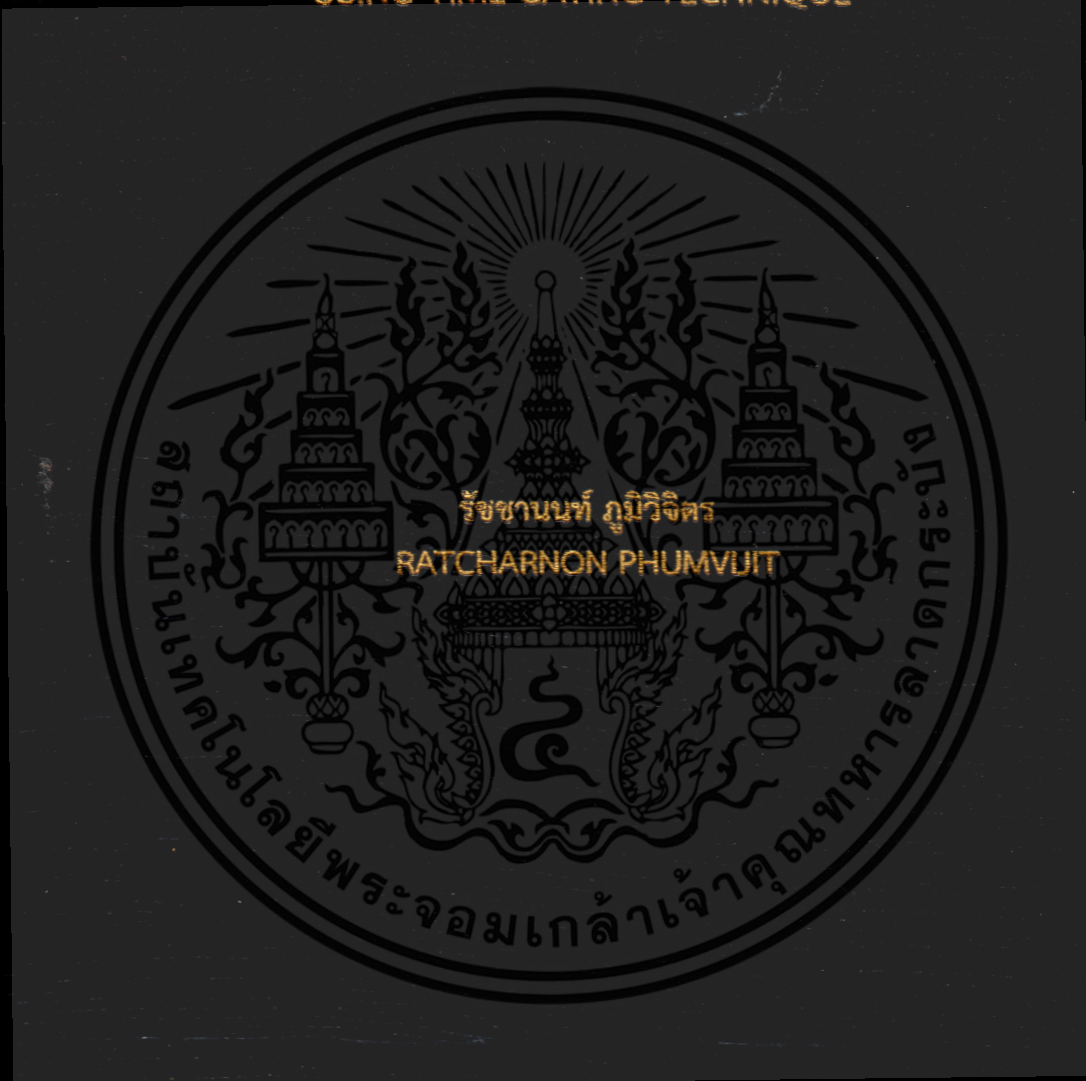


แบบแผนการวัดภาคตัดขวางเป้าเรดาร์แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับ
โดยใช้เทคนิคการเกตเวลา

MEASUREMENT SCHEME OF QUASI MONOSTATIC RADAR CROSS SECTION
USING TIME GATING TECHNIQUE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2561
KMITL-2018-EN-M-010-075

แบบแผนการวัดภาคตัดขวางเป้าเรดาร์แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับ
โดยใช้เทคนิคการเกตเวลา

MEASUREMENT SCHEME OF QUASI MONOSTATIC RADAR CROSS SECTION
USING TIME GATING TECHNIQUE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2561
KMITL-2018-EN-M-010-075

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MEASUREMENT SCHEME OF QUASI MONOSTATIC RADAR CROSS SECTION
USING TIME GATING TECHNIQUE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018
KMITL-2018-EN-M-010-075

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

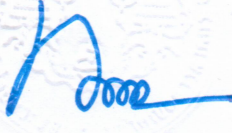
หัวข้อวิทยานิพนธ์ แบบแผนการวัดภาคตัดขวางเป้าเรดาร์แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับโดยใช้เทคนิค
การเกิดเวลา
Thesis Title Measurement Scheme of Quasi Monostatic Radar Cross Section Using Time
Gating Technique
นักศึกษา นายรัชชานนท์ ภูมิวิจิตร
รหัสประจำตัว 59601134
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-M-010-075

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.จิระศักดิ์	ชาญวิจิตรธรรม	
รศ.ดร.สุวิพล	สิทธิชีวภาค	
ผศ.ดร.สิรภาพ	ตู้ประกาย	
ผศ.ดร.พิชญ์	สุพรรณกุล	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2561 เวลา 09.00-11.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้อง HM-301 อาคารเฉลิมพระเกียรติ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว


(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
วันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2561
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แบบแผนการวัดภาคตัดขวางเป่าเรดาร์แบบกึ่งรวมสายอากาศ ส่งรับโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลา
นักศึกษา	นายรัชชานนท์ ภูมิวิจิตร
รหัสประจำตัว	59601134
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล

บทคัดย่อ

การเชื่อมต่อร่วมเป็นปัญหาสำคัญที่ลดความเที่ยงตรงของการวัดภาคตัดขวางเรดาร์ (Radar Cross Section: RCS) แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับซึ่งใช้ทำแบบจำลองช่องสัญญาณไร้สายโดยใช้วิธีการติดตามเส้นทางสัญญาณ ในบทความนี้ได้นำเสนอแบบแผนการวัดภาคตัดขวางเป่าเรดาร์แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลาสำหรับลดการเชื่อมต่อร่วม การวัดทำในห้องไร้การสะท้อน โดยที่เป้าการทดสอบ (Target Under Test: TUT) เป็นคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล สายอากาศปากแตรที่นำคลื่นสั้นคู่ได้ถูกนำมาใช้เป็นสายอากาศส่งและสายอากาศรับที่มีการโพลาไรซ์ทั้งแนวตั้งและแนวนอน ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer: VNA) วัดฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการสะท้อนที่มี TUT และช่องสัญญาณการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับในช่วงความถี่ครอบคลุมแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband: UWB) 3 ถึง 11 GHz วิธีลดการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับของช่องสัญญาณการสะท้อนที่มี TUT ในโดเมนเวลาใช้เทคนิคการเกิดเวลา นอกจากนั้นได้นำช่องสัญญาณการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับมาใช้กำจัดผลกระทบของสายอากาศส่งและสายอากาศรับออกไปจากช่องสัญญาณการสะท้อน การแสดง RCS ของ TUT ที่แต่ละมุมใช้เทคนิคการเกิดเวลาและเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้ใช้เทคนิคการเกิดเวลา ผลที่ได้พบว่า RCS ที่ใช้เทคนิคการเกิดเวลาสามารถเพิ่มความเที่ยงตรงของ RCS แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับโดยเฉพาะที่มุมที่มีระดับ RCS ต่ำมาก

Thesis Title	Measurement Scheme of Quasi Monostatic Radar Cross Section Using Time Gating Technique
Student	Mr.Ratcharnon Phumvijit
Student ID	59601134
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Pichaya Supanakoon

ABSTRACT

Mutual coupling is important problem that reduces the accuracy of quasi monostatic radar cross section (RCS) measurement, which uses to model the wireless channel using ray tracing method. In this paper, measurement scheme of quasi monostatic radar cross section using time gating technique for reducing mutual coupling is proposed. The measurement is done in anechoic chamber. Target under test (TUT) is the personal computer. The double ridged waveguide horn antennas are used as transmitter and receiver antennas with both vertical and horizontal polarizations. The vector network analyzer (VNA) is used to measure frequency transfer function of reflecting with TUT and transmitter-receiver antenna link channels in frequency ranged covered ultra wideband (UWB) that is from 3 to 11 GHz. The time gating technique is used to reduce the mutual coupling between transmitter and receiver antennas of reflecting channel in time domain. In addition, the transmitter-receiver antenna link channel is used to remove the effects of transmitter and receiver antennas from reflecting channel. The RCS of TUT at each angle using time gating technique is illustrated and compared with that not using time gating technique. From the results, RCS using time gating can be increased the accuracy of quasi monostatic RCS especially at angle with very low RCS level.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำ ชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาและคอยดูแลตลอดระยะเวลาที่ทำวิทยานิพนธ์นี้จาก ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ที่ให้คำแนะนำ และคอยชี้แนะแนวทางเกี่ยวกับโครงงานวิจัยอย่างดีมาโดยตลอด ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอกราบขอบพระคุณสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้การสนับสนุนในการใช้สถานที่ในการเตรียมอุปกรณ์การวัด ห้องไร่การสะท้อน TUT สายอากาศปากแตรท่อนำคลื่นสั้นคู่ VNA เคเบิลสายส่งสัญญาณ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการติดตั้งการวัด

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ในห้องวิจัย UWBR5 ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆด้านมาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

รัชชานนท์ ภูมิวิจิตร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย	2
1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีแบบพื้นฐาน	2
1.6 ขอบเขตการวิจัย	3
1.7 ขั้นตอนของการศึกษา	3
บทที่ 2 สมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ	4
2.1 บทนำ	4
2.2 สัญญาณที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศส่งรับ	4
2.3 สัญญาณแผ่กระจายไปยังเป้า	5
2.4 สัญญาณที่สะท้อนจากเป้า	5
2.5 สัญญาณสะท้อนกลับมายังสายอากาศส่งรับ	6
2.6 สัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งรับ	6
2.7 RCS แบบรวมสายอากาศส่งรับ	7
2.8 บทสรุป	7
บทที่ 3 การหา RCS แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับ	8
3.1 บทนำ	8
3.2 ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของสมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ	8
3.3 ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของสมการการเชื่อมโยงสายอากาศ	9
3.4 ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของสมการเรดาร์แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับ	10
3.5 การประยุกต์ใช้เทคนิคการเกิดเวลา	10
3.6 บทสรุป	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 แบบแผนการวัดและผลการวัด	13
4.1 บทนำ	13
4.2 แบบแผนการวัด	13
4.3 ผลการวัดคุณสมบัติของสายอากาศ	15
4.4 ผลการวัด RCS แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับ	17
4.5 บทสรุป	21
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	22
5.1 สรุปผลการวิจัย	22
5.2 ข้อเสนอแนะแนวทางการพัฒนางานวิจัย	23
เอกสารอ้างอิง	24
ภาคผนวก ก. บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานพนธ์	26
ประวัติผู้เขียน	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 คุณสมบัติของสายอากาศปากแตรท่อนำคลื่นสั้นคู่	22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และVIเิงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	บล็อกไดอะแกรมของระบบเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ 4
2.2	บล็อกไดอะแกรมของสัญญาณที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศส่งรับ 4
2.3	บล็อกไดอะแกรมของสัญญาณแผ่กระจายไปยังเป้า 5
2.4	บล็อกไดอะแกรมของสัญญาณที่สะท้อนจากเป้า 5
2.5	บล็อกไดอะแกรมของสัญญาณสะท้อนกลับมายังสายอากาศส่งรับ 6
3.1	บล็อกไดอะแกรมของระบบการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ 9
3.2	วินโดว์โคเซอร์-เบสเซล 11
4.1	สายอากาศปากแตรท่อนำคลื่นสั้นคู่ 13
4.2	การติดตั้งการวัดช่องสัญญาณการสะท้อนสำหรับการโพลาไรซ์แนวตั้ง 14
4.3	การติดตั้งการวัดช่องสัญญาณการสะท้อนสำหรับการโพลาไรซ์แนวนอน 14
4.4	การติดตั้งการวัดช่องสัญญาณการเชื่อมโยงสายอากาศ 15
4.5	ขนาดของสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศ 16
4.6	อัตราขยายของสายอากาศ 16
4.7	แบบรูปการแผ่กระจายของสายอากาศ 17
4.8	ผลตอบสนองอิมพีแดนซ์ของช่องสัญญาณการสะท้อนที่มีการโพลาไรซ์แนวตั้ง 18
4.9	ผลตอบสนองอิมพีแดนซ์ของช่องสัญญาณการสะท้อนที่มีการโพลาไรซ์แนวนอน 18
4.10	ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการเชื่อมโยงสายอากาศ 18
4.11	RCS ที่มุม 0° และมีการโพลาไรซ์แนวตั้ง 19
4.12	RCS ที่มุม 0° และมีการโพลาไรซ์แนวนอน 19
4.13	RCS ที่ความถี่ 6.85 GHz และมีการโพลาไรซ์แนวตั้ง 20
4.14	RCS ที่ความถี่ 6.85 GHz และมีการโพลาไรซ์แนวนอน 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

