาใช้ในการรบเป็นครั้งแรกใน SCR-268 (Signal Corps Radio no. 268) ซึ่งเป็นระบบดักจับและทำลายเครื่องบินรบ (Antiaircraft fire control system)

ปี ค.ศ.1939 ระบบเรดาร์ SCR-270 ได้พัฒนาขึ้นเป็นระบบเตือนภัยล่วงหน้า (Early warning system) ดังนั้นระบบ SCR-270 จึงเป็นที่รู้จักในนามเรดาร์เพิร์ล ฮาร์เบอร์ (Pearl Harbor Radar) เนื่องจากเรดาร์สามารถตรวจจับเครื่องบินบรูคได้ล่วงหน้า 30 นาที แต่จากความผิดพลาดของผู้ปฏิบัติการทำให้เรดาร์หยุดชะงักการทำงานจนทำให้เกิดโศกนาฏกรรมเพิร์ล ฮาร์เบอร์ขึ้น

ปี ค.ศ.1938 โรเบิร์ต วัตสัน วัตต์ (Robert Watson-Watt) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ สามารถคิดค้นเรดาร์แบบพัลส์ (Pulsed radar) ได้สำเร็จ โดยได้นำมาใช้ในระบบโฮมส์ เซน (Home Chain) ซึ่งสามารถป้องกันการโจมตีจากระยะไกลได้ โดยระบบนี้ได้ใช้มาจนสิ้นสุดสงครามโลกครั้งที่ 2

ช่วงก่อนปี ค.ศ.1940 ระบบเรดาร์ได้มีการใช้ความถี่ย่าน HF และ VHF เป็นหลักกันอย่างแพร่หลาย และในปี ค.ศ.1940 อังกฤษและสหรัฐอเมริกาได้มีการแลกเปลี่ยนเทคโนโลยีด้านเรดาร์ต่อกัน ทำให้มีการพัฒนาเรดาร์ที่ความถี่ย่านไมโครเวฟได้เป็นผลสำเร็จ

ช่วงใกล้สงครามโลกครั้งที่สองกำลังสิ้นสุดญี่ปุ่นสามารถยึดเรดาร์ของสหรัฐได้ที่ฟิลิปปินส์ และได้มีการแลกเปลี่ยนเทคโนโลยีกับเยอรมนี เป็นเหตุให้การพัฒนาเทคโนโลยีเรดาร์เป็นที่ยอมรับอย่างมากในด้านของประสิทธิภาพที่ความถี่ไมโครเวฟ โดยเรดาร์ดังกล่าวเป็นเรดาร์แบบพัลส์

วิวัฒนาการเรดาร์ได้พัฒนาอย่างรวดเร็ว และเกิดประโยชน์ต่อมนุษย์เราอย่างมาก ซึ่งนอกจากเรดาร์จะใช้ในการทหารแล้วยังสามารถนำมาใช้ในชีวิตประจำวันด้วย เช่น ใช้ในการพยากรณ์อากาศ ใช้ในระบบดาวเทียมเพื่อสร้างภาพถ่ายทางอากาศที่แสดงสภาวะของโลก ใช้นำทางเครื่องบินโดยสาร ใช้จับความเร็วของรถยนต์ ใช้เป็นระบบเตือนการชนสิ่งกีดขวางของรถยนต์ ใช้ในการวัดความเร็วลูกเบสบอลหรือเทนนิส ในการแข่งขันกีฬา เป็นต้น ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้จากเรดาร์ประกอบด้วยทิศทางและระยะ หรือตำแหน่งของวัตถุจากการสแกนของเรดาร์ จึงมีการใช้งานในหลาย ๆ ขอบเขตที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อค้นหาเป้าหมายทางอากาศ ทางภาคพื้นดินและในทะเลได้อย่างถูกต้อง

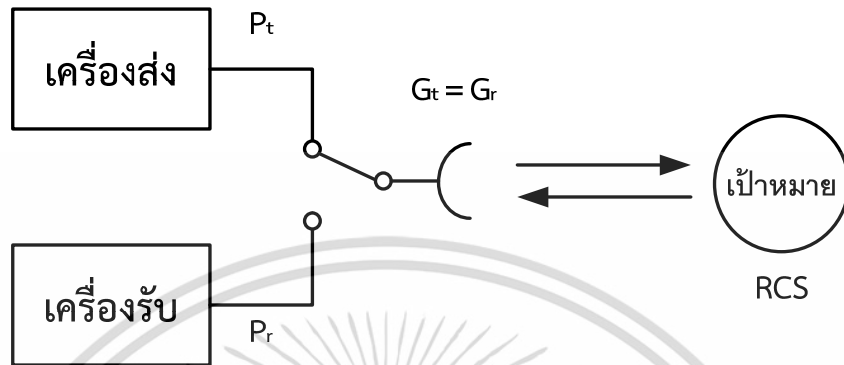
2.3.2 ชนิดของเรดาร์

การแบ่งชนิดของเรดาร์ จะแบ่งตามรูปแบบของเรดาร์ เช่น การแบ่งชนิดของเรดาร์ตามตำแหน่งของเครื่องส่งเครื่องรับ แบ่งตามชนิดของสัญญาณ แบ่งตามชนิดของเครื่องส่ง และแบ่งตามรูปแบบการใช้งาน

2.3.2.1 การแบ่งชนิดของเรดาร์ตามตำแหน่งของเครื่องส่งเครื่องรับ

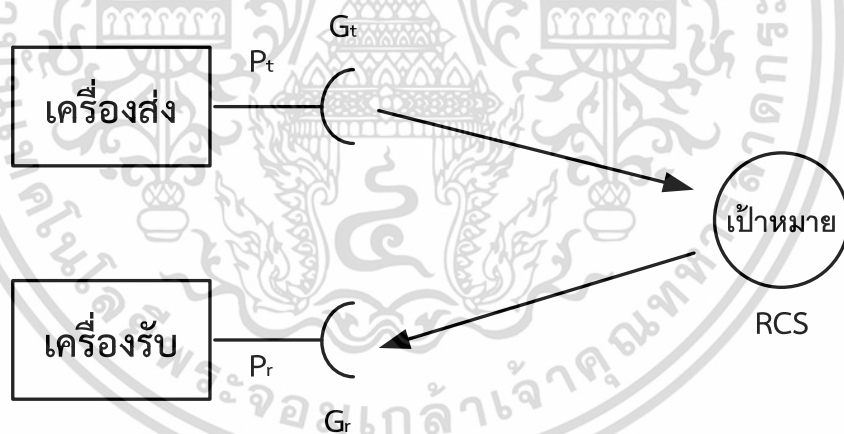
การแบ่งชนิดของเรดาร์ตามตำแหน่งของเครื่องส่งเครื่องรับ จะแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ เรดาร์เอกสถิต (Monostatic radar) เรดาร์ทวิสถิต (Bistatic radar) และเรดาร์แบบหลายเครื่องส่งเครื่องรับ (Multistatic radar)

เรดาร์เอกสติก เป็นเรดาร์ที่มีเครื่องส่งกับเครื่องรับอยู่ในที่เดียวกัน หรือเรดาร์ที่มีมุมระหว่างเครื่องส่ง เป้าหมาย และเครื่องรับไม่เกิน 20 องศา ดังรูปที่ 2.2



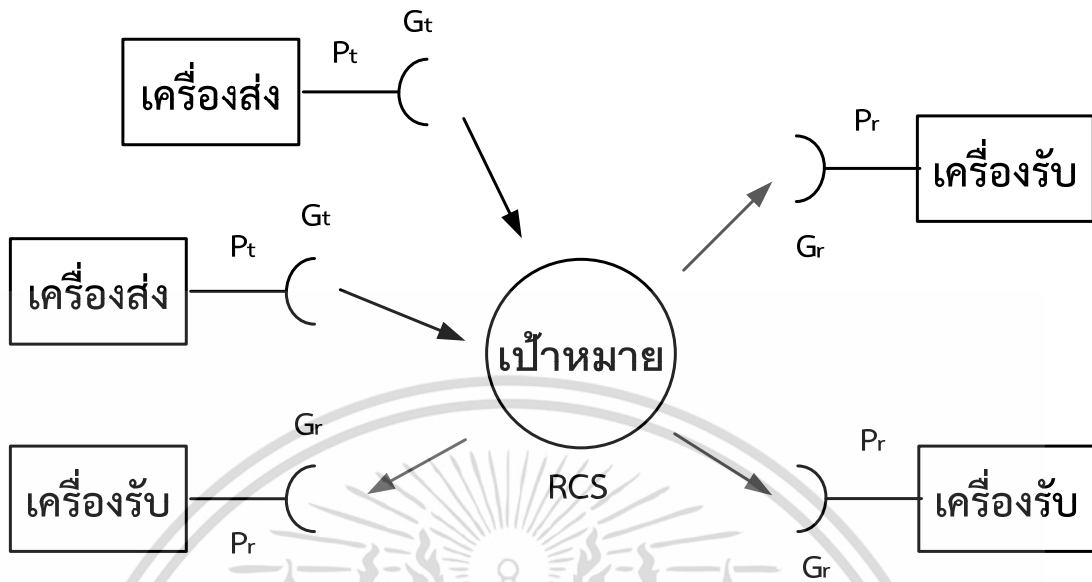
รูปที่ 2.2 เรดาร์เอกสติก

เรดาร์ทวิสติก เป็นเรดาร์ที่มีเครื่องส่งกับเครื่องรับแยกกันอยู่อย่างละเครื่อง หรือเรดาร์ที่มีมุมระหว่างเครื่องส่ง เป้าหมาย และเครื่องรับเกิน 20 องศาขึ้นไป ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เรดาร์ทวิสติก

เรดาร์แบบหลายเครื่องส่งเครื่องรับ เป็นเรดาร์ที่มีเครื่องส่งหรือเครื่องรับมากกว่า 2 สถานี กล่าวคือ มี 3 สถานีขึ้นไป ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เรดาร์แบบหลายเครื่องส่งเครื่องรับ

2.3.2.2 การแบ่งชนิดของเรดาร์ตามลักษณะการส่งสัญญาณ

การแบ่งชนิดของเรดาร์ตามลักษณะการส่งสัญญาณ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ การส่งสัญญาณต่อเนื่อง และการส่งสัญญาณรูปคลื่นพัลส์

การส่งสัญญาณต่อเนื่องนั้น มีสมการของสัญญาณเป็นแบบสัญญาณเอ็กซ์โพเนนเชียลเชิงซ้อน (Complex exponential signal) ซึ่งมีสมการของสัญญาณส่งในโดเมนของเวลาเป็นดังสมการที่ 2.1 และมีสมการของสัญญาณส่งในโดเมนของความถี่เป็นดังสมการที่ 2.2

$$v_t(t) = Ae^{j2\pi f_c t} = A\cos(2\pi f_c t) + jA\sin(2\pi f_c t) \quad (2.1)$$

$$V_t(f) = A\delta(f - f_0) \quad (2.2)$$

เมื่อ A คือ แอมพลิจูดของสัญญาณ (V)

f_c คือ ความถี่ของคลื่นพาห์ (Hz)

จากสมการที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า สมการของสัญญาณส่งนั้นประกอบไปด้วยสัญญาณไซน์ (Sine signal) และสัญญาณคอส (Cosine signal) ซึ่งสมการของสัญญาณส่งไซน์ในโดเมนเวลานั้นเป็นดังสมการที่ 2.3 และในโดเมนความถี่เป็นดังสมการที่ 2.4 ส่วนสัญญาณคอสนั้น มีสมการของสัญญาณส่งในโดเมนเวลาเป็นดังสมการที่ 2.5 และมีสมการของสัญญาณส่งในโดเมนความถี่เป็นดังสมการที่ 2.6

$$V_t(t) = A\sin(2\pi f_c t) \quad (2.3)$$

$$V_i(f) = \frac{A}{j2} [\delta(f - f_0) - \delta(f + f_0)] \quad (2.4)$$

$$V_i(t) = A \cos(2\pi f_c t) \quad (2.5)$$

$$V_i(f) = \frac{A}{2} [\delta(f - f_0) + \delta(f + f_0)] \quad (2.6)$$

สัญญาณรูปคลื่นพัลส์ มีหลายรูปแบบ ในที่นี้จะยกเพียง สัญญาณพัลส์ที่พบเห็นได้ในงานวิจัยส่วนมาก ได้แก่ สัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular passband waveform) สัญญาณคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมนี้จะมีสัญญาณในโดเมนเวลาอยู่ในรูปแบบฟังก์ชันของซิงค์ ซึ่งแสดงดังสมการที่ 2.7 และมีสัญญาณในโดเมนความถี่เป็นดังสมการที่ 2.8 ส่วนสมการที่ 2.9 เป็นสมการที่แสดงฟังก์ชันของซิงค์

$$v_i(t) = \frac{A}{f_B} [f_H \text{sinc}(2f_H t) - f_L \text{sinc}(2f_L t)] \quad (2.7)$$

$$V_i(f) = \begin{cases} \frac{A}{2f_b} & \|f - f_c\| \leq \frac{f_b}{2} \\ 0 & \|f - f_c\| > \frac{f_b}{2} \end{cases} \quad (2.8)$$

$$\text{sinc}(x) = \begin{cases} 1 & x = 0 \\ \frac{1}{\pi x} \sin(\pi x) & x \neq 0 \end{cases} \quad (2.9)$$

เมื่อ f_b คือ แบนด์วิดท์ (Hz)
 f_L คือ ความถี่ต่ำสุด (Hz)
 f_H คือ ความถี่สูงสุด (Hz)

2.3.2.3 การแบ่งชนิดของเรดาร์ตามสถานีส่ง

การแบ่งชนิดของเรดาร์ตามสถานีส่งนี้จะแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ สถานีส่งแบบแอคทีฟ (Transmitted active radar) และสถานีส่งแบบพาสซีฟ (Transmitted passive radar)

สถานีส่งแบบแอคทีฟ เป็นสถานีส่งที่ใช้ตัวเองในการค้นหาเป้าหมาย เช่น เรดาร์ที่ใช้ในการตรวจหาเครื่องบินรบของฝ่ายตรงข้าม เป็นต้น

สถานีส่งแบบพาสซีฟ เป็นสถานีส่งซึ่งต้องใช้เป้าหมาย (Target) ที่เป็นแบบแอคทีฟ เช่น เครื่องรับโทรทัศน์ เป็นต้น เครื่องรับโทรทัศน์จะใช้ตัวเองในการหาเป้าหมายนั้นคือ สถานีกระจายสัญญาณซึ่งถูกมองเป็นเป้าหมายแบบแอคทีฟนั่นเอง

2.3.2.4 การแบ่งชนิดของเรดาร์ตามรูปแบบการใช้งาน

การแบ่งชนิดของเรดาร์ตามรูปแบบการใช้งานนี้ จะแบ่งชนิดของเรดาร์ได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ เรดาร์ตรวจจับ (Detection radar) เรดาร์ค้นหา (Search radar) เรดาร์ติดตาม (Tracking radar) และ เรดาร์หลีกเลี่ยงการชน (Terrain avoidance radar)

เรดาร์ตรวจจับ เรดาร์ชนิดนี้จะใช้ในการตรวจจับวัตถุ ว่ามีหรือไม่เท่านั้น เช่น เครื่องตรวจจับโลหะ เป็นต้น กล่าวคือ หากมีวัตถุเป้าหมายเข้ามาในระยะเวลาการทำงานของเรดาร์ตรวจจับ เรดาร์ชนิดนี้จะทำการตรวจจับวัตถุนั้น ๆ ทันที

เรดาร์ค้นหา เรดาร์ชนิดนี้ต่างกับชนิดแรกตรงที่เรดาร์ชนิดนี้จะต้องทำการเลื่อนระยะทำการของตัวเรดาร์เข้าหาวัตถุเป้าหมายเอง ตัวอย่างของเรดาร์ค้นหา เช่น อุปกรณ์ตรวจจับวัตถุระเบิด เป็นต้น

เรดาร์ติดตาม เรดาร์ชนิดนี้ไม่ใช่เพียงตรวจเป้าหมายเจอบ้างเท่านั้น แต่จะติดตามเส้นทางของเป้าหมายอีกด้วย เช่น เรดาร์ติดตามรถยนต์ เป็นต้น

เรดาร์หลีกเลี่ยงการชน เรดาร์ชนิดนี้จะใช้ในการหลบเลี่ยงขอบเขตที่ไม่ต้องการ เช่น เรดาร์ติดท้ายรถยนต์เพื่อป้องกันการชน

2.3.3 รูปแบบการใช้งานของเรดาร์

รูปแบบการใช้งานของเรดาร์ จะแบ่งออกเป็น รูปแบบการใช้งานตามความละเอียด (Resolution) รูปแบบการใช้งานตามการตรวจจับ (Detection) และรูปแบบการใช้งานตามการวัด (Measurement)

2.3.3.1 รูปแบบการใช้งานตามความละเอียด

สำหรับความละเอียดนั้นจะแบ่งออกเป็น ความละเอียดเวลา (Time) ความละเอียดความถี่ (Frequency) และสภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)

รูปแบบการใช้งานของเรดาร์ เมื่อใช้ความละเอียดทางเวลา จะทำให้ได้ระยะระหว่างเป้าหมาย รูปแบบการใช้งานเรดาร์เมื่อใช้ความละเอียดทางความถี่ จะทำให้สามารถหาความเร็วของเป้าหมายได้ ส่วนการใช้รูปแบบการใช้งานของเรดาร์ เมื่อใช้ความละเอียดของสภาพเจาะจงทิศทาง ผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้สามารถรู้ทิศทางของเป้าหมายได้

2.3.3.2 รูปแบบการใช้งานตามการตรวจจับ

การใช้งานเรดาร์ในรูปแบบของการตรวจจับ ซึ่งฟังก์ชันนี้เป็นฟังก์ชันการใช้งานโดยทั่วไปซึ่งพบเป้าหมายได้ เช่น เครื่องตรวจจับโลหะ เป็นต้น

2.3.3.3 รูปแบบการใช้งานตามการวัด

รูปแบบการใช้งานของเรดาร์เมื่อใช้กับการวัด จะนิยมใช้ในรูปแบบการหาตำแหน่ง (Position) ระยะทาง มุมก้ม และมุมเงยของเป้าหมาย (r, θ, ϕ) ถูกใช้ในการบอกความเร็ว (Velocity vector) และความเร็วเชิงมุม (Angular velocity vector) และสุดท้ายเมื่อใช้กับการวัดคือ ใช้ในการวัดขนาด (Size) รูปร่าง (Shape) และชนิดของเป้าหมาย (Classification)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ชนิดของช่องสัญญาณ

ชนิดของช่องสัญญาณสำหรับระบบเรดาร์ โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่ ช่องสัญญาณแบบอวกาศว่าง (Free space) ชั้นบรรยากาศ (Atmosphere) พื้นดิน (Land) และน้ำ (Water)

2.3.4.1 ช่องสัญญาณแบบอวกาศว่าง

เรดาร์ที่ใช้กับช่องสัญญาณแบบอวกาศว่างนี้ จะใช้ในการตรวจจับหรือติดตามเป้าหมายจำพวกยานอวกาศ และดวงดาว เป็นต้น

2.3.4.2 ชั้นบรรยากาศ

เรดาร์ที่ใช้กับช่องสัญญาณชั้นบรรยากาศนี้ จะใช้ในการตรวจจับหรือติดตามเป้าหมายจำพวกเครื่องบิน หรือสภาพอากาศ เป็นต้น

2.3.4.3 พื้นดิน

เรดาร์ที่ใช้ตรวจจับภาคพื้นดินนี้ จะใช้ในการค้นหาหรือติดตามเป้าหมาย เช่น คน สัตว์ สิ่งของ และภูมิประเทศ เป็นต้น

2.3.4.4 น้ำ

เรดาร์ที่ใช้กับช่องสัญญาณในรูปแบบที่เป็นน้ำนี้ จะใช้ในการตรวจจับเป้าหมาย เช่น ปลา หรือภูมิประเทศใต้น้ำ เป็นต้น

2.3.5 ชนิดของเป้าหมาย

สำหรับระบบเรดาร์ชนิดของเป้าหมายจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่ การแบ่งชนิดของเป้าหมายตามขนาด (Target size) การแบ่งชนิดของเป้าหมายตามการเคลื่อนที่ และการแบ่งชนิดของเป้าหมายตามการทำงาน

2.3.5.1 การแบ่งชนิดของเป้าหมายตามขนาด

การแบ่งชนิดของเป้าหมายตามขนาด จะแบ่งชนิดของเป้าหมายออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ เป้าหมายแบบจุด เป้าหมายขนาดกลาง และเป้าหมายขนาดใหญ่

เป้าหมายแบบจุด เป็นเป้าหมายที่มีขนาดเล็กมาก และสามารถตรวจจับได้ง่าย เป้าหมายชนิดนี้จึงไม่ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดของรูปคลื่นสัญญาณ เป้าหมายแบบจุด เช่น คน สัตว์ ยานพาหนะภาคพื้นดิน และเรือลำเล็ก ๆ เป็นต้น

เป้าหมายขนาดกลาง เป็นเป้าหมายที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมาจากเป้าหมายแบบจุด เป้าหมายชนิดนี้จะเป็นสาเหตุให้เกิดความผิดพลาดของรูปคลื่นสัญญาณ ตัวอย่างของเป้าหมายชนิดนี้ เช่น สิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ เรือใหญ่ และเครื่องบิน

เป้าหมายขนาดใหญ่ เป็นเป้าหมายที่ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดของรูปคลื่นมากที่สุด ตัวอย่างของเป้าหมายชนิดนี้ เช่น สภาพภูมิประเทศ ได้แก่ ไร่ นา ป่า หรือภูเขา เป็นต้น และภูมิอากาศ ได้แก่ ฝนตก หิมะ เมฆ และหมอก เป็นต้น

2.3.5.2 การแบ่งชนิดของเป้าหมายตามการเคลื่อนที่

เป้าหมายชนิดนี้จะแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ เป้าหมายที่หยุดนิ่ง และเป้าหมายที่มีการเคลื่อนที่

เป้าหมายที่หยุดนิ่ง (Fixed targets) เป้าหมายที่หยุดนิ่งจะไม่ทำให้ความถี่ของคลื่นเรดาร์เปลี่ยนแปลงไป (No spread spectrum)

เป้าหมายที่เคลื่อนที่ (Moving targets) เป้าหมายชนิดนี้จะเป็นสาเหตุให้เกิดการเลื่อนของความถี่ของสัญญาณในระบบเรดาร์ หรือที่เรียกว่า เกิดความถี่ดอปเปลอร์ (Doppler frequency) ตัวอย่างของเป้าหมายชนิดนี้ เช่น คน สัตว์ และเครื่องบิน เป็นต้น เป้าหมายที่มีการเคลื่อนที่นี้ไม่จำเป็นต้องมาจากเรดาร์ที่หยุดนิ่ง กรณีที่ตัวเรดาร์เองเป็นฝ่ายเคลื่อนที่นั้น เรดาร์ตรวจสอบความสูงบนเครื่องบินจามองเห็นเป้าหมาย เช่น ป่าและภูเขาต่าง ๆ เป็นเป้าหมายที่เคลื่อนที่เช่นกัน

2.3.5.3 การแบ่งชนิดของเป้าหมายตามการทำงาน

การแบ่งชนิดของเป้าหมายตามการทำงาน จะสามารถแบ่งเป้าหมายออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ เป้าหมายที่เป็นแบบแอคทีฟ และเป้าหมายที่เป็นแบบพาสซีฟ

เป้าหมายที่เป็นแบบแอคทีฟ เป็นเป้าหมายที่สามารถแพร่กระจายกำลังงานได้ด้วยตัวเอง เช่น สถานีส่งวิทยุ หรือโทรทัศน์ เป็นต้น

เป้าหมายที่เป็นแบบพาสซีฟ เป็นเป้าหมายที่ไม่สามารถแพร่กระจายกำลังงานได้ด้วยตนเอง ต้องคอยอาศัยกำลังงานจากสถานีส่งที่เป็นแบบแอคทีฟมาช่วยทำให้ตัวเป้าหมายชนิดพาสซีฟเกิดการแอคทีฟขึ้น

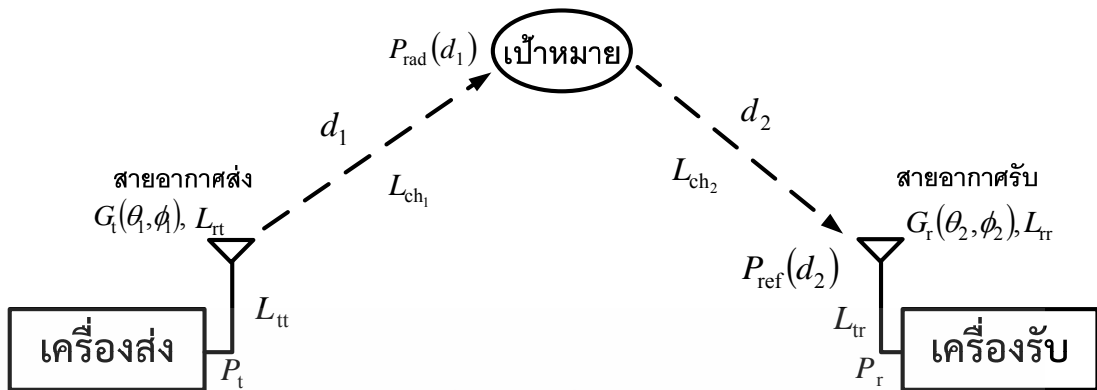
2.3.6 สมการเรดาร์ (Radar equation)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงสมการเรดาร์ที่ใช้โดยทั่วไป (General radar equation) สมการเรดาร์เอกสถิต (Monostatic radar equation) และสมการเรดาร์สำหรับการสื่อสาร (Radar equation for communication)

2.3.6.1 สมการเรดาร์โดยทั่วไป

สมการเรดาร์ถูกสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1985 โดย Eugene F. Knott และคณะ สมการเรดาร์เป็นสมการที่ใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานของสัญญาณส่งกับเป้าหมายและกำลังงานของสัญญาณที่รับได้กับเป้าหมาย ดังรูปที่ 2.5 เป็นภาพรวมของระบบเรดาร์ซึ่งจะใช้ในการเชื่อมโยงกับสมการเรดาร์ในลำดับถัดไป

จากรูปที่ 2.5 ทำการแยกส่วนการคิดออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกคิดจากภาคส่งถึงเป้าหมาย ในส่วนที่สองจะทำการคิดส่วนของเป้าหมายจนถึงภาครับ



รูปที่ 2.5 ภาพรวมของระบบเรดาร์

1 ภาคลงถึงเป้าหมาย

จากรูปที่ 2.5 จากภาคลงถึงเป้าหมายนั้นจะถูกแยกส่วนการคิดออกอีก 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนของเครื่องส่ง ส่วนของช่องสัญญาณทางด้านภาคลง และส่วนของเป้าหมาย โดย

ส่วนที่ 1 ส่วนของเครื่องส่ง ในส่วนของเครื่องส่งจะคิดตั้งแต่กำลังงานที่ส่งออกจากเครื่องส่ง รวมถึงคุณสมบัติของสายอากาศที่ใช้รวมทั้งลักษณะการติดตั้งสายอากาศอีกด้วย ดังนั้นทางด้านภาคลงจึงได้สมการเป็นดังสมการที่ 2.10 เมื่อกำลังงานที่ออกมามีหน่วยเป็นวัตต์ (W) และเป็นดังสมการที่ 2.11 เมื่อกำลังงานที่แผ่ออกมามีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB)

$$P_{\text{rad}} = \frac{G_t(\theta_1, \phi_1) P_t}{L_{\text{tt}} L_{\text{tr}}} \quad (2.10)$$

$$P_{\text{rad}} [\text{dB}] = P_t [\text{dB}] - L_{\text{tt}} [\text{dB}] + G_t(\theta_1, \phi_1) [\text{dB}] - L_{\text{tr}} [\text{dB}] \quad (2.11)$$

เมื่อ	P_t	คือ กำลังงานทางด้านส่ง (W)
	L_{tt}	คือ การสูญเสียกำลังงานในสายส่งทางด้านส่ง
	$G_t(\theta_1, \phi_1)$	คือ กำลังขยายของสายอากาศทางด้านส่งที่มุมยก θ_1 และมุมกวาด ϕ_1
	L_{tr}	คือ การสูญเสียกำลังงานในสายอากาศทางด้านส่ง
	P_{rad}	คือ กำลังงานที่แผ่ออกมา (Radiated power) (W)

ส่วนที่ 2 ช่องสัญญาณทางด้านภาคลง จะต้องนำระยะทางและการสูญเสียกำลังงานในช่องสัญญาณจากทางเครื่องส่งจนถึงเป้าหมาย รวมทั้ง P_{rad} ที่ส่งมามีค่าคำนวณด้วย โดยผลลัพธ์ที่ได้เป็นดังสมการที่ 2.12 เมื่อกำลังงานที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่งถึงเป้าหมายมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร

(W/m^2) และเป็นไปดังสมการที่ 2.13 เมื่อกำลังงานที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่งถึงเป้าหมายมีหน่วยเป็น เดซิเบลต่อตารางเมตร (dB/m^2)

$$P_{\text{rad}}(d_1) = \frac{P_{\text{rad}}}{4\pi d_1^2 L_{\text{ch}_1}} \quad (2.12)$$

$$P_{\text{rad}}(d_1) [dB/m^2] = P_{\text{rad}} [dB] - 10 \log(4\pi d_1^2) [dBm^2] - L_{\text{ch}_1} [dB] \quad (2.13)$$

เมื่อ d_1 คือ ระยะทางจากเครื่องส่งถึงเป้าหมาย (m)
 L_{ch_1} คือ การสูญเสียกำลังงานของช่องสัญญาณจากทางเครื่องส่งจนถึงเป้าหมาย
 $P_{\text{rad}}(d_1)$ คือ ความหนาแน่นกำลังงานเมื่อระยะทางเป็น (W/m^2)

ส่วนที่ 3 ส่วนของเป้าหมาย ในส่วนของเป้าหมายนี้ จะเป็นส่วนที่เป้าหมายซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นวัตถุ จะทำการสะท้อนคลื่นด้วยคุณสมบัติของแต่ละวัตถุ โดยสมการการสะท้อนคลื่นของเป้าหมายเป็นดังสมการที่ 2.14 เมื่อกำลังงานของการสะท้อนคลื่นมีหน่วยเป็นวัตต์ (W) และเป็นดังสมการที่ 2.15 เมื่อกำลังงานของการสะท้อนคลื่นมีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB)

$$P_{\text{ref}} = \sigma_T P_{\text{rad}}(d_1) \quad (2.14)$$

$$P_{\text{ref}} [dB] = P_{\text{rad}}(d_1) [dB/m^2] + 10 \log(\sigma_T) \quad (2.15)$$

เมื่อ σ_T คือ RCS (m^2)
 P_{ref} คือ กำลังงานการสะท้อนคลื่น (W)

2 เป้าหมายถึงภาครับ

จากรูปที่ 2.5 ทางด้านเป้าหมายถึงภาครับนั้นจะถูกแบ่งการคิดออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของช่องสัญญาณทางด้านภาครับ และส่วนของเครื่องรับ

ส่วนที่ 1 ส่วนของช่องสัญญาณทางด้านภาครับ จะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานการสะท้อนคลื่นจากเป้าหมาย ระยะทางจากเป้าหมายถึงเครื่องรับและการสูญเสียกำลังงานของช่องสัญญาณมาใช้ดังสมการที่ 2.16 เมื่อต้องการหน่วยที่เป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) และเป็นดังสมการที่ 2.17 เมื่อต้องการหน่วยเป็นเดซิเบลต่อตารางเมตร (dB/m^2)

$$P_{\text{ref}}(d_2) = \frac{P_{\text{ref}}}{4\pi d_2^2 L_{\text{ch}_2}} \quad (2.16)$$

$$P_{\text{ref}}(d_2) [dB/m^2] = P_{\text{ref}} [dB] - 10 \log(4\pi d_2^2) [dBm^2] - L_{\text{ch}_2} [dB] \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ d_2	คือ ระยะทางระหว่างเป้าหมายถึงเครื่องรับ (m)
L_{ch_2}	คือ การสูญเสียกำลังงานของช่องสัญญาณทางด้านภาครับ
$P_{ref}(d_2)$	คือ ความหนาแน่นกำลังงานการสะท้อนเมื่อระยะทางเป็น (W/m^2)

ส่วนที่ 2 ส่วนของเครื่องรับ ในส่วนของเครื่องรับ กำลังงานที่มาถึงเครื่องรับจะเป็นความหนาแน่นกำลังงาน (Power Density) ดังนั้น ตอนรับความหนาแน่นกำลังงานจึงต้องคำนึงถึงขนาดพื้นที่ของสายอากาศทางด้านรับด้วย ซึ่งกำลังงานที่รับได้จะมีค่าตามสมการที่ 2.18 เมื่อต้องการหน่วยเป็นวัตต์ (W) และตามสมการที่ 2.19 เมื่อต้องการหน่วยเป็นเดซิเบล (dB)

$$P_r = \frac{A_e P_{ref}(d_2)}{L_{tr} L_{rr}} \quad (2.18)$$

$$P_r [dB] = P_{ref}(d_2) [dB/m^2] + 10 \log(A_e) [dB/m^2] - L_{tr} [dB] - L_{rr} [dB] \quad (2.19)$$

เมื่อ A_e คือ พื้นที่ประสิทธิผลของสายอากาศรับ ซึ่ง A_e มีสมการเป็นดังสมการที่ 2.20

$$A_e = \frac{G_r(\theta_2, \phi_2) \lambda^2}{4\pi} \quad (2.20)$$

$G_r(\theta_2, \phi_2)$ คือ อัตราขยายของสายอากาศรับที่มุมยก θ_2 และมุมกวาด ϕ_2

L_{tr} คือ การสูญเสียกำลังงานของสายส่งภาครับ

L_{rr} คือ การสูญเสียกำลังงานในสายอากาศด้านรับ

P_r คือ กำลังงานด้านรับ (W)

แทนค่าการเชื่อมต่อทั้งหมดจะได้ดังสมการที่ 2.21

$$P_r = \frac{\sigma_t G_t(\theta_1, \phi_1) A_e P_t}{(4\pi)^2 d_1^2 d_2^2 L_{ch_1} L_{ch_2} L_{tt} L_{tu} L_{tr} L_{rr}} \quad (2.21)$$

แทนค่าพื้นที่ประสิทธิผล ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นดังสมการที่ 2.22

$$P_r = \frac{\sigma_t G_t(\theta_1, \phi_1) G_r(\theta_2, \phi_2) \lambda^2 P_t}{(4\pi)^3 d_1^2 d_2^2 L_{ch_1} L_{ch_2} L_{tt} L_{tu} L_{tr} L_{rr}} \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6.2 สมการเรดาร์เอกสถิต

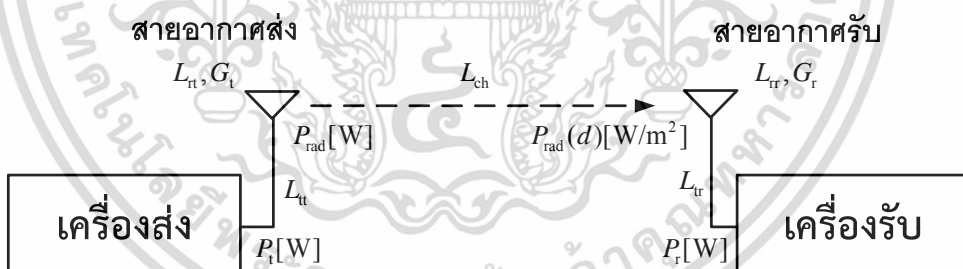
ดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.3.2 จะทราบว่า เรดาร์เอกสถิต เป็นเรดาร์ชนิดที่มีเครื่องส่งและเครื่องรับเป็นตัวเดียวกัน หรือในบางครั้งอาจถูกเรียกว่า transceiver ดังนั้นจึงทำให้ช่องสัญญาณระหว่างตัวส่งถึงเป้าหมายและช่องสัญญาณจากเป้าหมายมายังตัวรับเป็นช่องสัญญาณเดียวกันอีกด้วย นอกจากนี้ระยะทางก็ยังเป็นระยะทางเดียวกัน นั่นคือ $d_1 = d_2 = d$ และ $L_{ch_1} = L_{ch_2} = L_{ch}$ ดังนั้น จะได้สมการเป็นดังสมการที่ 2.23

$$P_r = \frac{\sigma_t G_t(\theta_1, \phi_1) G_r(\theta_2, \phi_2) \lambda^2 P_t}{(4\pi)^3 d^4 L_{ch} L_{tt} L_{rr} L_{tr}} \quad (2.23)$$

มุมของสายอากาศส่งรับซึ่งส่งรับสัญญาณได้ดีที่สุด เมื่อสายอากาศส่งสายอากาศรับชี้ทิศทางไปยังเป้าหมาย และเรดาร์เอกสถิตเป็นเรดาร์ที่มักมีสายอากาศส่งรับในตัวเดียวกัน จะได้ $G_t = G_r = G$ นอกจากนี้สายส่งก็เป็นสายเดียวกันด้วย จึงได้ $L_{tt} = L_{rr} = L_t$ และ $L_{tr} = L_{rt} = L_r$ ดังนั้น จากสมการที่ 2.22 แทนค่าเหล่านั้นต่อไป จะได้สมการเรดาร์เอกสถิต เป็นดังสมการที่ 2.24

$$P_r = \frac{\lambda^2 \sigma_t G^2 P_t}{(4\pi)^3 d^4 L_{ch}^2 L_t^2 L_r^2} \quad (2.24)$$

2.3.6.3 สมการเรดาร์สำหรับการสื่อสาร



รูปที่ 2.6 เรดาร์สำหรับการสื่อสาร

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่า เรดาร์สำหรับการสื่อสารนั้นจะมีเพียงเครื่องส่ง ช่องสัญญาณและเครื่องรับเท่านั้น ไม่มีเป้าหมายเหมือนกับหัวข้อย่อยที่ 2.3.6.1 และ 2.3.6.2 ดังนั้นการพิจารณาเรดาร์ชนิดนี้จะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนของภาคส่ง ส่วนของช่องสัญญาณ และส่วนของภาครับ

ส่วนที่ 1 ส่วนของภาคส่ง ในส่วนของภาคส่งนี้ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.6 จะได้สมการเป็นดังสมการที่ 2.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{\text{rad}} = \frac{G_t P_t}{L_u L_{rt}} \quad (2.25)$$

ส่วนที่ 2 ส่วนของช่องสัญญาณ จากรูปที่ 2.6 จะสามารถเขียนสมการในส่วนของช่องสัญญาณได้ดังสมการที่ 2.26

$$P_{\text{rad}}(d) = \frac{P_{\text{rad}}}{4\pi d^2 L_{ch}} \quad (2.26)$$

ส่วนที่ 3 ส่วนของภาครับ จากรูปที่ 2.6 จะสามารถเขียนสมการทางด้านรับได้ดังสมการ

$$P_r = \frac{A_c P_{\text{rad}}(d)}{L_u L_{rr}} \quad (2.27)$$

ดังนั้น จะได้เป็นสมการเรดาร์สำหรับการสื่อสาร ซึ่งเป็นดังสมการที่ 4.28

$$P_r = \left(\frac{G_t}{L_u L_{rt}} \right) \left(\frac{1}{4\pi d^2 L_{ch}} \right) \left(\frac{\lambda^2 G_r}{4\pi L_u L_{rr}} \right) P_t \quad (2.28)$$