ภาคตัดขวางเป้าเรดาร์ (Radar Cross Section)	RCS
เป้าการทดสอบ (Target Under Test)	TUT
เครื่องวิเคราะห์เครือข่ายเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer)	VNA
แถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband)	UWB
เครือข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย (Wireless Personal Area Network)	WPAN
จิกะเฮิรท์ซ์ (Gigahertz)	GHz
เฮิรท์ซ์ (Hertz)	Hz
วัตต์ (Watt)	W
เซนติเมตร (Centimeter)	cm
เมตร (Meter)	m
ตารางเมตร (Meter Square)	m ²
นาโนวินาที (Nanosecond)	ns
วินาที (Second)	s
เดซิเบล (Decibel)	dB
เดซิเบลเทียบกับพื้นที่ 1 m ² (Decibel Relative to Area of 1 m ²)	dBm ²
องศา (Degree)	°
อะเพอร์เจอร์ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna Effective Aperture) m ²	A_e
อัตราขยายของสายอากาศ (Antenna Gain)	G_t
ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่อะเพอร์เจอร์ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna Effective Aperture Frequency Transfer Function)	H_e
ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของการเชื่อมต่อร่วม (Mutual Coupling Frequency Transfer Function)	H_m
ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของสายอากาศ (Antenna Frequency Transfer Function)	H_t
ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของ RCS แบบรวมสายอากาศส่งรับ (Monostatic RCS Frequency Transfer Function)	H_σ
ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของ RCS แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับที่ใช้เทคนิคการเกิดเวลา (Quasi Monostatic RCS Frequency Transfer Function with Time Gating Technique)	$H_{\sigma,t}$
ฟังก์ชันเบสเซลที่ถูกแก้ไขอันดับที่ศูนย์ของชนิดแรก (Zeroth-Order Modified Bessel Function of First Kind)	I_0
กำลังที่รับได้ (Received Power), W	P_r
กำลังที่แผ่กระจาย (Radiated Power), W	P_{rad}
ความหนาแน่นกำลังแผ่กระจาย (Radiation Power Density), W/m ²	$P_{rad,d}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

กำลังที่สะท้อน (Reflected Power), W	P_{ref}
ความหนาแน่นกำลังสะท้อน (Reflection Power Density), W/m ²	$P_{ref.d}$
กำลังส่ง (Transmitted Power), W	P_t
สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พอร์ต 1 (Reflection Coefficient at Port 1)	S_{11}
สัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากพอร์ต 1 ไปยังพอร์ต 2 (Transmission Coefficient from Port 1 to Port 2)	S_{21}
ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการเชื่อมโยง (Link Channel Frequency Transfer Function)	$S_{21,f}$
ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการสะท้อนแบบรวมสายอากาศส่งรับ (Monostatic Reflection Channel Frequency Transfer Function)	$S_{21,s}$
ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการสะท้อนแบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับ (Quasi Monostatic Reflection Channel Frequency Transfer Function)	$S_{21,sm}$
ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการสะท้อนแบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับที่ใช้ เทคนิคการเกตเวลา (Quasi Monostatic Reflection Channel Frequency Transfer Function with Time Gating Technique)	$S_{21,t}$
ความกว้างของวินโดว์ (Window Width), s	T
เวลาที่วินโดว์มีแอมพลิจูดสูงสุด (Time with Maximum Window Amplitude), s	T_p
ความเร็วแสง (Speed of light), m/s	c
ระยะทางระหว่างสายอากาศส่งรับกับเป้า (Distance between Transmitter/Receiver Antenna and Target), m	d
ระยะทางระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ (Distance between Transmitter and Receiver Antennas), m	d_f
ความถี่ (Frequency), Hz	f
ผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณการสะท้อนแบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับ (Quasi Monostatic Reflection Channel Impulse Response)	h_{sm}
เวลา (Time), s	t
วินโดว์ไคเซอร์-เบสเซล (Kaiser-Bessel Window),	w
พารามิเตอร์รูปร่างวินโดว์ (Window Size Parameter)	α
ความยาวคลื่น (Wavelength), m	λ
ภาคตัดขวางเป้าเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ (Monostatic Radar Cross Section), m ²	σ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IX อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายได้เข้ามามีบทบาทในการดำเนินชีวิตประจำวันอย่างมาก อีกทั้งยังได้พัฒนาให้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้นเพื่อรองรับการใช้งานการสื่อสารที่ต้องการความจุสูงและอัตราการส่งข้อมูลที่เร็ว สามารถให้บริการการสื่อสารข้อมูล ภาพ เสียง ได้พร้อมกัน ซึ่งได้นำมาประยุกต์ใช้สำหรับโครงข่ายภายในบ้าน [1] และโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย (Wireless Personal Area Network: WPAN) [2], [3] เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband: UWB) เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาเพื่อรองรับความต้องการนี้ซึ่งมีข้อกำหนดสำหรับนำมาใช้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร สภาวะแวดล้อมหรือช่องสัญญาณไร้สายเป็นปัจจัยที่จำกัดประสิทธิภาพของการสื่อสารไร้สาย การเฟดหลายวิถี (Multipath Fading) เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารไร้สายลดลง ซึ่งเกิดจากการรวมกันของสัญญาณที่มาจากเส้นทางตรงกับสัญญาณที่สะท้อนจากแต่ละวัตถุในสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะสภาวะแวดล้อมภายในอาคารจะเกิดการเฟดหลายวิถีปริมาณมาก ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเข้าใจคุณสมบัติการสะท้อนของสัญญาณจากแต่ละวัตถุเพื่อนำมาใช้สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณการสื่อสารไร้สายโดยใช้วิธีการติดตามเส้นทางสัญญาณ ภาคตัดขวางเป้าเรดาร์ (Radar Cross Section: RCS) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายคุณสมบัติการสะท้อนของเป้าการทดสอบ (Target Under Test: TUT) ถึงแม้ว่าจะมีสูตรทางทฤษฎีในการหา RCS ของ TUT ที่มีโครงสร้างอย่างง่าย แต่สำหรับ TUT ที่มีโครงสร้างซับซ้อนจะต้องทำการวัดหา RCS การวัด RCS แบบรวมสายอากาศส่งรับซึ่งเป็นแบบจำลองการวัดที่ตรงตามทฤษฎีจะมีความซับซ้อนของระบบการวัดมาก ดังนั้น จึงได้มีการพัฒนาการวัด RCS แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับเพื่อลดความซับซ้อนของระบบการวัด แต่ก็มีผลกระทบจากการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับทำให้ผลการวัดมีความเที่ยงตรงลดลง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือนำเสนอแบบแผนการวัด RCS แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับ ซึ่งจะมีความซับซ้อนของระบบการวัดน้อยกว่า RCS แบบรวมสายอากาศส่งรับ ได้นำสมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับแบบดั้งเดิม [4] ซึ่งเป็นการพิจารณาที่ความถี่เดียวหรือสำหรับการสื่อสารแถบแคบ มาประยุกต์ใช้พิจารณาในเทอมของฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่เชิงซ้อนเพื่อนำมาใช้ทำแบบจำลองช่องสัญญาณสำหรับการสื่อสารไร้สาย UWB นอกจากนั้นได้ใช้เทคนิคการเกิดเวลาเพื่อลดการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ รวมทั้งได้ศึกษาความเที่ยงตรงของการใช้เทคนิคการเกิดเวลาโดยเปรียบเทียบกับผลการวัด RCS ที่ไม่ได้ใช้เทคนิคการเกิดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เนื่องจากในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอแบบแผนการวัด RCS แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับ ซึ่งจะเกิดการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ Tx กับสายอากาศ Rx ดังนั้น เพื่อที่จะลดผลกระทบของการเชื่อมต่อร่วมและให้ RCS ที่ได้ใกล้เคียงกับ RCS แบบรวมสายอากาศส่งรับ จึงได้นำเทคนิคการเกิดเวลาเพื่อกำจัดสัญญาณการเชื่อมต่อร่วมซึ่งจะมาถึงสายอากาศ Rx เร็วกว่าสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจาก TUT นอกจากนี้ยังได้ทำการวัดในห้องไร้การสะท้อนเพื่อจำลองให้เป็นสภาวะแวดล้อมอวกาศว่าง และได้เลือกใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมาเป็น TUT เนื่องจากหาได้ง่าย มีคุณสมบัติการสะท้อนที่ดี และมักพบทั่วไปในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการขยายสมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ [4] ซึ่งพิจารณาที่จุดความถี่เดียว มาอยู่ในเทอมของฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของสัญญาณเชิงซ้อน ซึ่งจะนิยามเป็นช่องสัญญาณการสะท้อน ได้ประยุกต์นำเอาช่องสัญญาณการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับมาใช้กำจัดผลกระทบของสายอากาศส่งและสายอากาศรับออกไปจากช่องสัญญาณการสะท้อน ได้ใช้เทคนิคการเกิดเวลาลดการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับของช่องสัญญาณการสะท้อนที่มี TUT ในโดเมนเวลา โดยเทคนิคการเกิดเวลาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้วินโดว์โคเซอร์-เบสเซล [5] ได้นิยามฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของ RCS ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำแบบจำลองช่องสัญญาณ UWB ร่วมกับวิธีการติดตามเส้นทางสัญญาณ

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

ได้มีงานวิจัยนำเสนอ RCS ที่ได้จากการวัด โดยได้ใช้ TUT ชนิดต่าง ๆ เช่น ได้ทำการวัด RCS ของ TUT ที่มีโครงสร้างอย่างง่ายในห้องไร้การสะท้อน ซึ่งประกอบไปด้วย TUT ที่เป็นทรงกลม ทรงกระบอก แผ่นสี่เหลี่ยมตั้งตรง แผ่นสี่เหลี่ยมวางเอียง และแผ่นสะท้อนหักมุมแบบต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบกับสูตรทางทฤษฎี แล้วทำการเปรียบเทียบผลการวัดให้ตรงตามทฤษฎี [6] นอกจากนี้ ยังได้มีการวัด RCS ของ TUT ที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อน เช่น ทำการวัด RCS ของต้นโอ๊ก [7] โดยทำการศึกษา RCS ของต้นโอ๊กที่มีใบเต็มต้น (ฤดูร้อน) เปรียบเทียบกับต้นโอ๊กต้นเดิมที่ใบร่วงหมด (ฤดูหนาว) ได้ทำการวัด RCS ของผนังตึกที่ทำจากไดอิเล็กทริกชนิดต่าง ๆ [8] และได้ทำการวัด RCS ของเสาไฟที่อยู่ตามถนน [9] หลังจากนั้น ได้มีการวัด RCS ในช่วงแถบความถี่ของสัญญาณ UWB โดยทำการวัด RCS ของพื้นผิวแบบเรียบ (กระดานไวท์บอร์ด) และแบบคาบ (หน้าต่างมู่ลี่) [10] ต่อมาได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคการเกิดเวลาลดผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมในกรณีทำการวัด RCS ในอาคาร [11] แต่ก็ยังไม่มีการวิจัยที่ใช้ลดผลกระทบของการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการลดการเชื่อมต่อร่วมโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลาสำหรับการวัด RCS แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับ การวัดได้ใช้เทคนิคการวัดแถบกว้างยิ่งและทำการวัดในห้องไร้การสะท้อน โดยที่ TUT เป็นคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ได้ใช้สายอากาศปากแตรท่อนำคลื่นสั้นคู่เป็นทั้งสายอากาศส่งและสายอากาศรับโดยมีการโพลาริซทั้งแนวตั้งและแนวนอน ใช้ VNA วัดฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการสะท้อนที่มี TUT และช่องสัญญาณการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ ในช่วงความถี่ 3 ถึง 11 GHz ซึ่งครอบคลุมแถบความถี่ของ UWB เทคนิคการเกิดเวลาได้ใช้วินโดว์โคเซอร์-เบสเซลล์ลดการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับของช่องสัญญาณการสะท้อนที่มี TUT ในโดเมนเวลา ช่องสัญญาณการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับนำมาใช้เพื่อกำจัดผลกระทบของสายอากาศส่งและสายอากาศรับออกไปจากช่องสัญญาณการสะท้อน หลังจากนั้นได้คำนวณหา RCS ของ TUT ที่แต่ละมุมโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลาเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้ใช้เทคนิคการเกิดเวลา

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 5 บท ดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึง บทนำ ซึ่งประกอบไปด้วยความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน ขอบเขตการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึง สมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ ซึ่งประกอบไปด้วย บทนำ สัญญาณที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศส่งรับ สัญญาณแผ่กระจายไปยังเป้า สัญญาณที่สะท้อนจากเป้า สัญญาณสะท้อนกลับมายังสายอากาศส่งรับ สัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งรับ RCS แบบรวมสายอากาศส่งรับ และบทสรุป

บทที่ 3 กล่าวถึง การหา RCS แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับ ซึ่งประกอบไปด้วย บทนำ ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของสมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของสมการเชื่อมโยงสายอากาศ ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของสมการเรดาร์แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับ การประยุกต์ใช้เทคนิคการเกิดเวลา และบทสรุป

บทที่ 4 กล่าวถึง แบบแผนการวัดและผลการวัด ซึ่งประกอบไปด้วย บทนำ แบบแผนการวัด ผลการวัดคุณสมบัติของสายอากาศ ผลการวัด RCS แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับ และบทสรุป

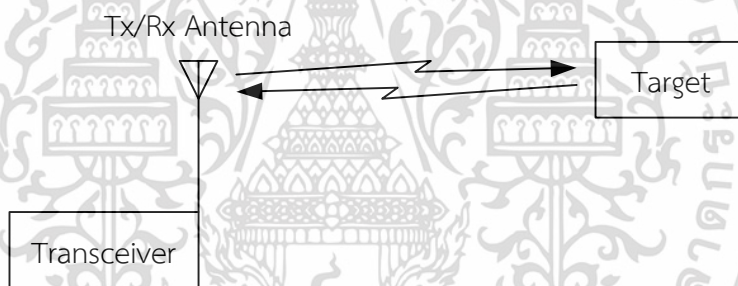
บทที่ 5 กล่าวถึง สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ซึ่งประกอบไปด้วยสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะแนวทางการพัฒนางานวิจัย

บทที่ 2

สมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ

2.1 บทนำ

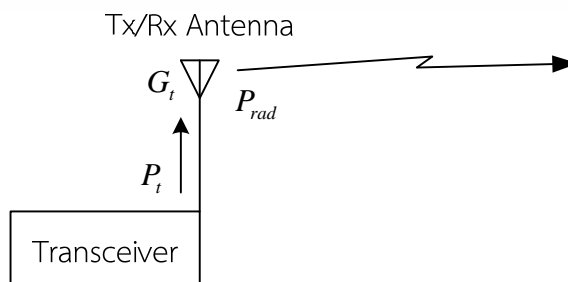
ในบทนี้ จะได้กล่าวถึงสมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ ซึ่งเป็นทฤษฎีดั้งเดิมที่นำมาใช้หา RCS แบบรวมสายอากาศส่งรับ บล็อกไดอะแกรมของระบบเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งมีสายอากาศส่งและสายอากาศรับเป็นสายอากาศเดียวกันเรียกว่าสายอากาศส่งรับ ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปยังเป้า และรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากเป้า ในที่นี้จะไม่ได้อภิปรายการสูญเสียที่เกิดจากสายส่งที่อยู่ระหว่างเครื่องส่งรับกับสายอากาศส่งรับ และการสูญเสียที่เกิดจากช่องสัญญาณ ในการหาที่มาของสมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับจะแยกพิจารณาออกเป็นส่วน ๆ นั่นคือ สัญญาณที่แผ่กระจายออกจากสายอากาศส่งรับ สัญญาณแผ่กระจายไปยังเป้า สัญญาณที่สะท้อนจากเป้า สัญญาณสะท้อนกลับมายังสายอากาศส่งรับ และสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งรับ หลังจากนั้นจึงสามารถหาสมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ และนิยาม RCS แบบรวมสายอากาศส่งรับ



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ

2.2 สัญญาณที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศส่งรับ

บล็อกไดอะแกรมแสดงสัญญาณที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศส่งรับแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งจะพิจารณาในเทอมของกำลังส่งถูกป้อนเข้าไปในสายอากาศส่งรับที่มีอัตราขยายแล้วได้กำลังที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศส่งรับ



รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมของสัญญาณที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศส่งรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศส่งรับ P_{rad} (W) คำนวณได้จาก

$$P_{rad} = G_t P_t \quad (2.1)$$

เมื่อ P_t เป็นกำลังส่ง (W) และ G_t เป็นอัตราขยายของสายอากาศส่งรับ

2.3 สัญญาณแผ่กระจายไปยังเป้า

บล็อกไดอะแกรมแสดงสัญญาณที่แผ่กระจายไปยังเป้าแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งจะพิจารณาในเทอมของกำลังที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศส่งรับแผ่กระจายไปทุกทิศทางในระนาบพื้นผิวทรงกลมแล้วได้ความหนาแน่นกำลังแผ่กระจายไปยังเป้า ความหนาแน่นกำลังจะลดลงตามระยะทางที่แผ่กระจายออกไป เนื่องจากเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นทำให้ระนาบพื้นผิวทรงกลมมีพื้นที่มากขึ้น



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของสัญญาณแผ่กระจายไปยังเป้า

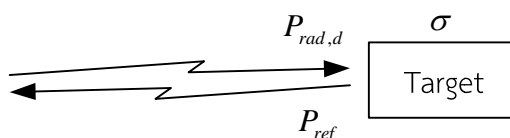
ความหนาแน่นกำลังแผ่กระจายไปยังเป้า $P_{rad,d}$ (W/m^2) คำนวณได้จาก

$$P_{rad,d} = \frac{P_{rad}}{4\pi d^2} \quad (2.2)$$

เมื่อ d เป็นระยะทางระหว่างสายอากาศส่งรับกับเป้า (m)

2.4 สัญญาณที่สะท้อนจากเป้า

บล็อกไดอะแกรมแสดงสัญญาณที่สะท้อนเป้าแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งจะพิจารณาในเทอมของความหนาแน่นกำลังแผ่กระจายไปยังเป้า ตกกระทบเป้าที่มีคุณสมบัติ RCS ทำให้เกิดกำลังที่สะท้อนจากเป้า



รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมของสัญญาณที่สะท้อนจากเป้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

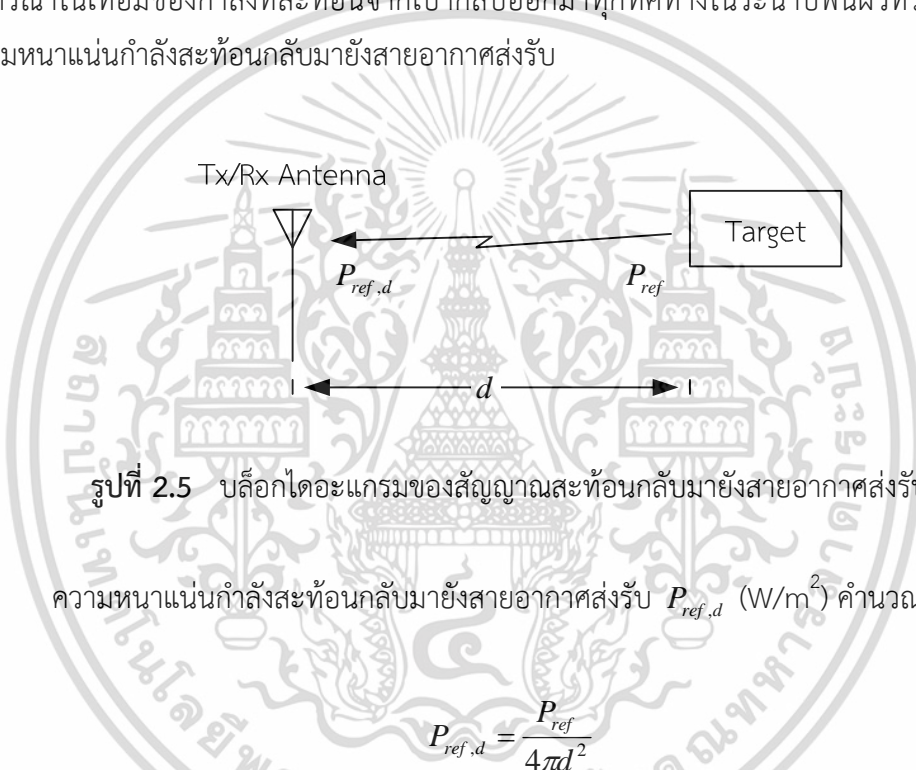
กำลังที่สะท้อนจากเป้า P_{ref} (W) คำนวณได้จาก

$$P_{ref} = \sigma P_{rad,d} \quad (2.3)$$

เมื่อ σ เป็น RCS แบบรวมสายอากาศส่งรับของเป้า (m^2)

2.5 สัญญาณสะท้อนกลับมายังสายอากาศส่งรับ

บล็อกไดอะแกรมแสดงสัญญาณสะท้อนกลับมายังสายอากาศส่งรับแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งจะพิจารณาในเทอมของกำลังที่สะท้อนจากเป้ากลับออกมาทุกทิศทางในระนาบพื้นผิวทรงกลมแล้วได้ความหนาแน่นกำลังสะท้อนกลับมายังสายอากาศส่งรับ



รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมของสัญญาณสะท้อนกลับมายังสายอากาศส่งรับ

ความหนาแน่นกำลังสะท้อนกลับมายังสายอากาศส่งรับ $P_{ref,d}$ (W/m^2) คำนวณได้จาก

$$P_{ref,d} = \frac{P_{ref}}{4\pi d^2} \quad (2.4)$$

2.6 สัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งรับ

บล็อกไดอะแกรมแสดงสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งรับแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งจะพิจารณาในเทอมของความหนาแน่นกำลังสะท้อนกลับมายังสายอากาศส่งรับที่มีอะเพอร์เจอร์ประสิทธิภาพแล้วได้กำลังที่รับได้จากสายอากาศส่งรับ

กำลังที่รับได้ P_r (W) คำนวณได้จาก

$$P_r = A_e P_{ref,d} \quad (2.5)$$

เมื่อ A_e เป็นอะเพอร์เจอร์ประสิทธิภาพของสายอากาศส่งรับ (m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะเพอร์เจอร์ประสิทธิภาพของสายอากาศส่งรับมีความสัมพันธ์กับอัตราขยายของสายอากาศส่งรับเป็น

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_r \quad (2.6)$$

เมื่อ λ เป็นความยาวคลื่น (m)

2.7 RCS แบบรวมสายอากาศส่งรับ

จากสมการ (2.1) ถึง (2.5) สามารถหาสมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับจากกำลังส่งมาถึงกำลังที่รับได้เป็น [4]

$$P_r = \frac{\sigma G_r A_e}{16\pi^2 d^4} P_t \quad (2.7)$$

จากสมการ (2.7) สามารถนิยาม RCS แบบรวมสายอากาศส่งรับได้เป็น [4]

$$\sigma = \frac{16\pi^2 d^4}{G_r A_e} \frac{P_r}{P_t} \quad (2.8)$$

RCS เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงคุณสมบัติของเป้า ซึ่งแสดงถึงพื้นที่หน้าตัดประสิทธิภาพของเป้าที่สะท้อนสัญญาณกลับมา RCS มีค่าไม่เท่ากับพื้นที่หน้าตัดทางกายภาพของเป้า แต่จะมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกัน นั่นคือ เมื่อพื้นที่หน้าตัดทางกายภาพของเป้าเพิ่มขึ้น ทำให้ RCS ของเป้าเพิ่มขึ้นด้วย RCS ยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเป้า เช่น ถ้ากำหนดให้พื้นที่หน้าตัดทางการภาพของเป้าสองชนิดมีค่าเท่ากัน RCS ของเป้าที่มีความนำไฟฟ้ามากจะมีค่ามากกว่า RCS ของเป้าที่มีความนำไฟฟ้าน้อย นอกจากนี้ RCS ยังเปลี่ยนแปลงไปตามการโพลาไรซ์ ความถี่ของสัญญาณ และมุมที่สัญญาณตกกระทบเป้า

2.8 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงสมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ ในการหาที่มาของสมการจะแบ่งการวิเคราะห์ระบบเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับออกเป็นส่วน ๆ ซึ่งเริ่มจากสัญญาณที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศส่งรับ สัญญาณแผ่กระจายไปยังเป้า สัญญาณที่สะท้อนจากเป้า สัญญาณสะท้อนกลับมายังสายอากาศส่งรับ และสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งรับ หลังจากนั้นจึงสามารถหาสมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ และนิยาม RCS แบบรวมสายอากาศส่งรับ ซึ่งในบทต่อไปได้ประยุกต์ใช้สมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับนี้พิจารณาในเทอมของฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่เชิงซ้อนเพื่อประยุกต์ใช้สำหรับแบบแผนการวัด RCS แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับ

บทที่ 3

การทำ RCS แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับ

3.1 บทนำ

ในบทนี้ได้พัฒนาสมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับแบบดั้งเดิมที่กล่าวถึงในบทที่ 2 มาประยุกต์ใช้ในเทอมของฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่เชิงซ้อนสำหรับใช้หา RCS แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับโดยใช้ช่องสัญญาณการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับกำจัดคุณสมบัติของสายอากาศส่งและสายอากาศรับออกไป และได้ใช้เทคนิคการเกิดเวลาเพื่อลดการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ

3.2 ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของสมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้เทคนิคการวัด UWB และใช้ VNA วัดช่องสัญญาณ ดังนั้น จึงได้ดัดแปลงสมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับที่แสดงในสมการ (2.7) ให้อยู่ในเทอมของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่เชิงซ้อนเพื่อพิจารณาในแถบความถี่ที่กว้าง และเทอมของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากพอร์ตที่ 1 ไปยังพอร์ตที่ 2 S_{21} ซึ่งวัดได้โดยตรงจาก VNA ช่องสัญญาณของระบบเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับดังแสดงในรูปที่ 2.1 จะเรียกว่าช่องสัญญาณการสะท้อน ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการสะท้อนแบบรวมสายอากาศส่งรับ $S_{21,s}$ สามารถแสดงได้เป็น [12], [13]

$$S_{21,s}(f) = \frac{H_\sigma(f)H_t(f)H_e(f)}{4\pi d^2} e^{-j4\pi f d / c} \quad (3.1)$$

เมื่อ H_t เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของสายอากาศส่งรับ H_e เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่อะพอร์เจอร์ประสิทธิภาพของสายอากาศส่งรับ (m) H_σ เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของ RCS แบบรวมสายอากาศส่งรับ (m) f เป็นความถี่ (Hz) และ c เป็นความเร็วแสง (m/s)