ถ้าคิดในกรณีที่เป็นอากาศว่างจะไม่ต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมรอบข้าง สามารถทำได้โดยพิจารณาจากสูตรการส่งผ่านของฟรีส (Friis transmission formula) ซึ่งมีสมการเป็นดังสมการที่ 2.29 และสามารถพิจารณาสมการได้จากรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ระบบส่งคลื่นผ่านบรรยากาศ

$$P_r = P_t G_t \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_r = \frac{P_t G_t G_r}{L_r} \quad (2.29)$$

เมื่อ L_r คือ การสูญเสียในอากาศว่าง (Free space) มีค่าเป็นดังสมการที่ 2.30

$$L_r = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เทคโนโลยี UWB [47]-[56]

เทคโนโลยี UWB มีพื้นฐานความเป็นมาจากการพัฒนาของระบบการสื่อสารแบบไร้สาย โดยในปี ค.ศ. 1895 มาร์โคนี (Guglielmo Marconi) ได้สร้างเครื่องส่งซึ่งใช้ในการทดลองการส่งสัญญาณแบบ ไร้สายขึ้น ต่อมาปี ค.ศ.1901 มาร์โคนีได้ทำการทดลองการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุข้ามมหาสมุทรแอตแลนติก ด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณสปาร์กแก๊ป (Spark gap generator) ซึ่งสร้างขึ้นโดยริกกี (Righi) โดยใช้ หลักการการทำให้เกิดแรงดันสูงระหว่างช่องว่างของตัวนำสัญญาณหรือสปาร์กแก๊ป (Spark gap) เป็นผลให้อากาศบริเวณนั้นเกิดการแตกตัว กระแสไฟฟ้าจึงสามารถเดินทางผ่านอากาศได้ ต่อมาได้มีการนำวิธีดังกล่าว ทำให้เกิดสัญญาณคลื่นวิทยุรูปพัลส์ เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลเป็นตัวอักษร

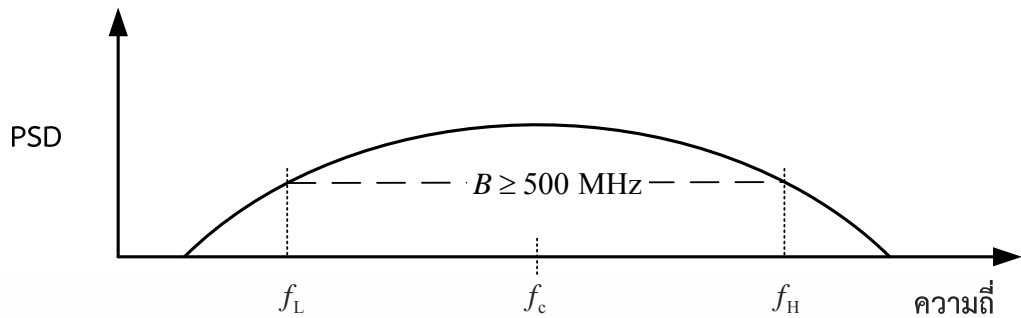
ต่อมาปี ค.ศ.1960 เครื่องส่งสัญญาณซึ่งใช้เทคนิคการส่งสัญญาณพัลส์ได้รับการพัฒนาขึ้น และได้นำมาใช้ในงานทางด้านทหารทั่วไปสำหรับอุปกรณ์การสื่อสารด้วยเรดาร์ ซึ่งทำให้สามารถแสดงภาพของวัตถุที่ถูกลบดบัง ด้วยการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุที่มีลักษณะเป็นพัลส์ ทะลุผ่านอุปสรรคกีดขวาง เช่น เรดาร์ทะลุพื้นดิน หรือจีพีอาร์ (Ground Penetration Radar: GPR) จนกระทั่งเทคโนโลยีทางด้านวงจร อิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้พัฒนาก้าวหน้าขึ้น ทำให้เทคโนโลยี UWB ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการสื่อสารเชิงพาณิชย์ โดยเฉพาะในระบบสื่อสารไร้สาย ด้วยความสามารถในการส่งข้อมูลได้เป็นปริมาณมาก เพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลแบบสื่อประสม (Multimedia communications) ซึ่งต้องการอัตราการส่งข้อมูลสูง มีการใช้พลังงานต่ำและมีราคาถูกรวมทั้งการนำไปใช้ในการหาตำแหน่งวัตถุที่มีความแม่นยำสูง และทนทานต่อสัญญาณรบกวนต่าง ๆ

ปี ค.ศ.2000 ทางคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission: FCC) ได้เชิญชวนให้องค์กรต่าง ๆ ได้ร่วมแสดงความคิดเห็นและเริ่มตีพิมพ์เอกสารเกี่ยวกับข้อกำหนดต่าง ๆ ของระบบการสื่อสาร UWB เป็นครั้งแรก และในปีค.ศ.2002 FCC ก็ได้ออกข้อกำหนดเกี่ยวกับการสื่อสาร UWB ขึ้น

หัวข้อเทคโนโลยี UWB นี้ ได้มีการแบ่งเป็นหัวข้อย่อยเช่น นิยามของสัญญาณ UWB ข้อกำหนดของระบบการสื่อสาร UWB มาตรฐานของระบบการสื่อสาร UWB ข้อดีของระบบการสื่อสาร UWB และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี UWB ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 นิยามของสัญญาณ UWB

สัญญาณ UWB ได้กำหนดไว้เป็นนิยามโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา [52] ได้ให้คำนิยามของสัญญาณ UWB ว่า เป็นสัญญาณที่มีความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม (Power Spectral Density: PSD) หลักอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และต้องมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 หรือมีแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz ดังรูปที่ 2.8 โดยที่แบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนและแบนด์วิดท์ของสัญญาณ UWB นิยามดังสมการที่ 2.31 และ 2.32



รูปที่ 2.8 สัญญาณ UWB ซึ่งมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 หรือมีแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz [3]

$$B_f = \frac{B}{f_c} = \frac{2(f_H - f_L)}{f_H + f_L} \quad (2.31)$$

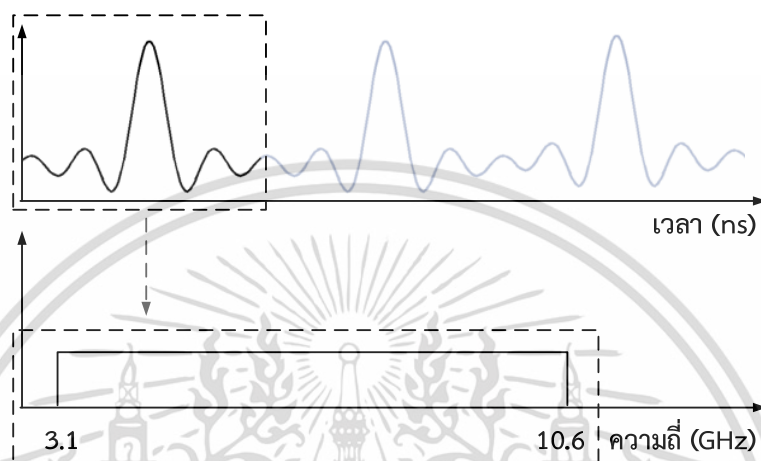
$$B = f_H - f_L \quad (2.32)$$

- เมื่อ B_f คือ แบนด์วิดท์เชิงเศษส่วน (Hz)
 B คือ แบนด์วิดท์ (Hz)
 f_L คือ ความถี่ต่ำสุด (Hz)
 f_H คือ ความถี่สูงสุด (Hz)
 f_c คือ ความถี่ศูนย์กลาง (Hz)

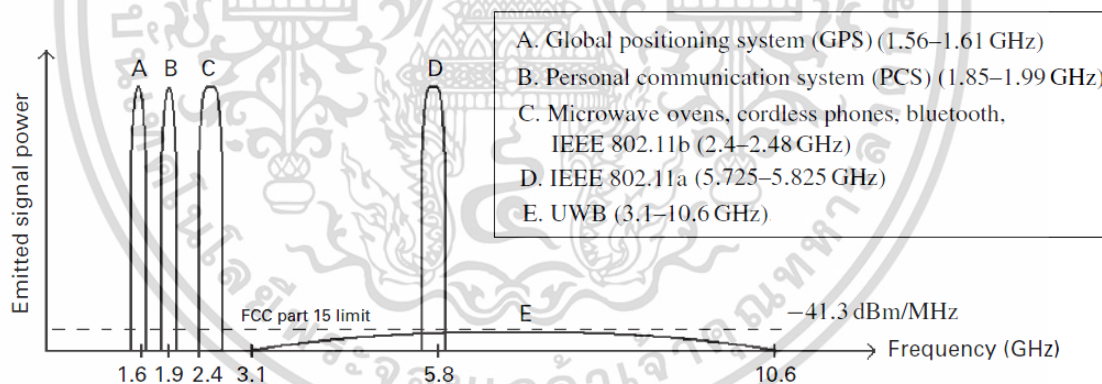
2.4.2 หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยี UWB

เทคโนโลยี UWB นั้น ใช้หลักการพื้นฐานจากการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้าง (Wide band communication) โดยใช้สัญญาณที่มีรูปคลื่นสัญญาณปรากฏเพียงชั่วขณะ หรือเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณในทางเวลาที่แคบมาก โดยอยู่ในระดับนาโนวินาที (Nano second: ns) หรือที่ระดับพิโควินาที (Pico second: ps) มีลักษณะที่ใกล้เคียงกันกับสัญญาณในอุดมคติที่เรียกว่าสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse signal) จากรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่า สัญญาณ UWB จะมีสัญญาณในทางเวลาที่แคบมาก จึงมีความหนาแน่นสเปกตรัมในเทอมของความถี่กว้างมาก อีกทั้งการส่งและรับสัญญาณของระบบ UWB นั้น จะไม่ใช้คลื่นพาห้ (Carrierless) ในการผสมสัญญาณเหมือนในระบบการสื่อสารแบบ NB แต่เป็นการส่งสัญญาณที่มีรูปคลื่นของพัลส์ซึ่งไม่ต่อเนื่องในทางเวลา อัตราการส่งพัลส์อยู่ในระดับจำนวนหลายร้อยล้านพัลส์ต่อหนึ่งวินาทีทั้งการส่งและการรับสัญญาณ ซึ่งทำให้พลังงานของสัญญาณมีการกระจายในช่วงแถบความถี่ที่กว้างมาก ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งเป็นที่มาของชื่อ UWB นอกจากนั้น รูปที่ 2.10 จะแสดงให้เห็นถึงของสัญญาณที่กระจายอยู่ในช่วงแถบความถี่ที่กว้างมากแล้ว เมื่อเทียบกับเทคโนโลยีไร้สายอื่น ๆ แล้วจะเห็นได้ว่า

เทคโนโลยี UWB จะมีระดับกำลังงานที่ต่ำกว่า จึงไม่ไปรบกวนสัญญาณของเทคโนโลยีอื่น อีกทั้งยังตรวจจับได้ยากเมื่อถูกนำไปใช้ทางการทหาร เนื่องจากระบบอื่น ๆ จะมองว่าสัญญาณ UWB นั้นเป็นสัญญาณรบกวน และทำการกรองออกจากระบบ ซึ่งข้อดีของเทคโนโลยี UWB นี้จะกล่าวต่อไปอีกครั้งในหัวข้อที่ 2.12



รูปที่ 2.9 สัญญาณ UWB ซึ่งมีมีพัลส์แคบในโดเมนเวลาจึงมีแถบความถี่กว้างมากในโดเมนความถี่



รูปที่ 2.10 เปรียบเทียบการใช้งานแถบความถี่ของการสื่อสาร UWB กับการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบอื่น ๆ [3]

สัญญาณ UWB ไม่ได้ถูกจำกัดเฉพาะกับสัญญาณในรูปแบบอิมพัลส์ที่ครอบคลุมความถี่ช่วงที่กว้างมากเท่านั้น เทคโนโลยี UWB ยังแบ่งออกเป็นแบบแถบความถี่เดี่ยว (Single band approach) และแบบหลายแถบความถี่ (Multiband approach) รวมทั้งใช้เรียกเทคนิคการใช้คลื่นพาห่อย่อยที่ไม่รบกวนกันจำนวนมากในการผสมสัญญาณ หรือการมอดูเลชันแบบที่เรียกว่ามัลติแบนด์โอเอฟดีเอ็ม (Multiband Orthogonal Frequency Division Multiplexing: MB-OFDM) ซึ่งเทคนิคหนึ่งที่ครอบคลุมการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

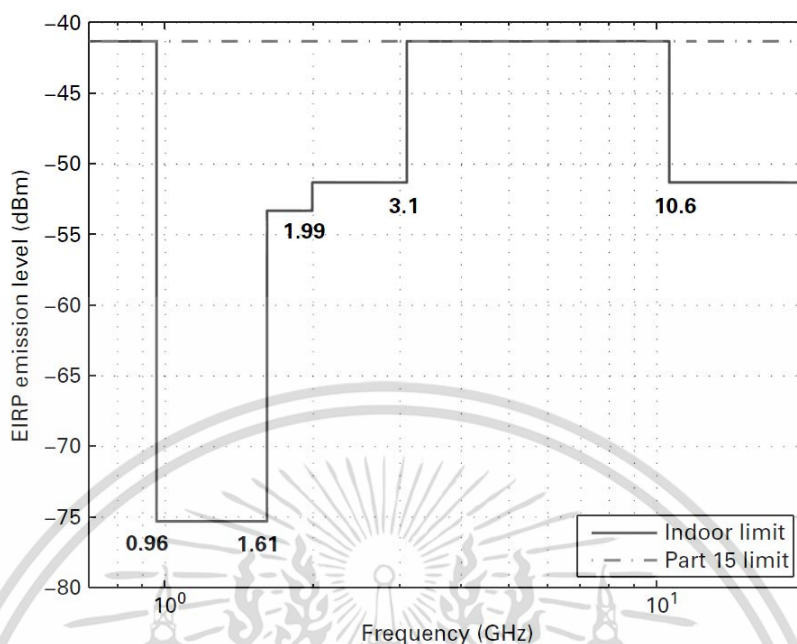
ความถี่แถบกว้างมาก โดยประยุกต์ใช้ในการส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็วสูง สัญญาณ UWB แบบอิมพัลส์ และมัลติแบนด์โอเอ็ฟดีเอ็มจึงได้รับการพิจารณาเพื่อนำไปใช้สำหรับมาตรฐานเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลของกลุ่มความร่วมมือไวมี่เดีย (WiMedia alliance) โดยใช้เป็นเทคโนโลยีพื้นฐานสำหรับอุปกรณ์การเชื่อมต่อในรูปแบบยูเอสบี (Universal Serial Bus: USB) ความเร็วสูงไร้สาย (High speed wireless USB interface)

2.4.3 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสาร UWB

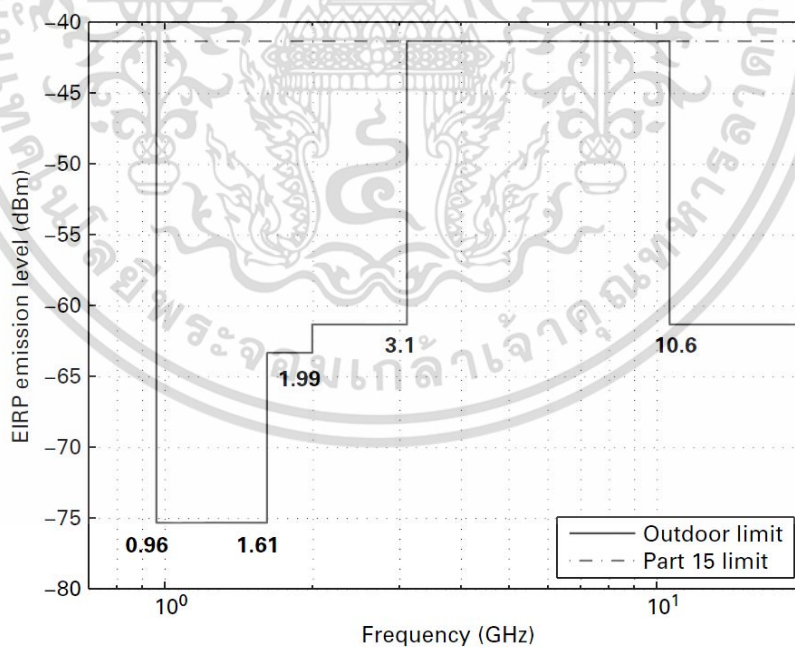
ได้มีข้อกำหนดของระบบการสื่อสาร UWB คือ การจัดสรรความถี่ในการใช้งาน โดยในประเทศสหรัฐอเมริกาจะถูกกำหนดโดย FCC เช่นเดียวกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของคลื่นวิทยุ UWB โดยสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standard Institute: ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union: ITU) สำหรับในประเทศญี่ปุ่นได้มีการกำหนดจัดสรรความถี่ในการใช้งาน โดยกระทรวงพาณิชย์ และการสื่อสารภายในประเทศ (Ministry of Internal Affairs and Communications: MIC) โดยมีประวัติความเป็นมาและข้อกำหนด ดังนี้

ในปี ค.ศ.1998 FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ (Notice of Inquiry: NOI) โดยถึงแม้ว่าจะได้คาดการณ์ถึงระดับกำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณที่มีระดับต่ำมาก ๆ แล้วก็ตาม แต่ก็ยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบบเดิม ที่มีใช้งานกันอยู่ได้ทำการต่อต้านการนำระบบ UWB มาใช้งานสำหรับการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งข้อเรียกร้องโดยมากเป็นเรื่องการคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการสอดแทรกในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด เช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์แถบความถี่ที่สำรองไว้สำหรับคลื่นวิทยุทางดาราศาสตร์ และระบบ GPS โดยที่องค์กรบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ Federal Aviation Administration (FAA) ได้แสดงความเป็นห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบ UWB ด้วย

เมื่อวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ค.ศ.2002 FCC ได้ออกกฎสำหรับเทคโนโลยี UWB โดยเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายของความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับเทคโนโลยี UWB และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าได้อีกด้วย โดยกำหนดสเปกตรัมมาร์ค (Spectral mask) สำหรับการจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานสำหรับการสื่อสารภายในอาคารและภายนอกอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 2.11 และรูปที่ 2.12 ซึ่งมีการจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานสำหรับการสื่อสารแบบ UWB ภายในอาคารและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC แสดงดังตาราง 1.1



รูปที่ 2.11 สเปกตรัมมาร์คสำหรับการจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นแถบกำลังงาน สำหรับการสื่อสารภายในอาคารที่กำหนดโดย FCC [3]



รูปที่ 2.12 สเปกตรัมมาร์คสำหรับการจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นแถบกำลังงาน สำหรับการสื่อสารภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานสำหรับการสื่อสาร UWB ภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC [3]

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

2.4.4 มาตรฐานของระบบการสื่อสาร UWB

มาตรฐานของระบบ UWB ที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีอยู่ 3 มาตรฐาน คือ IEEE 802.15.3a ใช้สำหรับโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย (Wireless Personal Area Network: WPAN) ระยะทางไกลอัตราส่งข้อมูลสูง IEEE 802.15.4a ใช้สำหรับ WPAN ระยะทางไกลอัตราส่งข้อมูลต่ำ และ IEEE 802.15.6 ใช้สำหรับระบบโครงข่ายพื้นที่ร่างกายไร้สาย (Wireless Body Area Network: WBAN)

มาตรฐาน IEEE 802.15.3a มีจุดประสงค์จะนำมาใช้กับ WPAN โดยมีระยะทางการใช้งานถึง 10 m ที่อัตราการส่งข้อมูล 110 Mbps ครอบคลุมความถี่ในช่วง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และที่ระยะทางใกล้คือประมาณ 2 m สามารถมีอัตราส่งข้อมูลได้สูงถึง 480 Mbps แต่ได้เกิดปัญหาขึ้นจากการไม่สามารถตกลงกันได้ว่าจะเลือกใช้เทคโนโลยีไหนระหว่าง MB-OFDM กับ UWB ลำดับตรง (Direct Sequence Ultra Wideband: DS-UWB)

มาตรฐาน IEEE 802.15.4a ได้ประยุกต์ใช้สำหรับ WPAN โดยปรับปรุงให้มีระยะทางการใช้งานที่ไกลขึ้นได้ถึง 100 m โดยลดอัตราส่งข้อมูลลง มีอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่นาน รวมทั้งมีราคาถูกรวมครอบคลุมความถี่ 2 ช่วงคือ 3.244-4.742 GHz และ 5.944-10.234 GHz สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบโครงข่ายการตรวจจับไร้สาย และระบบการหาตำแหน่งที่มีความเที่ยงตรงสูง การส่งสัญญาณมีพื้นฐานอยู่บนเทคนิคการส่งพัลส์ที่มีความกว้างพัลส์แคบมากจึงสามารถประมาณเป็นอิมพัลส์ได้

มาตรฐาน IEEE 802.15.6 เป็นมาตรฐานที่ตั้งขึ้นมาใหม่สำหรับนำมาประยุกต์ใช้กับ WBAN โดยมีการใช้งานสำคัญคือตรวจสุขภาพร่างกายของผู้ป่วย วินิจฉัยโรค รวมทั้งควบคุมเชื้อโรค WBAN ทำงานในบริเวณใกล้กับ ติดอยู่กับ หรือภายในร่างกายของมนุษย์ โดยมีการใช้งานส่งข้อมูลระหว่างโหนดภายในร่างกาย และส่งข้อมูลจากร่างกายไปยังอุปกรณ์ การประยุกต์ใช้ทั้งทางการแพทย์หรือด้านอื่น

2.4.5 ข้อดีของระบบการสื่อสาร UWB

2.4.5.1 เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อยและต้นทุนต่ำ

ระบบสื่อสาร UWB เป็นระบบสื่อสารที่มีความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนต่ำ เนื่องมาจากการส่งสัญญาณมีลักษณะเป็นเบสแบนด์ ซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณความถี่วิทยุ (Radio Frequency: RF) แบบอื่น ๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก ๆ ใน

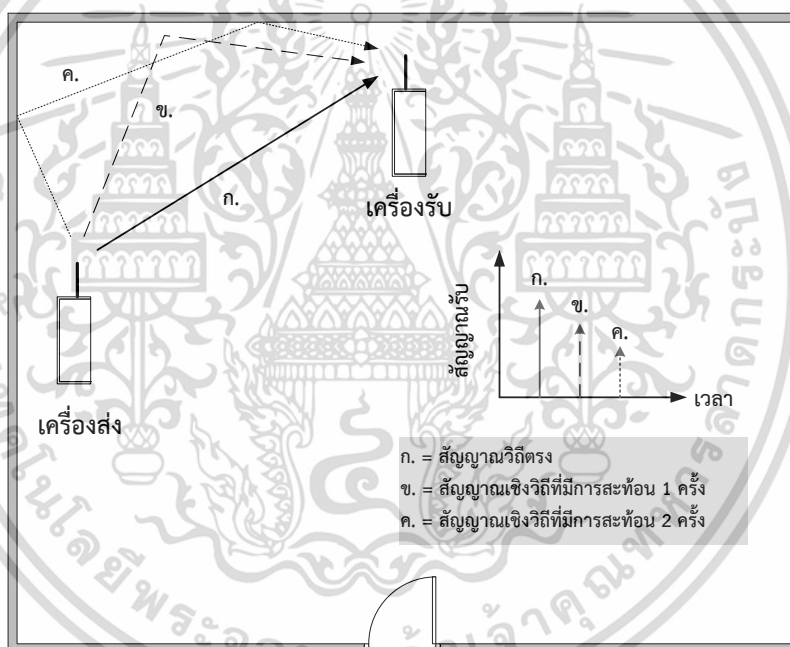
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดเมนทางเวลาซึ่งสามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่ม RF หรือรวมคลื่นพาห์เข้าไป ซึ่งในส่วนของ การรวมสัญญาณวิทยุ นั้นจะเป็นการนำเอาสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห์ เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการ

2.4.5.2 มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน

การมีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับระดับสัญญาณรบกวน ทำให้การตรวจจับสัญญาณ UWB ทำได้ยาก นอกจากนั้น การส่งสัญญาณ UWB ไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบ คลื่น RF อื่น ๆ หรือมีการรบกวนต่ำ เนื่องจากสัญญาณของระบบ UWB นั้น มีความหนาแน่นกำลังงานเชิงสเปกตรัมของสัญญาณที่แผ่กระจายออกมาในระดับต่ำ ประมาณระดับของสัญญาณรบกวน จึงทำให้ระบบอื่น ๆ มองว่าสัญญาณ UWB ว่าเป็นสัญญาณรบกวนจึงถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบ

2.4.5.3 มีความต้านทานต่อสัญญาณหลายวิถี



รูปที่ 2.13 สัญญาณหลายวิถีซึ่งเกิดจากการสะท้อนของสัญญาณ UWB ภายในห้องจากเครื่องส่งถึงเครื่องรับ

สัญญาณหลายวิถี เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในการสื่อสารไร้สาย ซึ่งเป็นผลมาจากการสะท้อน เลี้ยวเบน การกระจายตัว และการถูกดูดกลืนของสัญญาณอันเนื่องมาจากสภาวะแวดล้อม เช่น ภายในอาคาร สัญญาณจะเกิดการสะท้อน เลี้ยวเบน การกระจายตัว และการถูกดูดกลืนจากวัสดุต่าง ๆ เช่น อาคาร โต๊ะ เพดาน หรืออุปกรณ์สำนักงาน เป็นต้น หรือจากพื้น หรือผนังต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.13 จากรูปจะเห็นว่าเกิดสัญญาณหลายวิถีขึ้น ผลของช่องสัญญาณหลายวิถีสำหรับสัญญาณ NB จะเกิดขึ้นค่อนข้าง

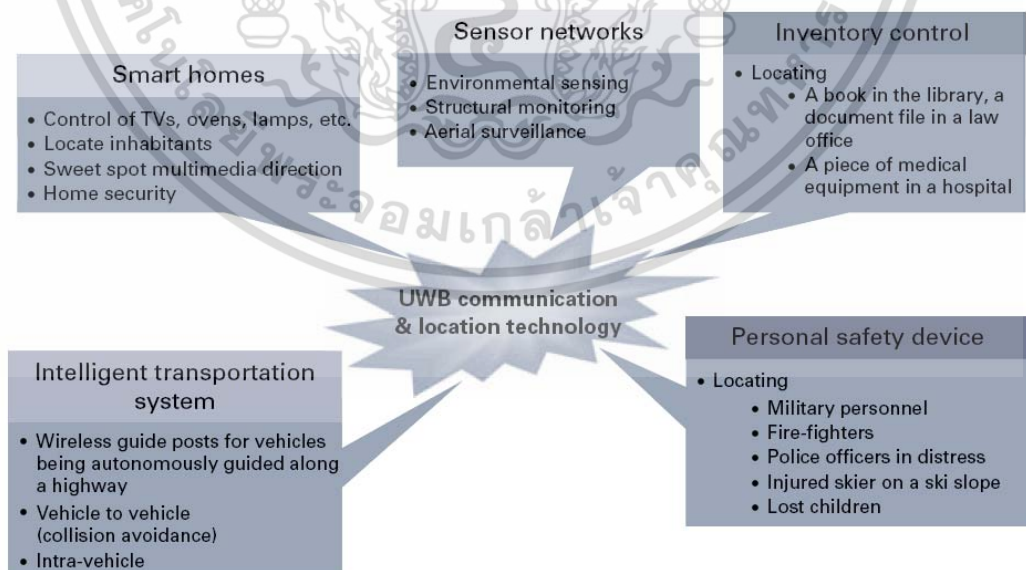
มากกว่าสัญญาณ UWB เนื่องจากการรวมกันแบบต่างเฟสของสัญญาณหลายวิธี ทำให้ระดับของสัญญาณลดลงมาก หรือการรวมกันแบบเฟสตรงกันของสัญญาณหลายวิธี ทำให้ระดับของสัญญาณเพิ่มขึ้นมาก แต่ในเทคโนโลยี UWB การส่งพัลส์ที่มีช่วงเวลาแคบมาก ๆ ทำให้เทคโนโลยีนี้ได้รับผลกระทบจากสัญญาณหลายวิธีน้อยกว่าสัญญาณ NB เนื่องจากช่วงเวลาการส่งผ่านของพัลส์ของ UWB สั้นระดับนาโนวินาที จึงทำให้พัลส์ที่เกิดจากการสะท้อน เลี้ยวเบน กระจายการกระจายมาถึงเครื่องรับหลังพัลส์ที่เป็นวิธีตรง ดังนั้นสัญญาณแถบกว้างจึงจึงมีความทนทานต่อสัญญาณหลายวิธี

2.4.5.4 มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่ง และการประยุกต์ใช้ในระบบติดตาม (tracking)

สัญญาณ UWB มีพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมาก ๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก ๆ นั้นหมายถึงระบบคลื่นวิทยุแบบ UWB มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะ และคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด หรือ GPS และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่น ๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัตถุได้ดี จึงทำให้สัญญาณ UWB ที่มีการมอดูเลตทางเวลามีการนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่น การช่วยเหลือชีวิตมนุษย์ การป้องกันอาชญากรรม การใช้งานสำรวจ และในอุตสาหกรรมการทำเหมือง เป็นต้น

2.4.6 การประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยี UWB

จากข้อดีของเทคโนโลยี UWB ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ทำให้เทคโนโลยีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น การประยุกต์ใช้งานเป็นตัวอุปกรณ์เพิ่มความปลอดภัยให้กับบุคคล ใช้ในการควบคุมรายการสิ่งของ ใช้ในระบบการขนส่งแบบชาญฉลาด บ้านอัจฉริยะ และเซนเซอร์ต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งตัวอย่างที่ได้กล่าวมาทั้งหมดแสดงให้เห็นเป็นแต่แค่การประยุกต์ใช้ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยี UWB [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เทคนิคการหาตำแหน่งโดยทั่วไป (General localization techniques)

เทคนิคการหาตำแหน่งที่พบเห็นโดยทั่วไป [11] มีอยู่ 4 เทคนิคได้แก่ การหาตำแหน่งโดยการพิจารณาจาก RSS การหาตำแหน่งโดยการพิจารณาจาก TOA การหาตำแหน่งโดยการพิจารณาจาก TDOA และการหาตำแหน่งโดยการพิจารณาจาก AOA

2.5.1 การหาตำแหน่งโดยการพิจารณาจาก RSS

การหาตำแหน่งโดยการพิจารณาจาก RSS โดยทั่วไปจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน คือการวัด RSS และการหาตำแหน่งด้วยวิธีการ Trilateration

2.5.1.1 การวัด RSS

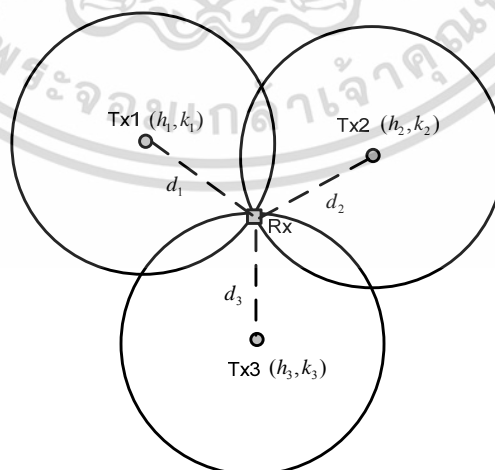
ในขั้นตอนการวัดค่า RSS จะได้รับผลลัพธ์เป็นข้อมูลที่เป็นระยะทางระหว่างสองโหนด ซึ่งมีพื้นฐานอยู่บนคุณลักษณะของช่องสัญญาณ โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและการสูญเสียกำลังงานระหว่างโหนด ดังสมการที่ 2.33

$$\overline{P_r(d)}[dB] = -10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \overline{P_r(d_0)}[dB] \quad (2.33)$$

เมื่อ n คือ องค์ประกอบของการสูญเสียเชิงวิถี
 $\overline{P_r(d)}$ คือ กำลังงานของสัญญาณที่ได้รับโดยเฉลี่ยที่ระยะทาง d (dB)
 $\overline{P_r(d_0)}$ คือ กำลังงานของสัญญาณที่ได้รับที่ระยะทางอ้างอิง d_0 (dB)
 d คือ ระยะทางระหว่างโหนด (m)
 d_0 คือ ระยะทางอ้างอิง (m)

2.5.1.2 การหาตำแหน่งด้วยวิธีการ Trilateration

Trilateration เป็นวิธีการหาตำแหน่งโดยใช้การตัดกันของวงกลม 3 วง ดังรูปที่ 2.15 ซึ่งมีกระบวนการประมวลผลอยู่ 4 ขั้นตอน



รูปที่ 2.15 วิธีการ Trilateration [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 หาสมการวงกลมของแต่ละสถานี

จากรูปจะได้สมการวงกลมของวงกลมทั้งสามเป็นดังสมการที่ 2.34 สมการที่ 2.35 และสมการที่ 2.36 ตามลำดับ โดยวงกลมแต่ละวงจะถูกร่างขึ้นจากการหาระยะทางจากเครื่องส่งทั้งสามไปยังเครื่องรับซึ่งไม่ทราบพิกัดในหัวข้อที่ 2.5.1.1

$$(x - h_1)^2 + (y - k_1)^2 = d_1^2 \quad (2.34)$$

$$(x - h_2)^2 + (y - k_2)^2 = d_2^2 \quad (2.35)$$

$$(x - h_3)^2 + (y - k_3)^2 = d_3^2 \quad (2.36)$$

เมื่อ x และ y	คือ พิกัดของเครื่องรับที่ต้องการทราบตำแหน่ง
h_1 และ k_1	คือ พิกัดของเครื่องส่งสถานีที่ 1
h_2 และ k_2	คือ พิกัดของเครื่องส่งสถานีที่ 2
h_3 และ k_3	คือ พิกัดของเครื่องส่งสถานีที่ 3
d_1	คือ ระยะทางระหว่างเครื่องส่งสถานีที่ 1 ถึงเครื่องรับ (m)
d_2	คือ ระยะทางระหว่างเครื่องส่งสถานีที่ 2 ถึงเครื่องรับ (m)
d_3	คือ ระยะทางระหว่างเครื่องส่งสถานีที่ 3 ถึงเครื่องรับ (m)

ขั้นตอนที่ 2 หาสมการเส้นตรง

ในขั้นตอนนี้จะนำสมการวงกลมที่สร้างขึ้นในขั้นตอนแรกมาหักล้างกัน ดังสมการที่ 2.37 สมการที่ 2.38 และสมการที่ 2.39

$$Eq.2.2 - Eq.2.3 \quad (2.37)$$

$$Eq.2.3 - Eq.2.4 \quad (2.38)$$

$$Eq.2.4 - Eq.2.2 \quad (2.39)$$

ขั้นตอนที่ 3 หาจุดตัดเส้นตรง

การหาจุดตัดเส้นตรงทำได้โดยการแก้สมการที่ 2.37 สมการที่ 2.38 และสมการที่ 2.39 โดยเมื่อทำการแก้สมการที่ 2.37 และสมการที่ 2.38 แล้วจะได้พิกัด x_1 และ y_1 ของเครื่องรับ จากนั้น เมื่อทำการแก้สมการที่ 2.38 และสมการที่ 2.39 จะได้พิกัด x_2 และ y_2 ของเครื่องรับ และเมื่อแก้สมการที่ 2.39 และสมการที่ 2.37 ก็จะได้พิกัด x_3 และ y_3 ของเครื่องรับ

ขั้นตอนที่ 4 การประมาณพิกัด

จากขั้นตอนที่ 3 จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการแก้สมการเส้นตรงทั้งสามแล้ว จะได้พิกัดของเครื่องรับมาถึง 3 พิกัด ดังนั้นในขั้นตอนที่ 4 จึงได้ทำการนำสามพิกัดที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 มาทำการหาค่าเฉลี่ย ซึ่งแสดงดังสมการที่ 2.40 และสมการที่ 2.41

$$x = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3} \quad (2.40)$$

$$y = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3} \quad (2.41)$$

เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนที่ 4 แล้วก็จะสามารถทราบพิกัดของเครื่องรับได้ โดยเครื่องรับจะมีพิกัดเป็น x และ y ที่ได้จากสมการที่ 2.40 และสมการที่ 2.41 นั่นเอง

2.5.2 การหาตำแหน่งโดยการพิจารณาจาก TOA

การหาตำแหน่งโดยการพิจารณาจาก TOA โดยทั่วไป จะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การวัด TOA และการหาตำแหน่งด้วยวิธีการ Trilateration

2.5.2.1 การวัด TOA

การวัด TOA จะเป็นวิธีการวัดเวลาที่สัญญาณเดินทางจากหนึ่งโหนดไปยังโหนดอื่น ๆ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะนำไปใช้ในการหาระยะทาง โดยระยะทางดังกล่าวสามารถหาได้จากสมการที่ 2.42

$$\overline{t(d)} = \frac{d}{c} + \overline{t(0)} \quad (2.42)$$

เมื่อ $\overline{t(d)}$ คือ เวลาหน่วงที่ระยะทางใด ๆ (s)
 c คือ ความเร็วแสง (m/s)
 $\overline{t(0)}$ คือ เวลาหน่วงที่ระยะทางเป็นศูนย์ (s)

ข้อดีของวิธีการนี้คือ TOA นั้นจะได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมน้อยกว่าค่า RSS ดังนั้นการหาตำแหน่งจึงมีความเที่ยงตรงที่สูงกว่า ส่วนข้อเสียของวิธีการนี้คือการซิงโครไนส์ (Synchronize) ทางเวลากันของแต่ละสถานีนั้นทำได้ยากนั่นเอง

2.5.2.2 การหาตำแหน่งด้วยวิธีการ Trilateration

สำหรับในขั้นตอนนี้จะทำเช่นเดียวกับหัวข้อย่อยที่ 2.1.2 ทั้ง 4 ขั้นตอน โดยสิ่งที่ต่างคือค่า d_1 , d_2 และ d_3 ในสมการที่ 2.34 สมการที่ 2.35 และสมการที่ 2.36 จะหาจากสมการที่ 2.42 แทนการหาจากสมการที่ 2.33 นอกนั้นทำเช่นเดียวกันทั้งหมดจึงจะไม่กล่าวซ้ำในหัวข้อนี้

2.5.3 การหาตำแหน่งโดยการพิจารณาจาก TDOA

การหาตำแหน่งโดยการพิจารณาจาก TDOA เป็นเทคนิคการหาตำแหน่งโดยพัฒนามาจากเทคนิคการหาตำแหน่งโดยการพิจารณาจาก TOA เทคนิคนี้จะพิจารณา TDOA ในแต่ละคู่สถานีฐาน โดยเทคนิคนี้มีขั้นตอนการหาตำแหน่งดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาสมการผลต่างของระยะทาง