พารามิเตอร์ $S_{21,s}$ ในสมการที่ (3.1) ได้จากการวัดพารามิเตอร์ S_{21} ของช่องสัญญาณการสะท้อนที่มี TUT ในห้องไร้การสะท้อน โดยกำหนดแบบจำลองการวัดเป็นระบบเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ ซึ่งได้ใช้สายอากาศตัวเดียวกันเป็นทั้งสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ดังนั้น จึงไม่เกิดการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ ความสัมพันธ์ระหว่างสมการ (2.7) ซึ่งเป็นสมการเรดาร์แบบดั้งเดิมกับสมการที่ (3.1) ซึ่งเป็นสมการที่ถูกดัดแปลงให้อยู่ในเทอมของฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่เชิงซ้อนแสดงได้เป็น [12], [13]

$$\sigma = |H_\sigma|^2 \quad (3.2)$$

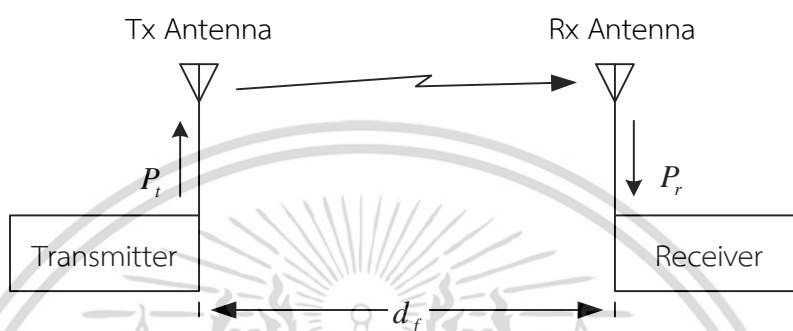
$$G_t = |H_t|^2 \quad (3.3)$$

$$A_e = |H_e|^2 \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของสมการการเชื่อมโยงสายอากาศ

สมการที่ (3.1) มีคุณสมบัติของสายอากาศส่งรวบรวมอยู่ด้วย นั่นคือ H_t และ H_e เพื่อที่จะกำจัดคุณสมบัติของสายอากาศออกไปให้เหลือแค่เทอม RCS ของ TUT จะใช้สมการการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ โดยใช้สายอากาศที่มีคุณสมบัติเดียวกันกับสายอากาศส่งรับมาติดตั้งแยกเป็นสายอากาศส่งและสายอากาศรับ บล็อกไดอะแกรมของระบบการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ

จากรูปที่ 3.1 ใช้หลักการของสมการเรดาร์ สามารถหาสมการเรดาร์แบบการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับได้เป็น [4]

$$P_r = \frac{G_t A_e}{4\pi d_f^2} P_t \quad (3.5)$$

เมื่อ d_f เป็นระยะทางระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ (m)

หลังจากนั้น ได้ดัดแปลงสมการ (3.5) ซึ่งเป็นสมการการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับให้อยู่ในเทอมของฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่เชิงซ้อน ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการเชื่อมโยง $S_{21,f}$ สามารถแสดงได้เป็น [12], [13]

$$S_{21,f}(f) = \frac{H_t(f)H_e(f)}{2\sqrt{\pi}d_f} e^{-j2\pi f d_f/c} \quad (3.6)$$

พารามิเตอร์ $S_{21,f}$ ในสมการที่ (3.6) ได้จากการวัดพารามิเตอร์ S_{21} ของช่องสัญญาณการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับในห้องไร้การสะท้อน จากสมการที่ (3.1) และ (3.6) สามารถนิยามฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของ RCS แบบรวมสายอากาศส่งรับได้เป็น [12], [13]

$$H_e(f) = \frac{2\sqrt{\pi}d^2}{d_f} e^{j2\pi f(2d-d_f)/c} \frac{S_{21,s}(f)}{S_{21,f}(f)} \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของสมการเรดาร์แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับ

สมการ (3.7) สามารถนำมาใช้หา RCS โดยใช้แบบจำลองการวัดเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ แต่ถ้าใช้แบบจำลองการวัดเรดาร์แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับ จะมีผลกระทบของการเชื่อมต่อระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ ดังนั้น จึงต้องพิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของการเชื่อมต่อรวมรวมเข้าไปด้วย ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการสะท้อนแบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับ $S_{21,sm}$ สามารถแสดงได้เป็น [12], [13]

$$S_{21,sm}(f) = \left[\frac{H_\sigma(f)}{4\pi d^2} e^{-j4\pi f d/c} + H_m(f) \right] H_i(f) H_e(f) \quad (3.8)$$

เมื่อ H_m เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของการเชื่อมต่อรวมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ

พารามิเตอร์ $S_{21,sm}$ ในสมการ (3.8) ได้จากการวัดพารามิเตอร์ S_{21} ของช่องสัญญาณการสะท้อนที่มี TUT ในห้องไร้การสะท้อน โดยกำหนดแบบจำลองการวัดเป็นเรดาร์แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับ ซึ่งได้ใช้สายอากาศส่งและสายอากาศรับแยกจากกัน แต่ติดตั้งสายอากาศทั้งสองไว้ใกล้กัน เพื่อประมาณเป็นแบบจำลองการวัดเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ ดังนั้น จึงทำให้เกิดการเชื่อมต่อรวมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับขึ้นมา

3.5 การประยุกต์ใช้เทคนิคการเกิดเวลา

ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของการเชื่อมต่อรวมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ ไม่สามารถกำจัดได้โดยตรงในโดเมนความถี่ ดังนั้น จึงใช้ข้อดีจากเทคนิคการวัด UWB นำการเกิดเวลา มาประยุกต์ใช้ลดผลกระทบของการเชื่อมต่อรวมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับในโดเมนเวลา ขั้นแรกใช้การแปลงฟูริเยร์ย้อนกลับของฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการสะท้อนแบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับได้เป็น

$$h_{sm}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{21,sm}(f) e^{j2\pi f t} df \quad (3.9)$$

เมื่อ h_{sm} เป็นผลตอบสนองอิมพัลส์ของสมการเรดาร์แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับ และ t เป็นเวลา (s)

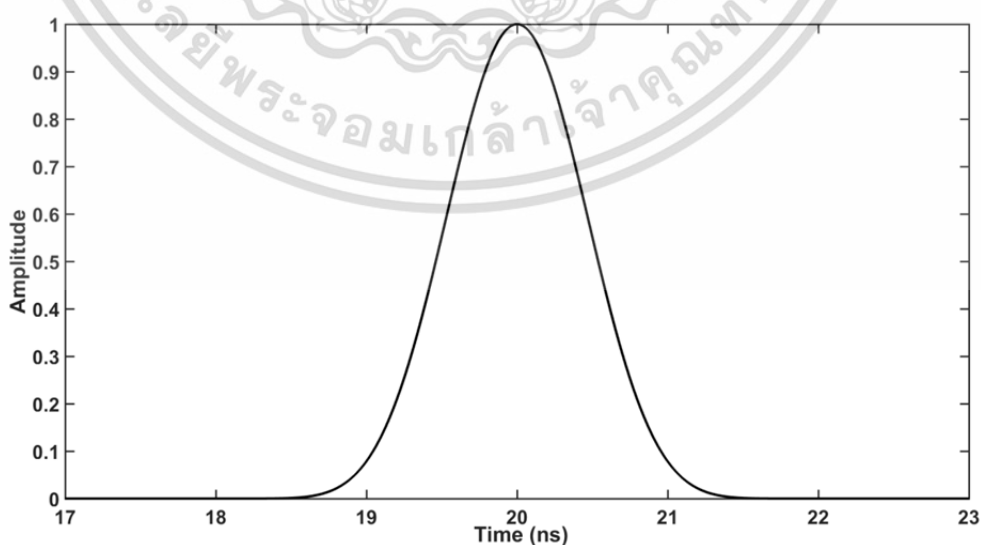
ผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณการสะท้อนแบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับมีการกระจายจาก TUT ที่เวลาประมาณ $2d/c$ s และมีการเชื่อมต่อรวมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับที่เวลาน้อยกว่า $2d/c$ s มาก เนื่องจากสายอากาศส่งและสายอากาศรับอยู่ใกล้กันมากกว่า TUT ดังนั้น จึงใช้เทคนิคการเกิดเวลาลดผลกระทบของการเชื่อมต่อรวมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการเกิดเวลาเป็นการใช้วินโดว์คูณกับสัญญาณในโดเมนเวลาเพื่อเป็นการกำหนดช่วงเวลาที่ทำให้สัญญาณมีค่าประมาณเท่าเดิม และช่วงเวลาที่ทำให้สัญญาณมีค่าประมาณเป็นศูนย์ แต่อย่างไรก็ตาม การใช้วินโดว์จะทำให้เกิดค่าผิดพลาดของสัญญาณในช่วงเวลาที่ต้องการขึ้น วินโดว์ที่ทำให้มีค่าผิดพลาดเกิดขึ้นน้อยจะต้องมีคุณสมบัติในโดเมนความถี่ คือ โลบหลักจะต้องแคบและมีความชันมาก โลบข้างจะต้องมีระดับต่ำ เพื่อที่จะให้ได้คุณสมบัติเหล่านี้ วินโดว์พื้นฐานชนิดต่าง ๆ เช่น วินโดว์สี่เหลี่ยม วินโดว์บาร์ทเลทท์ วินโดว์แฮมมิง วินโดว์ฮานนิง และวินโดว์เบลคแมน จะต้องใช้ความยาวของวินโดว์มาก และอันดับวินโดว์สูง วินโดว์ที่ทำให้เกิดค่าผิดพลาดน้อยและใช้ความยาวของวินโดว์น้อยจะต้องใช้วินโดว์ทรงคล้ายทรงกลมแบนข้าง แต่วินโดว์ชนิดนี้มีความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์มาก วินโดว์โคเซอร์-เบสเซลเป็นวินโดว์ที่ประมาณมาจากวินโดว์ทรงคล้ายทรงกลมแบนข้างให้อยู่ในเทอมทางคณิตศาสตร์ที่ง่ายขึ้น แล้วยังคงคุณสมบัติที่ทำให้เกิดค่าผิดพลาดน้อย ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เลือกใช้วินโดว์โคเซอร์-เบสเซล ซึ่งมีนิยามเป็น [5]

$$w(t) = \begin{cases} \frac{I_0 \left(\pi \alpha \sqrt{1 - \left\{ \frac{2[t - t_p]}{T} \right\}^2} \right)}{I_0(\pi \alpha)} & t_p - \frac{T}{2} \leq t \leq t_p + \frac{T}{2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.10)$$

เมื่อ T เป็นความกว้างของวินโดว์ (s) α เป็นพารามิเตอร์รูปร่างวินโดว์ และ T_p เป็นเวลาที่วินโดว์มีแอมพลิจูดสูงสุด (s)



รูปที่ 3.2 วินโดว์โคเซอร์-เบสเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชัน $I_0(x)$ เป็นฟังก์ชันเบสเซลที่ถูกแก้ไขอันดับที่ศูนย์ของชนิดแรก ซึ่งมีนิยามเป็น

$$I_0(x) = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi e^{x \cos(\theta)} d\theta \quad (3.11)$$

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กำหนดให้พารามิเตอร์รูปร่างวินโดว์ α มีค่าเป็น 4.8 เวลาที่วินโดว์มีแอมพลิจูดสูงสุด T_p มีค่าประมาณ $2d/c$ s ซึ่งจะปรับไปอยู่ที่เวลาใกล้เคียงกับ $2d/c$ s ที่ตรงกับค่ายอดของแอมพลิจูดผลตอบสนองช่องสัญญาณการสะท้อนแบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับ (ในการวัดกำหนดให้ระยะทางระหว่างสายอากาศกับ TUT เป็น $d = 3$ m จะได้ $T_p \approx 20$ ns) และกำหนดให้ความกว้างของวินโดว์ T มีค่าเป็น 5 ns กราฟของวินโดว์โคเซอร์-เบสเซลนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.2

การลดการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับทำได้โดยใช้การแปลงฟูริเยร์ของผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณการสะท้อนแบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับที่ใช้เทคนิคการเกิดเวลาโดยคูณกับวินโดว์โคเซอร์-เบสเซล ซึ่งจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการสะท้อนแบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับที่ใช้เทคนิคการเกิดเวลา $S_{21,r}$ เพื่อลดการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับเป็น

$$S_{21,r}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h_{sm}(t) w(t) e^{-j2\pi f t} dt \quad (3.12)$$

RCS แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับของ TUT ที่ใช้เทคนิคการเกิดเวลานิยามได้เป็น [12], [13]

$$H_{\sigma,r}(f) = \frac{2\sqrt{\pi}d^2}{d_f} e^{j2\pi f(2d-d_f)/c} \frac{S_{21,r}(f)}{S_{21,f}(f)} \quad (3.13)$$

3.6 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการหา RCS แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับของ TUT โดยใช้เทคนิคการเกิดเวลาเพื่อลดผลกระทบจากการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ โดยเริ่มจากการดัดแปลงสมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับแบบดั้งเดิม มาให้อยู่ในเทอมของฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการสะท้อนแบบรวมสายอากาศส่งรับ แล้วพิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับเข้าไปเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการสะท้อนแบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับ หลังจากนั้นใช้เทคนิคการเกิดเวลา และนิยาม RCS แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับ ในบทต่อไปได้ใช้แบบแผนการวัดและแสดงผลการวัดที่มีพื้นฐานอยู่บนวิธีการหา RCS นี้

บทที่ 4

แบบแผนการวัดและผลการวัด

4.1 บทนำ

ในบทนี้ได้ใช้แบบแผนการวัด RCS ที่มีพื้นฐานอยู่บนวิธีการหา RCS แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยส่วนแรกได้กล่าวถึงแบบแผนการวัด ต่อมาเป็นผลการวัดหาคณสมบัตินี้ของสายอากาศที่ใช้วัด หลังจากนั้นเป็นผลการวัด RCS แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับที่ใช้เทคนิคการเกิดเวลาเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้ใช้เทคนิคการเกิดเวลา โดยได้ทำการวัด RCS ที่มีการโพลาไรซ์ทั้งแนวตั้งและแนวนอน

4.2 แบบแผนการวัด

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการวัด RCS ที่สถาบันไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ TUT เป็นคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และวัดในห้องไร้การสะท้อน ได้ใช้ VNA วัดคุณสมบัติของสายอากาศ รวมทั้งวัดฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการสะท้อนที่มี TUT และช่องสัญญาณการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ในช่วงความถี่ 3 ถึง 11 GHz ซึ่งครอบคลุมแถบความถี่ของ UWB โดยที่พอร์ตที่ 1 และพอร์ตที่ 2 ของ VNA ต่อเข้ากับสายอากาศส่งและสายอากาศรับตามลำดับ

สายอากาศที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้วัด RCS จะต้องมีความถี่ของสัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11} ที่ต่ำมาก และมีอัตราขยายที่สูงในช่วงความถี่ที่ใช้วัด ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เลือกสายอากาศปากแตรที่นำคลื่นสั้นคู่เป็นทั้งสายอากาศส่งและสายอากาศรับเนื่องจากเป็นสายอากาศที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมและมีอยู่แล้วที่สถาบันไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ โดยได้ติดตั้งสายอากาศอยู่ใกล้กันและวัดทั้งการโพลาไรซ์แนวตั้งและแนวนอน



รูปที่ 4.1 สายอากาศปากแตรที่นำคลื่นสั้นคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศปากแตรท่อนำคลื่นสั้นคู่ที่ใช้ในการวัดได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 การวัดคุณสมบัติของสายอากาศจะทำการวัดขนาดของสัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11} และอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz ต่อมาทำการวัดแบบรูปการแผ่กระจายของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าเปรียบเทียบกับระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 6.85 GHz

สำหรับการวัดฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการสะท้อนที่มี TUT ได้กำหนดให้มีระยะระหว่างสายอากาศกับ TUT เป็น $d = 3$ m การติดตั้งการวัดสำหรับการโพลาไรซ์แนวตั้งและแนวนอนแสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ ในการวัดได้ทำการหมุน TUT จาก 0° เป็น 360° โดยเพิ่มทีละ 10° ซึ่งผลที่ได้นี้ใช้เป็นพารามิเตอร์ $S_{21,sm}$ ในสมการ (3.8)



รูปที่ 4.2 การติดตั้งการวัดช่องสัญญาณการสะท้อนสำหรับการโพลาไรซ์แนวตั้ง



รูปที่ 4.3 การติดตั้งการวัดช่องสัญญาณการสะท้อนสำหรับการโพลาไรซ์แนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเห็นไปเซปรีประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการวัดฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ ได้กำหนดให้ระยะระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับเป็น $d_f = 3$ m การติดตั้งการวัดช่องสัญญาณการเชื่อมโยงสายอากาศแสดงในรูปที่ 4.4 ผลที่ได้นี้ใช้เป็นพารามิเตอร์ $S_{21,f}$ ในสมการ (3.6) ถึงแม้ว่าการติดตั้งการวัดนี้สายอากาศมีการโพลาไรซ์แนวตั้ง แต่ผลที่ได้จากการวัดนี้จะใช้สำหรับการหาค่า RCS สำหรับทั้งการโพลาไรซ์แนวตั้งและแนวนอน เนื่องจากการวัดช่องสัญญาณการเชื่อมโยงนี้ได้ทำการวัดในห้องไร้การสะท้อนซึ่งเปรียบเสมือนเป็นสภาวะแวดล้อมอวกาศว่าง ดังนั้น ผลที่ได้จากการวัดสำหรับการโพลาไรซ์แนวตั้งและแนวนอนจะมีค่าประมาณเท่ากัน



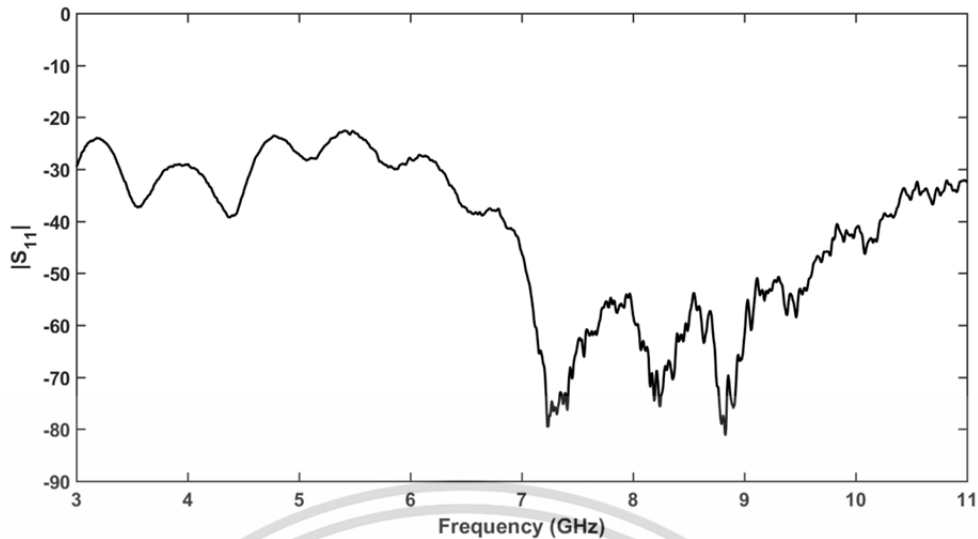
รูปที่ 4.4 การติดตั้งการวัดช่องสัญญาณการเชื่อมโยงสายอากาศ

ในการวัด RCS แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับ จะวางให้สายอากาศส่งและสายอากาศรับมีตำแหน่งใกล้เคียงกัน โดยวางอยู่ห่างกัน 10 cm และจะแบ่งการวัดออกเป็น 2 กรณี กรณีแรกทำการวัดโดยกำหนดให้สายอากาศส่งและสายอากาศรับมีการโพลาไรซ์แนวตั้ง ส่วนกรณีที่สองเป็นการวัดโดยกำหนดให้สายอากาศส่งและสายอากาศรับมีการโพลาไรซ์แนวนอน

4.3 ผลการวัดคุณสมบัติของสายอากาศ

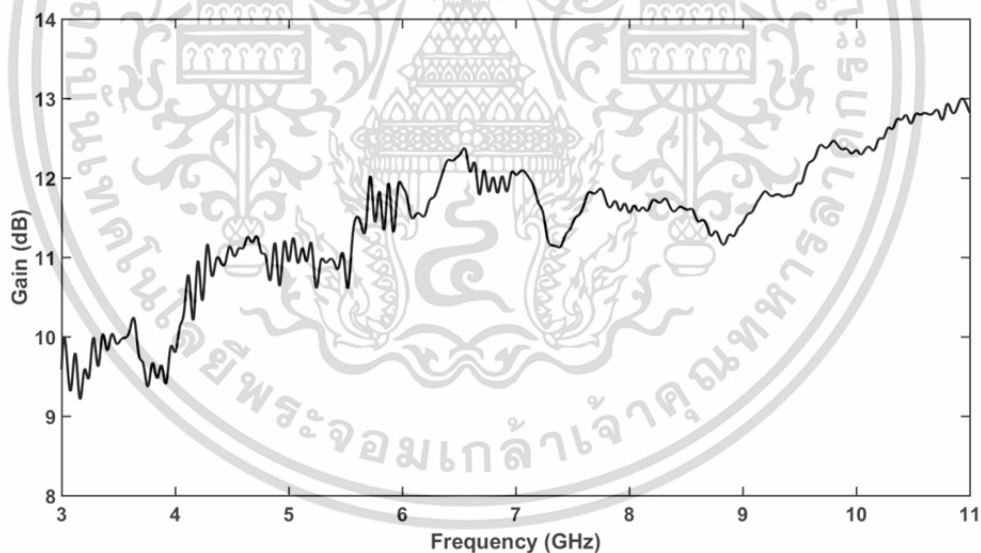
ขนาดของสัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11} ของสายอากาศตามความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz แสดงไว้ในรูปที่ 4.5 จากรูปจะเห็นได้ว่าในช่วงที่ทำการวัดขนาดของ S_{11} มีค่าน้อยกว่า -20 dB หรือมีกำลังของสัญญาณสะท้อนกลับออกมาน้อยกว่า 0.01% ของกำลังที่ป้อนเข้าไป จึงยืนยันได้ว่าสายอากาศนี้สามารถนำมาใช้วัด RCS ในช่วงความถี่ UWB คือตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้เงื่อนไขการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อการใช้งานที่ไม่ถูกต้อง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ขนาดของสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศ

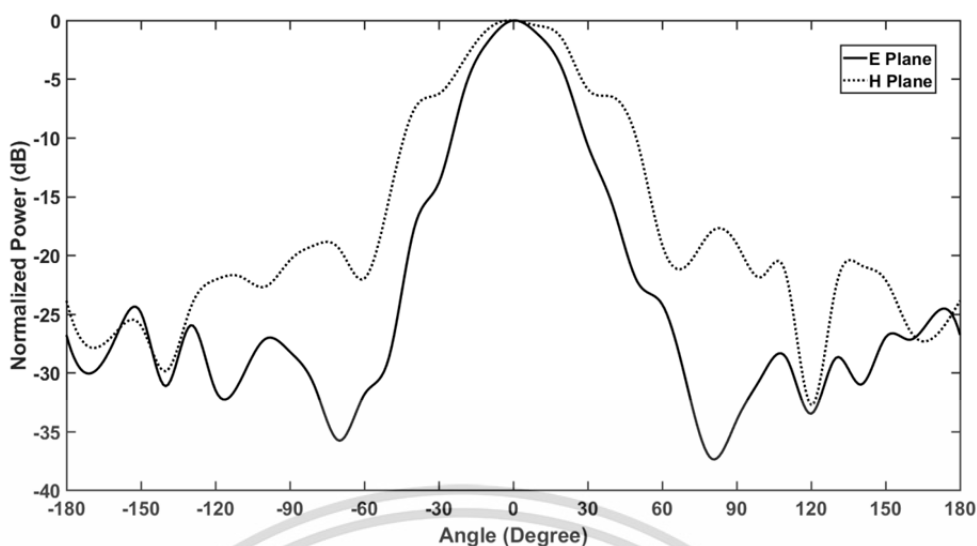
อัตราขยายของสายอากาศตามความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.6 จากรูปจะเห็นว่าอัตราขยายของสายอากาศในช่วงความถี่ 3 GHz ถึง 11 GHz มีค่ามากกว่า 9 dB โดยมีความเฉลี่ยเป็น 11.45 dB ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีอัตราขยายมากเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้วัด RCS



รูปที่ 4.6 อัตราขยายของสายอากาศ

รูปที่ 4.7 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายในระนาบสนามไฟฟ้า (การโพลาไรซ์แนวตั้ง) เปรียบเทียบกับระนาบสนามแม่เหล็ก (การโพลาไรซ์แนวนอน) ที่ความถี่ 6.85 GHz ความกว้างลำคลื่นมากจะทำให้เกิดการเชื่อมต่องานมาก จากรูป 4.7 จะเห็นได้ว่าการเชื่อมต่องานสำหรับการโพลาไรซ์แนวนอนจะเกิดมากกว่าการโพลาไรซ์แนวตั้ง เนื่องจากความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กมีค่าเป็น 31.01° (จากมุม -13.96° ถึงมุม 17.05°) และ 41.90° (จากมุม -18.67° ถึงมุม 23.23°) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แบบรูปการแผ่กระจายของสายอากาศ