จากรูปที่ 2.13 สามารถเขียนเป็นสมการผลต่างของสัญญาณที่มาถึงได้ ดังสมการที่ 2.43 สมการที่ 2.44 และสมการที่ 2.45

$$\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} - \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} = \Delta d_{12} \quad (2.43)$$

$$\sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} - \sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2} = \Delta d_{23} \quad (2.44)$$

$$\sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2} - \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} = \Delta d_{31} \quad (2.45)$$

เมื่อ Δd_{12} คือ ผลต่างระยะทางระหว่างเครื่องส่งสถานีที่ 1 ไปยังเครื่องรับกับระยะทางระหว่างเครื่องส่งสถานีที่ 2 ไปยังเครื่องรับ (m)

Δd_{23} คือ ผลต่างระยะทางระหว่างเครื่องส่งสถานีที่ 2 ไปยังเครื่องรับกับระยะทางระหว่างเครื่องส่งสถานีที่ 3 ไปยังเครื่องรับ (m)

Δd_{31} คือ ผลต่างระยะทางระหว่างเครื่องส่งสถานีที่ 3 ไปยังเครื่องรับกับระยะทางระหว่างเครื่องส่งสถานีที่ 1 ไปยังเครื่องรับ (m)

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าของ $\sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2}$ ของสมการที่ 2.43

ผลลัพธ์จากการหาค่าของ $\sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2}$ ของสมการที่ 2.43 ได้ตั้งสมการที่ 2.46

$$\sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} = \frac{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 - (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2}{2\Delta d_{12}} - \frac{\Delta d_{12}}{2} \quad (2.46)$$

ขั้นตอนที่ 3 หาค่าของ $\sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2}$ ของสมการที่ 2.44

ผลลัพธ์จากการหาค่าของ $\sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2}$ ของสมการที่ 2.44 เป็นตั้งสมการที่ 2.47

$$\sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} = \frac{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 - (x-x_3)^2 + (y-y_3)^2}{2\Delta d_{23}} - \frac{\Delta d_{23}}{2} \quad (2.47)$$

ขั้นตอนที่ 4 นำสมการที่ 2.46 และสมการที่ 2.47 มาแก้สมการ

ทำการนำสมการที่ 2.46 และสมการที่ 2.47 มาแก้สมการ แล้วจัดอยู่ในรูปแบบของสมการเส้นตรง สมการเส้นตรงดังกล่าวให้จัดอยู่ในรูปแบบตั้งสมการที่ 2.48

$$y = f(x) \quad (2.48)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 แทนค่าสมการที่ 2.48 ลงในสมการที่ 2.46

ในขั้นตอนที่ 5 นี้ จะทำให้ได้ผลลัพธ์เป็นค่าของพิกัดแกน x แต่จะได้มา 2 ค่า ในที่นี้จะเรียกว่าค่า x ตัวแรก และค่า x ตัวที่ 2

ขั้นตอนที่ 6 แทน x ทั้งสองค่าลงในสมการที่ 2.48

ในขั้นตอนที่ 6 นี้ ผลลัพธ์ที่ได้คือค่าของพิกัดแกน y ในที่นี้จะเรียกว่า ค่า y ตัวแรก และค่า y ตัวที่ 2 ตามลำดับ เมื่อแทนค่า x ตัวแรก และค่า x ตัวที่ 2

ขั้นตอนที่ 7 แทนค่าพิกัด (x, y) คู่ที่ 1 ในสมการที่ 2.45 เทียบกับผลต่าง Δd_{31}

ขั้นตอนที่ 8 แทนค่าพิกัด (x, y) คู่ที่ 2 ในสมการที่ 2.45 เทียบกับผลต่าง Δd_{31}

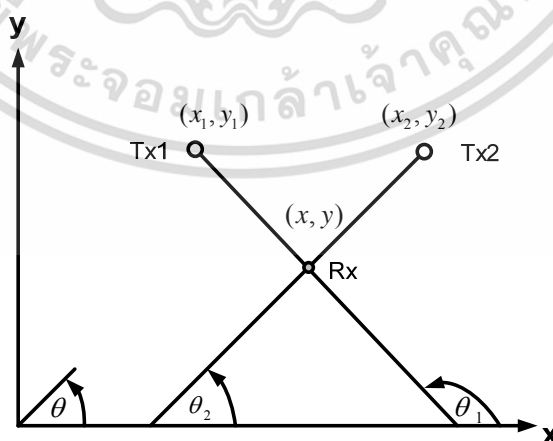
ขั้นตอนที่ 9 เทียบผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 7 กับ 8

ผลลัพธ์ไหนมีค่าผิดพลาดระยะทางน้อยกว่ากันเมื่อเทียบกับ Δd_{31} ให้เลือกพิกัดนั้นเป็นคำตอบของวิธีการหาตำแหน่งนี้ ผลลัพธ์จะได้ (x, y) ซึ่งเป็นพิกัดของเครื่องรับที่หาได้จากวิธีการนี้

2.5.4 การหาตำแหน่งโดยการพิจารณาจาก AOA

การหาตำแหน่งโดยการพิจารณา AOA เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาตำแหน่งโดยพิจารณาจาก AOA ซึ่งวิธีการการหามุมมี 2 แบบ ได้แก่ angle diversity ซึ่งจะใช้สายอากาศที่มีลำคลื่นแคบ ๆ และ array signal processing ซึ่งใช้สายอากาศหลาย ๆ ตัวมาทำเป็น array และนำมาคำนวณหา AOA เป็นต้น เทคนิคที่ใช้ในการหา AOA มีอยู่ 2 วิธี ได้แก่ การใช้สายอากาศหลาย ๆ อันในแต่ละมุม หรือที่เรียกว่าการแบ่งเป็น sector และวิธีที่สองคือ ใช้การหมุนของสายอากาศ

วิธีการหาตำแหน่งโดยการพิจารณา AOA ต้องตั้งสถานีส่งอย่างน้อยที่สุด 2 สถานี ดังรูปที่ 2.16 แต่ไม่สามารถใช้ได้เนกรณที่เส้นตรงทั้ง 2 เส้นของสัญญาณที่มาถึงเป็นเส้นเดียวกัน เนื่องจากจะหาตำแหน่งไม่ได้ ดังนั้นวิธีการแก้ที่ดีที่สุดคือควรจะมีสถานีส่งเพิ่มอีกหนึ่งสถานีนั่นเอง



รูปที่ 2.16 วิธีการหาตำแหน่งโดยการพิจารณามุมของสัญญาณที่มาถึง [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการหาตำแหน่งโดยพิจารณาจาก AOA มีขั้นตอนหลักอยู่ 3 ขั้นตอน โดยในที่นี้ได้กำหนดให้มีสถานีส่ง 3 ตัว ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาสมการเส้นตรงของมุมที่มาถึง

โดยมุม θ ให้หาความชันเป็น $\tan\theta$ ดังสมการที่ 2.49 สมการที่ 2.50 และสมการที่ 2.51

$$y - y_1 = \tan \theta_1 (x - x_1) \quad (2.49)$$

$$y - y_2 = \tan \theta_2 (x - x_2) \quad (2.50)$$

$$y - y_3 = \tan \theta_3 (x - x_3) \quad (2.51)$$

ขั้นตอนที่ 2 หาพิกัดโดยการแก้สมการแต่ละคู่

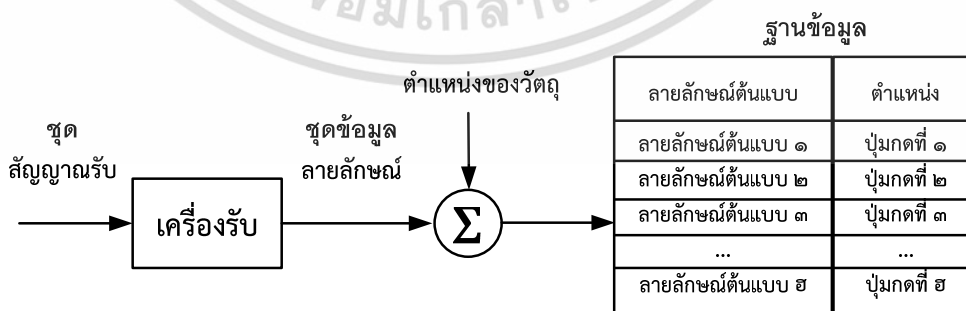
การหาพิกัดจะต้องแก้สมการทั้งสามคู่ได้แก่ คู่ของสมการที่ 2.49 กับสมการที่ 2.50 คู่ของสมการที่ 2.50 กับสมการที่ 2.51 และคู่ของสมการที่ 2.51 กับสมการที่ 2.49 ผลลัพธ์จากการแก้สมการ ทำให้ได้พิกัดมา 3 คู่ ซึ่งคือ พิกัด (x_1, y_1) พิกัด (x_2, y_2) และพิกัด (x_3, y_3)

ขั้นตอนที่ 3 นำพิกัดที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ดังสมการที่ 2.40 และสมการที่ 2.41

2.6 เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ

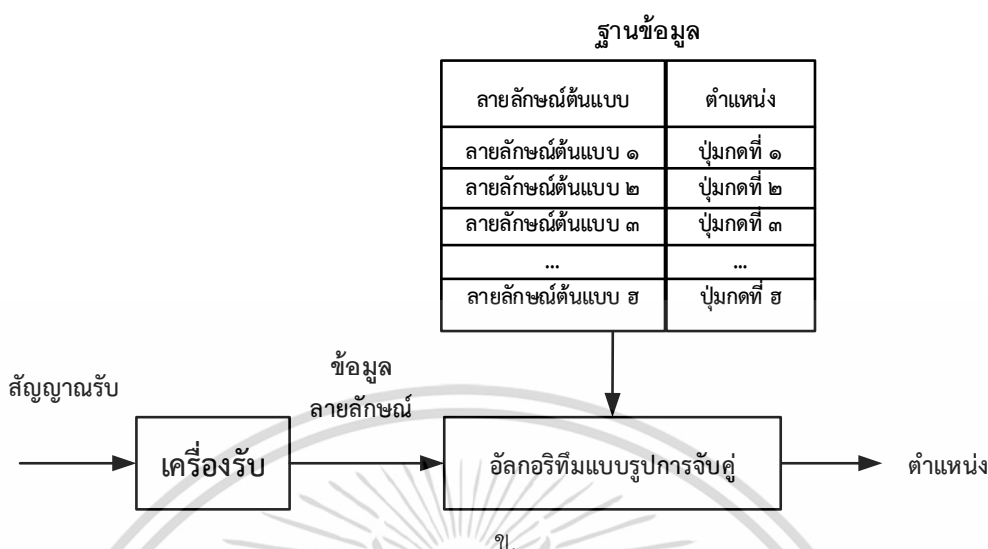
2.6.1 เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือหรือวิธีการพิจารณาความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่ง

เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือหรือความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่ง [3] , [57] มีหลักการคล้ายกับวิธีการสแกนลายนิ้วมือของมนุษย์ ซึ่งการทำงานของเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนการพื้นฐานข้อมูล และขั้นตอนการระบุตำแหน่ง ขั้นตอนแรกจะเริ่มด้วยการบันทึกชุดข้อมูลลายลักษณ์และชุดข้อมูลตำแหน่งลงในฐานข้อมูลก่อน ดังรูปที่ 2.17ก. จากนั้น ในขั้นตอนที่สองเป็นการนำข้อมูลลายลักษณ์ซึ่งได้จากการวัดสัญญาณจากเครื่องรับมาเปรียบเทียบกับลายลักษณ์ต้นแบบที่บันทึกไว้ในฐานข้อมูลด้วยอัลกอริทึมแบบรูปการจับคู่ ดังรูปที่ 2.17ข. จากนั้นอัลกอริทึมแบบรูปการจับคู่ จะทำการหาตำแหน่งซึ่งต้องการทราบอย่างเหมาะสม



ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 การทำงานของเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ [3]

ก. ขั้นตอนการทำฐานข้อมูล

ข. ขั้นตอนการระบุตำแหน่ง

วิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องใช้สถานีฐานมากเหมือนกับวิธีการหาตำแหน่งพื้นฐาน เพียงแค่มีสถานีฐานอย่างน้อย 1 ตัวก็สามารถหาตำแหน่งได้ และก็มี ความเหมาะสมกับการหาตำแหน่งที่เป็นแบบกรณีที่ระดับสายตามองไม่เห็น (Non-line of sight: NLOS) เนื่องจากใช้ระบบฐานข้อมูลจึงสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่เกิดคลื่นหลายวิถีได้ ส่วนข้อด้อยของการใช้วิธีนี้ในการหาตำแหน่งคือต้องใช้เวลามากในการเก็บค่าพารามิเตอร์ลงฐานข้อมูล ดังนั้น วิธีการนี้จึงนิยมนำมาใช้ในระบบหาตำแหน่งภายในอาคารมากกว่าระบบหาตำแหน่งภายนอกอาคาร เช่น การตรวจสอบสินค้าในคลังสินค้า ดังรูปที่ 2.18 เป็นต้น



รูปที่ 2.18 การตรวจสอบสินค้าในคลังสินค้า [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 อัลกอริทึม MRMSE

อัลกอริทึม MRMSE เป็นอัลกอริทึมซึ่งใช้ในการจับคู่ระหว่างข้อมูลสัญญาณในฐานข้อมูลกับข้อมูลที่รับสัญญาณเข้ามาใหม่แล้วประมวลผลเป็นตำแหน่งที่ต้องการทราบ โดยในหัวข้อนี้ จะยกตัวอย่างพารามิเตอร์ซึ่งใช้เป็นพารามิเตอร์อินพุตโดยทั่วไปซึ่งคือ พารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT โดยพารามิเตอร์ทั้งสองนั้น โดยส่วนใหญ่จะได้มาจากการประมวลผลจากค่าสูงสุดของสัญญาณ UWB ดังนั้น จึงใช้ตัวแปรในสมการเป็น PL_{\max} และ τ_{\max} ตามลำดับ

ในขั้นตอนการทำฐานข้อมูล PL_{\max} และ τ_{\max} จะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานดังสมการที่ 2.52 และ 2.53

$$\mu_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{a_i} \text{ and } \mu_b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{b_i} \quad (2.52)$$

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{a_i} - \mu_a)^2} \text{ and } \sigma_b = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{b_i} - \mu_b)^2} \quad (2.53)$$

เมื่อ μ_a และ μ_b คือค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์อินพุต PL_{\max} และ τ_{\max} ตามลำดับ

x_{a_i} และ x_{b_i} คือพารามิเตอร์อินพุต PL_{\max} และ τ_{\max} ที่ตำแหน่ง i ใด ๆ

σ_a และ σ_b คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์อินพุต PL_{\max} และ τ_{\max} ตามลำดับ n คือ จำนวนตำแหน่งทั้งหมด

ในขั้นตอนการระบุตำแหน่ง y_{a_k} และ y_{b_k} คือพารามิเตอร์อินพุต PL_{\max} และ τ_{\max} สำหรับการทดสอบครั้งที่ k ตามลำดับ y_{a_k} และ y_{b_k} ที่ตำแหน่งทดสอบจะถูกนำมาจับคู่กับ x_{a_i} และ x_{b_i} ของทุก ๆ ตำแหน่งในฐานข้อมูล จากนั้นจะได้ผลลัพธ์เป็นค่าผิดพลาดของทุก ๆ ตำแหน่งของการทดสอบครั้งที่ k ใด ๆ หรือ e_{k_n} [58] ดังสมการที่ 2.54

$$e_{k_n} = \frac{(y_{a_k} - x_{a_n})^2}{\sigma_a^2} + \frac{(y_{b_k} - x_{b_n})^2}{\sigma_b^2} \quad (2.54)$$

จากสมการที่ 2.54 จะได้ค่าผิดพลาดของตำแหน่งทั้งหมดในการทดสอบครั้งที่ k ใด ๆ จากนั้นค่าผิดพลาดดังกล่าวจะถูกนำมาหาเป็นตำแหน่งที่เกิดค่าผิดพลาดต่ำที่สุด ซึ่งเป็นดังสมการที่ 2.55

$$L_{d_n} = \arg \min_n (e_{k_1}, e_{k_2}, \dots, e_{k_n}) \quad (2.55)$$

เมื่อ L_{d_n} คือ ตำแหน่งที่เกิดค่าผิดพลาดต่ำที่สุด

2.6.3 การวิเคราะห์ความแม่นยำของการหาตำแหน่ง

การวิเคราะห์เพื่อหาความแม่นยำของการหาตำแหน่ง (Location detection accuracy: L_{d_n}) [59] ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะพิจารณาในเทอมของค่าความผิดพลาดซึ่งได้จากความสัมพันธ์ของจำนวนตำแหน่งที่ถูกต้อง (Number of correct locations: NL_c) จากการประมวลผลของอัลกอริทึม MRMSE และจำนวนตำแหน่งทั้งหมด (Total number of locations: NL_t) โดยได้แสดงดังสมการที่ 2.56

$$\%L_{d_n} = \frac{NL_c}{NL_t} \times 100\% \quad (2.56)$$

2.7 สรุป

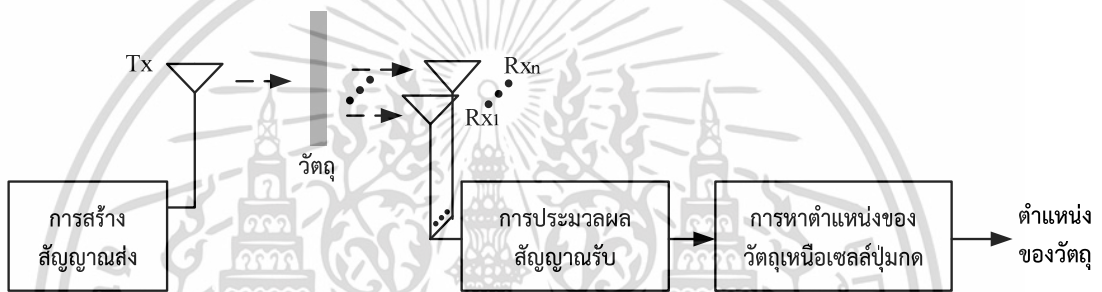
ในบทที่ 2 นี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานก่อนการประยุกต์ใช้กับ TNKM ซึ่งมีเนื้อหาประกอบไปด้วย การทบทวนวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ระบบเรดาร์ เทคโนโลยี UWB เทคนิคการหาตำแหน่งโดยทั่วไป และเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ โดยการทบทวนวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นประกอบไปด้วย วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องและสรุปการทบทวนวรรณกรรม ทางด้านระบบเรดาร์ ประกอบไปด้วย ประวัติการพัฒนาระดาร์ ชนิดของเรดาร์ รูปแบบการใช้งานของเรดาร์ ชนิดของช่องสัญญาณ ชนิดของเป้าหมาย และสมการเรดาร์ ส่วนเทคโนโลยี UWB ประกอบไปด้วย นิยามของสัญญาณ UWB หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยี UWB ข้อกำหนดของระบบการสื่อสาร UWB มาตรฐานของระบบการสื่อสาร UWB ข้อดีของระบบการสื่อสาร UWB และการประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยี UWB จากนั้นได้แสดงเทคนิคการหาตำแหน่งโดยทั่วไป ได้แก่ การหาตำแหน่งโดยการพิจารณาจาก RSS, TOA, TDOA และ AOA สุดท้ายได้กล่าวถึงเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ ซึ่งประกอบไปด้วย เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือหรือวิธีการพิจารณาความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่ง อัลกอริทึม MRMSE และการวิเคราะห์ความแม่นยำของการหาตำแหน่ง โดยเนื้อหาเหล่านี้จะมีส่วนหลักอยู่ 2 ส่วน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ คือ ส่วนที่ 1 เรื่องเกี่ยวกับสัญญาณ ได้แก่ ระบบเรดาร์และเทคโนโลยี UWB ซึ่งในบทที่ 3 จะแบ่งส่วนนี้ออกเป็น 2 ส่วนย่อย สำหรับส่วนที่ 2 จะเป็นเรื่องเกี่ยวกับการหาตำแหน่ง ได้แก่ เทคนิคการหาตำแหน่งพื้นฐาน เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ ซึ่งการประยุกต์ใช้และปรับปรุงทฤษฎีพื้นฐานจากทั้ง 2 ส่วนหลักได้ถูกแสดงในบทถัดไป

บทที่ 3

การประยุกต์ใช้และปรับปรุงทฤษฎีพื้นฐานสำหรับ TNKM

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้เป็นการประยุกต์ใช้ทฤษฎีพื้นฐานจากบทที่ 2 เพื่อนำมาใช้ในการประมวลผล TNKM โดยการประมวลผลดังกล่าวจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ การสร้างสัญญาณส่ง การประมวลผลสัญญาณภาครับ และการหาตำแหน่งของวัตถุ โดยผลลัพธ์ที่ได้หลังจากการประมวลผลทั้ง 3 ส่วนนั้นเป็นตำแหน่งของวัตถุเหนือเซลล์ปุ่มกดของ TNKM และภาพรวมของการประมวลผล TNKM ได้แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ภาพรวมการประมวลผล TNKM

จากรูปที่ 3.1 ส่วนที่ 1 คือการสร้างสัญญาณส่ง ในส่วนนี้สัญญาณที่ใช้ส่งจะถูกสร้างขึ้น จากนั้นจะถูกส่งออกไป สัญญาณที่ส่งออกไปนั้นจะไปกระทบกับวัตถุเหนือเซลล์ปุ่มกดของ TNKM จากนั้นสัญญาณที่สะท้อนจากวัตถุจะถูกรับโดยสายอากาศรับที่มุมต่าง ๆ การประมวลผลสัญญาณภาครับจะเกิดขึ้น โดยการประมวลผลสัญญาณรับนี้ จะเป็นการประมวลผลในส่วนที่ 2 ของ TNKM ในส่วนนี้สัญญาณที่รับเข้ามา จะได้รับการประมวลผลเป็นพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้ จะกลายมาเป็นพารามิเตอร์อินพุตสำหรับส่วนที่ 3 คือการหาตำแหน่งของวัตถุ ในส่วนที่ 3 นี้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากส่วนที่ 2 จะได้รับการประมวลผลเป็นตำแหน่งของวัตถุเหนือเซลล์ปุ่มกดของ TNKM โดยทั้ง 3 ส่วนที่ได้กล่าวมานี้ มีการแสดงรายละเอียดใน 3 หัวข้อใหญ่ ได้แก่ การสร้างสัญญาณส่ง การประมวลผลสัญญาณรับ และการหาตำแหน่งของวัตถุ ในส่วนสรุปได้แสดงไว้เป็นลำดับสุดท้าย ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดโดยภาพรวมทั้งหมดของบทนี้

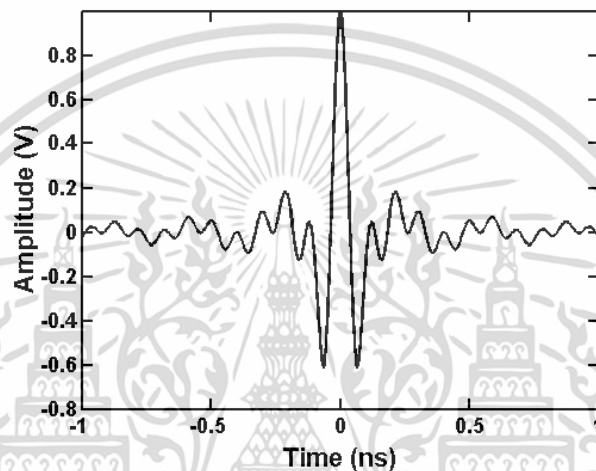
3.2 การสร้างสัญญาณส่ง

3.2.1 สัญญาณส่ง UWB

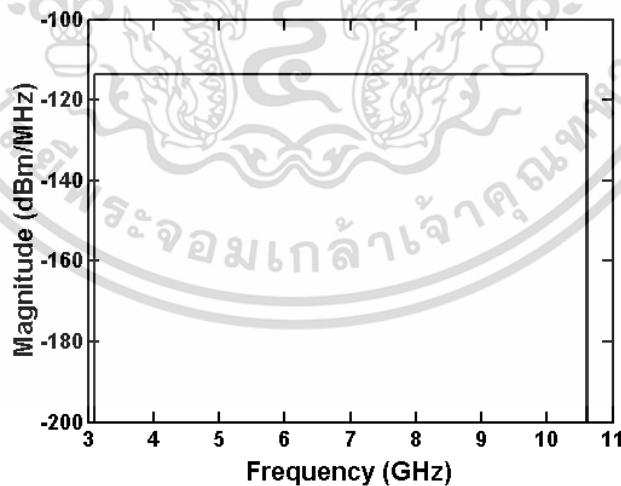
สัญญาณส่ง UWB สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะใช้สัญญาณส่งรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 3.2 สัญญาณส่ง UWB ในโดเมนเวลา (Time domain) และรูปที่ 3.3 สัญญาณส่ง UWB ในโดเมนความถี่

(Frequency domain) โดยสมการที่ 2.7 ได้แสดงรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลา และสมการที่ 2.8 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณส่งรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนความถี่

สัญญาณส่งรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมนั้น จะมีความหนาแน่นสเปกตรัมเป็นรูปสี่เหลี่ยมทั้งในด้านความถี่บวกและความถี่ลบ โดยความหนาแน่นสเปกตรัมจะมีขนาดคงที่เท่ากับ $A/(2f_b)$ อยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ $-f_H$ ถึง $-f_L$ และ f_L ถึง f_H และจะมีเฟสเป็นศูนย์ รูปคลื่นนี้ จะมีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคู่ และมีส่วนประกอบลักษณะกระแสตรง (Direct current: DC) เป็นศูนย์



รูปที่ 3.2 รูปคลื่นของสัญญาณส่ง UWB ในโดเมนเวลา



รูปที่ 3.3 สเปกตรัมของสัญญาณส่ง UWB ในโดเมนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ใช้สัญญาณส่ง UWB ตามมาตรฐาน IEEE802.15.3a ซึ่งครอบคลุมความถี่ในช่วง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz หรือ UWB-FB และสัญญาณส่ง UWB ตามมาตรฐาน IEEE802.15.4a ซึ่งครอบคลุมความถี่ 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงความถี่ 3.244 GHz ถึง 4.742 GHz และช่วงความถี่ 5.944 GHz ถึง 10.234 GHz หรือ UWB-LB และ UWB-HB

3.2.2 สัญญาณส่ง NB และสัญญาณกวาดความถี่

สัญญาณส่ง NB ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเลือกจากการส่งสัญญาณกวาดความถี่โดยใช้เครื่อง VNA ในการควบคุมการส่ง โดยครอบคลุมความถี่ในช่วง 3 GHz ถึง 11 GHz จากนั้น เลือกจากจุดความถี่ที่ส่งได้แก่ ความถี่ 3 GHz, 4 GHz, 5 GHz, 6 GHz, 7 GHz, 8 GHz, 9 GHz, 10 GHz และ 11 GHz เป็นต้น โดยทั้งสัญญาณ NB และสัญญาณกวาดความถี่จะใช้ในการหาพารามิเตอร์อินพุตในขั้นต่อไป

3.3 การประมวลผลสัญญาณรับ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลสัญญาณรับ จะได้เป็นพารามิเตอร์อินพุตสำหรับการหาตำแหน่งของวัตถุ สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะทำการทดสอบ 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ พารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT จากการส่งสัญญาณ UWB พารามิเตอร์ POL จากการส่งสัญญาณ NB และพารามิเตอร์ RCS จากการใช้สัญญาณกวาดความถี่ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการปรับปรุงสมการเรดาร์เพื่อหาพารามิเตอร์ RCS ใน 3 รูปแบบ คือ พารามิเตอร์ RCS สูงสุด (Maximum RCS parameter) พารามิเตอร์ RCS ที่ความถี่ใด ๆ (RCS parameter at each frequency) และพารามิเตอร์ RCS (Average RCS parameter)

3.3.1 พารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT

การประมวลผลสัญญาณรับแบบแถบกว้างยิ่ง เป็นพารามิเตอร์ PL จะเริ่มด้วยการวิเคราะห์สัญญาณที่รับได้จากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณภายในอาคารด้วยเครื่อง VNA ซึ่งคือความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณที่รับได้ การวิเคราะห์จะทำในโดเมนความถี่ ในขั้นแรกฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณส่งจะได้รับการประมวลผลร่วมกับฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณซึ่งได้มาเครื่อง VNA ดังสมการที่ 3.1

$$V_r(f) = V_t(f) \cdot H_c(f) \quad (3.1)$$

เมื่อ $V_t(f)$ คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณส่ง (V/Hz)

$H_c(f)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณซึ่งได้จากการวัดด้วยเครื่อง VNA

จากนั้น สัญญาณที่รับได้ในโดเมนความถี่จะได้รับการแปลงกลับให้อยู่ในโดเมนเวลา โดยใช้การแปลงฟูริเยร์ย้อนกลับ (Inverse fourier transform) ของความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณที่รับได้ เพื่อที่จะนำไปหาค่าพลังงานของสัญญาณรับในขั้นต่อไป สัญญาณที่รับได้ในโดเมนเวลาเป็นดังสมการที่ 3.2

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_r(f) e^{j2\pi ft} df \quad (3.2)$$

ในขั้นต่อมา จะทำการหาค่าพลังงานของสัญญาณรับ ซึ่งค่าพลังงานของสัญญาณรับสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของสัญญาณที่รับได้ในโดเมนเวลาและสัญญาณส่งในโดเมนเวลา ดังสมการที่ 3.3 จากนั้นพารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT สามารถหาได้จากค่าพลังงานของสัญญาณรับ ดังสมการที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ

$$P_r(t)[dB] = 20 \log(|v_r(t)|) \quad (3.3)$$

$$PL_{\max}[dB] = -20 \log \left(\frac{\max |v_r(t)|}{\max |v_t(t)|} \right) \quad (3.4)$$

$$\tau = \arg \max(P_r(t)) \quad (3.5)$$

3.3.2 พารามิเตอร์ POL

การประมวลผลสัญญาณรับ NB เป็นพารามิเตอร์ POL สำหรับสัญญาณ NB จะทำการวิเคราะห์ในโดเมนความถี่เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบแต่ละความถี่ พารามิเตอร์ POL ในแต่ละความถี่นั้น สามารถหาได้จากการวิเคราะห์ช่องสัญญาณที่รับได้จากเครื่อง VNA เป็นดังสมการที่ 3.6

$$POL_r(f)[dB] = -20 \log(|H_c(f)|) \quad (3.6)$$

3.3.3 พารามิเตอร์ RCS

สำหรับพารามิเตอร์ RCS ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการปรับปรุงจากสมการเรดาร์ที่ 2.22 ขึ้นมาใหม่เพื่อให้สามารถหาภาคตัดขวางเป้าเรดาร์กับสัญญาณกวาดความถี่ได้ โดยในขั้นแรกสมการเรดาร์จะได้รับการปรับปรุงจากเทอมของกำลังงานเป็นเทอมของสัญญาณ ดังสมการที่ 3.7

$$V_r(f, \theta_r, \phi_r, \theta_s, \phi_s) = \frac{\lambda e^{-i2\pi f(d_1+d_2)/c}}{(4\pi)^{3/2} d_1 d_2} H_\sigma(f, \theta_r, \phi_r, \theta_s, \phi_s) H_t(f) H_r(f) V_t(f) \quad (3.7)$$

เมื่อ	f	คือ ความถี่ (Hz)
	θ_r และ ϕ_r	คือ มุมยกและมุมกวาดของสัญญาณตกกระทบเป้าหมาย (°)
	θ_s และ ϕ_s	คือ มุมยกและมุมกวาดของสัญญาณกระจัดกระจายจากเป้าหมาย (°)
	λ	คือ ความยาวคลื่น (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_r	คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณรับ (V/Hz)
V_t	คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณส่ง (V/Hz)
H_t	คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของสายอากาศส่ง
H_r	คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของสายอากาศรับ
H_o	คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของสัญญาณที่กระจัดกระจาย

จากนั้นนำสมการที่ 3.6 มาจัดให้อยู่อัตราส่วนของสัญญาณรับกับสัญญาณส่ง จะได้ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณในกรณีที่มีสิ่งกีดขวาง หรือ $S_{21,o}$ เป็นดังสมการที่ 3.8

$$S_{21,o}(f) = \frac{\lambda e^{-j2\pi f(d_1+d_2)/c}}{(4\pi)^{3/2} d_1 d_2} H_o(f, \theta_1, \phi_1, \theta_s, \phi_s) H_t(f) H_r(f) \quad (3.8)$$

ขั้นต่อมา จะทำการวัดคุณลักษณะเฉพาะของสายอากาศส่งรับในห้องไร้การสะท้อนด้วยเครื่อง VNA จากนั้น จัดให้อยู่ในรูปผลตอบแทนของความถี่ของช่องสัญญาณอวกาศว่าง จะได้ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณในอวกาศว่าง หรือ $S_{21,f}$ ดังสมการที่ 3.9

$$S_{21,f}(f) = \frac{\lambda e^{-j2\pi f d/c}}{4\pi d} H_t(f) H_r(f) \quad (3.9)$$

เมื่อ d คือ ระยะทางระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ (m)

หลังจากนั้น จะทำสมการการหา RCS ให้ง่ายขึ้น โดยการนำสมการที่ 3.8 มาหารด้วยสมการที่ 3.9 เพื่อตัดการวิเคราะห์คุณลักษณะของสายอากาศส่งและสายอากาศรับออกไป จากนั้น จัดให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันการถ่ายโอนทางความถี่ของสัญญาณการกระจัดกระจาย ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นดังสมการที่ 3.10

$$H_o(f, \theta_1, \phi_1, \theta_s, \phi_s) = \frac{S_{21,o}(f) \sqrt{4\pi d_1 d_2}}{S_{21,f}(f) d} e^{j2\pi f(d_1+d_2-d)/c} \quad (3.10)$$

จากสมการที่ 3.10 สามารถหาพารามิเตอร์ RCS ของวัตถุนั้น ๆ ได้จากการใช้ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนทางความถี่ของสัญญาณการกระจัดกระจาย โดยพารามิเตอร์ RCS สูงสุดสามารถหาได้จากสมการที่ 3.11 ส่วนพารามิเตอร์ RCS ที่ความถี่ต่าง ๆ สามารถหาได้จากสมการที่ 3.12 และพารามิเตอร์ RCS เฉลี่ยสามารถหาได้จากสมการที่ 3.13

$$R_{\max}[dBsm] = 10 \log(\max |H_o(f, \theta_1, \phi_1, \theta_s, \phi_s)|^2) \quad (3.11)$$

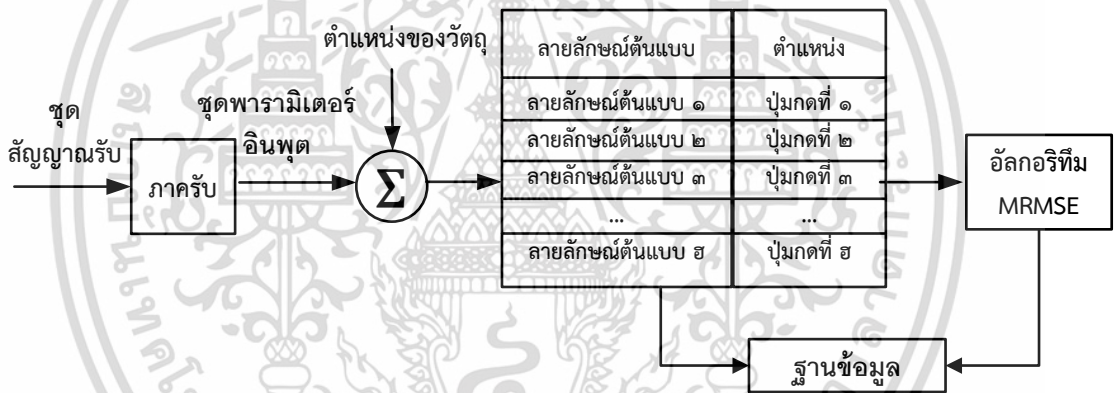
$$R(f)[dBsm] = 10 \log(|H_{\sigma}(f, \theta_i, \phi_i, \theta_s, \phi_s)|^2) \tag{3.12}$$

$$R_{avg}[dBsm] = 10 \log\left(\frac{1}{f_B} \int_{f_L}^{f_H} |H_{\sigma}(f, \theta_i, \phi_i, \theta_s, \phi_s)|^2 df\right) \tag{3.13}$$

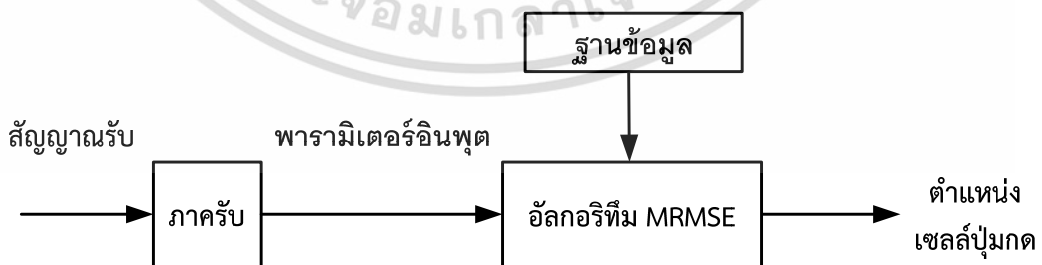
- เมื่อ R_{max} คือ พารามิเตอร์ RCS สูงสุด (dBsm)
- $R(f)$ คือ พารามิเตอร์ RCS ที่ความถี่ใด ๆ (dBsm)
- R_{avg} คือ พารามิเตอร์ RCS เฉลี่ย (dBsm)

3.4 การหาตำแหน่งของวัตถุเหนือเซลล์ปุ่มกดของ TNKM

สำหรับการหาตำแหน่งของวัตถุเหนือเซลล์ปุ่มกดของ TNKM นี้ เป็นการประยุกต์ใช้ทฤษฎีพื้นฐานในเรื่องของเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึม MRMSE โดยจากการปรับปรุงได้แสดงดังรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทำฐานข้อมูลของเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึม MRMSE



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการหาตำแหน่งของเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึม MRMSE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือให้ใช้งานร่วมกับอัลกอริทึม MRMSE จะทำการปรับปรุงในขั้นตอนการทำฐานข้อมูลเป็นหลัก ส่วนในขั้นตอนการหาตำแหน่งจะใช้อัลกอริทึม MRMSE เป็นอัลกอริทึมแบบรูปการจับคู่ในการประมวลผลตำแหน่ง โดยในขั้นตอนการทำฐานข้อมูลนั้น พารามิเตอร์ อินพุต ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะถูกเก็บรวบรวมพร้อมกับตำแหน่งที่ทำการเก็บค่าพารามิเตอร์อินพุตนั้นลงฐานข้อมูล จากนั้น หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์อินพุต และเก็บทั้งสองค่าลงในฐานข้อมูลเช่นเดียวกับพารามิเตอร์อินพุตและตำแหน่ง เนื่องจากหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์อินพุตเป็นส่วนหนึ่งของการประมวลผลโดยการอัลกอริทึม MRMSE สำหรับขั้นตอนของการหาตำแหน่ง อัลกอริทึม MRMSE จะทำการหาค่าความแตกต่างกันของพารามิเตอร์อินพุตที่รับเข้ามาใหม่กับพารามิเตอร์อินพุตในฐานข้อมูล จากนั้นจะแสดงตำแหน่งที่เกิดค่าความผิดพลาดต่ำที่สุดออกมา