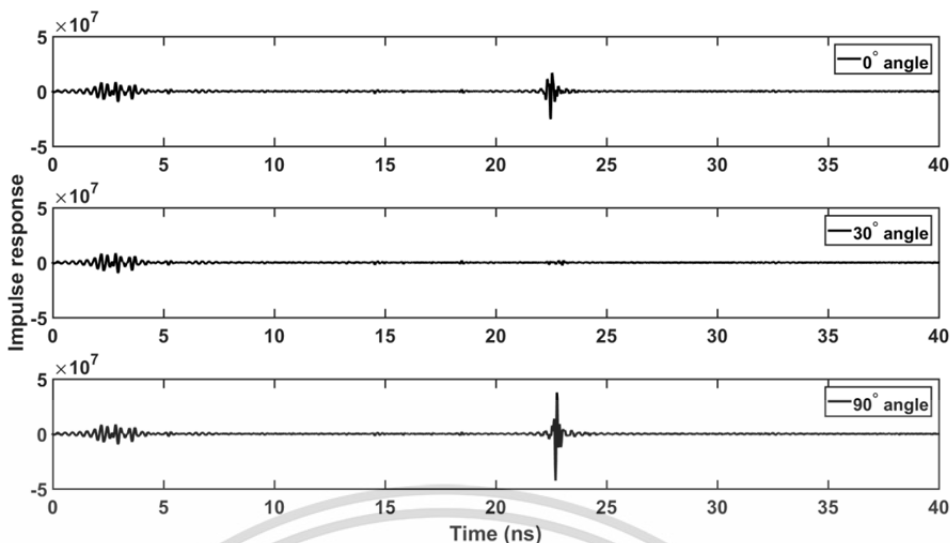
จากคุณสมบัติแบบรูปการแผ่กระจายของสายอากาศ จึงได้แบ่งการวัด RCS แบบกึ่งรวม สายอากาศส่งรับออกเป็น 2 กรณี กรณีแรกเป็นการวัดโดยกำหนดให้สายอากาศส่งและสายอากาศรับ มีการโพลาไรซ์แนวตั้ง ซึ่งเป็นกรณีที่เกิดการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับน้อย ส่วนกรณีที่สองเป็นการวัดโดยกำหนดให้สายอากาศส่งและสายอากาศรับมีการโพลาไรซ์แนวนอน ซึ่งเป็นกรณีที่เกิดการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับมาก เนื่องจากความกว้างลำ คลื่นแบบรูปการแผ่กระจายสำหรับการโพลาไรซ์แนวนอนกว้างกว่าการโพลาไรซ์แนวตั้ง

4.4 ผลการวัด RCS แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับ

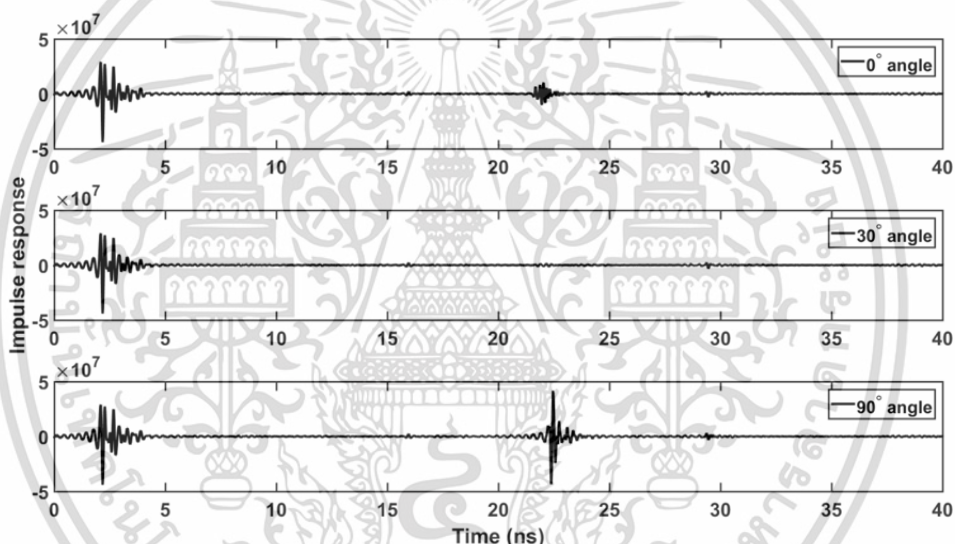
รูปที่ 4.8 และ 4.9 แสดงผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณการสะท้อนแบบกึ่งรวม สายอากาศส่งรับที่มีการโพลาไรซ์แนวตั้งและแนวนอนตามลำดับ ซึ่งคำนวณมาจากสมการ (3.9) โดย ยกตัวอย่างมาแสดงที่มุม 0° , 30° และ 90° จากรูปแสดงให้เห็นชัดว่าทั้งสองกรณีมีการเชื่อมต่อร่วม ระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับที่เหมือนกันในแต่ละมุมที่เวลาน้อยกว่า 5 s และมีการสะท้อน กลับจาก TUT ที่เวลาอยู่ในช่วง 20 ถึง 25 s สัญญาณที่เกิดจากการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ ส่งกับสายอากาศรับที่มีการโพลาไรซ์แนวนอนมีปริมาณมากกว่าแนวตั้งอย่างชัดเจน ในขณะที่ สัญญาณที่สะท้อนกลับจาก TUT มีปริมาณแตกต่างกันไม่มาก ดังนั้น ทั้งสองกรณีนี้สามารถลดการ เชื่อมต่อร่วมโดยใช้เทคนิคการเกตเวลาได้

รูปที่ 4.10 แสดงฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการเชื่อมโยงระหว่าง สายอากาศส่งกับสายอากาศรับ ผลที่ได้นี้ประกอบไปด้วยคุณสมบัติของสายอากาศส่ง ช่องสัญญาณ อวกาศว่างที่มีระยะทาง 3 m และสายอากาศรับ ข้อมูลที่ได้นี้จะนำมาใช้กำจัดคุณสมบัติของ สายอากาศรับและส่งออกจากฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการสะท้อนแบบกึ่งรวม

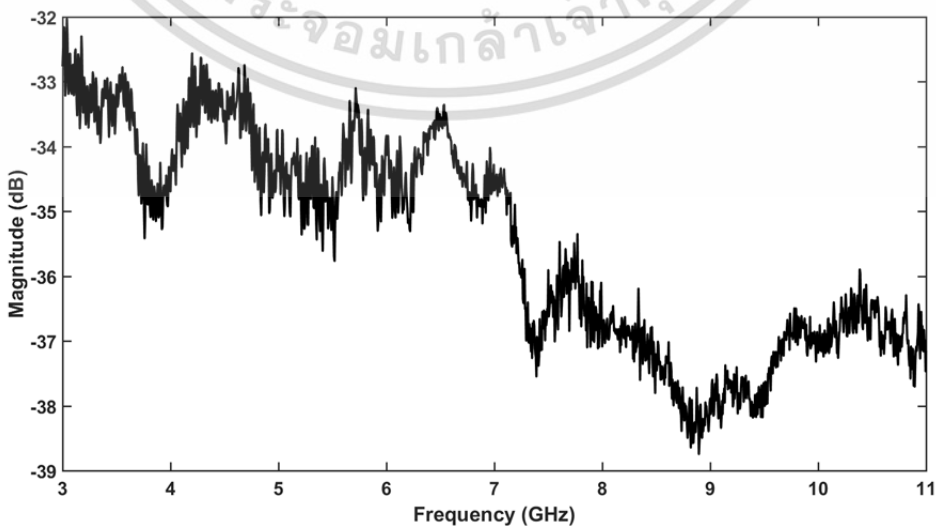
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณการสะท้อนที่มีการโพลาไรซ์แนวตั้ง



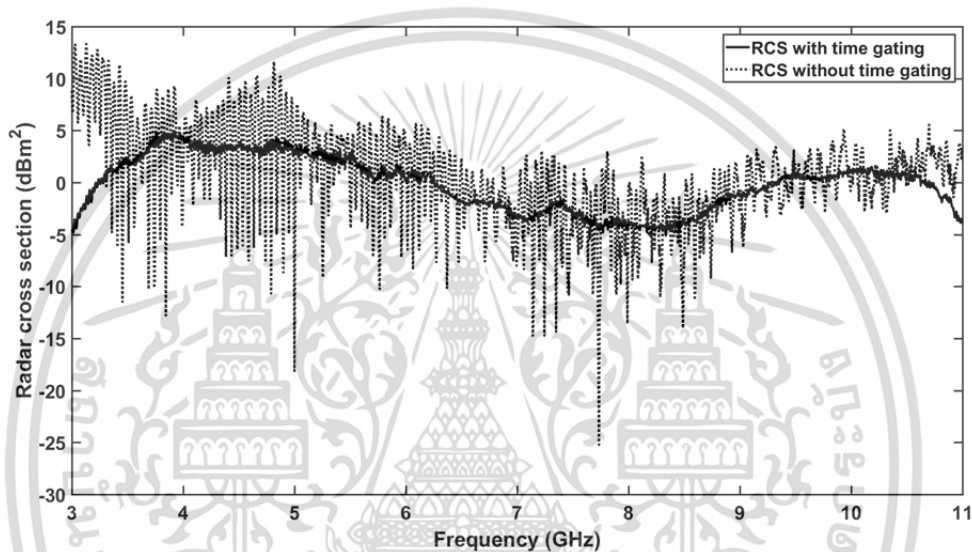
รูปที่ 4.9 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณการสะท้อนที่มีการโพลาไรซ์แนวนอน



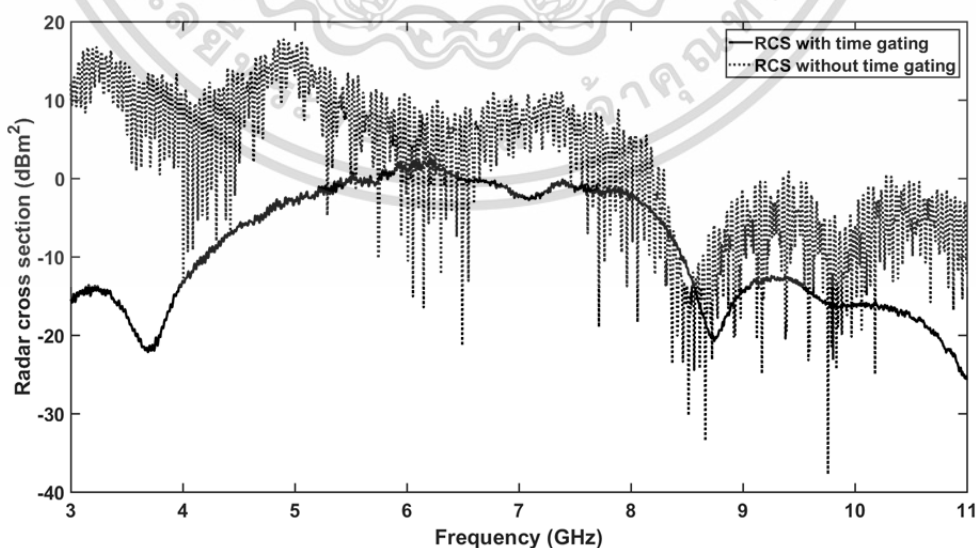
รูปที่ 4.10 ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการเชื่อมโยงสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ทางปัญญาของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 และ 4.12 แสดง RCS ที่มุม 0° ตามความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz และมีการโพลาริซแนตตั้งและแนวนอนตามลำดับจากรูปจะเห็นได้ชัดว่า RCS ที่ใช้เทคนิคการเกตเวลาจะมีการแกว่งตามความถี่น้อยกว่าที่ไม่ได้ใช้เทคนิคการเกตเวลา เนื่องจากไม่เกิดการแทรกสอดระหว่างสัญญาณการเชื่อมต่อร่วมกับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจาก TUT หรือเกิดการแทรกสอดน้อย นอกจากนั้น กรณีที่มีการโพลาริซแนตตั้ง RCS ที่ใช้เทคนิคการเกตเวลาจะมีค่าใกล้เคียงกับ RCS ที่ไม่ได้ใช้เทคนิคการเกตเวลามากกว่ากรณีที่มีการโพลาริซแนตแนวนอน เนื่องจากมีการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับน้อยกว่า



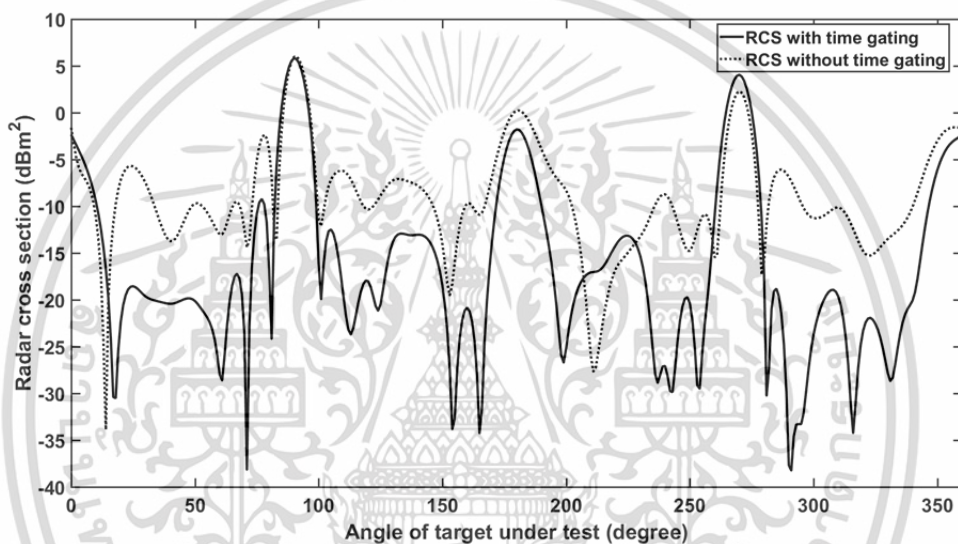
รูปที่ 4.11 RCS ที่มุม 0° และมีการโพลาริซแนตตั้ง



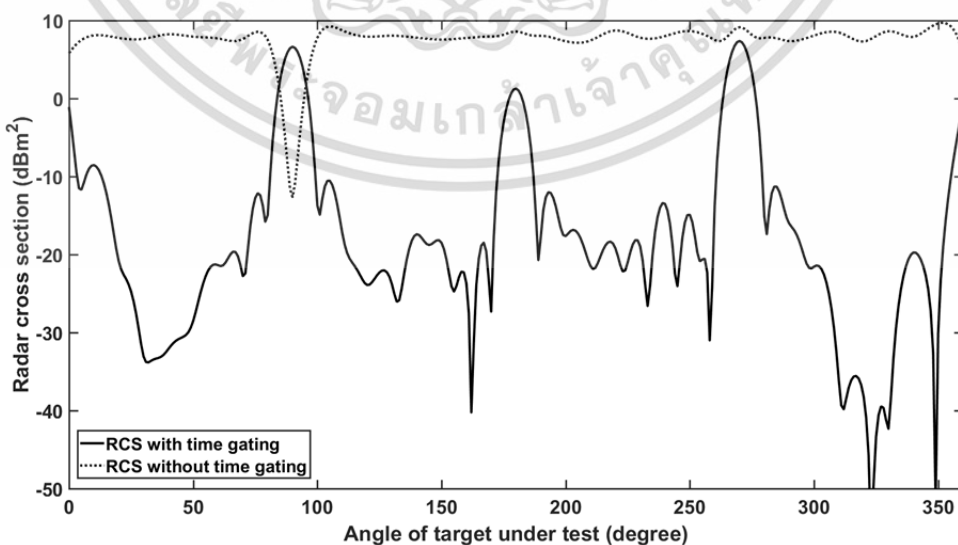
รูปที่ 4.12 RCS ที่มุม 0° และมีการโพลาริซแนตแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RCS ที่ความถี่ 6.85 GHz ตามมุมของ TUT จาก 0° ถึง 360° และมีการโพลาริซแนตตั้ง และแนวนอนได้แสดงในรูปที่ 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ สำหรับ RCS ที่ใช้เทคนิคการเกตเวลาของ ทั้งสองกรณีจะเห็นได้ว่ามีค่ายอดของ RCS อยู่ที่มุม $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ และ 360° สอดคล้องกับรูปร่างของ TUT ซึ่งตรงกับด้านหน้า ด้านขวา ด้านหลัง ด้านซ้าย และด้านหน้าของ TUT ที่เป็น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลตามลำดับ แล้วยังมีมุมที่ทำให้ RCS มีระดับต่ำอย่างเห็นได้ชัดเจน ส่วน RCS ที่ไม่ได้ใช้เทคนิคการเกตเวลาจะมีค่าผิดพลาดเกิดขึ้น โดยเฉพาะ RCS ที่มีการโพลาริซแนตแนวนอนจะมี ค่าผิดพลาดอย่างมาก เนื่องจากไม่สอดคล้องกับรูปร่างของ TUT และไม่มีมุมที่ทำให้ RCS มีระดับต่ำ เพราะยังรับสัญญาณได้จากการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ ถึงแม้ว่าจะไม่มี สัญญาณที่สะท้อนกลับมาจาก TUT



รูปที่ 4.13 RCS ที่ความถี่ 6.85 GHz และมีการโพลาริซแนตตั้ง



รูปที่ 4.14 RCS ที่ความถี่ 6.85 GHz และมีการโพลาริซแนตแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 บทสรุป

ในบทนี้ได้ทำการวัดหาคุณสมบัติของสายอากาศ และวัด RCS แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับที่มีการโพลาไรซ์แนวตั้งและแนวนอน โดยได้เปรียบเทียบ RCS ที่มีการใช้เทคนิคการเกตเวลาเพื่อลดผลกระทบจากการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับกับ RCS ที่ไม่ได้ใช้เทคนิคการเกตเวลา ในบทต่อไปจะสรุปผลการวิจัยทั้งหมด พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะแนวทางการพัฒนางานวิจัยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแบบแผนการวัด RCS แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลาเพื่อลดการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ สายอากาศที่ใช้วัดได้เลือกใช้สายอากาศปากแตรท่อนำคลื่นสั้นคู่เป็นทั้งสายอากาศส่งและสายอากาศรับ โดยสายอากาศที่เลือกใช้มีคุณสมบัติที่เหมาะสม เนื่องจากมีสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ต่ำ และอัตราขยายที่สูงในช่วงความถี่ UWB ซึ่งเป็นความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz ถึงแม้สายอากาศนี้จะมีควมกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่แคบ แต่ก็ยังแคบไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดความเหนี่ยวนำร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับเกิดขึ้น โดยเฉพาะการโพลาไรซ์แนวอนจะเกิดการเชื่อมต่อร่วมปริมาณมาก ดังนั้น จึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคการเกิดเวลาช่วยลดการเชื่อมต่อร่วม คุณสมบัติของสายอากาศที่ใช้วัดได้สรุปไว้ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติของสายอากาศปากแตรท่อนำคลื่นสั้นคู่

พารามิเตอร์	ค่า
สัมประสิทธิ์การสะท้อนในช่วง 3 GHz ถึง 11 GHz	น้อยกว่า -20 dB, ค่าเฉลี่ย -42.20 dB
อัตราขยายในช่วง 3 GHz ถึง 11 GHz	มากกว่า 9 dB, ค่าเฉลี่ย 11.45 dB
ความกว้างลำคลื่นที่ความถี่ 6.85 GHz	31.01° ในระนาบสนามไฟฟ้า 41.90° ในระนาบสนามแม่เหล็ก

การใช้เทคนิคการเกิดเวลาสามารถเพิ่มความเที่ยงตรงของ RCS แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับเห็นได้อย่างชัดเจน โดยที่ RCS ที่ใช้เทคนิคการเกิดเวลาจะมีการแกว่งตามความถี่น้อย เนื่องจากไม่เกิดการแทรกสอดระหว่างสัญญาณการเชื่อมต่อร่วมกับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจาก TUT หรือเกิดการแทรกสอดน้อย นอกจากนั้น RCS ที่ใช้เทคนิคการเกิดเวลามีมุมที่มีค่ายอดและระดับต่ำอย่างชัดเจนสอดคล้องกับโครงสร้างของ TUT ดังนั้น แบบแผนการวัด RCS แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลาเพื่อลดการเชื่อมต่อร่วมที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเหมาะสมนำมาใช้หา RCS ที่ใช้แบบแผนการวัดเรดาร์แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับ ซึ่งติดตั้งการวัดได้ง่ายกว่าเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะแนวทางการพัฒนางานวิจัย

แบบแผนการวัด RCS แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ได้ทำการวัดเปรียบเทียบกับกรณีที่มีการโพลาไรซ์แนวตั้งซึ่งเกิดการเชื่อมต่อน้อยกับกรณีที่มีการโพลาไรซ์แนวนอนซึ่งเกิดการเชื่อมต่อนั้น ดังนั้น ควรทำการเปรียบเทียบกับผลการวัด RCS แบบรวมสายอากาศส่งรับเพื่อศึกษาความเที่ยงตรง พิจารณาผลกระทบต่อผลการวัดในกรณีที่ไม่ได้วัดในห้องไร้การสะท้อน เช่น การวัดภายในอาคาร และการวัดภายนอกอาคาร รวมทั้งควรพิจารณาการวัดที่ใช้สายอากาศ และ TUT ชนิดต่าง ๆ

ผลการวัด RCS แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวิธีการติดตามเส้นทางสำหรับสัญญาณ UWB ซึ่งได้พัฒนามาอยู่ในเทอมของฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่เชิงซ้อนเพื่อทำการวิเคราะห์สัญญาณที่มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Rose. "Home Networks: A Standards Perspective" **IEEE Communications Magazine**, vol. 39, no. 12, 2001. pp. 78-85.
- [2] J. Karaoguz. "High-Rate Wireless Personal Area Networks," **IEEE Communications Magazine**, vol. 39, no. 12, 2001. pp. 96-102.
- [3] H. Shinde and M. Borse. "High-Rate Wireless Personal Area Network" **IEEE International Conference on Personal Wireless Communications (ICPWC)**, 2005. pp. 19-23.
- [4] E. F. Knott, J. F. Shaeffer and M. T. Tuley. **Radar Cross Section : Its Prediction Measurement and Reduction**. New Jersey : Artech House. 1985.
- [5] S. K. Mitra and J. F. Kaiser. **Handbook for Digital Signal Processing**, New York : John Wiley. 1993.
- [6] M. A. S. Miacci, E. L. Nohara, I. M. Martin, G. G. Peixoto and M. C. Rezende. "Indoor Radar Cross Section Measurements of Simple Targets" **Journal of Aerospace Technology and Management (JATM)**, vol. 4, no. 1, Jan.-Mar. 2012. pp. 25-32.
- [7] Y. L. C. Jong and M. H. A. J. Herben. "A Tree-Scattering Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells" **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, vol. 53, no. 2, Mar. 2004. pp. 503-513.
- [8] V. D. Esposti, F. Fuschini, E. M. Vitucci and G. Falciasecca. "Measurement and Modelling of Scattering from Buildings" **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, vol. 55, no. 1, Jan 2007. pp. 143-153.
- [9] M. Ghoraiishi, J. Takada and T. Imai. "Radio Wave Scattering from Lampposts in Microcell Urban Mobile Propagation Channel" **ECTI Transactions on Electrical Engineering, Electronics, and Communications**, vol. 7, no. 1, Feb. 2009. pp. 14-20.
- [10] H. Tsuchiya, N. Lertsirisopon, J. Takada and T. Kobayashi. "Effects of Bragg Scattering on Ultra-Wideband Signal Transmission from Periodic Surface" **IEICE Transactions on Communications**, vol. E91-B, no. 2, Feb. 2008. pp. 536-542.
- [11] M. M. Maw, P. Supanakoon, S. Promwong and J. Takada. "Measurement and Evaluation of Radar Cross Section for Furniture in An Indoor Propagation Channel" **Advances in Radio Science**, vol. 12, Nov. 2014. pp. 273-278.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] R. Phumvijit, P. Supanakoon and S. Promwong. "Measurement Scheme of Radar Cross Section with Time Gating" **The 24th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)**, 27-30 June 2017. pp. 822-825.
- [13] รัชชานนท์ ภูมิวิจิตร, พิชญ สุพรรณกุล และมนต์ชัย แซ่ม้อย. "การลดการเชื่อมต่อร่วมโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลาสำหรับการวัดภาคตัดขวางเรดาร์แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับ" **การประชุมระดับชาติเครือข่ายวิจัยอุดมศึกษาทั่วประเทศ (RANC) ครั้งที่ 12**, 27-29 พฤษภาคม 2561. หน้าที่ 250-258.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์

- [1] R. Phumvijit, P. Supanakoon and S. Promwong, "Measurement Scheme of Radar Cross Section with Time Gating," The 24th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), pp. 822-825, Phuket Graceland Resort and Spa, Phuket, Thailand 27-30 June 2017.
- [2] รัชชานนท์ ภูมิวิจิตร, พิชญ์ สุพรรณกุล และมนต์ชัย แซ่มซ้อย, "การลดการเชื่อมต่อร่วมโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลาสำหรับการวัดภาคตัดขวางเรดาร์แบบกิ่งรวมสายอากาศส่งรับ," การประชุมระดับชาติเครือข่ายวิจัยอุดมศึกษาทั่วประเทศ (RANC) ครั้งที่ 12, หน้าที่ 250-258, โรงแรมธรรมรินทร์ ธนา, จังหวัดตรัง, 27-29 พฤษภาคม 2561



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ECTI-CON 2017

2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics,
Computer, Telecommunications and Information Technology

27-30 June 2017

Phuket, Thailand

Abstract Book



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการประชุมวิชาการ ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและข้อมูลได้โดยไม่ต้องแจ้งให้ทราบล่วงหน้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Measurement Scheme of Radar Cross Section with Time Gating

Ratcharnon Phumvijit, Pichaya Supanakoon and Sathaporn Promwong

Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chalongkrung Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
{59601134, pichaya.su, sathaporn.pr}@kmitl.ac.th

Abstract—This paper proposes measurement scheme of radar cross section (RCS). The measurement of quasi monostatic radar channel is done in anechoic chamber. The time gating technique is used for removing the effect of mutual coupling between transmitter (Tx) and receiver (Rx) antennas. The personal computer (PC) case is used as the target under test (TUT). The vector network analyzer (VNA) is used to measure transmission coefficient in frequency range covered ultra wideband (UWB) that is 3-11 GHz. The double-ridged waveguide horn antennas are used as Tx and Rx antennas with vertical polarization. The complex frequency transfer function at each angle is used to evaluate the RCS of TUT. The RCS with time gating are shown and compared with that without time gating. From the results, we can see that the proposed measurement scheme can be increased the accuracy of RCS that evaluated from quasi monostatic radar with dense mutual coupling between Tx and Rx antennas.

Keywords—radar cross section (RCS); time gating; mutual coupling

I. INTRODUCTION

For the wireless communications, the multipath fading is important factor to decrease the system performance. The combination of direct signal with scattering signal from object in an environment causes the multipath fading. Therefore, the understanding of scattering characteristic of each object is necessary for modeling the wireless communication channel. The radar cross section (RCS) is the parameter that describes scattering ability of target under test (TUT). Although there are closed form formulas of simple target shapes, the measurement scheme of RCS is needed for complex target shapes.

There are many researches that proposed measurement scheme of RCS. The RCS of many targets are interested. The RCS of simple targets are measured in anechoic chamber [1]. The other complex targets such as tree [2], building [3] and objects on street [4]. The ultra wideband (UWB) measurement technique of RCS is used to study the effect on UWB system [5]. Although the measurement of RCS with time gating is proposed to reduce the multipath fading effect [6], there is no consideration mutual coupling between Tx and Rx antennas and measurement in anechoic chamber.