3.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึง การนำเอาทฤษฎีพื้นฐานมาประยุกต์ใช้ใน TNKM ซึ่งมีการประยุกต์ใช้ทฤษฎีพื้นฐานหลัก ๆ ในเรื่องของการสร้างสัญญาณส่ง การประมวลผลสัญญาณรับ และการหาตำแหน่งของวัตถุ โดยการส่งสัญญาณนั้นจะประกอบด้วย สัญญาณส่ง UWB และสัญญาณส่ง NB และสัญญาณกวาดความถี่ สำหรับการประมวลผลสัญญาณรับ จะแบ่งออกเป็น การประมวลผลสัญญาณรับจากสัญญาณส่ง UWB ผลลัพธ์ที่ได้จะได้พารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT ถัดมา เป็นการประมวลผลสัญญาณรับจากสัญญาณส่ง NB และผลลัพธ์ที่ได้จะได้พารามิเตอร์ POL และสุดท้ายเป็นการประมวลผลสัญญาณรับจากสัญญาณส่งแบบกวาดความถี่ ซึ่งในหัวข้อนี้ สมการเรดาร์จะได้รับการปรับปรุงให้สามารถใช้ได้กับสัญญาณส่งแบบกวาดความถี่ โดยผลลัพธ์ที่ได้ จะได้เป็นพารามิเตอร์ RCS สูงสุด พารามิเตอร์ RCS ที่ความถี่ใด ๆ และพารามิเตอร์ RCS เฉลี่ย ซึ่งพารามิเตอร์เอาต์พุตจากการประมวลผลสัญญาณรับนี้ จะนำไปใช้เป็นพารามิเตอร์อินพุตสำหรับการหาตำแหน่งวัตถุของ TNKM ซึ่งการหาตำแหน่งวัตถุของ TNKM นี้จะนำเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือมาใช้ร่วมกับอัลกอริทึม MRMSE และได้แสดงรายละเอียดในหัวข้อสุดท้ายก่อนสรุปนั่นเอง

บทที่ 4

การออกแบบและจัดทำทดสอบ TNKM

4.1 กล่าวนำ

การออกแบบและจัดทำทดสอบ TNKM จะกล่าวถึงการออกแบบและการทดสอบการวัดช่องสัญญาณสำหรับ TNKM เป็นหลัก เพื่อนำมาใช้ในการประเมินผล TNKM โดยการออกแบบและจัดทำทดสอบ TNKM จะแบ่งออกเป็น 4 การทดสอบ โดยการทดสอบแรกจะเป็นการทดสอบเพื่อประเมินผลค่า RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์ เมื่อมีการเปลี่ยนผู้ทำการทดสอบ และอีก 3 การทดสอบที่เหลือ จะเป็นการทดสอบ TNKM ได้แก่ การทดสอบที่ 2 การทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่ จากนั้น การทดสอบที่ 3 เป็นการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก และการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียม จะเป็นการทดสอบ TNKM สุดท้าย โดยการทดสอบทั้งสามนี้จะเป็นอิสระต่อกัน เพื่อแสดงการใช้งาน TNKM ในหลายรูปแบบ ส่วนลำดับการนำเสนอในบทนี้จะเริ่มนำเสนอจาก ผังงานการประมวลผลสัญญาณและการประมวลผลตำแหน่งของ TNKM จากนั้นในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึง เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ TNKM ตามด้วยแบบจำลองสำหรับการทดสอบและการเตรียมการวัดช่องสัญญาณ ตามด้วยขั้นตอนการเตรียมการวัดช่องสัญญาณ และสรุปจากการออกแบบและจัดทำทดสอบ TNKM จะเป็นหัวข้อสุดท้ายของบทนี้

4.2 ผังงานการประมวลผลสัญญาณและการประมวลผลตำแหน่งของ TNKM

ผังงานการประมวลผลสัญญาณและการประมวลผลตำแหน่งของ TNKM จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนของผังงานการประมวลผลสัญญาณ และส่วนของการหาตำแหน่งวัตถุเหนือ TNKM โดยส่วนของผังงานการประมวลผลสัญญาณ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ผังงานการประมวลผลสัญญาณเป็นพารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT สำหรับ TNKM ผังงานการประมวลผลสัญญาณเป็นพารามิเตอร์ POL สำหรับ TNKM และผังงานการประมวลผลสัญญาณเป็นพารามิเตอร์ RCS สำหรับ TNKM ในส่วนของผังงานการประมวลผลตำแหน่งของ TNKM จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ผังงานการสร้างฐานข้อมูลใน TNKM และผังงานการหาตำแหน่งเซลล์ปุ่มกดของวัตถุเหนือ TNKM

4.2.1 ผังงานการประมวลผลสัญญาณ

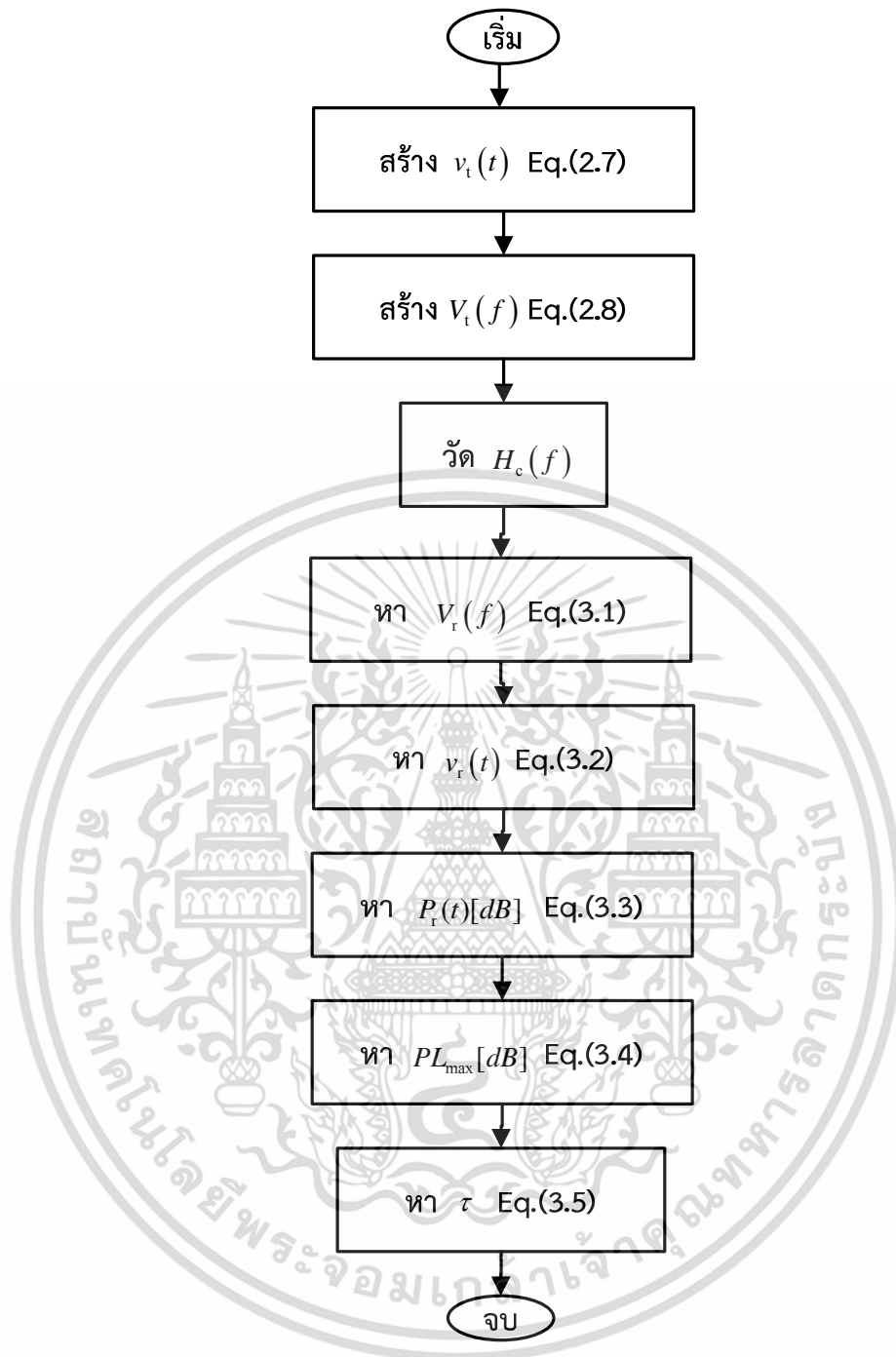
4.2.1.1 พารามิเตอร์ PL และการประวิงเวลาสำหรับ TNKM

จากรูปที่ 4.1 ผังงานการประมวลผลสัญญาณเป็นพารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT สำหรับ TNKM

ขั้นแรก ทำการสร้างสัญญาณส่งในโดเมนเวลา ดังสมการที่ 2.7

ขั้นที่ 2 ทำการแปลงฟูริเยร์ (Fourier transform) ของสัญญาณส่งในโดเมนเวลา ให้อยู่ในสัญญาณส่งในโดเมนความถี่หรือสัญญาณส่งในโดเมนความถี่จากสมการที่ 2.8

ขั้นที่ 3 ทำการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณด้วยเครื่อง VNA ภายใต้สถานะแวดล้อมที่ทำการทดสอบ TNKM ด้วยนิ้วชี้ของมนุษย์หรือแท่งอลูมิเนียม



รูปที่ 4.1 ผังงานการประมวลผลสัญญาณเป็นพารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT สำหรับ TNKM

ขั้นที่ 4 หาสัญญาณรับในโดเมนความถี่ ดังสมการที่ 3.1

ขั้นที่ 5 ทำการแปลงฟูริเยร์ย้อนกลับของสัญญาณรับในโดเมนความถี่ ให้เป็นสัญญาณรับในโดเมนเวลา ดังสมการที่ 3.2

ขั้นที่ 6 หากำลังงานของสัญญาณรับจากสัญญาณรับและสัญญาณส่งในโดเมนเวลาดังสมการที่ 3.3

ขั้นที่ 7 หาพารามิเตอร์ PL สำหรับ TNKM จากสมการที่ 3.4

ขั้นที่ 8 หาพารามิเตอร์ DT สำหรับ TNKM จากสมการที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อประมวลผลสัญญาณทั้ง 8 ขั้นตอนแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จะได้พารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT สำหรับ TNKM ซึ่งพารามิเตอร์ทั้งสองนี้ สามารถหาได้จากการประมวลผลจากการใช้สัญญาณ UWB นั้นเอง

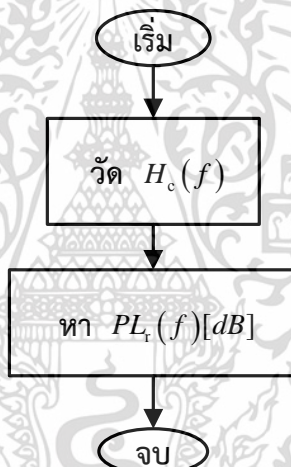
4.2.1.2 พารามิเตอร์ POL สำหรับ TNKM

ผังงานการประมวลผลสัญญาณเป็นพารามิเตอร์ POL สำหรับ TNKM มีการประมวลผลสัญญาณอยู่ 2 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 4.2

ขั้นแรก ทำการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณด้วยเครื่อง VNA ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ทำการทดสอบ TNKM ด้วยนิวซ์ซ์ของมนุษย์หรือแท่งอลูมิเนียม

ขั้นที่ 2 เป็นการหาพารามิเตอร์ POL สำหรับ TNKM จากการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณ ดังแสดงในสมการที่ 3.6

เมื่อประมวลผลสัญญาณทั้ง 2 ขั้นตอนแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จะได้พารามิเตอร์การสูญเสียกำลังเฉลี่ยสำหรับ TNKM ซึ่งเป็นการประมวลผลจากการใช้สัญญาณความถี่เดียว หรือสัญญาณแถบแคบนั่นเอง



รูปที่ 4.2 ผังงานการประมวลผลสัญญาณเป็นพารามิเตอร์ POL สำหรับ TNKM

4.2.1.3 พารามิเตอร์ RCS

ผังงานการประมวลผลสัญญาณให้เป็นพารามิเตอร์ RCS นั้น มีการประมวลผลสัญญาณอยู่ 6 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 4.3

ขั้นแรก ทำการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณด้วยเครื่อง VNA ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ทำการทดสอบ TNKM ด้วยนิวซ์ซ์ของมนุษย์หรือแท่งอลูมิเนียม

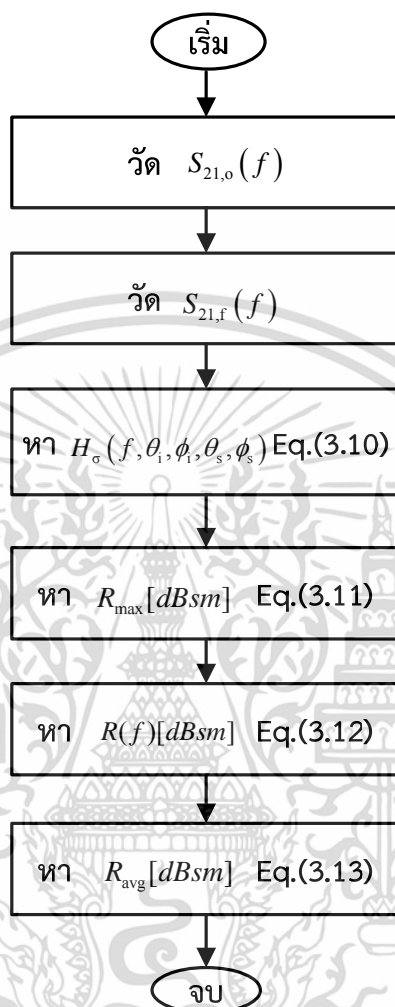
ขั้นที่ 2 ทำการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณด้วยเครื่อง VNA ภายในห้องไร้การสะท้อน

ขั้นที่ 3 ทำการตัดการวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศออกไป ด้วยสมการที่ 3.10 ผลที่ได้จะได้ฟังก์ชันการถ่ายโอนทางความถี่ของสัญญาณการกระจัดกระจาย

ขั้นที่ 4 หาพารามิเตอร์ RCS สูงสุดจากสมการที่ 3.11

ขั้นที่ 5 หาพารามิเตอร์ RCS ที่ความถี่ใด ๆ จากสมการที่ 3.12

ขั้นที่ 6 หาพารามิเตอร์ RCS เกลี่ยจากสมการที่ 3.13
เมื่อประมวลผลสัญญาณทั้ง 6 ขั้นตอนแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้ จะได้พารามิเตอร์ RCS สูงสุด
พารามิเตอร์ RCS ที่ความถี่ใด ๆ และพารามิเตอร์ RCS จากการใช้สัญญาณกวาดความถี่นั่นเอง



รูปที่ 4.3 ผังงานการประมวลผลสัญญาณเป็นพารามิเตอร์ RCS

4.2.2 ผังงานการประมวลผลตำแหน่งของ TNKM

4.2.2.1 การสร้างฐานข้อมูลใน TNKM

จากรูปที่ 4.4 การประมวลผลตำแหน่งของ TNKM ขั้นตอนการสร้างฐานข้อมูล มีขั้นตอนการประมวลผลตำแหน่งอยู่ 4 ขั้นตอน

ขั้นแรก เก็บรวบรวมพารามิเตอร์อินพุตที่ตำแหน่งต่าง ๆ พร้อมกับตำแหน่งซึ่งทำการเก็บค่าพารามิเตอร์อินพุตนั้นลงฐานข้อมูล

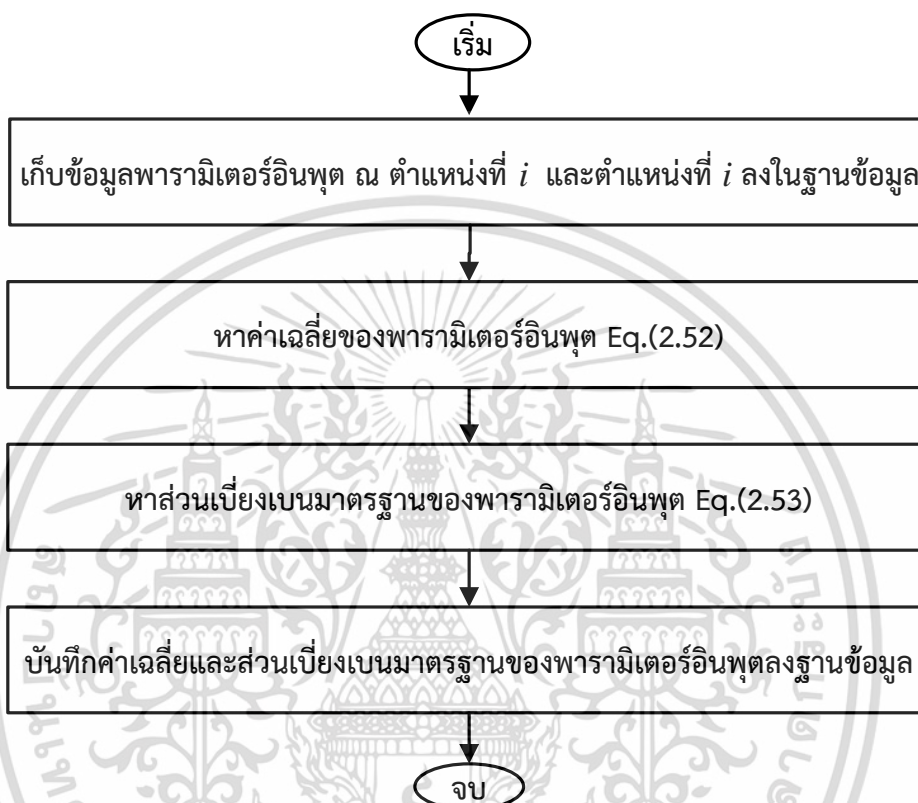
ขั้นที่ 2 หาค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์อินพุตในฐานข้อมูล ดังสมการที่ 2.52

ขั้นที่ 3 หาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์อินพุต จากฐานข้อมูล และค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์อินพุตในฐานข้อมูล ดังสมการที่ 2.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 4 บันทึกค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลงฐานข้อมูล เช่นเดียวกับพารามิเตอร์ อินพุตและตำแหน่ง

เมื่อทำขั้นการสร้างฐานข้อมูลทั้ง 4 ขั้นตอนแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จะได้ฐานข้อมูลของ TNKM ซึ่งจะมีข้อมูลของทุก ๆ เซลล์ป้อนตามวัตถุ และค่าเฉลี่ยกับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ อินพุตในอัลกอริทึม MRMSE



รูปที่ 4.4 ผังงานการประมวลผลตำแหน่งของ TNKM ขั้นการสร้างฐานข้อมูล

4.2.2.2 การหาตำแหน่งเซลล์ป้อนของวัตถุเหนือ TNKM

จากรูปที่ 4.5 จะเป็นการประมวลผลตำแหน่งของ TNKM ขั้นการหาตำแหน่งเซลล์ป้อนของวัตถุของ TNKM ซึ่งมีขั้นตอนการประมวลผลอยู่ 4 ขั้นตอน

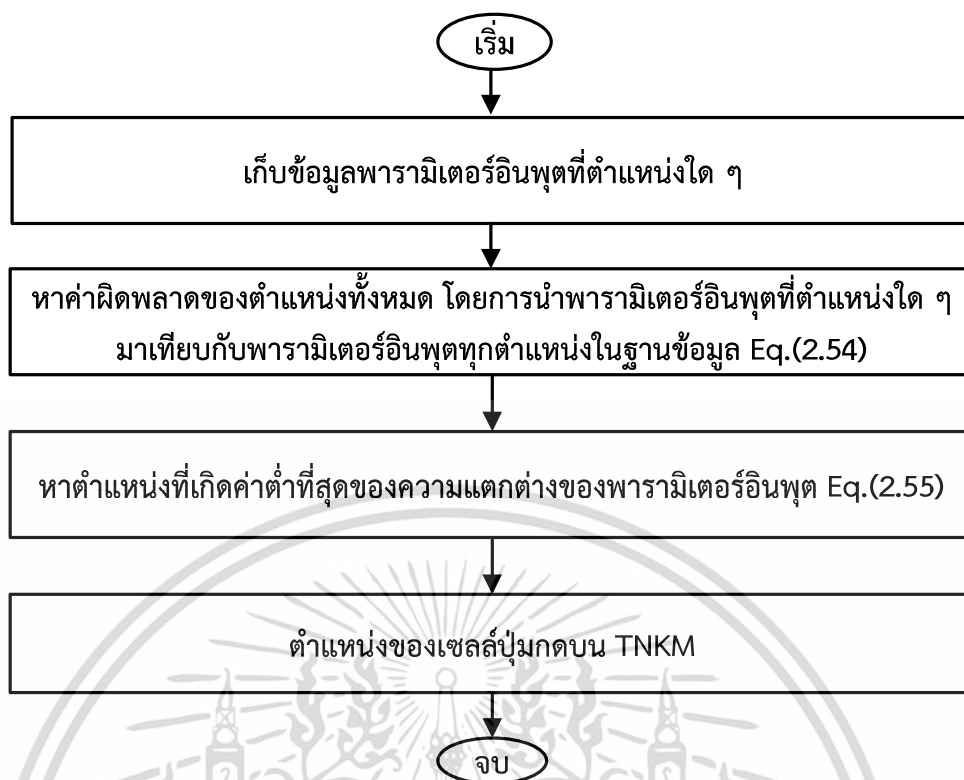
ขั้นแรก ทำการเก็บข้อมูลพารามิเตอร์อินพุตที่ตำแหน่งใด ๆ

ขั้นที่ 2 หาค่าผิดพลาดของตำแหน่งทั้งหมด โดยการนำพารามิเตอร์อินพุตที่ตำแหน่งใด ๆ มาเทียบกับพารามิเตอร์อินพุตในทุกตำแหน่งในฐานข้อมูล ดังสมการที่ 2.54

ขั้นที่ 3 หาค่าตำแหน่งที่ทำให้เกิดค่าต่ำที่สุดของค่าความแตกต่างกันของพารามิเตอร์อินพุตที่ตำแหน่งใด ๆ กับพารามิเตอร์อินพุตในฐานข้อมูล ดังสมการที่ 2.55

ขั้นที่ 4 แสดงตำแหน่งของเซลล์ป้อนบน TNKM

เมื่อทำขั้นการหาตำแหน่งเซลล์ป้อนของวัตถุเหนือ TNKM ทั้ง 4 ขั้นตอนแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จะได้ตำแหน่งเซลล์ป้อนของวัตถุเหนือ TNKM มา



รูปที่ 4.5 ผังงานขั้นการหาตำแหน่งเซลล์ปุ่มกดของวัตถุเหนือ TNKM

4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

4.3.1 เครื่อง VNA

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าเครื่อง VNA จะมีเครื่องอื่น ๆ ประกอบอยู่ด้วยโดยเครื่องที่ประกอบอยู่เมื่อเรียงลำดับจากบนลงล่าง คือ

- 4.3.1.1 จอแสดงผล (Monitor)
- 4.3.1.2 ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย (S-Parameter Test)
- 4.3.1.3 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบสองพอร์ต (Network Analyzer)
- 4.3.1.4 เครื่องสังเคราะห์ความถี่ (Synthesized Sweeper)

4.3.2 ชุด Calibrate

4.3.3 สายนำสัญญาณ

4.3.4 คอมพิวเตอร์

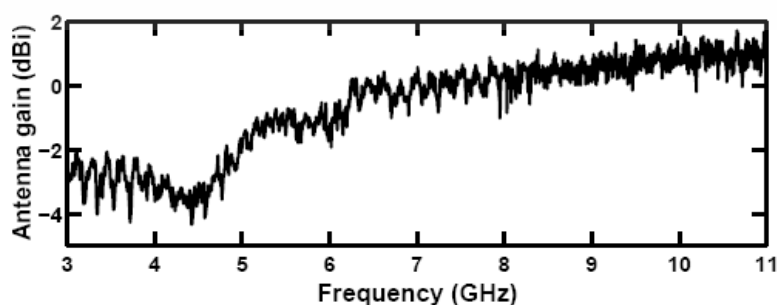
4.3.5 แท่งอลูมิเนียมกลมยาว 28 cm และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 cm



รูปที่ 4.6 เครื่อง VNA ที่ใช้ในการทดสอบ TNKM

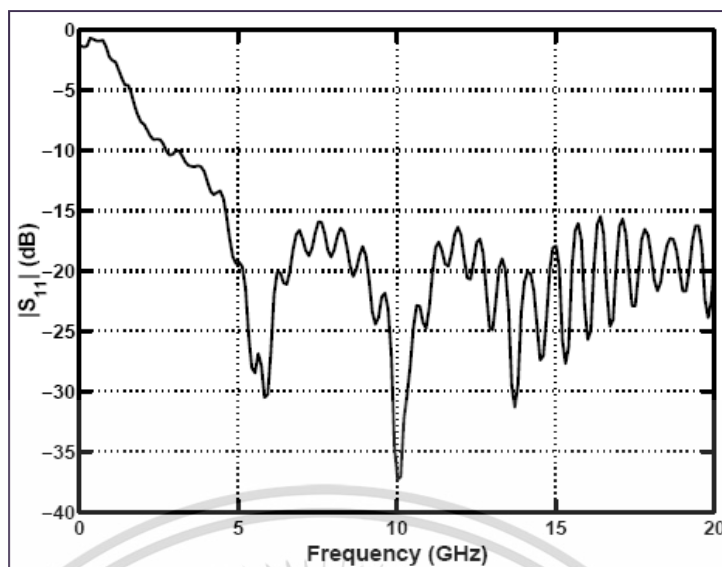
4.3.6 สายอากาศแบบกรวยคู่

คุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบกรวยคู่นี้เป็นแบบรอบทิศทางในมุมกวาด (Azimuth) มีอัตราขยาย (Gain) อยู่ในช่วง -4 dBi ถึง 2 dBi ดังรูปที่ 4.7 และจากรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าสายอากาศแบบกรวยคู่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ 3 GHz ถึง 11 GHz แสดงให้เห็นว่าสายอากาศแบบกรวยคู่มีช่วงความถี่การแพร่กระจายคลื่นที่กว้าง ครอบคลุมช่วงความถี่ที่ใช้ทดสอบ อีกทั้งลักษณะของเฟสมีความเป็นเชิงเส้นสูง และมีสนามระยะไกล (Farfield) ที่ระยะ 0.26 m ที่ความถี่กลาง โครงสร้างของสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ในการทดสอบ มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ฐานของแต่ละกรวยเป็น 65.34 mm ระยะห่างระหว่างฐานกรวยทั้งสองเป็น 37 mm ดังรูปที่ 4.9

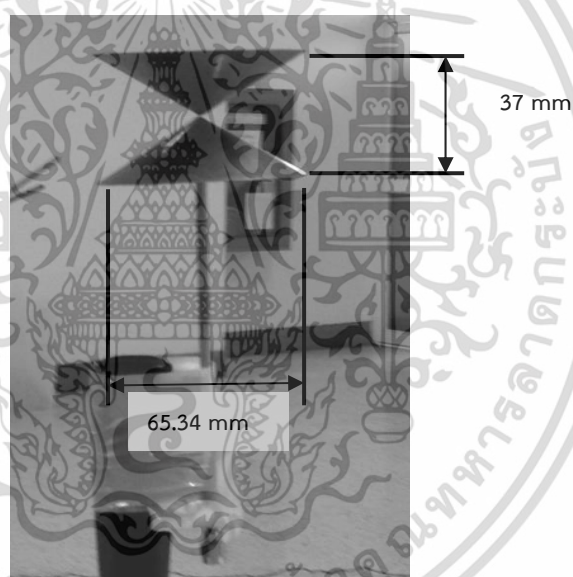


รูปที่ 4.7 อัตราการขยายสายอากาศแบบกรวยคู่ [49]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 $|S_{11}|$ ของสายอากาศแบบกรวยคู่ [49]



รูปที่ 4.9 สายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ในการทดสอบ [49]

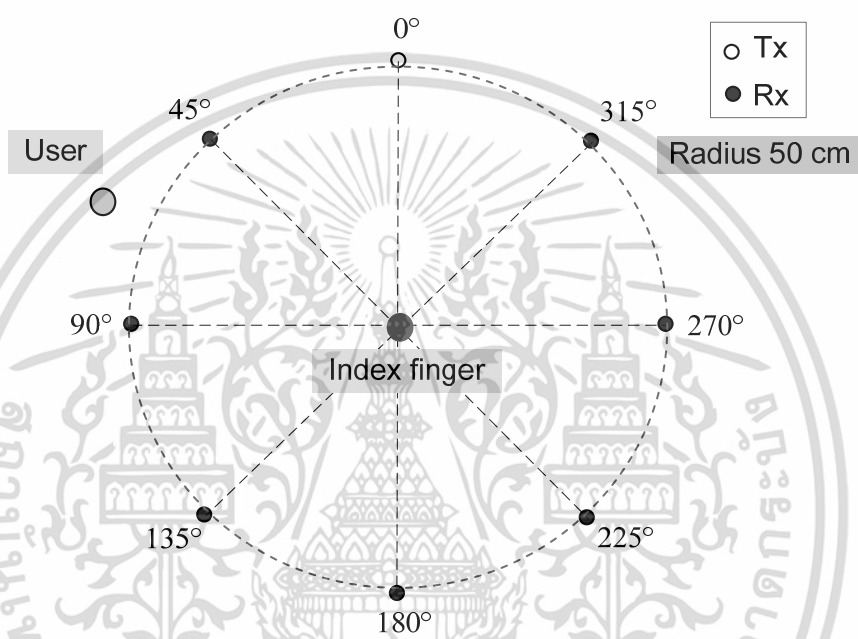
4.4 แบบจำลองสำหรับการทดสอบและการเตรียมการวัดช่องสัญญาณ

เนื่องจากพารามิเตอร์ RCS ยังไม่มีการนำมาใช้กับการหาตำแหน่งของนิ้วชี้ของมนุษย์ด้วยเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือมาก่อน ดังนั้น การทดสอบที่ 1 จะเป็นการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อมีการเปลี่ยนผู้ทดสอบ จากนั้น จะทำการทดสอบ TNKM โดยการทดสอบ TNKM แบ่งออกเป็น 3 การทดสอบ ได้แก่ การทดสอบที่ 2 การทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่ จากนั้น การทดสอบที่ 3 เป็นการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก สุดท้ายเป็นการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียม โดยการทดสอบทั้งสามนี้จะเป็นอิสระต่อกัน เพื่อแสดงการใช้งาน TNKM ในหลายรูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 การทดสอบพารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์

ในการทดสอบพารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์นั้น เป็นการทดสอบที่สร้างขึ้นเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อมีการเปลี่ยนอสาสมัครในการทดสอบ โดยอสาสมัครที่ทำการทดสอบนั้นมีทั้งหมด 7 คน ซึ่งมีรูปร่างลักษณะที่ต่างกัน มีทั้งเพศชายและหญิง มีช่วงอายุอยู่ระหว่าง 21 ปี ถึง 32 ปี มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 45 kg ถึง 90 kg และมีส่วนสูงอยู่ในช่วง 155 cm ถึง 180 cm โดยแบบจำลองการทดสอบพารามิเตอร์ RCS กับนิ้วชี้ของมนุษย์ เมื่อมีการเปลี่ยนอสาสมัครได้แสดงดังรูปที่ 4.10 และพารามิเตอร์ในการวัดช่องสัญญาณด้วยเครื่อง VNA สำหรับการทดสอบพารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์ เมื่อมีการเปลี่ยนอสาสมัคร เป็นดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.10 แบบจำลองการทดสอบพารามิเตอร์ RCS กับนิ้วชี้ของมนุษย์ เมื่อมีการเปลี่ยนอสาสมัคร

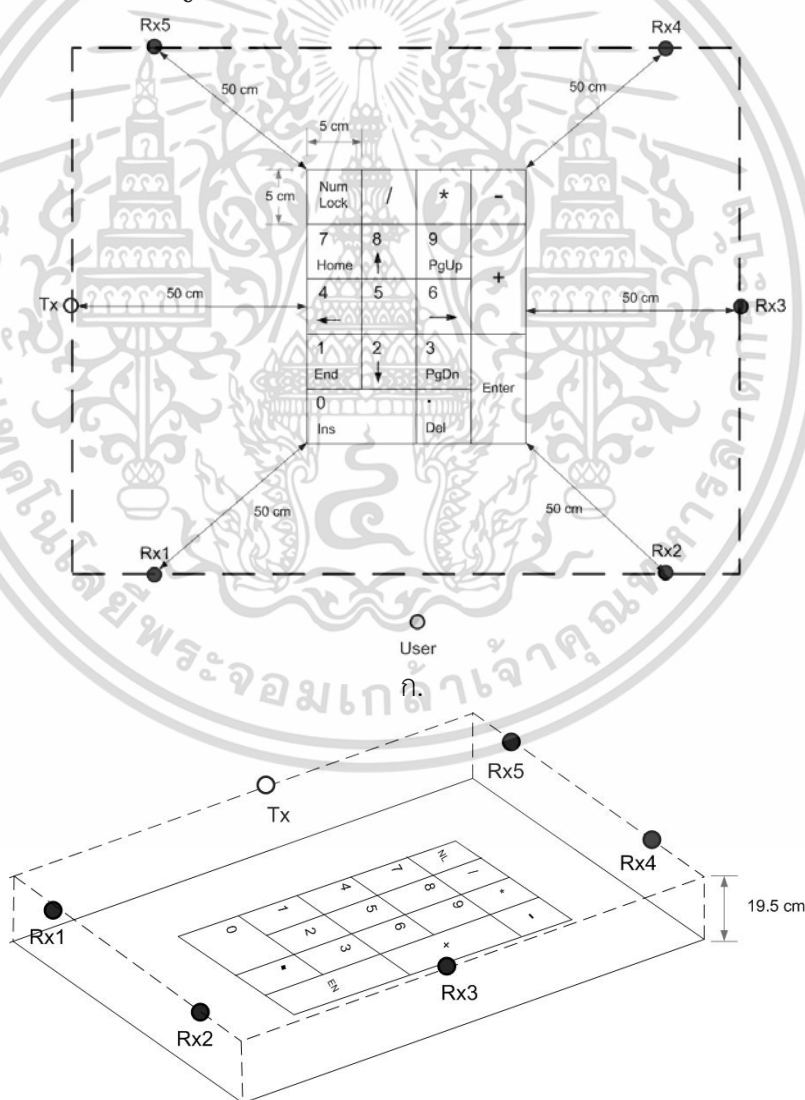
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ในการวัดช่องสัญญาณด้วยเครื่อง VNA สำหรับการทดสอบพารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการทดสอบ
ช่วงความถี่	3 GHz – 11 GHz
จำนวนจุดความถี่	801 จุด
สายอากาศที่ใช้ในการวัดช่องสัญญาณ	สายอากาศกรวยคู่
ระนาบการวางสายอากาศด้านส่ง	แนวนอน
ระนาบการวางสายอากาศด้านรับ	แนวนอน
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	19.50 cm
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	19.50 cm
ความสูงของนิ้วชี้ของมนุษย์	19.50 และ 29.50 cm
จำนวนสายอากาศรับ	7 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

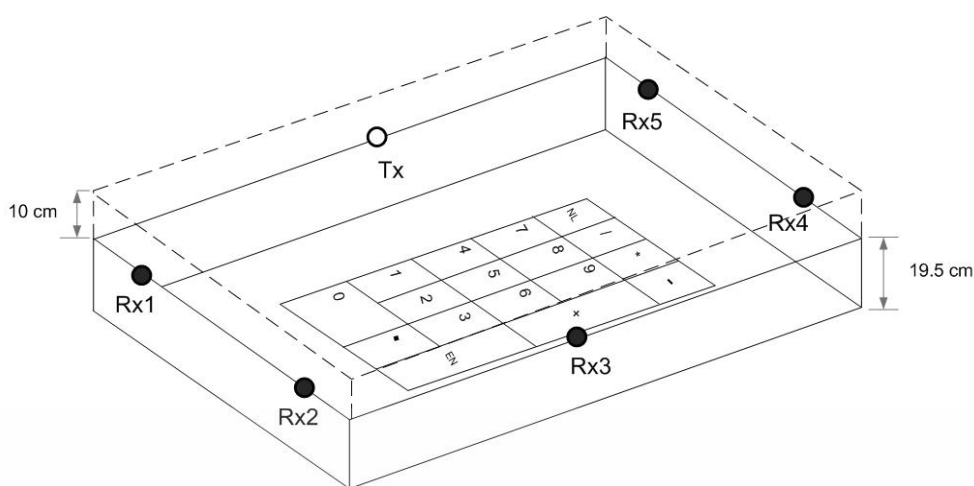
4.4.2 การทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่

ในการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่นี้ เป็นการทดสอบที่ทำขึ้นเพื่อหาตำแหน่งของนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อสายอากาศอยู่ไกลจากวัตถุ การทดสอบนี้ใช้จำนวนสายอากาศรับทั้งหมด 5 ตัว การทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่นั้น ได้วางแผนการทดสอบภายใต้ 3 เงื่อนไข ได้แก่ พารามิเตอร์ ระบายการวางสายอากาศ และความสูงของวัตถุ โดยพารามิเตอร์ ได้แก่ พารามิเตอร์ PL พารามิเตอร์ DT พารามิเตอร์ POL และพารามิเตอร์ RCS สำหรับพารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT จะทำการทดสอบใน 2 มาตรฐาน เป็น 3 เงื่อนไขตามข้อกำหนดของเทคโนโลยี UWB ได้แก่ IEEE802.15.3a เป็นการทดสอบสัญญาณ UWB แบบ FB และ IEEE802.15.4a เป็นการทดสอบสัญญาณ UWB แบบ LB และ HB ส่วนระบายการวางสายอากาศ ได้แก่ ระบาย H-H และ ระบาย V-V การทดสอบนั้นจะทำใน 2 ระดับความสูง คือ 19.50 cm และ 29.50 cm แบบจำลองการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่ เป็นดังรูปที่ 4.11 และพารามิเตอร์ในการวัดช่องสัญญาณด้วยเครื่อง VNA สำหรับการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่ ได้แสดงดังตารางที่ 4.2



ป.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.

รูปที่ 4.11 แบบจำลองการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่

ก. ภาพด้านบนของ TNKM

ข. ภาพด้านข้างของ TNKM เมื่อนิ้วชี้ของมนุษย์สูง 19.50 cm จากเซลล์ปุ่มกด

ค. ภาพด้านข้างของ TNKM เมื่อนิ้วชี้ของมนุษย์สูง 29.50 cm จากเซลล์ปุ่มกด

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ในการวัดช่องสัญญาณด้วยเครื่อง VNA สำหรับการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่

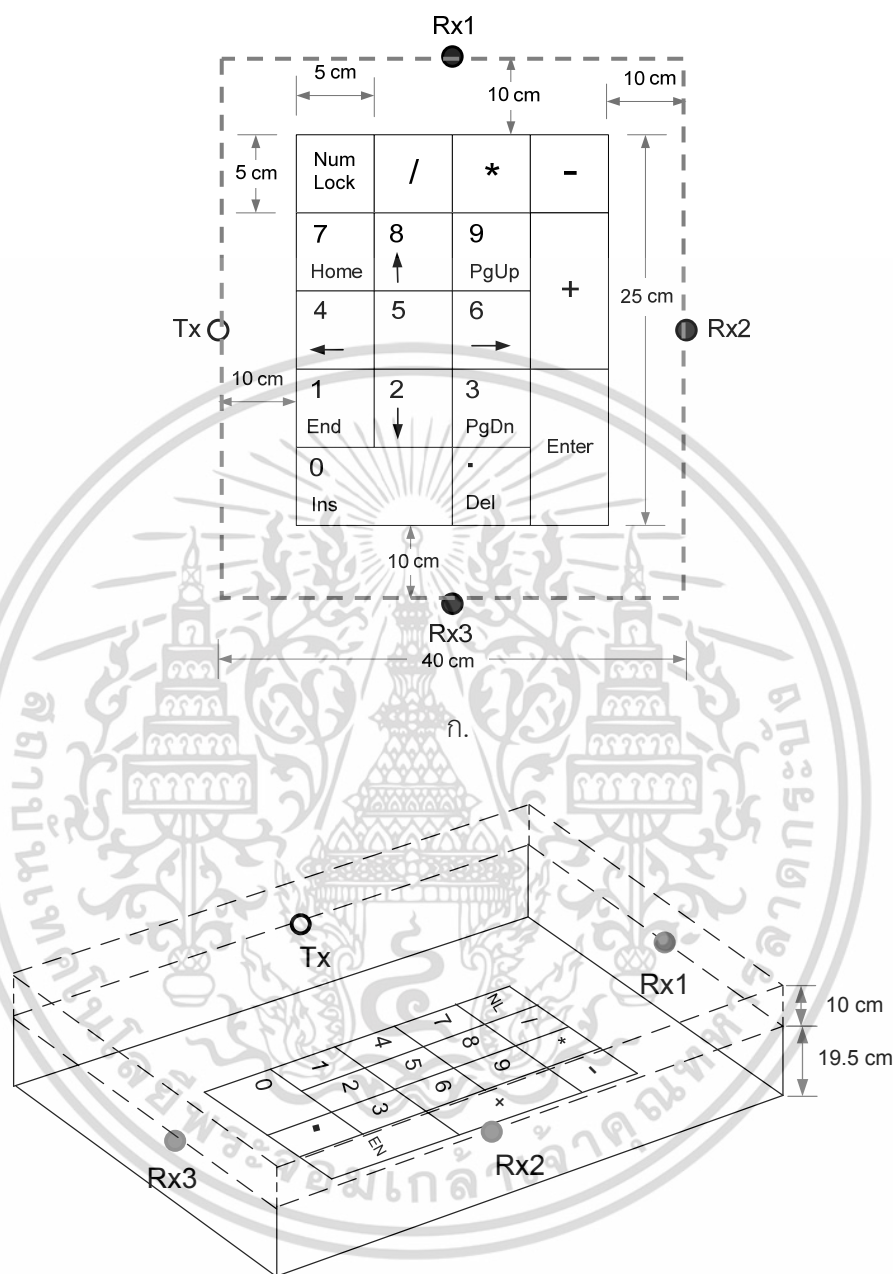
พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการทดสอบ
ช่วงความถี่	3 GHz – 11 GHz
จำนวนจุดความถี่	801 จุด
สายอากาศที่ใช้ในการวัดช่องสัญญาณ	สายอากาศกรวยคู่
การวางสายอากาศด้านส่ง	แนวตั้งและแนวนอน
การวางสายอากาศด้านรับ	แนวตั้งและแนวนอน
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	19.50 cm
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	19.50 cm
ความสูงของนิ้วชี้ของมนุษย์	19.50 และ 29.50 cm
จำนวนสายอากาศรับ	5 ตำแหน่ง
จำนวนเซลล์ปุ่มกด	17 เซลล์

4.4.3 การทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก

ในการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็กนี้ เป็นการทดสอบที่สร้างขึ้นเพื่อทดสอบการหาตำแหน่งของนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อสายอากาศอยู่ใกล้จากวัตถุ โดยใช้จำนวนสายอากาศรับทั้งหมด 3 ตัว การทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก ได้วางแผนการทดสอบภายใต้ 2 เงื่อนไข ได้แก่ พารามิเตอร์และความสูงของวัตถุ เช่นเดียวกับการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่ แบบจำลองการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

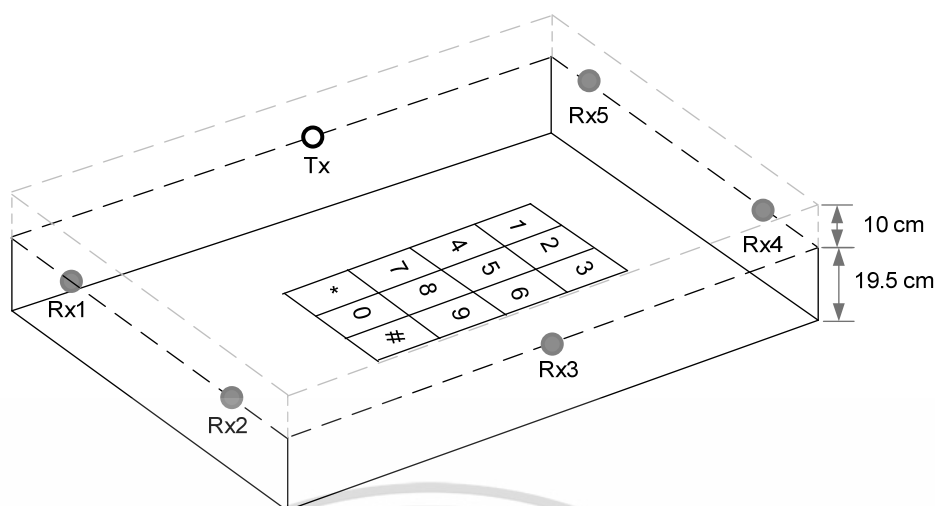
ขนาดเล็ก ดังรูปที่ 4.12 และพารามิเตอร์ในการวัดช่องสัญญาณด้วยเครื่อง VNA สำหรับการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก แสดงดังตารางที่ 4.3



ข.

รูปที่ 4.12 แบบจำลองการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก
 ก. ภาพด้านบนของ TNKM
 ข. ภาพด้านข้างของ TNKM เมื่อนิ้วชี้ของมนุษย์สูง 19.50 cm และ 29.50 cm จากพื้นโต๊ะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข.

รูปที่ 4.13 แบบจำลองการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมเมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่

ก. ภาพด้านบนของ TNKM

ข. ภาพด้านข้างของ TNKM เมื่อแท่งอลูมิเนียมสูง 19.50 cm และ 29.50 cm

ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์ในการวัดช่องสัญญาณด้วยเครื่อง VNA สำหรับการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมเมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการทดสอบ
ช่วงความถี่	3 GHz - 11 GHz
จำนวนจุดความถี่	801 จุด
สายอากาศที่ใช้ในการวัดช่องสัญญาณ	สายอากาศกรวยคู่
การวางสายอากาศด้านส่ง	แนวนอน
การวางสายอากาศด้านรับ	แนวนอน
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	19.50 cm
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	19.50 cm
ความสูงของนิ้วชี้ของมนุษย์	19.50 และ 29.50 cm
จำนวนสายอากาศรับ	5 ตำแหน่ง
จำนวนเซลล์ปุ่มกด	12 เซลล์

4.5 ขั้นตอนการเตรียมการวัดช่องสัญญาณ

การเตรียมการวัดช่องสัญญาณ เป็นเพียงขั้นตอนการวัดเพื่อเก็บข้อมูลช่องสัญญาณเท่านั้น โดยปราศจากการประมวลผลของ TNKM โดยการเตรียมการวัดช่องสัญญาณประกอบไปด้วย การเตรียมการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบพารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์ และการเตรียมการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบ TNKM ทั้ง 3 การทดสอบ ได้แก่ การเตรียมการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่ การเตรียมการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก และสุดท้ายเป็นการเตรียมการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียม

4.5.1 การเตรียมการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบพารามิเตอร์ RCS นิ้วชี้ของมนุษย์
การเตรียมการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบพารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์นั้น ได้แสดงสถานะแวดล้อมของการทดสอบดังรูปที่ 4.14 โดยมีขั้นตอนการทดสอบอยู่ 9 ขั้นตอน

4.5.1.1 ทำการติดตั้งสายอากาศรวยคู่ และตั้งค่าเครื่อง VNA ตามพารามิเตอร์การวัดในตารางที่ 4.1 โดยทำการสอบเทียบ (Calibrate) แบบ Full two-port

4.5.1.2 ติดตั้งการทดสอบตามรูปที่ 4.10 โดยให้ Tx อยู่กับที่และ Rx เริ่มต้นที่มุม 45°

4.5.1.3 ให้อาสาสมัครคนแรกมาทำการทดสอบ โดยทำการทดสอบมุมละ 2 ระดับ คือ 19.50 cm และ 29.50 cm

4.5.1.4 ทำการบันทึกผลฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณจากเครื่อง VNA

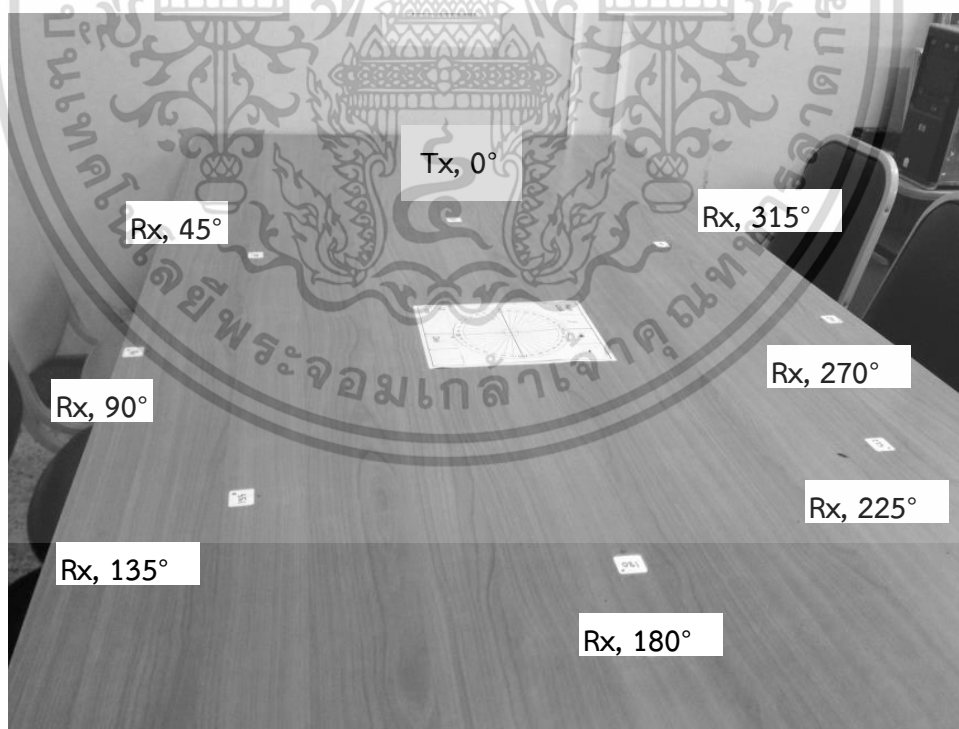
4.5.1.5 เปลี่ยนอาสาสมัครและทำซ้ำในข้อที่ 4.5.1.2 ถึงข้อที่ 4.5.1.4 ใหม่ โดยเปลี่ยนมุมการทดสอบเป็น 90° 135° 180° 225° 270° และ 315° จนครบทั้ง 7 คน

4.5.1.6 ทำซ้ำในข้อที่ 4.5.1.2 ถึงข้อที่ 4.5.1.5 อีก 4 ครั้ง

4.5.1.7 นำข้อมูลที่ได้จากการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณด้วยเครื่อง VNA มาประมวลผลสัญญาณเป็นพารามิเตอร์ RCS

4.5.1.8 จัดเก็บผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS แสดงผลในรูปแบบของกราฟเส้น

4.5.1.9 ประเมินผลพารามิเตอร์ RCS กับนิ้วชี้ของมนุษย์ เมื่อมีการเปลี่ยนผู้ทดสอบ



รูปที่ 4.14 การจำลองการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบพารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์ เมื่อมีการเปลี่ยนอาสาสมัคร 7 คน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 การเตรียมการวัดสำหรับการทดสอบ TNKM ขนาดใหญ่กับนิ้วชี้ของมนุษย์

การเตรียมการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่ นั้น ได้แสดงสถานะแวดล้อมของการทดสอบดังรูปที่ 4.15 โดยมีขั้นตอนการวัดทั้งหมดอยู่ 9 ขั้นตอน

4.5.2.1 ติดตั้งสายอากาศกรวยคู่ เริ่มจากการวางสายอากาศในระนาบ H-H และตั้งค่าเครื่อง VNA ตามพารามิเตอร์การวัดในตารางที่ 4.2 โดยใช้การสอบเทียบแบบ Full two-port

4.5.2.2 ติดตั้งการทดสอบตามรูปที่ 4.11 โดยให้ Tx อยู่กับที่และ Rx เริ่มต้นที่ Rx1

4.5.2.3 ให้อาสาสมัครมาทำการทดสอบ โดยทำการทดสอบเซลล์ปุ่มกดละ 2 ระดับ คือ 19.50 cm และ 29.50 cm

4.5.2.4 ทำการบันทึกผลฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณจากเครื่อง VNA

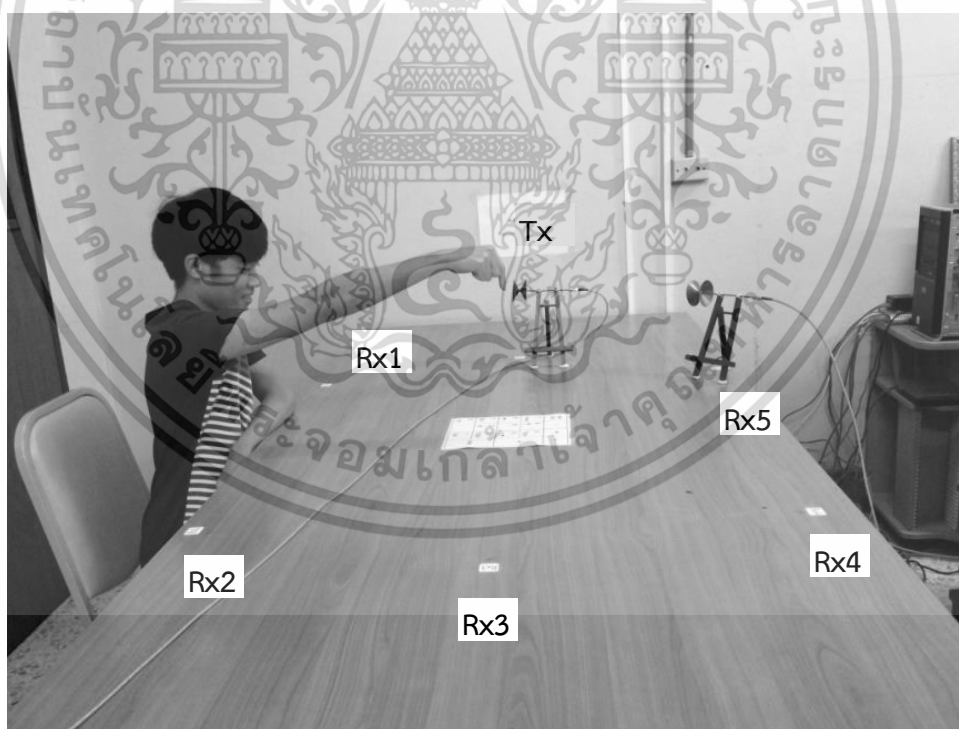
4.5.2.5 ทำซ้ำในข้อที่ 4.5.2.2 ถึงข้อที่ 4.5.2.4 ใหม่ โดยเปลี่ยนตำแหน่ง Rx เดิมเป็น Rx ถัดไป จนได้ข้อมูลครบทุกตำแหน่งเซลล์ปุ่มกดจาก Rx1-Rx5

4.5.2.6 ทำซ้ำในข้อที่ 4.5.2.2 ถึงข้อที่ 4.5.2.5 อีก 4 ครั้ง

4.5.2.7 จัดเก็บผลการทดสอบจากการวางสายอากาศในระนาบ H-H

4.5.2.8 ทำซ้ำในข้อที่ 4.5.2.1 ถึงข้อที่ 4.5.2.6 โดยเปลี่ยนระนาบการวางสายอากาศเป็นวางในระนาบ V-V

4.5.2.9 จัดเก็บผลการทดสอบจากการวางสายอากาศในระนาบ V-V



รูปที่ 4.15 การจำลองการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 การเตรียมการวัดสำหรับการทดสอบ TNKM ขนาดเล็กกับนิ้วชี้ของมนุษย์

การเตรียมการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็กนั้น ได้แสดงสภาวะแวดล้อมของการทดสอบดังรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 เป็นรูปด้านบน ในขณะที่ทำการทดสอบ โดยมีขั้นตอนการวัดทั้งหมดอยู่ 7 ขั้นตอน

4.5.3.1 ติดตั้งสายอากาศกรวยคู่ โดยเริ่มจากการวางสายอากาศในระนาบ H-H และ ตั้งค่าเครื่อง VNA ตามพารามิเตอร์การวัดในตารางที่ 4.3 โดยใช้การสอบเทียบแบบ Full two-port

4.5.3.2 ติดตั้งการทดสอบตามรูปที่ 4.12 โดยให้ Tx อยู่กับที่และ Rx เริ่มต้นที่ Rx1

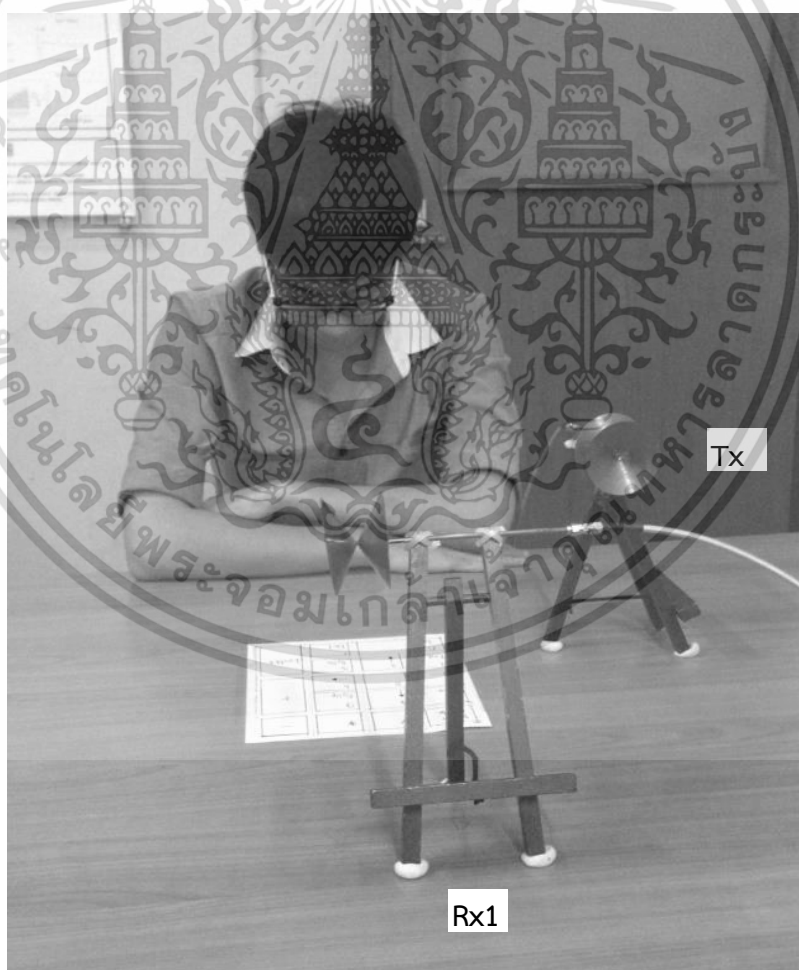
4.5.3.3 ให้อาสาสมัครมาทำการทดสอบ โดยทำการทดสอบเซลล์ปุ่มกดละ 2 ระดับ คือ 19.50 cm และ 29.50 cm

4.5.3.4 ทำการบันทึกผลฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณจากเครื่อง VNA

4.5.3.5 ทำซ้ำในข้อที่ 4.5.3.2 ถึงข้อที่ 4.5.3.4 ใหม่ โดยเปลี่ยนตำแหน่ง Rx เดิมเป็น Rx ถัดไป จนได้ข้อมูลครบทุกตำแหน่งเซลล์ปุ่มกดจาก Rx1-Rx3

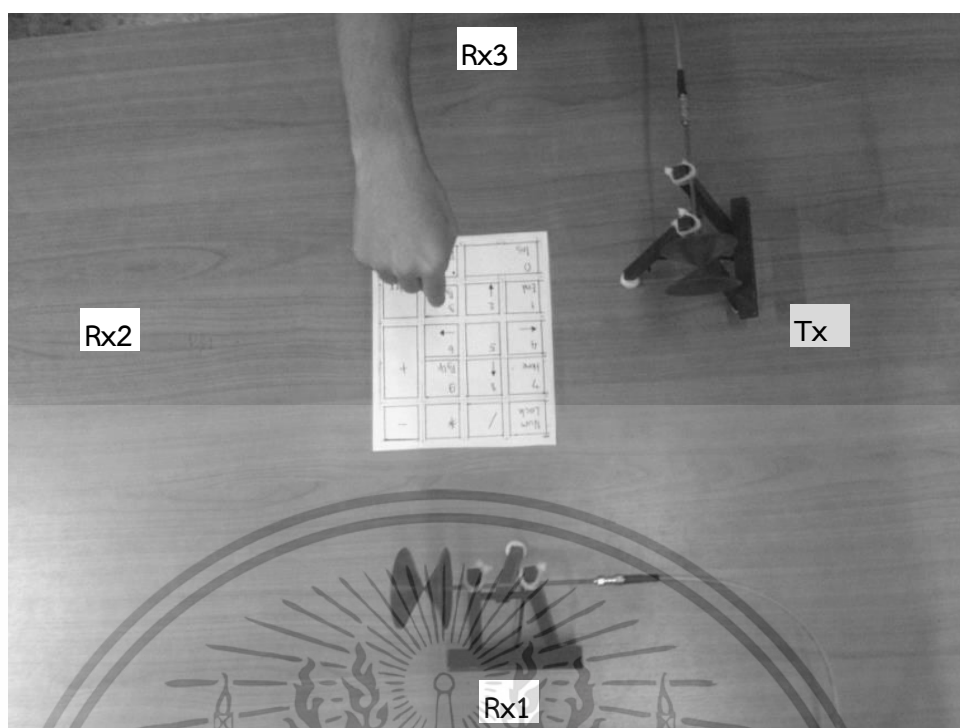
4.5.2.6 ทำซ้ำในข้อที่ 4.5.3.2 ถึงข้อที่ 4.5.3.5 อีก 4 ครั้ง

4.5.2.7 จัดเก็บผลการทดสอบทั้งหมด



รูปที่ 4.16 การจำลองการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 การจำลองการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก (ภาพด้านบน)

4.5.4 การเตรียมการวัดสำหรับการทดสอบ TNKM ขนาดใหญ่กับแท่งอลูมิเนียม

การเตรียมการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียม เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่ขึ้น ได้แสดงสถานะแวดล้อมของการทดสอบดังรูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19 เป็นรูปของแท่งอลูมิเนียมที่ใช้ทำการทดสอบ โดยแท่งอลูมิเนียมจะติดตั้งกับวัสดุฐานรองที่ทำด้วยโฟม โดยให้ศูนย์กลางของแท่งอลูมิเนียมสูงจากพื้น 19.50 cm โดยมีขั้นตอนการวัดทั้งหมดอยู่ 7 ขั้นตอน

4.5.4.1 ติดตั้งสายอากาศกรวยคู่ โดยเริ่มจากการวางสายอากาศในระนาบ H-H และตั้งค่าเครื่อง VNA ตามพารามิเตอร์การวัดในตารางที่ 4.4 โดยใช้การสอบเทียบแบบ Full two-port

4.5.4.2 ติดตั้งการทดสอบตามรูปที่ 4.13 โดยให้ Tx อยู่กับที่และ Rx เริ่มต้นที่ Rx1

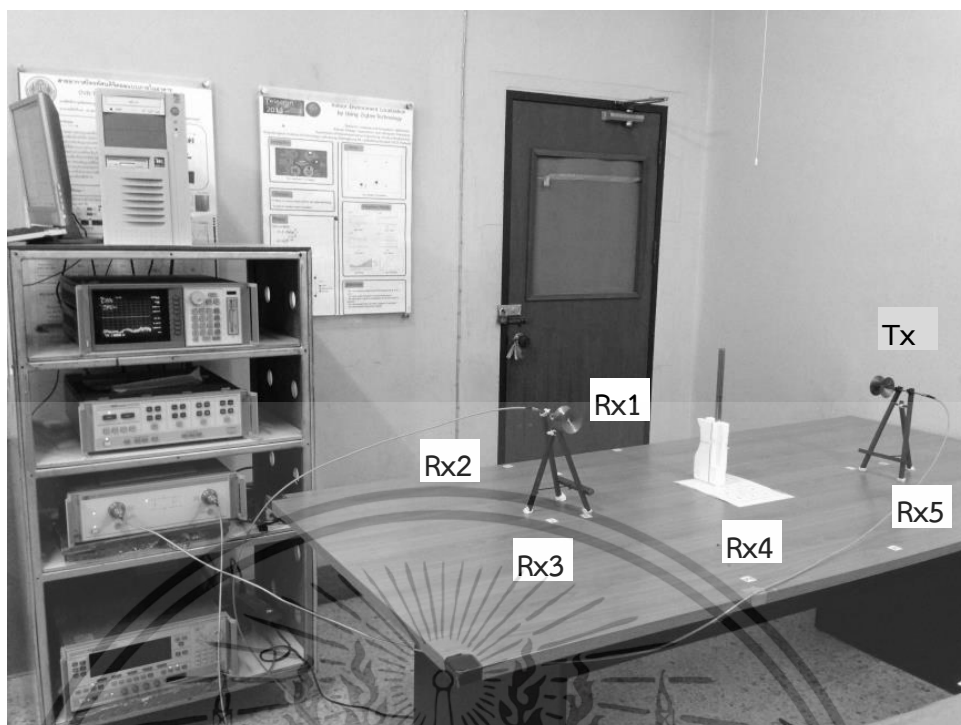
4.5.4.3 ทำการทดสอบ โดยทดสอบเซลล์ปุ่มกดที่ความสูงของวัดสูงจากพื้น 19.50 cm

4.5.4.4 ทำการบันทึกผลฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณจากเครื่อง VNA

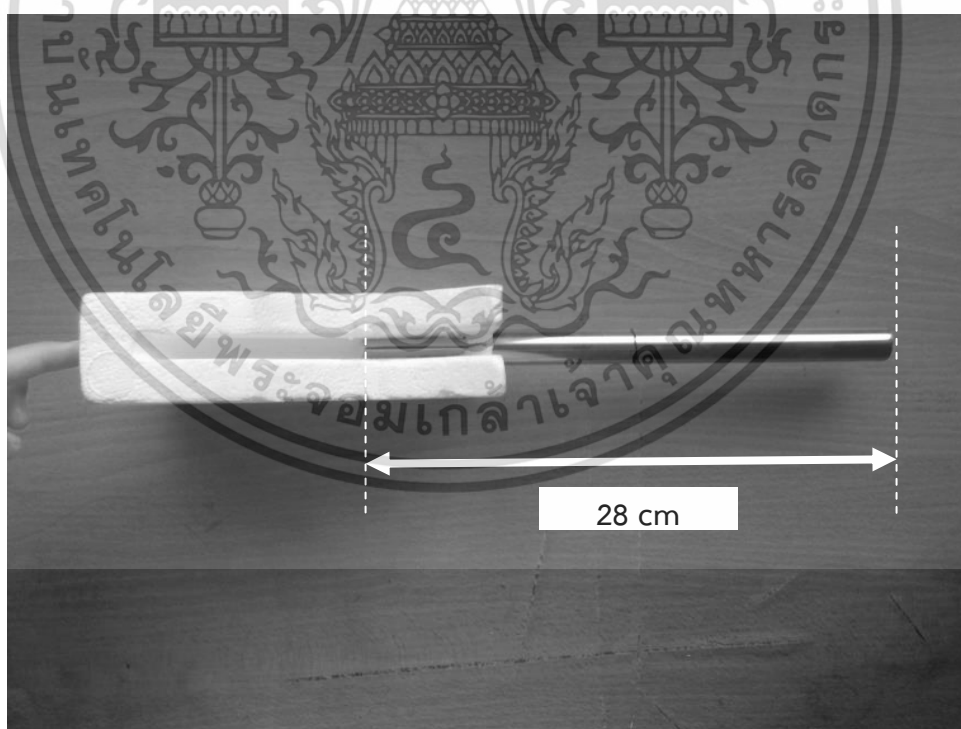
4.5.4.5 ทำซ้ำในข้อที่ 4.5.4.2 ถึงข้อที่ 4.5.4.4 ใหม่ โดยเปลี่ยนตำแหน่ง Rx เดิมเป็น Rx ถัดไป จนได้ข้อมูลครบทุกตำแหน่งเซลล์ปุ่มกดจาก Rx1-Rx5

4.5.4.6 ทำซ้ำในข้อที่ 4.5.4.2 ถึงข้อที่ 4.5.4.5 อีก 100 ครั้ง

4.5.4.7 จัดเก็บผลการทดสอบทั้งหมด



รูปที่ 4.18 การจำลองการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมเมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่



รูปที่ 4.19 แท่งอลูมิเนียมที่ใช้ในการจำลองการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมเมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 สรุป

ในบทนี้ ได้กล่าวถึงการออกแบบและการทดสอบการวัดช่องสัญญาณสำหรับ TNKM เพื่อนำมาใช้ในการประเมินผล TNKM โดยการออกแบบและจัดทำทดสอบ TNKM ได้แบ่งออกเป็น 4 การทดสอบ โดยการทดสอบแรกจะเป็นการทดสอบเพื่อประเมินผลค่า RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์ เมื่อมีการเปลี่ยนอาสาสมัคร และ 3 การทดสอบที่เหลือจะเป็นการทดสอบ TNKM ได้แก่ การทดสอบที่ 2 การทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่ การทดสอบที่ 3 เป็นการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก สุดท้ายเป็นการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียม โดยการทดสอบทั้งสามนี้จะเป็นอิสระต่อกัน เพื่อแสดงการใช้งาน TNKM ในหลายรูปแบบ โดยลำดับการนำเสนอในบทนี้ เริ่มจากผังงานการประมวลผลสัญญาณและการประมวลผลตำแหน่งของ TNKM ตามด้วยเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ TNKM ตามด้วยแบบจำลองสำหรับการทดสอบและการเตรียมการวัดช่องสัญญาณ และสุดท้ายได้กล่าวถึงขั้นตอนการเตรียมการวัดช่องสัญญาณ สำหรับผังงานการประมวลผลสัญญาณและการประมวลผลตำแหน่งของ TNKM นั้น ประกอบไปด้วย ผังงานการประมวลผลสัญญาณ ได้แก่ ผังงานการประมวลผลสัญญาณเป็นพารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT สำหรับ TNKM ผังงานการประมวลผลสัญญาณเป็นพารามิเตอร์ POL สำหรับ TNKM และผังงานการประมวลผลสัญญาณเป็นพารามิเตอร์ RCS และในเรื่องของผังงานการประมวลผลตำแหน่ง ได้แก่ ผังงานการประมวลผลตำแหน่งของ TNKM สำหรับการสร้างฐานข้อมูลใน TNKM และผังงานการประมวลผลตำแหน่งของ TNKM สำหรับการหาตำแหน่งเซลล์ปุ่มกดของวัตถุเหนือ TNKM สำหรับแบบจำลองและการเตรียมการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบ TNKM แบ่งเป็น การทดสอบที่ 1 การทดสอบพารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อมีการเปลี่ยนอาสาสมัคร ส่วนการทดสอบที่ 2 เป็นการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่ การทดสอบที่ 3 การทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก และการทดสอบที่ 4 การทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมเมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่ จากนั้นได้กล่าวถึงขั้นตอนการเตรียมการวัดช่องสัญญาณ ซึ่งเป็นหัวข้อสุดท้ายของบทนี้ ประกอบไปด้วย การเตรียมการวัดช่องสัญญาณสำหรับการทดสอบพารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์ การเตรียมการวัดสำหรับการทดสอบ TNKM ขนาดใหญ่กับนิ้วชี้ของมนุษย์ การเตรียมการวัดสำหรับการทดสอบ TNKM ขนาดเล็กกับนิ้วชี้ของมนุษย์ และการเตรียมการวัดสำหรับการทดสอบ TNKM ขนาดใหญ่กับแท่งอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองวิจัย

5.1 กล่าวนำ

จากการออกแบบและจัดทำกรทดสอบ TNKM ในบทที่ 4 ได้นำไปสู่ผลการทดลองวิจัย ซึ่งแสดงในบทที่ 5 ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ผลการทดสอบ โดยผลการทดสอบแรกเป็นผลการทดสอบเพื่อประเมินผลค่า RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์ เมื่อมีการเปลี่ยนผู้ทำการทดสอบ และอีก 3 ผลการทดสอบที่เหลือ จะเป็นผลการทดสอบ TNKM ได้แก่ ผลการทดสอบที่ 2 ผลจากการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้มือของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่ จากนั้น ผลการทดสอบที่ 3 เป็นผลการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้มือของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก และผลการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียม จะเป็นผลการทดสอบ TNKM สุดท้าย จากนั้น ในส่วนท้ายบท จะกล่าวถึงการสรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบจากการทดสอบทั้งหมด ซึ่งที่ได้กล่าวมามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.2 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์

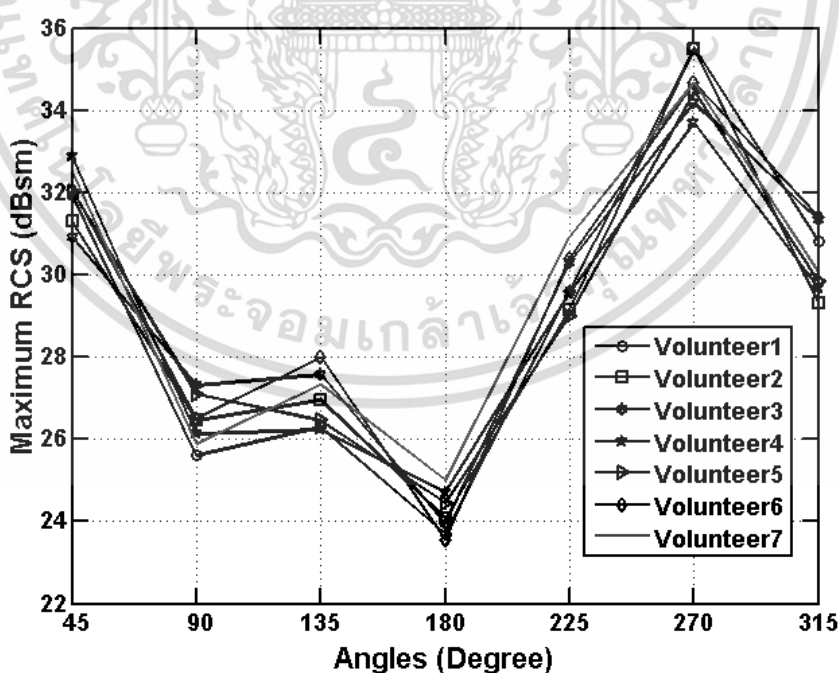
การทดสอบนี้ได้ทำขึ้นเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อมีการเปลี่ยนอาสาสมัคร โดยการทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบกับอาสาสมัครทั้งหมด 7 คน ใช้การส่งสัญญาณแบบกวาดความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz และได้ผลการทดสอบเป็นดังรูปที่ 5.1 ถึงรูปที่ 5.4 โดยพารามิเตอร์ RCS สูงสุดเมื่อทำการทดสอบกับอาสาสมัครทั้ง 7 คน ที่ระดับความสูงของนิ้วชี้ของมนุษย์ 19.50 cm เป็นดังรูปที่ 5.1 ส่วนรูปที่ 5.2 แสดงผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS เฉลี่ยเมื่อทำการทดสอบกับอาสาสมัครทั้ง 7 คน ที่ระดับความสูงของนิ้วชี้ของมนุษย์ 19.50 cm จากนั้น พารามิเตอร์ RCS สูงสุดเมื่อทำการทดสอบกับอาสาสมัครทั้ง 7 คน ที่ระดับความสูงของนิ้วชี้ของมนุษย์ 29.50 cm ได้แสดงดังรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 เป็นผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS เฉลี่ยเมื่อทำการทดสอบกับอาสาสมัครทั้ง 7 คน ที่ระดับความสูงของนิ้วชี้ของมนุษย์ 29.50 cm

จากผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์เมื่อมีการเปลี่ยนผู้ทดสอบ 7 คน จะเห็นได้ว่าพารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์ไม่ว่าจะเป็นพารามิเตอร์ RCS สูงสุด หรือพารามิเตอร์ RCS เฉลี่ย จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า พารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์ แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนอาสาสมัครถึง 7 คน ก็มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมากเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์จากการเปลี่ยนแปลงของมุม และระดับความสูงของนิ้วชี้ของมนุษย์ เช่น รูปผลการทดสอบ 5.2 ที่มุม 135° มีค่าของพารามิเตอร์ RCS เฉลี่ยของนิ้วชี้ของมนุษย์ซึ่งเฉลี่ยทั้ง 7 คน เป็น 3.38 dBsm โดยมีค่าต่ำที่สุด 2.53 dBsm และค่าสูงที่สุด 4.04 dBsm ซึ่งระหว่างค่าต่ำสุดและสูงที่สุดนั้นต่างกัน 1.51 dBsm และที่มุม 270° มีค่าของพารามิเตอร์ RCS เฉลี่ยของนิ้วชี้ของมนุษย์ซึ่งเฉลี่ยทั้ง 7 คน เป็น 10.09 dBsm โดยมีค่าต่ำที่สุด 9.39 dBsm และค่าสูงที่สุด 10.54 dBsm ซึ่งระหว่างค่าต่ำสุดและสูงที่สุดนั้นต่างกัน 1.15 dBsm ส่วนค่าความต่างของพารามิเตอร์ RCS เฉลี่ยของนิ้วชี้ของมนุษย์ระหว่างมุม 135° และ 270° เป็น 6.71 dBsm จากตัวอย่างที่ยกมานั้น โดยภาพรวมจะเห็นได้ว่า พารามิเตอร์ RCS นั้น จะเปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

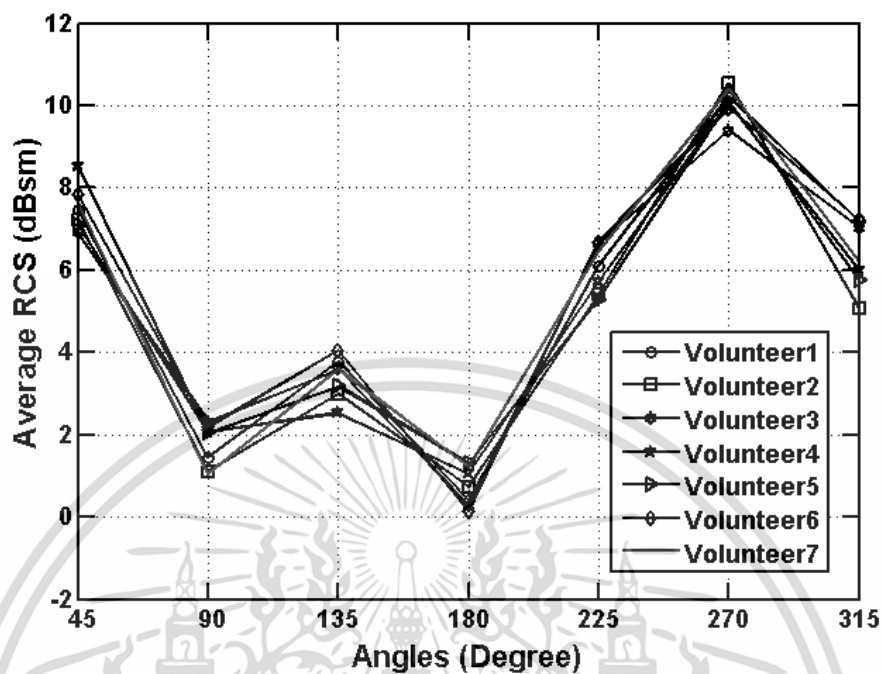
ตามมุม ทำให้เกิดลักษณะเฉพาะสำหรับการนำมาหาตำแหน่งด้วยเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ ส่วนเมื่อเปลี่ยนอาสาสมัครค่าพารามิเตอร์ RCS นั้นเปลี่ยนแปลงไม่มาก จึงไม่ค่อยส่งผลกระทบต่อการใช้งานหาตำแหน่ง

อีกตัวอย่างหนึ่ง เช่น ที่มุม 90° ของรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.3 จะเห็นได้ว่า เป็นพารามิเตอร์ RCS สูงสุดเมื่อทำการทดสอบกับอาสาสมัครทั้ง 7 คน ที่มุมเดียวกัน แต่ต่างระดับความสูงของนิ้วชี้ของมนุษย์ 10 cm ซึ่งที่มุม 90° ของระดับความสูงของนิ้วชี้ของมนุษย์ 19.50 cm นั้นมีค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ RCS สูงสุดทั้ง 7 คน เป็น 26.43 dBsm โดยมีค่าต่ำที่สุด 25.60 dBsm และค่าสูงที่สุด 27.30 dBsm ซึ่งระหว่างค่าต่ำสุดและสูงสุดนั้นต่างกัน 1.70 dBsm และที่มุม 90° ของระดับความสูงของนิ้วชี้ของมนุษย์ 29.50 cm นั้นมีค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ RCS สูงสุดทั้ง 7 คน เป็น 30.49 dBsm โดยมีค่าต่ำที่สุด 29.50 dBsm และค่าสูงที่สุด 31.02 dBsm ซึ่งระหว่างค่าต่ำสุดและสูงสุดต่างกัน 1.52 dBsm ส่วนค่าความต่างของพารามิเตอร์ RCS สูงสุดของนิ้วชี้ของมนุษย์ระหว่างระดับความสูง 19.50 cm และ 29.50 cm เป็น 4.06 dBsm โดยภาพรวม จะเห็นได้ว่า พารามิเตอร์ RCS นั้น จะเปลี่ยนแปลงไปตามระดับความสูงของนิ้วชี้ของมนุษย์ด้วยเหมือนกัน นั่นคือ เมื่อระยะทางจาก Tx ไปยังนิ้วชี้ของมนุษย์ และจากนิ้วชี้ของมนุษย์ ไปยัง Rx มีการเปลี่ยนแปลง ค่าพารามิเตอร์ RCS นั้น จะเปลี่ยนไปด้วย ซึ่งทำให้เกิดลักษณะเฉพาะสำหรับการนำมาหาตำแหน่งด้วยเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือเช่นกัน ส่วนเมื่อเปลี่ยนอาสาสมัครค่าพารามิเตอร์ RCS ก็ยังคงเปลี่ยนแปลงไม่มาก จึงไม่ค่อยส่งผลกระทบต่อการใช้งานหาตำแหน่ง เช่นเดียวกับตัวอย่างแรก และจากตัวอย่างที่ 2 นี้ ทำให้ทราบว่ระดับความสูง 19.50 cm และ 29.50 cm สามารถนำมาหาค่า RCS ได้ทั้งสองระดับ แต่มีค่า RCS ที่ค่อนข้างจะแตกต่างกัน ดังนั้น ในการทดสอบต่อจากนี้จะถือว่าระดับความสูงทั้งสองเป็นอิสระต่อกัน

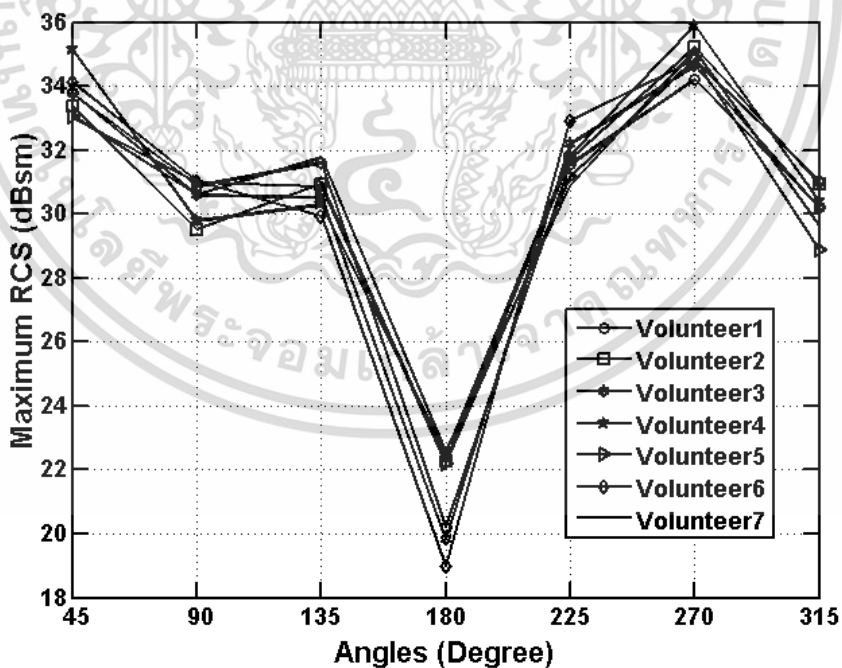


รูปที่ 5.1 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS สูงสุดเมื่อทำการทดสอบกับอาสาสมัครทั้ง 7 คน ณ มุมต่าง ๆ ที่ระดับความสูงของนิ้วชี้ของมนุษย์ 19.50 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

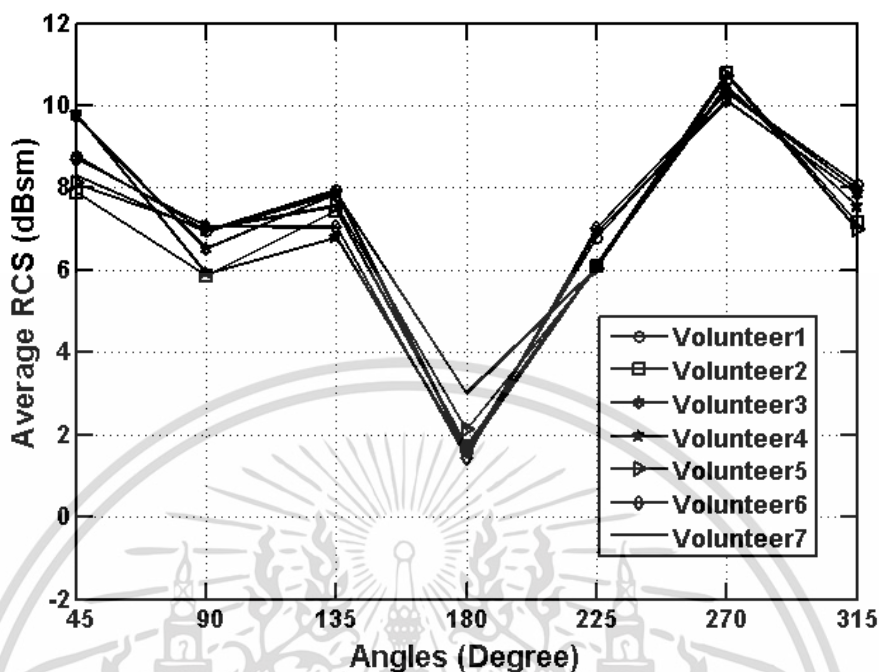


รูปที่ 5.2 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS เฉลี่ยเมื่อทำการทดสอบกับอาสาสมัครทั้ง 7 คน ณ มุมต่าง ๆ ที่ระดับความสูงของนิ้วชี้ของมนุษย์ 19.50 cm



รูปที่ 5.3 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS สูงสุดเมื่อทำการทดสอบกับอาสาสมัครทั้ง 7 คน ณ มุมต่าง ๆ ที่ระดับความสูงของนิ้วชี้ของมนุษย์ 29.50 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

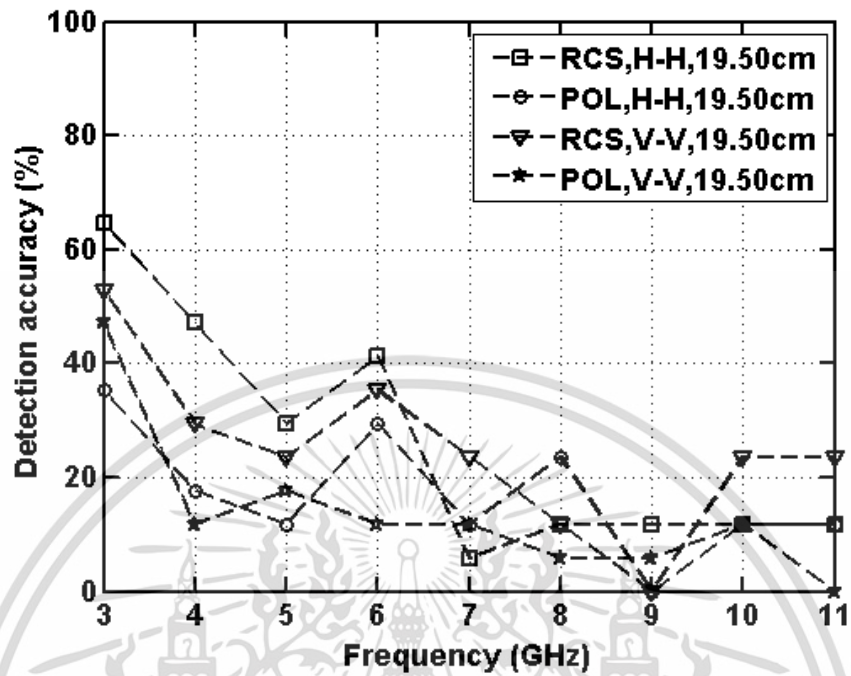


รูปที่ 5.4 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS เฉลี่ยเมื่อทำการทดสอบกับอาสาสมัครทั้ง 7 คน ณ มุมต่าง ๆ ที่ระดับความสูงของนิ้วชี้ของมนุษย์ 29.50 cm

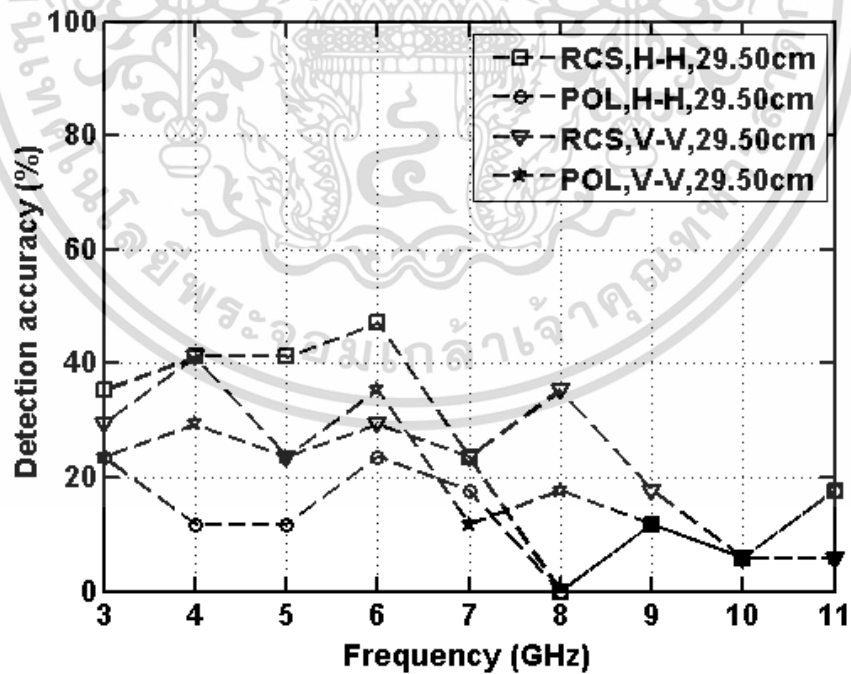
5.3 ผลการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้มือของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่

จากการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้มือของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่ ได้ทำการทดสอบภายใต้ 3 เงื่อนไข ได้แก่ พารามิเตอร์ ระบุการวางสายอากาศ และความสูงของวัตถุเหนือเซลล์ปุ่มกด โดยพารามิเตอร์นั้นประกอบไปด้วย พารามิเตอร์ RCS พารามิเตอร์ POL พารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT สำหรับพารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT จะทำการทดสอบใน 2 มาตรฐานของเทคโนโลยี UWB ดังที่ได้ออกแบบการทดสอบไว้ 3 เงื่อนไข ได้แก่ UWB-FB, UWB-LB และ UWB-HB ส่วนระบุการวางสายอากาศ แบ่งออกเป็น การวางสายอากาศในระนาบ H-H และการวางสายอากาศในระนาบ V-V ทางด้านระดับความสูงของวัตถุเหนือเซลล์ปุ่มกดนั้น จะทำใน 2 ระดับความสูง ได้แก่ 19.50 cm ซึ่งนิ้วชี้มือของมนุษย์อยู่ในระดับความสูงเท่ากับสายอากาศ และ 29.50 cm ซึ่งนิ้วชี้มือของมนุษย์อยู่ในระดับความสูงเหนือสายอากาศขึ้นไป 10 cm ซึ่งได้ผลการทดสอบเป็นดังรูปที่ 5.5 ถึงรูปที่ 5.8

จากผลการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้มือของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่ พบว่า การใช้พารามิเตอร์ RCS ในการดำเนินการ สามารถระบุตำแหน่งของเซลล์ปุ่มกดได้ดีกว่าพารามิเตอร์ POL โดยเฉพาะการใช้พารามิเตอร์ RCS กับสัญญาณกวาดความถี่นั้นให้แม่นยำในการหาตำแหน่งสูงสุดซึ่งมากกว่าพารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT ทางด้านการวางสายอากาศในระนาบ H-H ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ส่วนระดับความสูงของวัตถุเหนือเซลล์ปุ่มกดทั้ง 2 ระดับ ซึ่งทั้ง 2 ระดับความสูงนี้เป็นอิสระต่อกัน แต่ก็ให้ผลแนวโน้มเดียวกัน โดยมีความแม่นยำสูงสุด 88.24% ดังรูปที่ 5.7

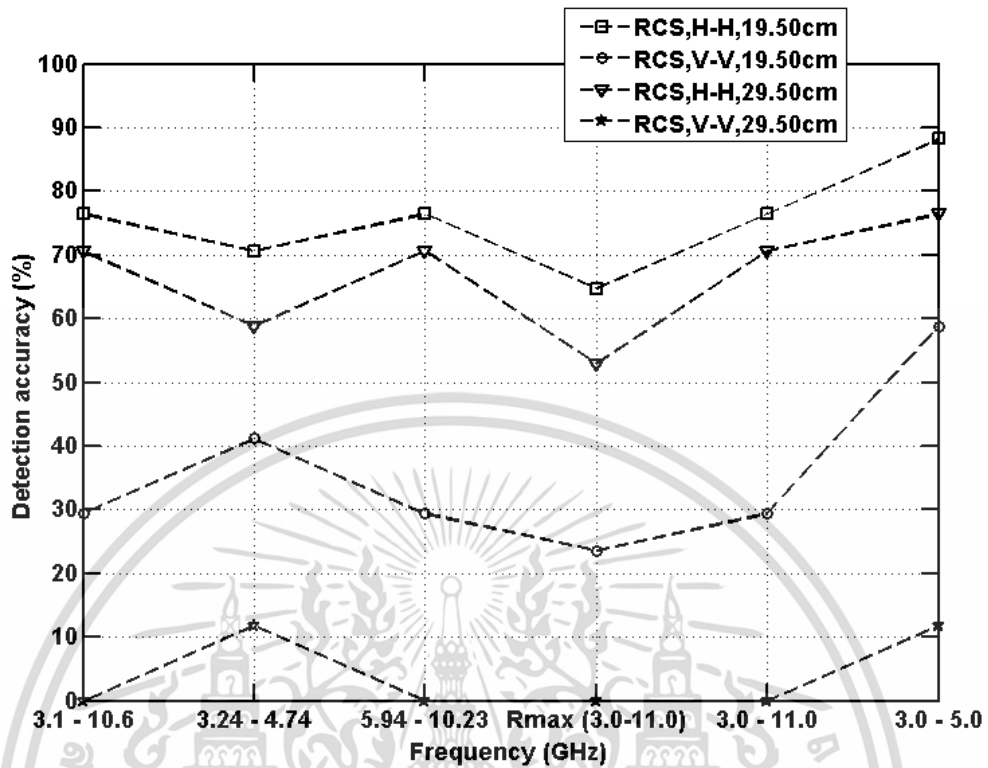


รูปที่ 5.5 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS และพารามิเตอร์ POL ที่ระดับความสูงนิ้วชี้มือของมนุษย์ เหนือเซลล์ปุ่มกด 19.50 cm

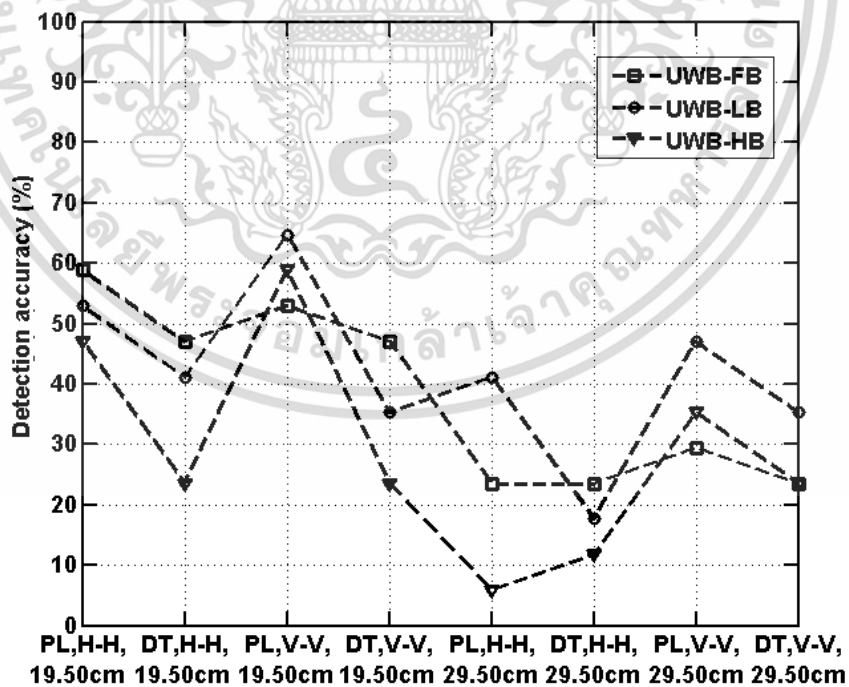


รูปที่ 5.6 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS และพารามิเตอร์ POL ที่ระดับความสูงนิ้วชี้มือของมนุษย์ เหนือเซลล์ปุ่มกด 29.50 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 ผลการทดสอบของพารามิเตอร์ RCS เมื่อใช้สัญญาณความถี่



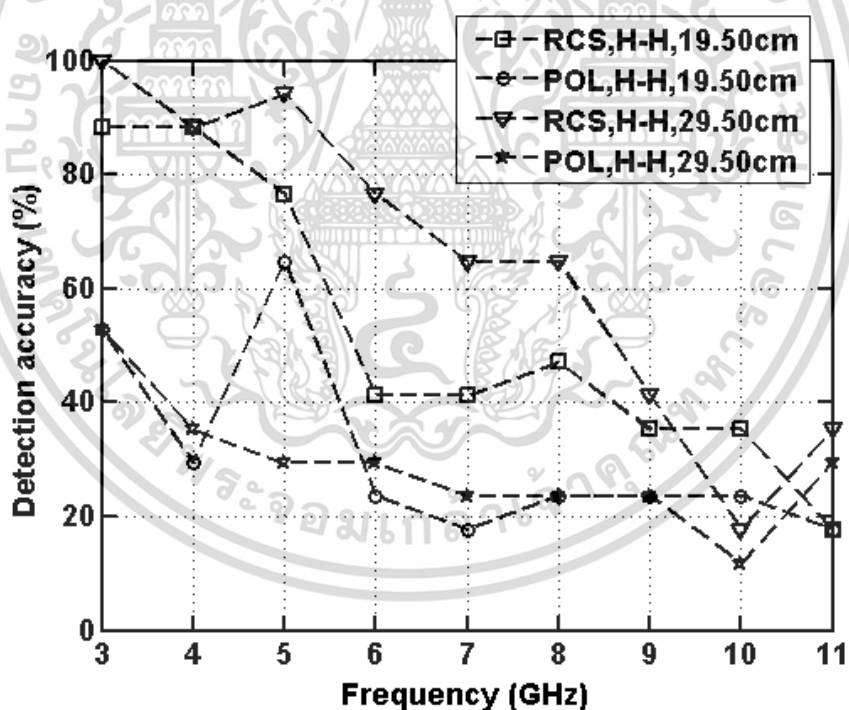
รูปที่ 5.8 ผลการทดสอบของพารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT เมื่อใช้สัญญาณส่ง UWB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

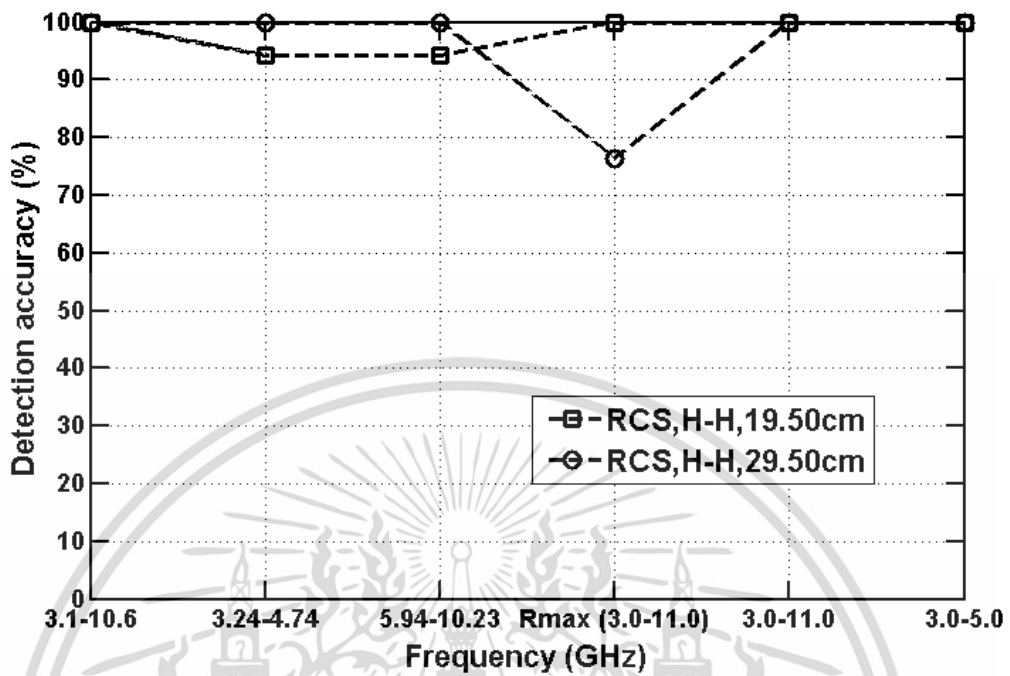
5.4 ผลการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้มือของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก

จากผลการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้มือของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่ นั้น พบว่าการใช้สายอากาศวางในระนาบ V-V ให้ผลลัพธ์ที่ไม่ค่อยดีเท่ากับการวางสายอากาศในระนาบ H-H ซึ่งให้ผลลัพธ์ในการหาตำแหน่งตรงกับ [4] ดังนั้น ในการทดสอบครั้งต่อ ๆ ไป จะเป็นการทดสอบในระนาบ H-H เพียงระนาบเดียว ซึ่งได้ทำการทดสอบกับพารามิเตอร์ทั้ง 4 เพื่อยืนยันผลของพารามิเตอร์ RCS อีกครั้ง ทั้ง 2 ระนาบความสูง โดยได้ผลการทดสอบของ TNKM กับนิ้วชี้มือของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็กเป็นดังรูปที่ 5.9 ถึงรูปที่ 5.11

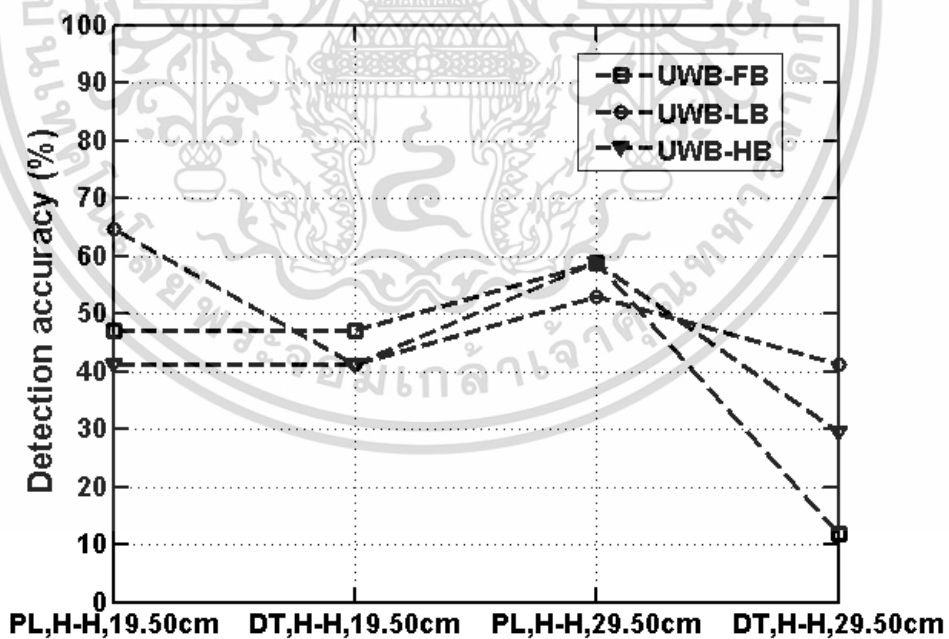
จากผลการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้มือของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้มีแนวโน้มเป็นไปทางเดียวกับผลการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้มือของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่ แต่ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่ามาก ซึ่งมีบางความถี่ให้ผลลัพธ์ 100% แม้ว่าจะใช้ที่ความถี่เดียว เช่น ความถี่ 3 GHz โดยที่ไม่ต้องใช้ความถี่อื่นเข้ามาช่วย แต่ว่าในช่วงความถี่สูงได้ผลลัพธ์ความแม่นยำที่ต่ำ เมื่อวิเคราะห์ผลจากพารามิเตอร์ในช่วงความถี่สูง พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ค่อนข้างมากในการวัดแต่ละครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 5.12 ถึง 5.14 ดังนั้น ช่วงความถี่สูงจึงไม่เหมาะแก่การนำมาใช้กับ TNKM กับนิ้วชี้มือของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก



รูปที่ 5.9 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS และพารามิเตอร์ POL กับ TNKM ขนาดเล็ก

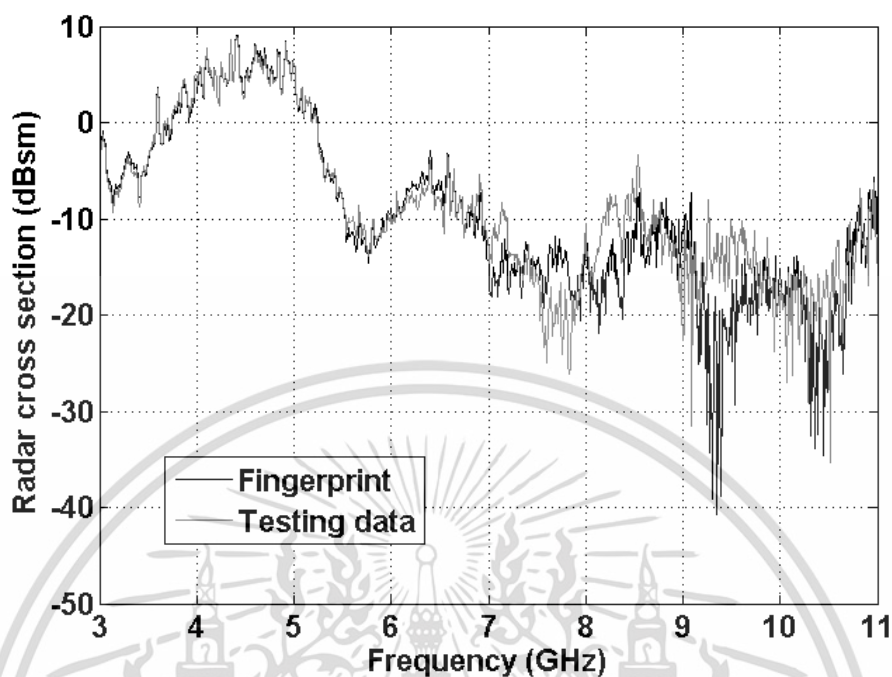


รูปที่ 5.10 ผลการทดสอบของพารามิเตอร์ RCS เมื่อใช้สัญญาณกวาดความถี่กับ TNKM ขนาดเล็ก

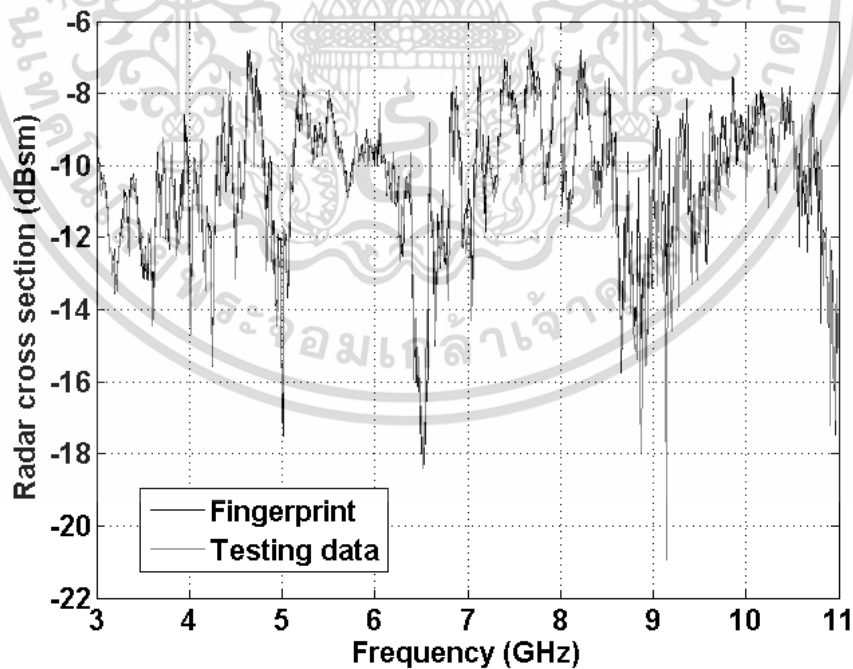


รูปที่ 5.11 ผลการทดสอบของพารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT เมื่อใช้สัญญาณส่ง UWB กับ TNKM ขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

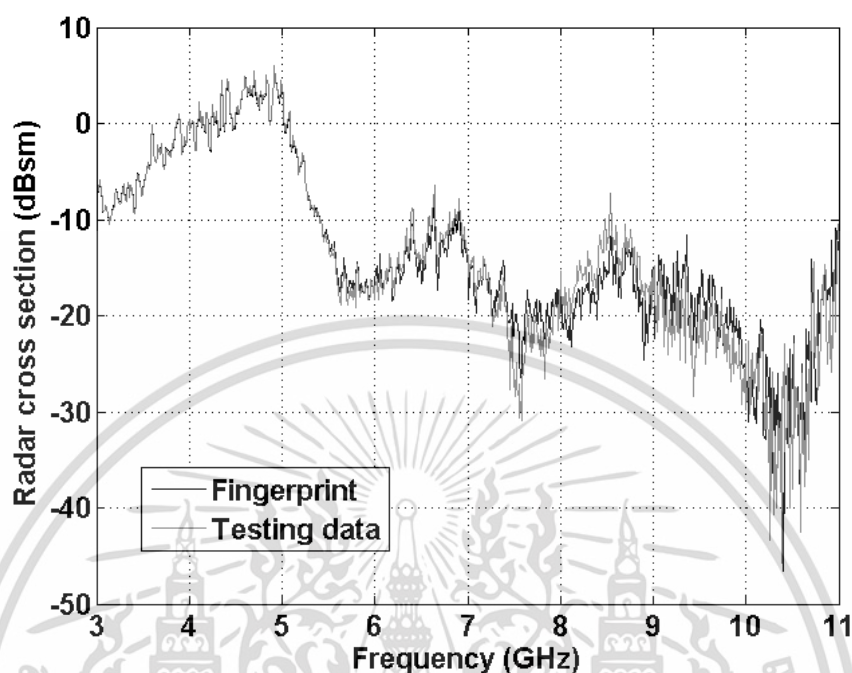


รูปที่ 5.12 การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ RCS ที่แต่ละความถี่ในช่วง 3 GHz ถึง 11 GHz ของ Rx1 เซลล์ปุ่มกดที่ 0



รูปที่ 5.13 การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ RCS ที่แต่ละความถี่ในช่วง 3 GHz ถึง 11 GHz ของ Rx2 เซลล์ปุ่มกดที่ 0

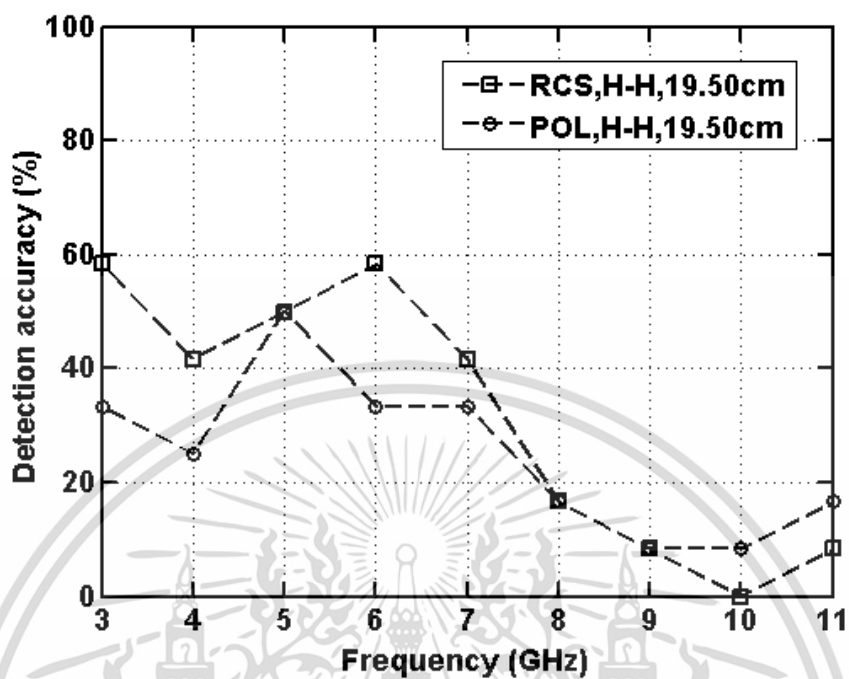
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



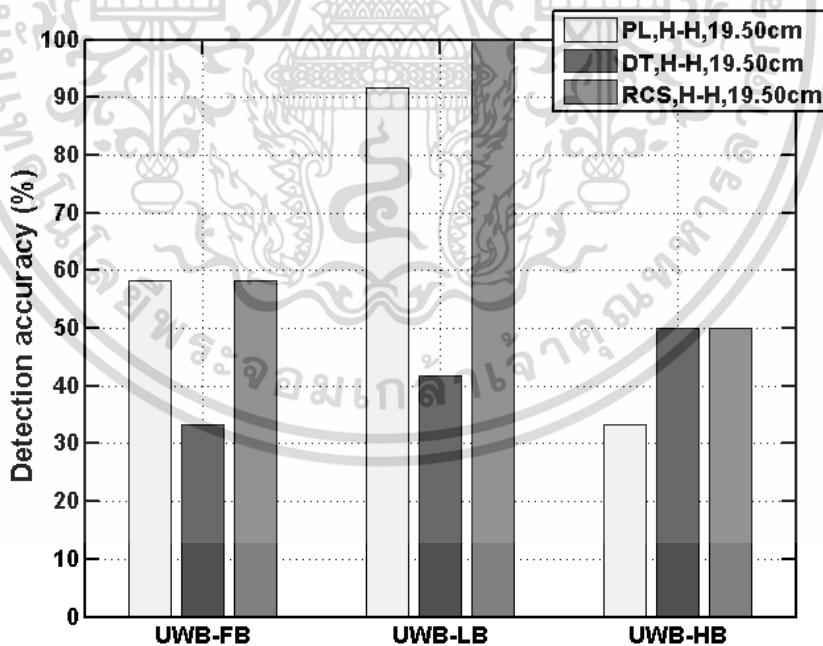
รูปที่ 5.14 การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ RCS ที่แต่ละความถี่ในช่วง 3 GHz ถึง 11 GHz ของ Rx3 เซลล์ปุ่มกดที่ 0

5.5 ผลการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียม

จากการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียม ได้ทำการทดสอบในระดับความสูงของวัตถุ 19.50 cm เพียงระดับเดียว เนื่องจากการทดสอบที่ผ่าน ๆ มาจะเห็นได้ว่าทั้งสองระดับความสูงนั้นได้ผลการทดสอบที่เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้น เมื่อทำการทดสอบในเรื่องของการยืนยันพารามิเตอร์ จึงสามารถทำได้โดยใช้ระดับความสูงของวัตถุเพียงระดับเดียว ซึ่งผลการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมได้ผลการทดสอบเป็นดังรูปที่ 5.15 ถึงรูปที่ 5.17 และการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทั้ง 4 เป็นดังรูปที่ 5.18 ถึงรูปที่ 5.41 โดยรูปที่ 5.18 ถึงรูปที่ 5.23 ได้แสดงผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ RCS โดยแบ่งตาม Rx1 จนถึง Rx5 ของการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียม ส่วนรูปที่ 5.24 ถึงรูปที่ 5.29 ได้แสดงผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ POL ของการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียม โดยแบ่งตาม Rx1 จนถึง Rx5 จากนั้น รูปที่ 5.30 ถึงรูปที่ 5.35 ได้แสดงผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ PL ของการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียม โดยแบ่งตาม Rx1 จนถึง Rx5 และรูปที่ 5.36 ถึงรูปที่ 5.41 ได้แสดงผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ DT ของการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียม โดยแบ่งตาม Rx1 จนถึง Rx5

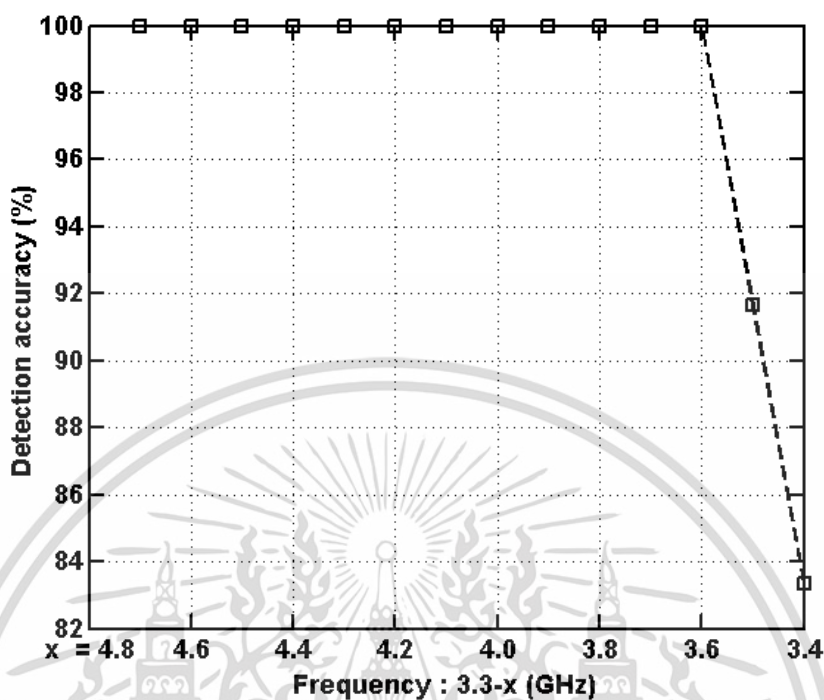


รูปที่ 5.15 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ RCS และพารามิเตอร์ POL กับแท่งอลูมิเนียมบน TNKM



รูปที่ 5.16 ผลการทดสอบของพารามิเตอร์ PL พารามิเตอร์ DT และพารามิเตอร์ RCS เมื่อใช้ช่วงความถี่ของสัญญาณ UWB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

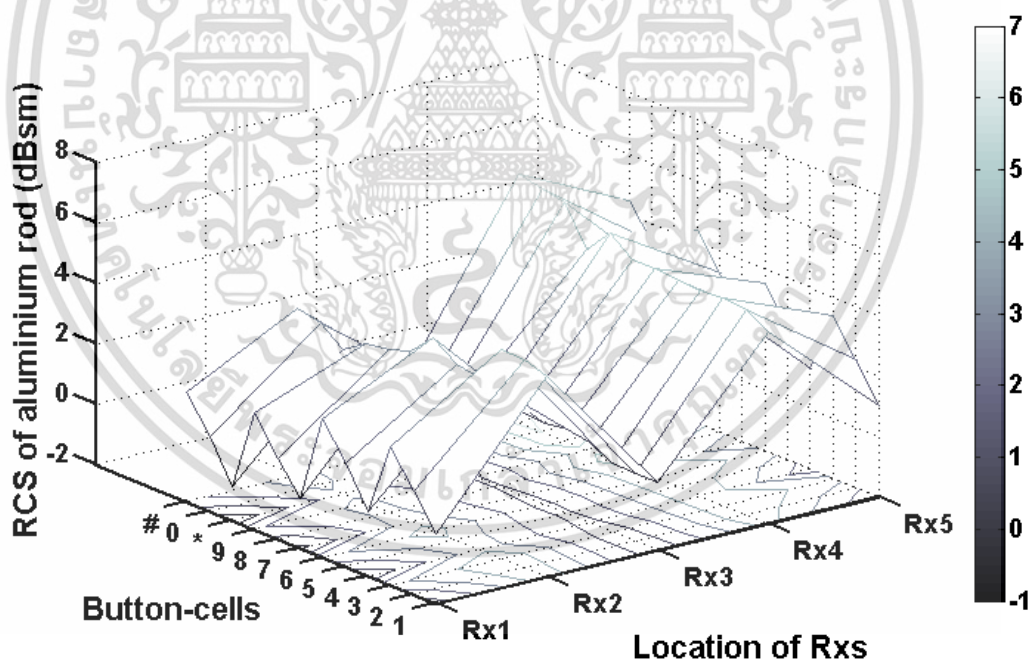


รูปที่ 5.17 ผลของพารามิเตอร์ RCS ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมเมื่อมีการลดความถี่จาก UWB-LB

จากการทดสอบดังรูปที่ 5.15 การใช้พารามิเตอร์ RCS ที่ความถี่เดียวให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้พารามิเตอร์ POL และผลลัพธ์ที่ดีที่สุดให้ความแม่นยำประมาณ 60% จากรูปที่ 5.16 จะเห็นได้ว่า การใช้พารามิเตอร์ RCS แบบกวาดความถี่ในช่วง LB ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดถึง 100% ซึ่งให้ผลลัพธ์ความแม่นยำที่สูงกว่าพารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT ดังนั้น ในรูปที่ 5.17 จึงได้ทำการลดช่วงการกวาดความถี่ลง จะเห็นได้ว่า สามารถลดการกวาดความถี่ลงได้ถึงช่วง 3.3 GHz ถึง 3.6 GHz ซึ่งให้ความแม่นยำของการหาตำแหน่งของวัตถุเหนือเซลล์ปุ่มกดยังคงเป็น 100% อยู่ อีกทั้งเวลาที่ใช้นับส่งรับสัญญาณกวาดความถี่และการประมวลผลนั้นน้อยลงด้วย

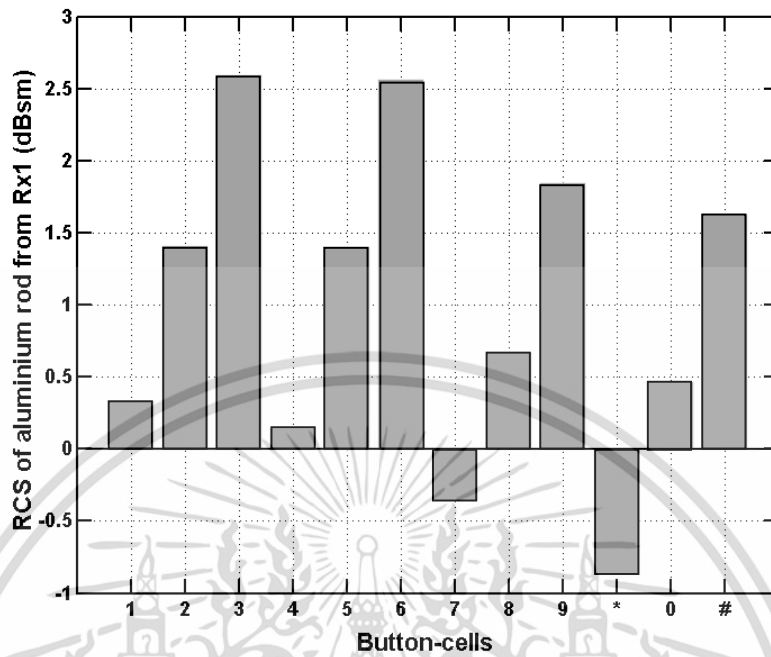
จากการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียม ได้นำผลการทดสอบในแต่ละพารามิเตอร์มาวิเคราะห์ผลในแต่ละ Rx สำหรับผลการวิเคราะห์นั้นได้แสดงดังรูปที่ 5.18 ถึงรูปที่ 5.41 โดยรูปที่ 5.18 รูปที่ 5.24 รูปที่ 5.30 และรูปที่ 5.36 เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจากรx1-Rx5 จากรูปการทดสอบพารามิเตอร์ RCS ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจากรx1-Rx5 พบว่าพารามิเตอร์ในแต่ละเซลล์ปุ่มกดย่อมต่างกันมากเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ พารามิเตอร์ POL พารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจากรx1-Rx5 โดยเฉพาะพารามิเตอร์ DT ซึ่งมีความเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก ๆ ดังนั้น ถึงแม้ว่าข้อเด่นของสัญญาณ UWB จะเป็นสัญญาณที่มีความละเอียดทางเวลาที่สูง จึงให้ความแม่นยำในการหาตำแหน่งที่ดี แต่เมื่อนำมาใช้ในลักษณะ เช่น TNKM ซึ่งใช้การหาตำแหน่งแบบไม่มีแท็ก ทำให้คุณลักษณะเด่นทางเวลาของสัญญาณ UWB ไม่สามารถใช้งานได้ เป็นผลให้พารามิเตอร์อื่นแสดงผลลัพธ์ที่ดีกว่า เช่น พารามิเตอร์ RCS และ

พารามิเตอร์ PL ส่วนการที่พารามิเตอร์ POL มีความแม่นยำที่น้อยกว่าพารามิเตอร์ PL เพราะจากผลการทดสอบพารามิเตอร์ PL มีการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์เมื่อทำการวัดหลาย ๆ ครั้งน้อยกว่าพารามิเตอร์ POL มาก เนื่องจากพารามิเตอร์ PL ที่มีส่งรับของสัญญาณเป็นแบบพัลส์แคบ จึงถูกรบกวนได้ยากกว่าพารามิเตอร์ POL ที่ได้จากการส่งสัญญาณแบบ NB นอกจากนี้พารามิเตอร์ POL มีลักษณะเฉพาะแสดงออกมาน้อยแล้วยังมีการแกว่งของค่าพารามิเตอร์ POL ซึ่งมากกว่าพารามิเตอร์ PL จึงเป็นเหตุให้แสดงผลความแม่นยำได้น้อยกว่าพารามิเตอร์ PL สำหรับพารามิเตอร์ RCS มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมากเมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่ง ซึ่งส่งผลมาจากการเปลี่ยนระยะทาง มุม และความสูง ซึ่งได้ทำการทดสอบไปแล้วในการทดสอบแรก อีกทั้งพารามิเตอร์ RCS ยังสามารถใช้ในลักษณะของสัญญาณกวาดความถี่ได้ ดังสมการที่ได้ปรับปรุงขึ้นใหม่ และผลจากการหา RCS จากสัญญาณกวาดความถี่ทำให้ผลลัพธ์ในการหาตำแหน่งนั้นมีความแม่นยำสูงกว่าการใช้พารามิเตอร์ RCS ที่ความถี่เดียว นอกจากนี้การใช้พารามิเตอร์ RCS ในลักษณะสัญญาณกวาดความถี่ทำให้อัลกอริทึม MRMSE ของเทคนิคการหาตำแหน่งแบบเหมือนการสแกนลายนิ้วมือ สามารถแยกแยะตำแหน่งได้ดีกว่าการใช้พารามิเตอร์ POL พารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT โดยค่าความแม่นยำสูงสุดของพารามิเตอร์นี้คือ 100 % เมื่อใช้ความถี่กวาดดังรูปที่ 5.17 ส่วนทางด้านความเที่ยงตรงมีค่าเท่ากับ 84% สามารถดูรายละเอียดได้ที่ภาคผนวก ค. โดยสุ่มช่วงความถี่ที่ 3.3 GHz ถึง 3.8 GHz เนื่องจากได้ผลลัพธ์ความแม่นยำเป็น 100% ในครั้งที่ทำการทดสอบ

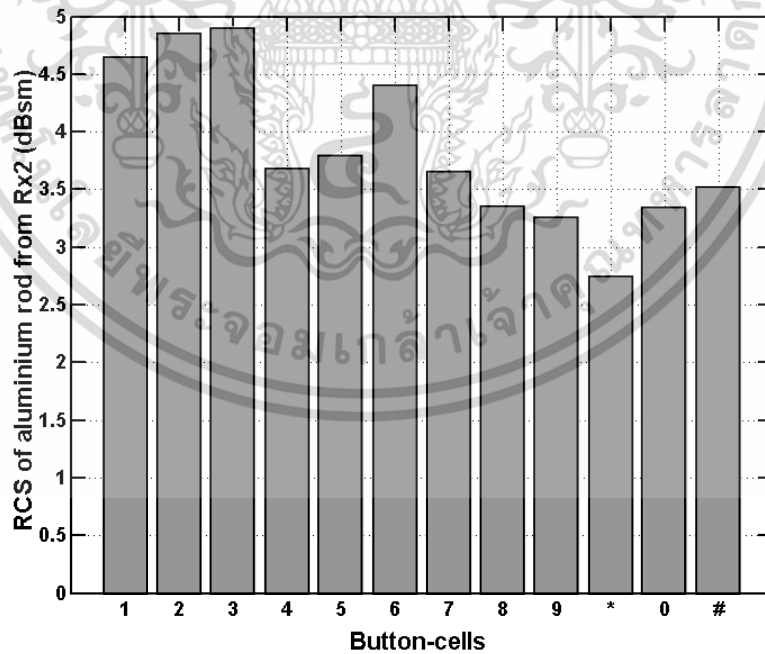


รูปที่ 5.18 พารามิเตอร์ RCS ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx1-Rx5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

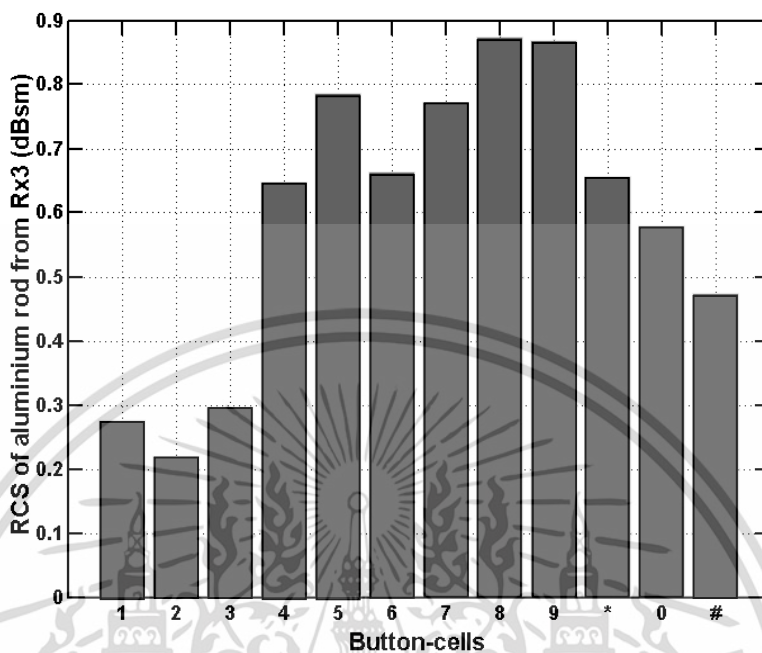


รูปที่ 5.19 พารามิเตอร์ RCS ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx1

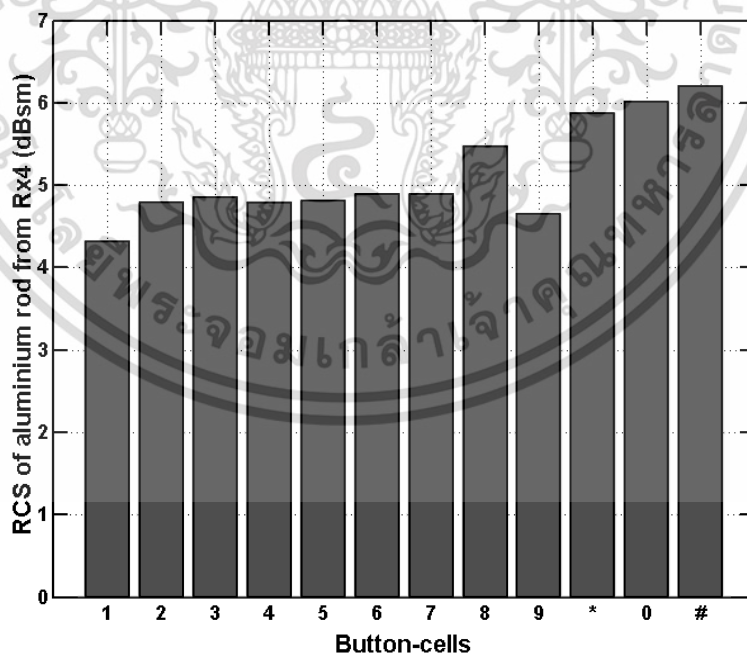


รูปที่ 5.20 พารามิเตอร์ RCS ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

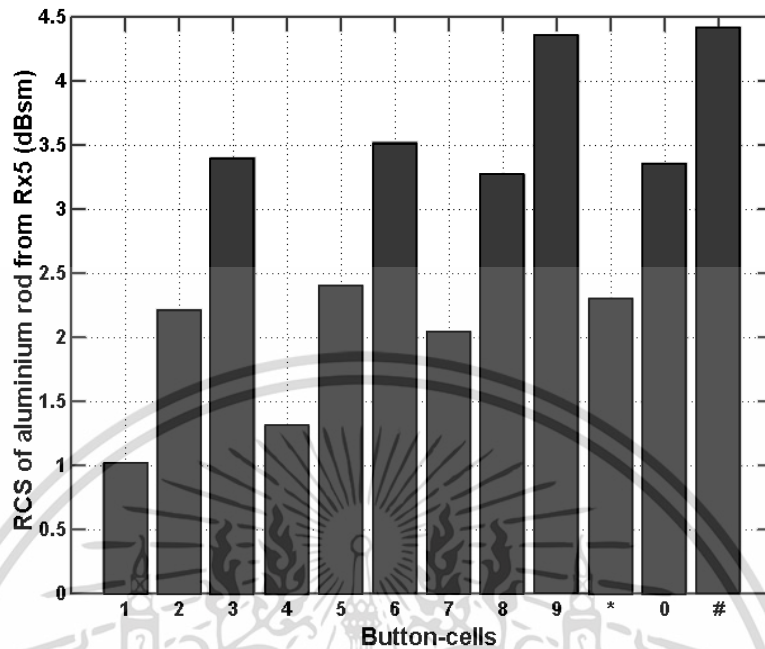


รูปที่ 5.21 พารามิเตอร์ RCS ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx3

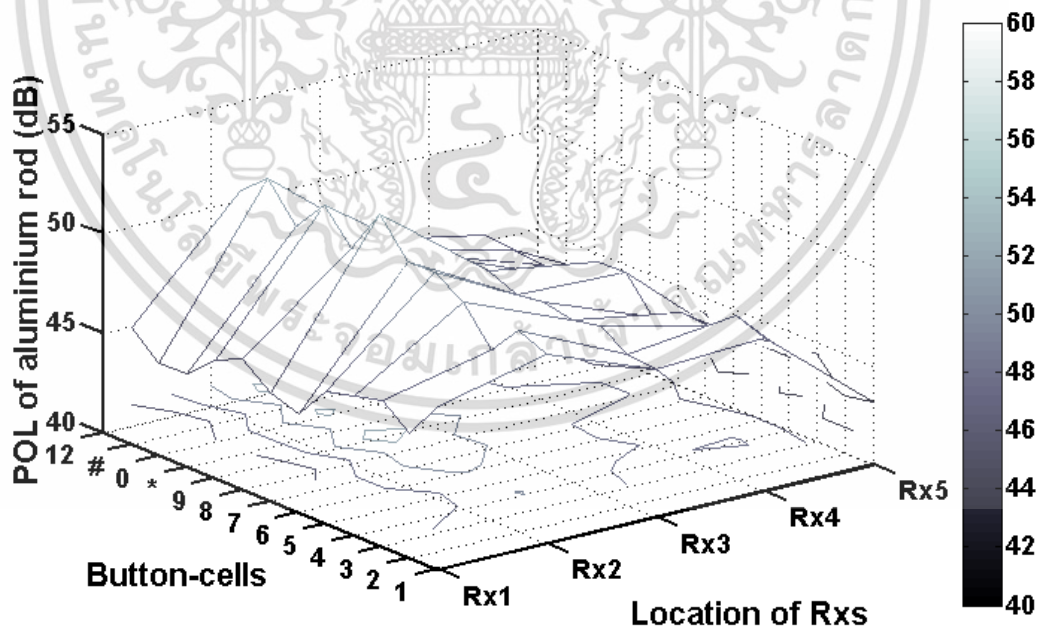


รูปที่ 5.22 พารามิเตอร์ RCS ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

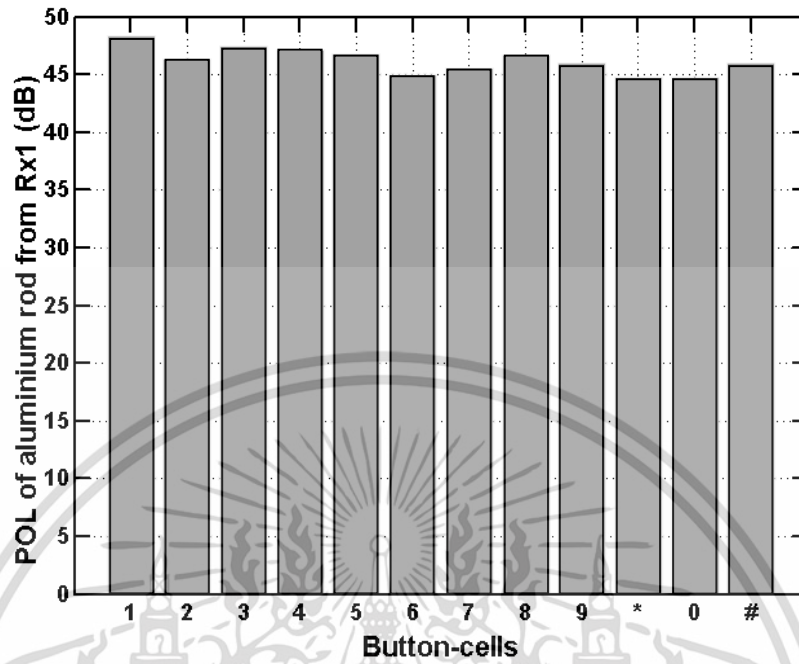


รูปที่ 5.23 พารามิเตอร์ RCS ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx5

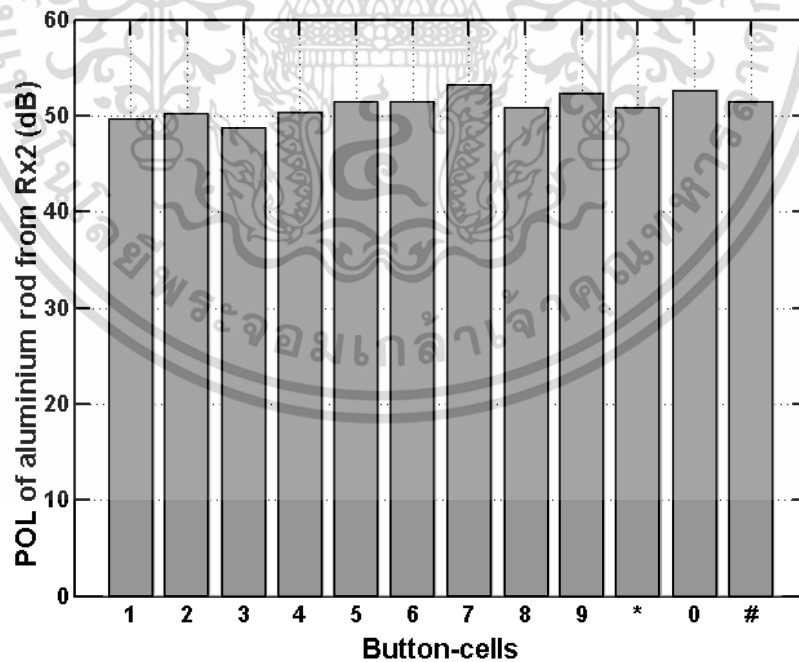


รูปที่ 5.24 พารามิเตอร์ POL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx1-Rx5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

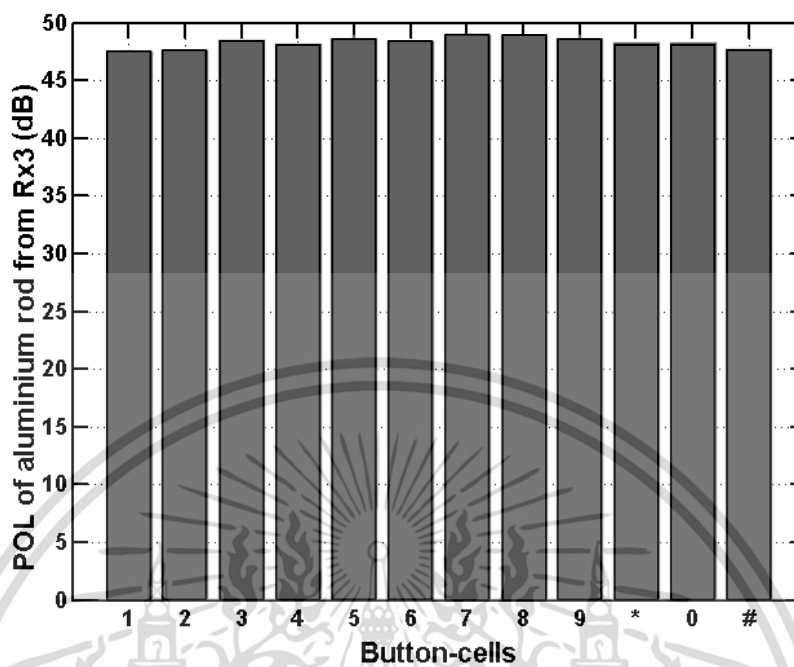


รูปที่ 5.25 พารามิเตอร์ POL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx1

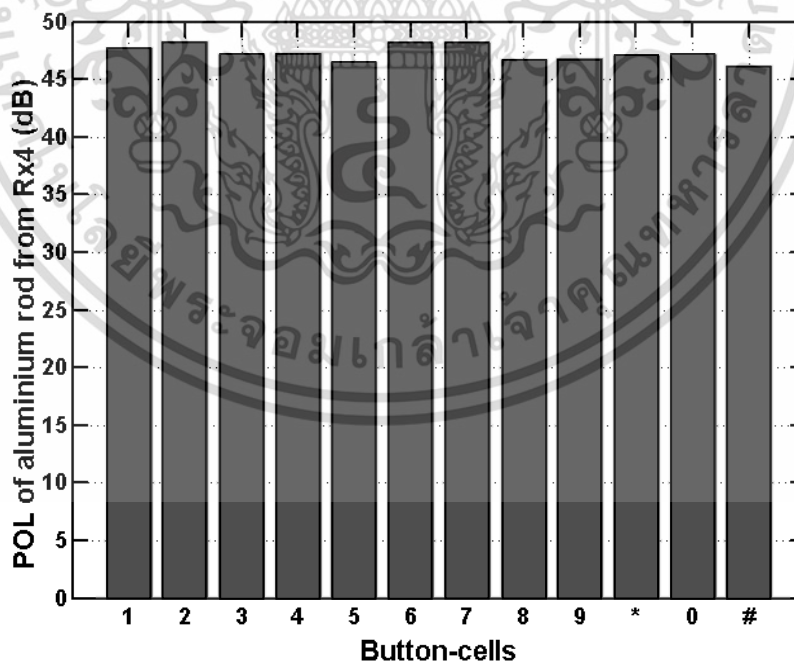


รูปที่ 5.26 พารามิเตอร์ POL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

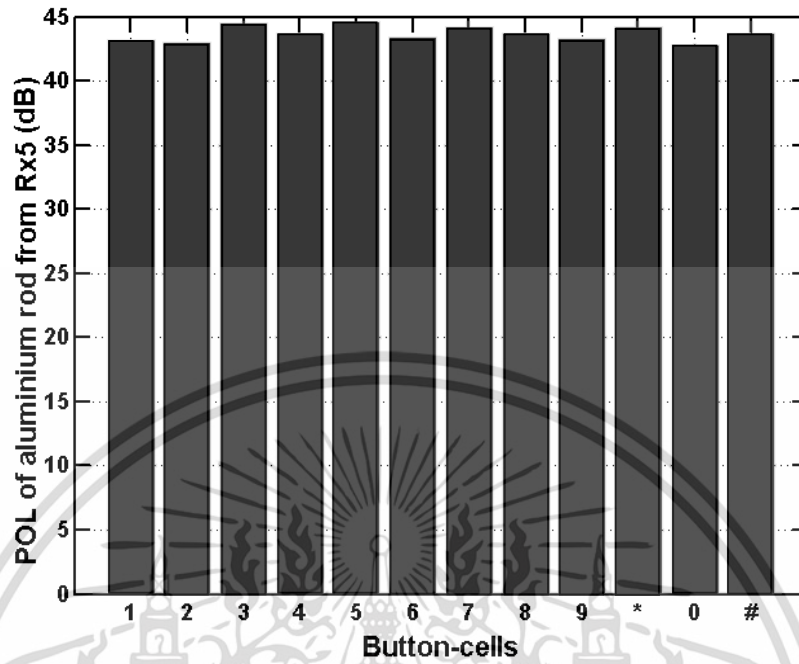


รูปที่ 5.27 พารามิเตอร์ POL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx3

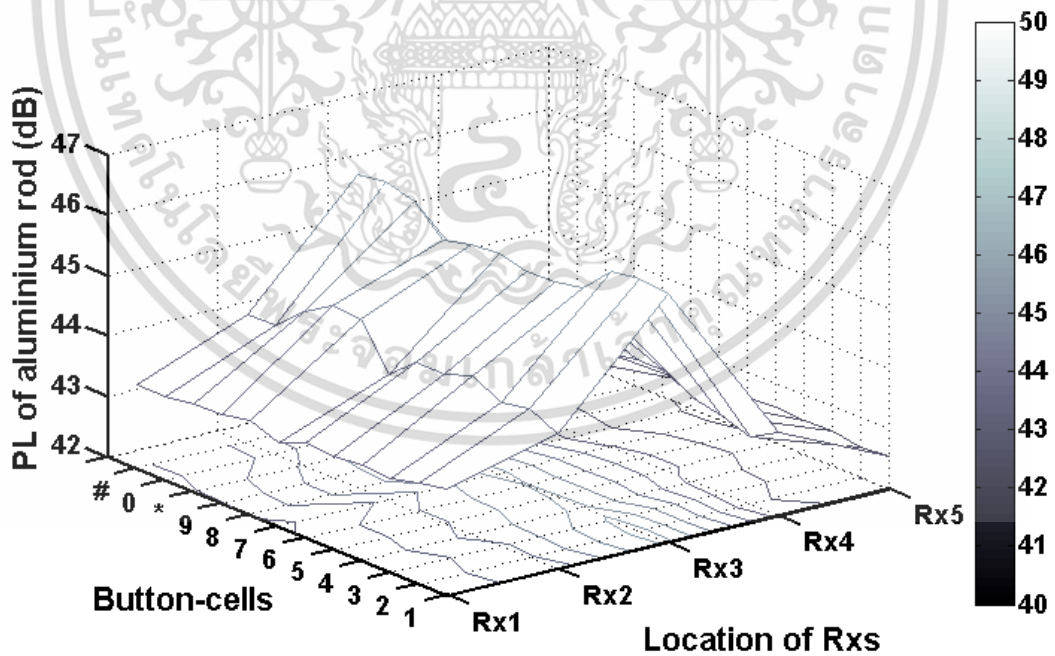


รูปที่ 5.28 พารามิเตอร์ POL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

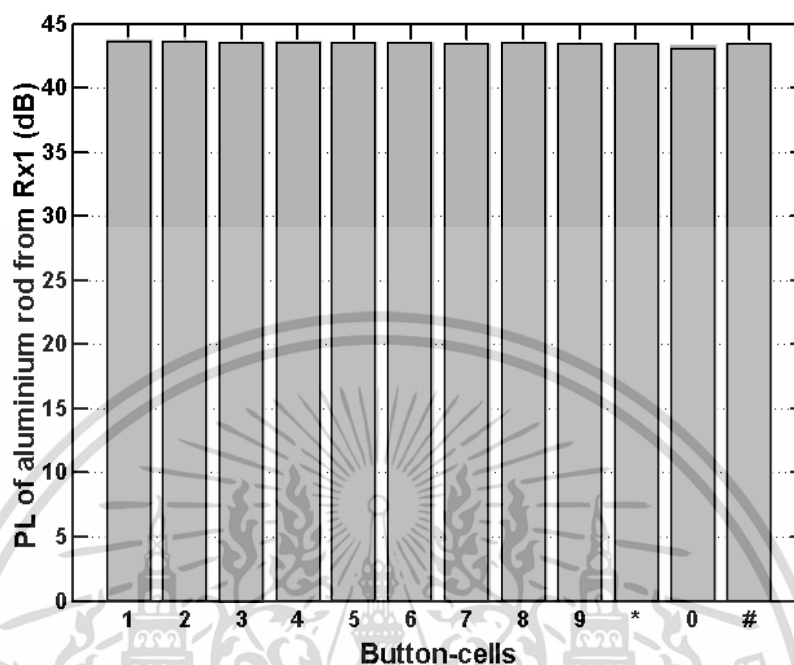


รูปที่ 5.29 พารามิเตอร์ POL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx5

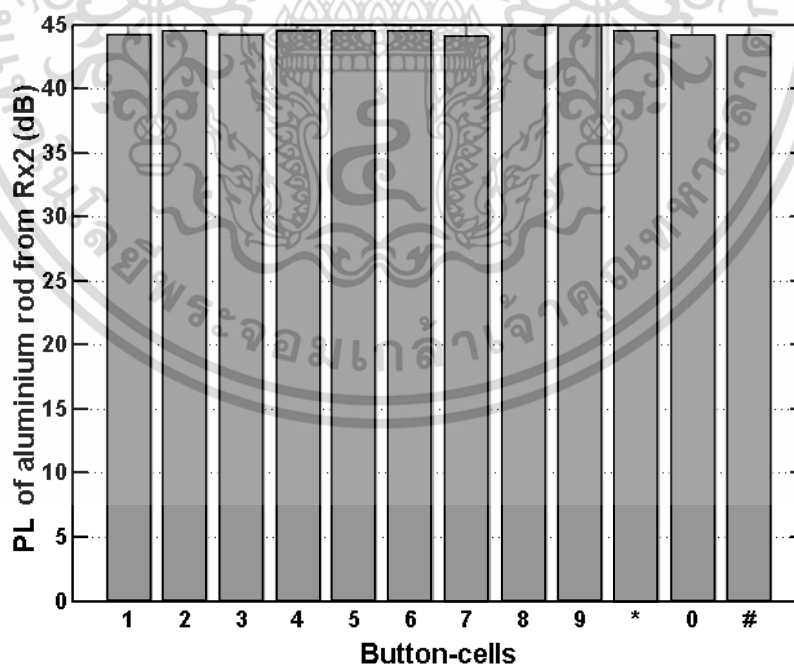


รูปที่ 5.30 พารามิเตอร์ PL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx1- Rx5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

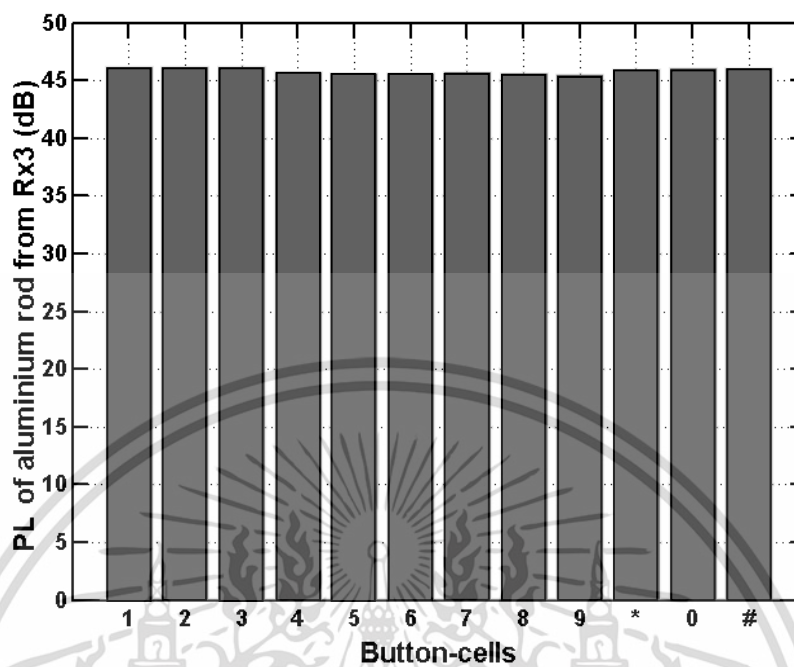


รูปที่ 5.31 พารามิเตอร์ PL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx1

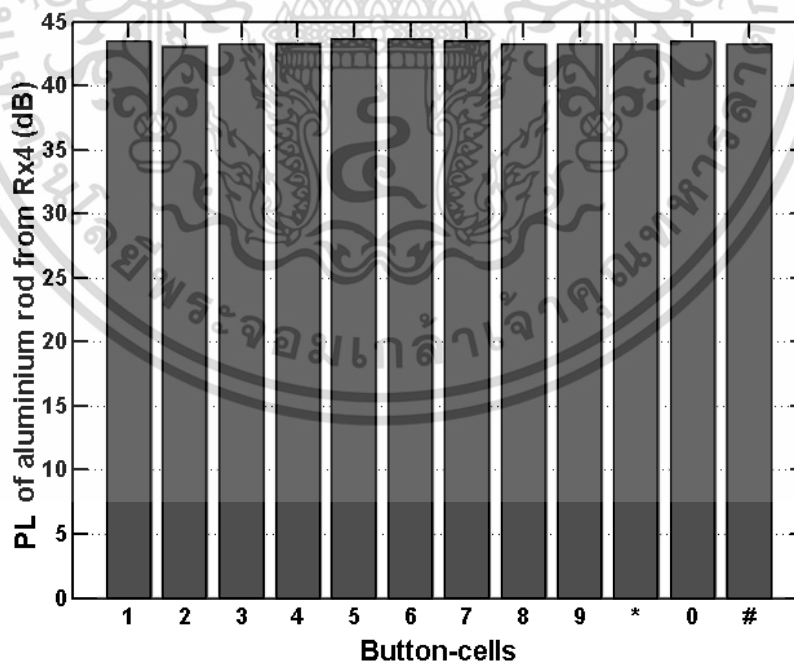


รูปที่ 5.32 พารามิเตอร์ PL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

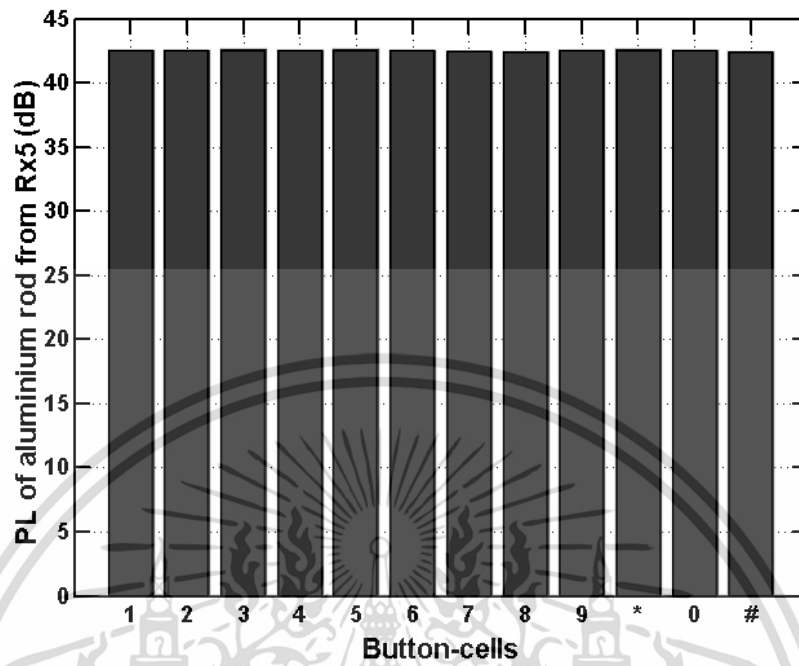


รูปที่ 5.33 พารามิเตอร์ PL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx3

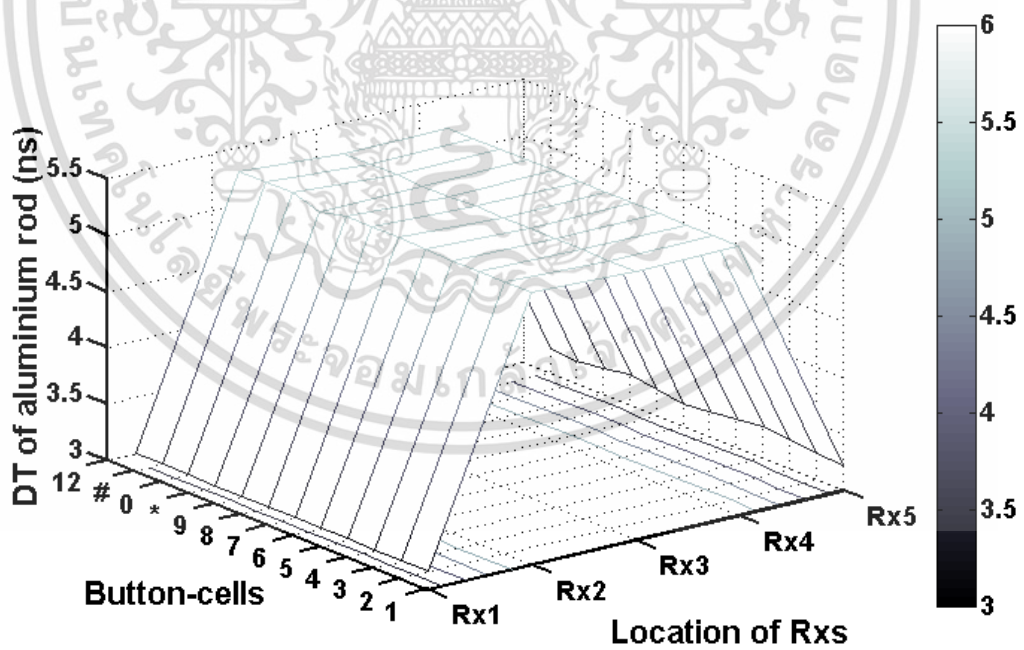


รูปที่ 5.34 พารามิเตอร์ PL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

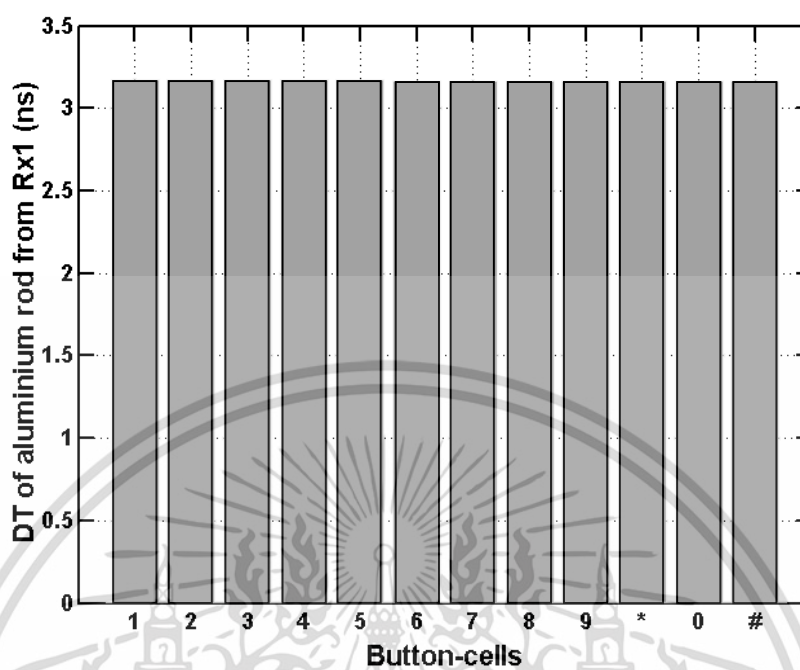


รูปที่ 5.35 พารามิเตอร์ PL ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx5

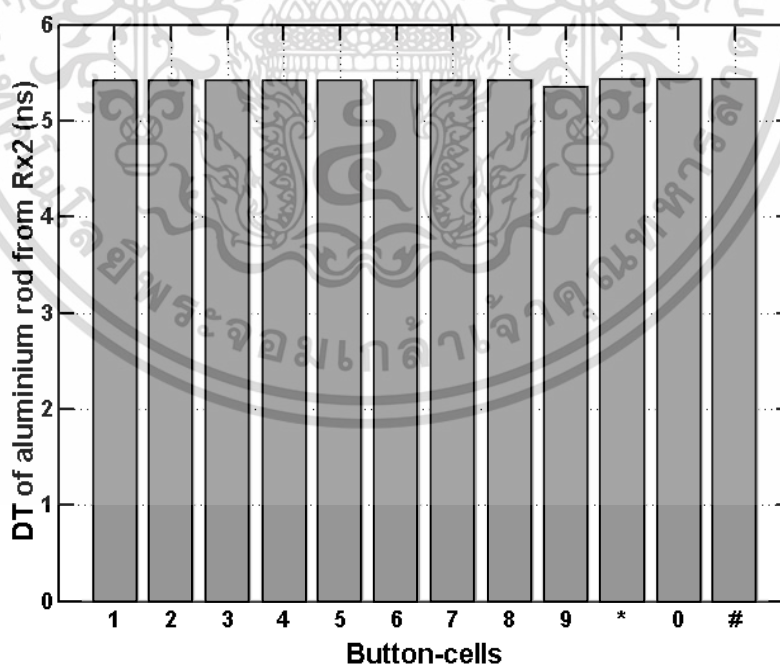


รูปที่ 5.36 พารามิเตอร์ DT ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx1- Rx5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

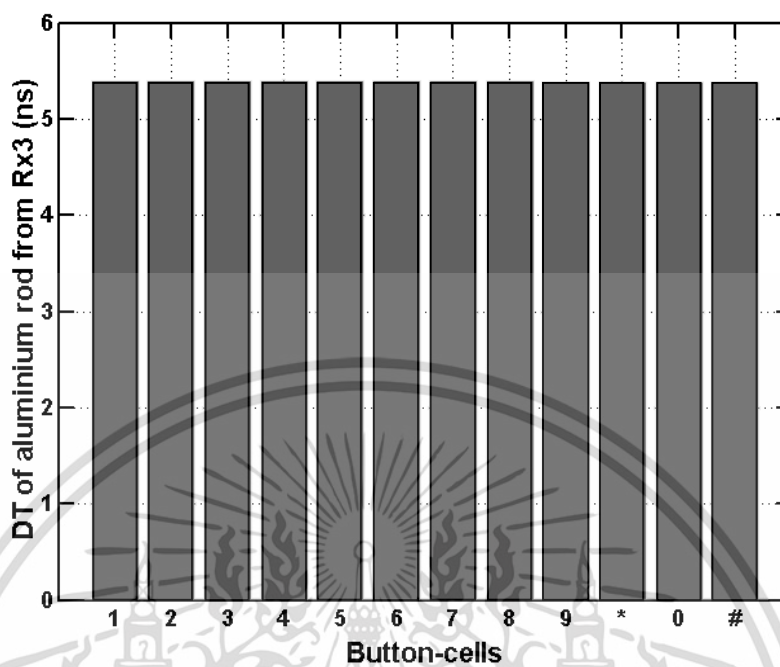


รูปที่ 5.37 พารามิเตอร์ DT ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx1

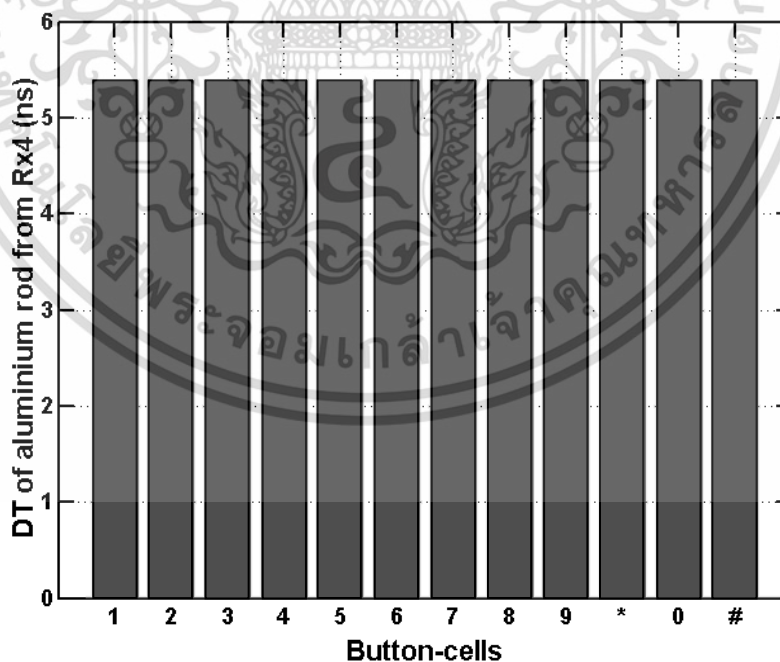


รูปที่ 5.38 พารามิเตอร์ DT ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

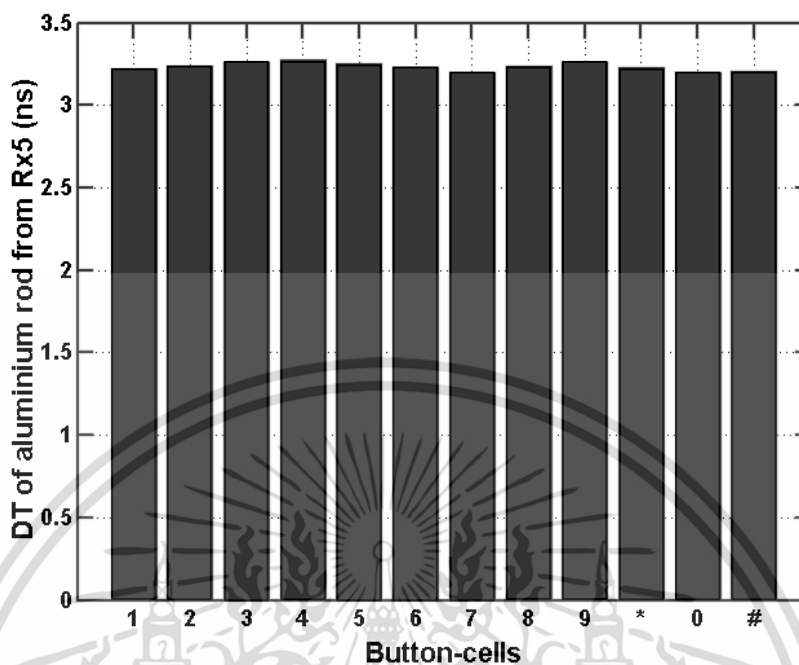


รูปที่ 5.39 พารามิเตอร์ DT ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx3



รูปที่ 5.40 พารามิเตอร์ DT ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.41 พารามิเตอร์ DT ของ TNKM กับแท่งอลูมิเนียมจาก Rx5

5.6 สรุป

จากหัวข้อที่ 5.2 ได้ทำการทดสอบพารามิเตอร์ RCS โดยมีการเปลี่ยนผู้ทดสอบ 7 คน ผลที่ได้พบว่าค่าพารามิเตอร์ RCS ให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกันมากในแต่ละคน อีกทั้งค่า RCS ยังเปลี่ยนแปลงไปตามมุมและระยะทาง ซึ่งทำให้เกิดลักษณะเฉพาะในการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือมากยิ่งขึ้น ดังนั้น จึงสามารถใช้พารามิเตอร์ RCS นี้ในการดำเนินการได้

จากหัวข้อที่ 5.3 การทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้มือของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่ ซึ่งได้ทำการทดสอบภายใต้ 3 เงื่อนไข ได้แก่ พารามิเตอร์ ระนาบการวางสายอากาศ และความสูงของวัตถุ โดยพารามิเตอร์ทั้งสาม ได้แก่ พารามิเตอร์ RCS พารามิเตอร์ POL พารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT สำหรับพารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT ได้ทำการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE802.15.3a และ IEEE802.15.4a ของเทคโนโลยี UWB เป็น 3 เงื่อนไข ได้แก่ UWB-FB, UWB-LB และ UWB-HB ส่วนระนาบการวางสายอากาศ ได้แก่ การวางสายอากาศในระนาบ H-H และการวางสายอากาศในระนาบ V-V การทดสอบนั้นจะทำใน 2 ระดับความสูงของวัตถุเหนือเซลล์ปุ่มกด คือ 19.50 cm และ 29.50 cm จากผลการทดสอบ จะเห็นได้ว่าการใช้พารามิเตอร์ RCS กับสัญญาณกวาดความถี่ในการดำเนินการ สามารถระบุตำแหน่งของเซลล์ปุ่มกดได้ดีกว่าพารามิเตอร์ POL พารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT และการวางสายอากาศในระนาบ H-H นั้นก็ให้ผลลัพธ์เหมาะสมกว่าการวางสายอากาศระนาบ V-V อีกทั้ง ในกรณีที่วัตถุอยู่ในระดับความสูง 19.50 cm และ 29.50 cm เหนือเซลล์ปุ่มกด ก็ให้ลักษณะเฉพาะที่สามารถจำแนกตำแหน่งต่าง ๆ ได้เป็นแนวโน้มนัยเดียวกัน

จากหัวข้อที่ 5.4 การทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้มือของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าแนวโน้มเป็นไปทางเดียวกับผลการทดสอบจากหัวข้อที่ 5.3 แต่ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่ามาก ซึ่งมีบางความถี่ให้ผลเต็มร้อยแม้ว่าจะใช้ที่ความถี่เดียว เช่น ความถี่ 3 GHz โดยที่ไม่ต้องใช้ความถี่อื่นเข้ามาช่วย แต่ว่าในช่วงความถี่สูงจะมีการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ค่อนข้างมาก จึงได้ผลลัพธ์ความแม่นยำที่ต่ำ ดังนั้น ช่วงความถี่สูงจึงไม่เหมาะแก่การนำมาใช้กับ TNKM

จากหัวข้อที่ 5.5 การทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียม พบว่าแท่งอลูมิเนียมก็ให้ผลลัพธ์ไปทางเดียวกับการทดสอบในหัวข้อที่ 5.3 และ 5.4 นั่นคือ สามารถหาตำแหน่งได้ดีด้วยพารามิเตอร์ RCS เฉลี่ยที่ได้จากสัญญาณกวาดความถี่ และจากการวิเคราะห์ผล พบว่า พารามิเตอร์ RCS นั้นเหมาะสมสำหรับการใช้หาตำแหน่งของเซลล์ปุ่มกดที่สุด เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละตำแหน่งซึ่งต่างกันมากกว่าพารามิเตอร์ POL พารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT ดังนั้น การใช้พารามิเตอร์ RCS จึงให้ลักษณะเฉพาะตำแหน่งเป็นอย่างมาก เป็นผลให้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือซึ่งใช้อัลกอริทึม MRMSE ในการประมวลผลตำแหน่งสามารถจำแนกแต่ละตำแหน่งได้ดีกว่าพารามิเตอร์ POL พารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT โดยให้ผลลัพธ์ความแม่นยำถึง 100% เมื่อใช้กับสัญญาณกวาดความถี่ เช่น ช่วงความถี่ 3.3 GHz ถึง 3.8 GHz ส่วนทางด้านความเที่ยงตรงนั้น พารามิเตอร์ RCS ก็ให้ผลความเที่ยงตรงถึง 84% เมื่อทำการทดสอบ 100 ครั้ง

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอการปรับปรุงสมการเรดาร์ เพื่อหา RCS ของสัญญาณกวาดความถี่ สำหรับการประยุกต์ใช้กับ TNKM โดยการทดสอบแบ่งออกเป็น 4 การทดสอบ ได้แก่ การทดสอบที่ 1 เป็นการทดสอบเพื่อประเมินผลค่า RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์ เมื่อมีการเปลี่ยนผู้ทำการทดสอบ 7 คน และอีก 3 การทดสอบเป็นการทดสอบ TNKM ได้แก่ การทดสอบที่ 2 การทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้มือของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดใหญ่ การทดสอบที่ 3 เป็นการทดสอบ TNKM กับนิ้วชี้มือของมนุษย์เมื่อ TNKM มีขนาดเล็ก และสุดท้ายเป็นการทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียม โดยการทดสอบทั้งสามนี้จะ เป็นอิสระต่อกัน เพื่อแสดงการใช้งาน TNKM ในหลายรูปแบบ ซึ่งได้ทำการทดสอบภายใต้ 3 เงื่อนไข ได้แก่ พารามิเตอร์ ระนาบการวางสายอากาศ และระดับความสูงของวัตถุเหนือเซลล์ปุ่มกดของ TNKM โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบมีทั้งหมด 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ พารามิเตอร์ RCS พารามิเตอร์ POL พารามิเตอร์ PL และ พารามิเตอร์ DT สำหรับ พารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT ได้ทำการทดสอบใน 2 มาตรฐานของเทคโนโลยี UWB เป็น 3 เงื่อนไข ได้แก่ UWB-FB, UWB-LB และ UWB-HB ส่วนระนาบ การวางสายอากาศ ได้ทดสอบใน 2 ระนาบคือ การวางสายอากาศในระนาบ V-V และการวางสายอากาศ ในระนาบ H-H และระดับความสูงของวัตถุเหนือเซลล์ปุ่มกด ได้แบ่งเป็น 2 ระดับความสูง ได้แก่ 19.50 cm และ 29.50 cm จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการทดสอบที่ 1 เมื่อทำการเปลี่ยนผู้ทดสอบทั้ง 7 คน พารามิเตอร์ RCS ของนิ้วชี้ของมนุษย์ ของแต่ละคนนั้นเปลี่ยนแปลงไปไม่มากเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงตามระยะทาง มุม และความถี่ ดังนั้น พารามิเตอร์ RCS จึงสามารถนำมาใช้กับหาตำแหน่งของนิ้วชี้ของมนุษย์สำหรับ TNKM ได้แม้ว่าจะไม่มี แท็กติดที่นิ้ว อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ RCS ตามระยะทาง มุม และความถี่ ทำให้เกิด ลักษณะ เฉพาะต่อตำแหน่งได้ดี

2. จากผลการทดสอบที่ 2 ถึง 4 จะเห็นได้ว่าการใช้พารามิเตอร์ RCS ในการดำเนินการสามารถระบุตำแหน่งของเซลล์ปุ่มกดได้ดีกว่าพารามิเตอร์ POL พารามิเตอร์ PL และพารามิเตอร์ DT นอกจากนี้ การวางสายอากาศระนาบ H-H ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ส่วนระดับความสูงของวัตถุเหนือเซลล์ปุ่มกดทั้ง 2 ระดับ ซึ่งทั้ง 2 ระดับความสูงนี้เป็นอิสระต่อกัน แต่ก็ให้ผลแนวโน้มเดียวกัน

3. การทดสอบพารามิเตอร์ RCS กับ TNKM กับสัญญาณกวาดความถี่ ให้ผลของการหาตำแหน่งได้ดีที่สุดในทุกกรณีที่ทำทดสอบ เช่น การทดสอบ TNKM กับแท่งอลูมิเนียม ได้ผลลัพธ์ความแม่นยำถึง 100% และมีความเที่ยงตรงถึง 84% เมื่อทำการทดสอบ 100 ครั้ง

4. การทดสอบ TNKM ในช่วงความถี่ต่ำเหมาะสมกับการใช้งานกับ TNKM มากกว่าช่วงความถี่สูง ในทุกกรณีที่ได้ทำการทดสอบ เนื่องจากในช่วงความถี่สูงมีการเปลี่ยนแปลงของทุก ๆ พารามิเตอร์มากกว่า ช่วงความถี่ต่ำมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ข้อเสนอแนะ

แบบจำลองที่ได้ทำการทดสอบนี้ เป็นเพียงแค่การเสนอแนวคิดเท่านั้นไม่ได้สร้างขึ้นจริง นอกจากนั้น การติดตามวัตถุ โดยใช้พารามิเตอร์ RCS ไม่ควรวางสายอากาศให้ไกลจากวัตถุมากนัก จึงจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้พารามิเตอร์ RCS โดยวางสายอากาศให้ไกลจากวัตถุ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] B. R. Mahafza, "Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB," 2nd ED., United States of America: Chapman & Hall/CRC, 2005.
- [2] S. Villeval, I. Bilik and Z. S. Gürbüz, "Application of a 24 GHz FMCW automotive radar for urban target classification," IEEE Radar Conference, pp. 1237-1240, May 2014.
- [3] Z. SahiNoglu, S. Gezici and I. Guvenc, "Ultra-Wideband Positioning Systems," United States of America: Cambridge University Press. 2008.
- [4] J. Sangthong, S. Promwong and P. Supanakoon, "Comparison of UWB Fingerprinting with Vertical and Horizontal Polarizations for Indoor Localization," ECTI International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer Telecommunications and Information, pp. 588-592, May 2010.
- [5] A. Toak, N. Kandil, S. Affes and S. Georges, "Neural Networks for Fingerprinting-Based indoor Localization Using Ultra-Wideband," Journal of Communications, Vol. 4, No. 4, pp. 267-275, May 2009.
- [6] L. Zwirello, M. Janson, C. Ascher and U. Schwesinger, "Localization in Industrial Halls via Ultra-Wideband Signals," Workshop on Positioning Navigation and Communication, pp. 144-149, Mar. 2010.
- [7] A. Gleser and O. Ondráček, "Real time locating with RFID: Comparison of different approaches," 24th Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA) International Conference, pp. 1-4, Apr 2014.
- [8] L. Zwirello, M. Janson, C. Ascher and U. Schwesinger, "Accuracy Considerations of UWB localization systems dedicated to large-scale applications," International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), pp. 1-5, Sep. 2010.
- [9] A. S. Paul and E. A. Wan, "Wi-Fi based indoor localization and tracking using sigma-point Kalman filtering methods," IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium, pp. 646-659, May 2008.
- [10] L. Zwirello, M. Janson and T. Zwick, "Ultra-wideband based positioning system for applications in industrial environments," European Wireless Technology Conference (EuWIT), pp. 165-168, Sep. 2010.
- [11] F. Gschwandtner and C. K. Schindhelm, "Spontaneous privacy-friendly Indoor positioning using enhanced WLAN beacons," International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), pp. 1-8, Sep. 2011.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] C. Wu, Z. Yang, Y. Liu and W. Xi, "Will: Wireless Indoor Localization without Site Survey," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol. 24, No. 4, pp. 839-848, Jun. 2012.
- [13] N. Patwari, J. N. Ash, S. Kyperountas and A. O. Hero, "Locating the Nodes: cooperative Localization in wireless sensor networks," IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 22, No. 4, pp. 54-69, Jul. 2005.
- [14] M. Dashti, "Time-of-Arrival estimation for UWB Localizers in Indoor Multipath Environments," Degree of Doctor of Philosophy. 2010.
- [15] A. N. Alsindi, B. Alavi and K. Pahlavan, "Spatial Characteristics of UWB TOA- based Ranging in Indoor Multipath Environments," 18th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, pp. 1-6, Sep. 2007.
- [16] A. N. Alsindi, B. Alavi and K. Pahlavan, "Measurement and Modeling of Ultrawideband TOA-Based Ranging in Indoor Multipath Environments," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 58, No. 3, pp. 1046-1058, May 2008.
- [17] R. Zetik, M. Dukic and D. Vucic "Method for direct self- Localization of synchronous IR UWB Node(s) in indoor scenario: Experimental verification," 20th Telecommunications Forum (TELFOR), pp. 342-345, Nov. 2012.
- [18] B. Alavi, N. Alsindi and K. Pahlavan, "UWB Channel Measurements for Accurate Indoor Localization," IEEE Military Communications Conference (MILCOM), pp. 1-7, Oct. 2006.
- [19] K. T. Sjoegren, A. Gustavsson, P. Froelind and T. Jonsson, "Experimental results for human detection in UHF UWB SAR," 10th in Proceedings of European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), pp. 1-4, June 2014.
- [20] S. Karamzadeh, M. Kartal, S. Kent and A. A. Ashtiyani, "Optimal Signal Processing Method in UWB Radar for Hidden Human Detection," 10th in Proceedings of European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR), pp. 1-3, June 2014.
- [21] J. Wang, F. Adib, R. Knepper, D. Katabi and D. Rus, "RF-compass: Manipulation Using RFIDs," Association for Computing Machinery Robot Object (ACM), Sep. 2013.
- [22] R. Recanatini, F. Moglie and V. M. Primiani, "Performance and Immunity Evaluation of Complete WLAN Systems in a Large Reverberation Chamber," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 55, No. 5, pp. 806-815, Jan. 2013.
- [23] S. Bartoletti and A. Conti, "Passive network localization via UWB wireless sensor radars: The impact of TOA estimation," IEEE International Conference on Ultra-Wideband (ICUWB), pp. 258-262, Sep. 2011.

- [24] B. Sun, X. Wang, B. Moran and X. Li “Target Tracking using Range and RCS Measurements in a MIMO Radar Network,” IET International on Radar Conference, pp. 1-6, Apr. 2013.
- [25] M. Mabrouk, S. Rajan, M. Bolic, I. Batkin, R. H. Dajani and Z. V. Groza, “Detection of Human Targets behind the Wall Based on Singular Value Decomposition and Skewness Variations,” IEEE Radar Conference, pp. 1466-1470, May 2014.
- [26] A. Etinger, N. Balal, B. Litvak, M. Einat, B. Kapilevich and Y. Pinhasi, “Non-Imaging MM-Wave FMCW Sensor for Pedestrian Detection,” IEEE Sensors Journal, Vol. 14, No. 4, pp.1232-1237, Feb. 2014.
- [27] D. Belgiovane, C. Chen, M. Chen, S.Y.P. Chien and R. Sherony, “77 GHz radar scattering properties of pedestrians,” IEEE Radar Conference, pp. 735-738, May 2014.
- [28] F. Askarzadeh, Y. Ye, K. Ghaboosi and S. Makarov, “A new perspective on the impact of diffraction in proximity of micro-metals for indoor geolocation,” 22nd IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Mobile Radio Communications, pp. 1177-1181, Sep. 2011.
- [29] M. Dashti, A. Khatun, T. Laitinen and A. A. H. Azremi “UWB ranging with antenna proximity to the human head,” Asia-Pacific Microwave Conference, pp. 2115-2118, Dec. 2010.
- [30] N. Ramon, “Radar Signal Processing and Adaptive Systems,” London: Artech House, Inc. 1999.
- [31] Ö. Caner, “Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging with MATLAB Algorithms,” Singapore: John Wiley & Sons, Inc. 2012.
- [32] P. Kažimír, J. J. Fortes, D. Kocur and D. Novák, “Simple 3D localization of tag-free moving targets by UWB radar,” 15th International Radar Symposium (IRS 2014), pp. 1-4, Jun. 2014.
- [33] M. R. Bassem, “Radar Signal an Analysis and Processing Using MATLAB,” United States of America: Chapman & Hall/CRC, 2009.
- [34] R. S. Theodore, “Wireless Communications Principles and Practice,” 2nd ED. United States of America: PH PTR Prentice-Hall, Inc. 2002.
- [35] E. F. Knott, J. F. Shaeffer and M. T. Tulev, “Radar Cross Section,” United State of America: Artech House, Inc. 1985.
- [36] M. I. Skolnik, “Introduction to Radar Systems,” Tokyo: McGraw-Hill, Inc. 1962.

- [37] Y. Kim, S. Ha and J. Kwon “Human Detection Using Doppler Radar Based on Physical Characteristics of Targets,” IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol.12, No. 2, pp. 289-293, Feb. 2015.
- [38] A. Gratton, “Developing Practical Wireless Applications,” Boston, MA: Elsevier, Inc. 2006.
- [39] X. Chen, H. Leung and M. Tian, “Multitarget Detection and Tracking for Through-the-Wall Radars,” IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. Vol.50, No. 2, pp. 1403-1415, Apr. 2014.
- [40] J. Kämäräinen, A. Tenhunen, M. Pellinen and T. Lehtikainen, “Experimental results on obstacle indication on Impulse UWB radar imaging,” IEEE Radar Conference, pp. 1075-1079, May 2014.
- [41] Y. Kim, S. Ha and J. Kwon, “Human Detection Using Doppler Radar Based on Physical Characteristics of Targets,” IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 12, No. 2, pp. 289-293, Jul. 2014.
- [42] Y. He, P. Aubry, L. Chevalier and A. Yarovoy, “Keystone transform based range-Doppler processing for human target in UWB radar,” IEEE Radar Conference, pp. 1347-1352, May 2014.
- [43] F. Adih and D. Katabi, “See Through Walls with Wi-Fi!,” Massachusetts Institute of Technology, Aug. 2013.
- [44] K. Chetty, G. E. Smith and K. Woodbridge, “Through-the-wall Sensing of Personnel Using Passive Bistatic WiFi Radar at Standoff Distances,” IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 50, No. 4, pp. 1218-1226, Sep. 2011.
- [45] T. S. Ralston, G. L. Charvat and J. E. Peabody, “Real-time through-wall Imaging using an Ultrawideband multiple-input multiple-output (MIMO) phased array radar system,” IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology (ARRAY), pp. 551-558, Oct. 2010.
- [46] J. Hu, G. Zhu, T. Jin and Z. Zhou, “Adaptive Through-Wall Indication of Human Target with Different Motions,” IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 11, No. 5, pp. 911-915, Oct. 2013.
- [47] M. Ghavami, B. L. Michael and R. KohNo, “Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering,” England: John Wiley & Sons. 2004.
- [48] F. Nekoogar, “Ultra-Wideband Communications: Fundamentals and Applications,” New Jersey: Prentice Hall. 2005.
- [49] S. Promwong, “Quantitative Evaluation of Waveform Distortion Due to Antenna in Ultra Wideband Impulse Radio,” Degree of Doctor of Philosophy. 2009.

- [50] I. Oppermann, M. Hämäläinen and J. Linatti, "UWB Theory and Application," England: John Wiley and Sons. 2004.
- [51] S. Promwong, P. Supanakoon and J. Takada, "Waveform Distortion and Transmission Gain on Ultra Wideband Impulse Radio," IEICE Transactions communication, Vol. E93-B, No.10, pp. 2644-2650, Oct. 2010.
- [52] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems," First Report and Order, FCC 02-48, Apr. 2002.
- [53] U. K. Shukla, H. I. Volus and R. M. Buehrer, "On the Effect of Antenna Height on the Characterization of the Indoor UWB Channel," IEEE GLOBECOM 2008-2008: IEEE Global Telecommunications Conference, pp. 1-5, Nov. 2008.
- [54] G. Tiberi, S. Bertini, Q. W. Malik and A. MoNorchio, "Analysis of Realistic Ultrawideband Indoor Communication Channels by Using an Efficient Ray-Tracing Based Method," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 57, No. 3, pp.777-785, Mar. 2009.
- [55] D. Dardari, A. Conti, U. Femer and A. Giorgetti, "Ranging With Ultrawide Bandwidth Signals in Multipath Environments," in Proceedings of the IEEE, Vol. 97, No. 2, pp. 404-426, Feb. 2009.
- [56] D. PorciNo and W. Hirt, "Ultra-wideband radio technology: potential and challenges ahead," IEEE Communications Magazine, Vol. 41, No. 7, pp. 66-74, Jul. 2003.
- [57] V. Moghtadalee and A. G. Dempstera, "Indoor Location Fingerprinting Using FM Radio Signals," IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 60, No. 2, pp. 336-346, May 2014.
- [58] ชนศักดิ์ บ่ายเที่ยง และ ศรีบุตร แววจริญ. คณิตศาสตร์วิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ Series 8. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2546.
- [59] H. Liu, P. Banerjee and J. Liu, "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems," IEEE Transaction on Systems, MAN, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews, Vol. 37, No. 6, pp. 1067-1080, Nov 2007.

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการ

1. W. Vinicchayakul, P. Supanakoon and S. Promwong, “Study on Indoor Channel Modeling of IEEE802.15.3a and IEEE802.15.4a for Broadband Wireless Systems,” International Conference on Digital Broadcasting (ICDB2013), Queen Sirikit International Convention Center, Bangkok, Thailand, pp. 10, Jul. 2013.
2. J. Sangthong, W. Vinicchayakul and S. Promwong, “Location-Based Mobile Broadcast Services Using Neural Networks,” International Conference on Digital Broadcasting (ICDB2013), Queen Sirikit International Convention Center, Bangkok, Thailand, pp. 7, Jul. 2013.
3. W. Vinicchayakul and S. Promwong, “Improvement of Fingerprinting Technique for UWB Indoor Localization,” The Joint International Conference on Information and Communication Technology, Electronic and Electrical Engineering (JICTEE2014), the MANTRINI, Chiang Rai, Thailand, pp. 1 – 5, Mar. 2014.
4. W. Vinicchayakul and S. Promwong, “Performance Comparison between UWB and NB Propagation Models For an Indoor Localization,” 20th Asia-Pacific Conference on Communication (APCC2014), Pattaya City, Thailand, pp. 299 – 302, Oct. 2014
5. W. Vinicchayakul, P. Supanakoon and S. Promwong, “Study on Performance of Ultra Wideband and Narrow Band Propagation for an Indoor Positioning,” IEEE Colloquium on Signal Processing and its Applications (CSPA2016), No. 12, Melaka, Malaysia, pp. 194 – 198, Mar. 2016.

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่

1. W. Vinicchayakul, P. Supanakoon and S. Promwong, “Localization of Index Finger Using RCS Measurements for Touchless Keypad Model,” Advanced Science Letters, Vol. 21, page 3266–3269, 2015.
2. W. Vinicchayakul, P. Supanakoon and S. Promwong, “Indoor Radar Cross Section Measurements of Aluminum Hollow Rod for UWB Applications,” Advanced Science Letters, Vol. 21, page 3296–3299, 2015.
3. W. Vinicchayakul, P. Supanakoon and S. Promwong, “Improving Human Hand Localization in Indoor Environment by Using Frequency Domain Analysis,” International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering, Vol. 10, No. 2, page 282–288, 2016.

ภาคผนวก ค.

ตารางผลการทดสอบค่าความเที่ยงตรงของพารามิเตอร์ RCS

การทดสอบ \ เซลล์ปุ่มกด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	*	0	#	BD
ครั้งที่ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 19	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
ครั้งที่ 20	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ครั้งที่ 21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

0
7

การทดสอบ	เซลล์ปุ่มกด												BD	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	*	0	#		
ครั้งที่ 28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 35	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<u>7</u>
ครั้งที่ 36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 48	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	<u>0</u>
ครั้งที่ 49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 52	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<u>6</u>
ครั้งที่ 53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 54	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<u>7</u>
ครั้งที่ 55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบ	เซลล์ปุ่มกด												BD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	*	0	#	
ครั้งที่ 60	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<u>6</u>
ครั้งที่ 61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 64	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<u>6</u>
ครั้งที่ 65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 71	0	0	0	0	0	0	-3	0	0	0	0	0	<u>4</u>
ครั้งที่ 72	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	<u>9</u>
ครั้งที่ 73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 80	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	<u>0</u>
ครั้งที่ 81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 82	0	0	0	0	0	-3	0	0	0	0	0	0	<u>3</u>
ครั้งที่ 83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 88	0	0	0	0	0	-3	0	0	0	0	0	0	<u>3</u>
ครั้งที่ 89	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	<u>0</u>
ครั้งที่ 90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบ	เซลล์ปุ่มกด												BD	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	*	0	#		
ครั้งที่ 92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ครั้งที่ 98	0	0	0	0	0	-3	0	0	0	0	0	0	0	3
ครั้งที่ 99	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
ครั้งที่ 100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

หมายเหตุ: BD คือ เซลล์ปุ่มกดที่ได้จากการหาตำแหน่ง

เซลล์ปุ่มกด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	*	0	#	รวม
จำนวนครั้งที่ผิดจากการวัด 100 ครั้ง	0	0	4	3	0	4	1	4	0	0	0	0	16
ความเที่ยงตรง (%)	100	100	96	97	100	96	99	96	100	100	100	100	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาววิภััสสร วินิจฉัยกุล
วัน เดือน ปีเกิด	3 ตุลาคม 2533 ที่จังหวัดนครสวรรค์
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 2/79 ถนนมณฑา ตำบลตากาลี อำเภอตากาลี จังหวัดนครสวรรค์ 60140
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2551-2555	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2555-2556	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน	
เม.ย. 2554 – พ.ค. 2554	นักศึกษาฝึกงาน บริษัท วิทย์การบินแห่งประเทศไทย จำกัด
พ.ค. 2554 – ก.ย. 2554	พนักงานชั่วคราว บริษัท High-Tech AJ holding จำกัด
มิ.ย. 2556 – เม.ย 2559	ผู้ช่วยสอน ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ทุนการศึกษา	
มิ.ย. 2556 – เม.ย 2559	ได้รับทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา จากกองทุนการศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้