This paper proposes measurement scheme of RCS. The measurement of quasi monostatic radar channel is done in

anechoic chamber at Electrical and Electronics Institute. The time gating technique is used for removing the mutual coupling between transmitter (Tx) and receiver (Rx) antennas. The personal computer (PC) case is used as the TUT. The vector network analyzer (VNA) is used to measure transmission coefficient in frequency range covered ultra wideband (UWB) that is from 3 GHz to 11 GHz. The double-ridged waveguide horn antennas are used as Tx and Rx antennas with vertical polarization. The complex frequency transfer function at each angle is used to evaluate the RCS of TUT. The RCS with time gating are shown and compared with that without time gating.

The rest of this paper is organized as follows. Sec. II describes theory of RCS evaluation. Next, the measurement scheme is explained in Sec. III. After that, Sec. IV shows the measurement results. Finally, conclusion is given in Sec. V.

II. THEORY OF RCS EVALUATION

A. Extension of Monostatic Radar Equation

The original monostatic radar equation is used to derive the link budget in the term of real power gain and loss, while the scattering object in channel is characterized in term of RCS. The radar equation of monostatic radar, which is shown in Fig. 1, is expressed as [7]

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{\sigma G_t A_e}{16\pi^2 d^4} \quad (1)$$

where P_r (W) is received power, P_t (W) is transmitted power, G_t gain of Tx antenna, A_e (m^2) is effective aperture of Rx antenna, σ (m^2) is RCS of TUT and d (m) is distance between antenna and target.

In this paper, the UWB measurement technique is used. Therefore, the original monostatic radar equation is extended in the complex form of frequency transfer function as

$$S_{21,s}(f) = \frac{H_\sigma(f)H_t(f)H_e(f)}{4\pi d^2} e^{-j4\pi f d/c} \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

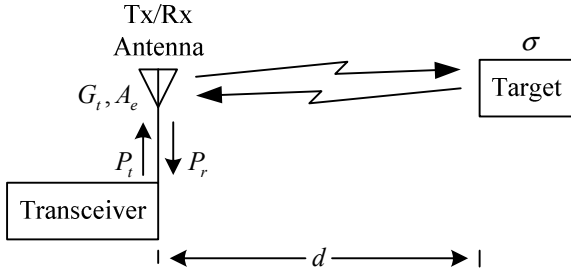


Fig. 1. Block diagram of monostatic radar.

where H_t is transfer function of Tx antenna, H_e (m) is transfer function of effective aperture, H_σ (m) is transfer function of RCS, f (Hz) is frequency and c (m/s) is velocity of light.

Parameter $S_{21,s}$ in (2) is obtained by measuring parameter S_{21} of monostatic radar channel in anechoic chamber. From this equation, we obtain new quantity in complex form, which are H_e and H_σ . The relations of old and new parameters are

$$\sigma = |H_\sigma|^2 \quad (3)$$

$$A_e = |H_e|^2 \quad (4)$$

B. Extension of Tx-Rx Antenna Link Equation

Equation (2) has characteristics of Tx and Rx antennas that are H_t and H_a . For removing these parameters to evaluate the RCS of TUT, the Tx-Rx antenna link equation, which is shown in Fig. 2, is considered as

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{G_t A_e}{4\pi d_f^2} \quad (5)$$

where d_f (m) is the distance between Tx and Rx antennas.

After that, the Tx-Rx antenna link equation is extended in the complex form of frequency transfer function as

$$S_{21,f}(f) = \frac{H_t(f)H_e(f)}{2\sqrt{\pi}d_f} e^{-j2\pi f d_f / c} \quad (6)$$

Parameter $S_{21,f}$ in (6) is obtained by measuring parameter S_{21} of Tx-Rx antenna link in anechoic chamber.

From (2) and (6), the transfer function of RCS can be evaluated from

$$H_\sigma(f) = \frac{2\sqrt{\pi}d^2}{d_f} e^{j2\pi f(2d-d_f)/c} \frac{S_{21,s}(f)}{S_{21,f}(f)} \quad (7)$$

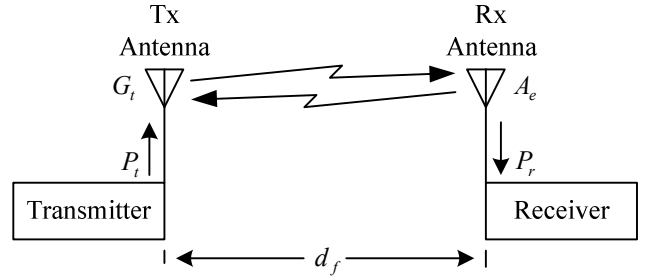


Fig. 2. Block diagram of Tx-Rx antenna link.

C. Application of Time Gating

Equation (7) can be used to evaluate RCS by using measurement scheme of monostatic radar channel. For the measurement scheme of quasi monostatic radar channel, there is effect of mutual coupling between Tx and Rx antennas. The quasi monostatic radar equation with multipath effect can be expressed as

$$S_{21,sm}(f) = \left[\frac{H_\sigma(f)}{4\pi d^2} e^{-j4\pi f d / c} + H_m(f) \right] H_t(f) H_e(f) \quad (8)$$

where H_m is the transfer function of mutual coupling between Tx and Rx antennas.

Parameter $S_{21,sm}$ in (8) is obtained by measuring parameter S_{21} of quasi monostatic radar channel in anechoic chamber with effect of mutual coupling between Tx and Rx antennas.

Transfer function of mutual coupling between Tx and Rx antennas cannot remove directly in frequency domain. For the advantage of UWB measurement, the time gating is applied for removing the mutual coupling effect. First, the impulse response of (8) is evaluated by using inverse Fourier transform:

$$h_{sm}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{21,sm}(f) e^{j2\pi f t} df \quad (9)$$

where h_{sm} is impulse response of quasi monostatic radar channel and t (s) is time.

Impulse response of quasi monostatic radar channel has scattering from TUT at about time delay $2d/c$ s and has mutual coupling at time delay much less than $2d/c$ s. Therefore, the time gating technique can be applied to remove the mutual coupling between Tx and Rx antennas.

The time gating in this paper uses Kaiser-Bessel window for removing mutual coupling effect. The Kaiser-Bessel window is defined as [8]

$$w(t) = \begin{cases} \frac{I_0 \left(\pi \alpha \sqrt{1 - \left\{ \frac{2[t-t_p]}{T} \right\}^2} \right)}{I_0(\pi \alpha)} & t_p - \frac{T}{2} \leq t \leq t_p + \frac{T}{2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Fig. 3. Double-ridged waveguide horn antenna.

where T is window width, α is window shape parameter and T_p is the time at peak of window. In this paper, α is set to 4.8 and T_p is set to about $2d/c$ s. Function $I_0(x)$ is the zeroth-order modified Bessel function of the first kind, which is defined as

$$I_0(x) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} e^{x \cos(\theta)} d\theta \quad (11)$$

After that, the transfer function of quasi monostatic radar channel with time gating can be estimated by using Fourier transform of (9) multiply by (10):

$$S_{21,t}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h_{sm}(t) w(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (12)$$

Finally, the transfer function of RCS with time gating can be evaluated from

$$H_{\sigma,t}(f) = \frac{2\sqrt{\pi}d^2}{d_f} e^{j2\pi f(2d-d_f)/c} \frac{S_{21,t}(f)}{S_{21,r}(f)} \quad (13)$$

Equation (13) is convenient to evaluate the RCS by using measurement scheme of quasi monostatic radar channel in anechoic chamber.

III. MEASUREMENT SCHEME

In this paper, the RCS measurement is done at Electrical and Electronics Institute. The TUT is a PC case. The VNA is used to measure the magnitude and phase of transmission coefficient in frequency ranged from 3 GHz to 11 GHz, where ports 1 and 2 are connected to Tx and Rx antennas, respectively. The double-ridged waveguide horn antennas are used as Tx and Rx antennas with vertical polarization. The Tx and Rx antennas are placed close together for simulating the quasi monostatic radar channel. The double-ridged waveguide horn antenna is shown in Fig. 3.



Fig. 4. Measurement setup for monostatic radar channel.



Fig. 5. Measurement setup for Tx-Rx antenna link.

For measuring the monostatic radar channel, the measurement is done in anechoic chamber with distance between antennas and TUT of 3 m as shown in Fig. 4. This result is used as (8). The TUT is rotated around with 10° increment. Moreover, the measurement of Tx-Rx antennas link channel is done in anechoic chamber with 3 m distance as shown in Fig. 5. This result is used as (6). The RCS with time gating is evaluated by using (13) and compared with that without time gating.

IV. MEASUREMENT RESULTS

Fig. 6 shows the impulse response of quasi monostatic radar at angles of 0° , 30° and 90° . It can clearly see that there is same mutual couple occurred at time less than 20 s and scattering from each angle of TUT arrived at time from 20 s to 25 s. This mutual couple is removed by using Kaiser-Bessel window.

The transfer function of Tx-Rx antenna link is shown in Fig. 7. This result includes the characteristics of Tx antenna, 3 m free space channel and Rx antenna and use to remove the characteristic of antennas from quasi monostatic radar channel after done time gating.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

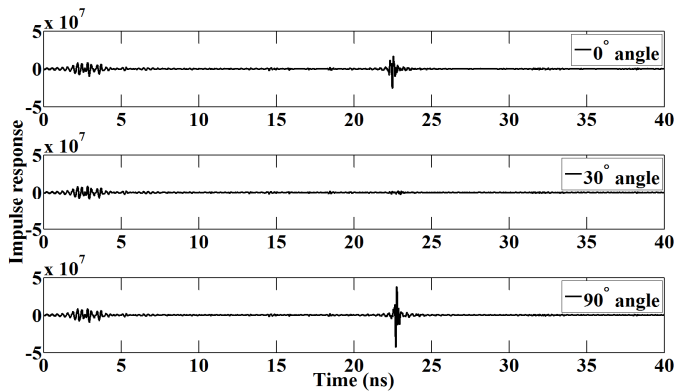


Fig. 6. Magnitude of Tx-Rx antenna transfer function.

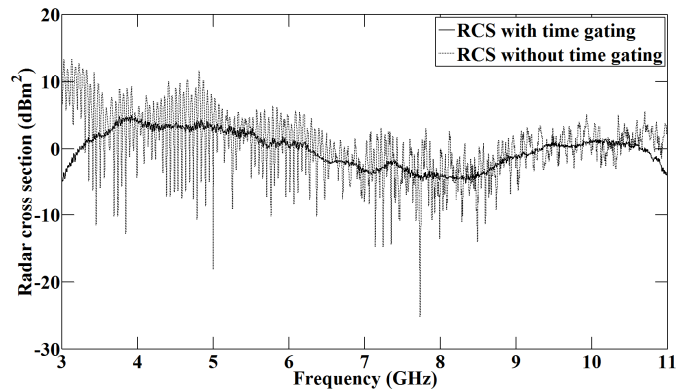


Fig. 8. RCS at 0° angle along frequency from 3 GHz to 11 GHz.

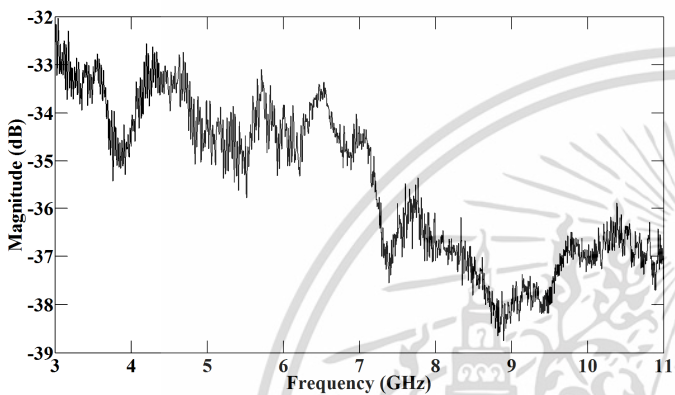


Fig. 7. Transfer function of Tx-Rx antenna link.

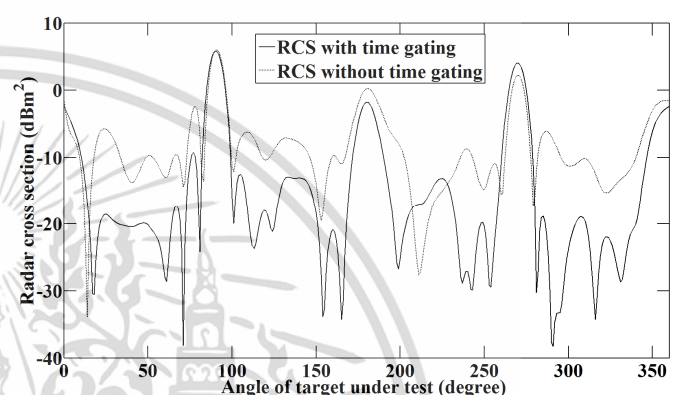


Fig. 9. RCS at 6.85 GHz frequency along angle from 0° to 360°

Fig. 8 shows RCS at 0° angle along frequency from 3 GHz to 11 GHz. RCS without time gating fluctuates more than that with time gating that because mutual coupling between Tx and Rx antennas interferes the scattering signal from TUT.

RCS at frequency of 6.85 GHz along angle of TUT from 0° to 360° is shown in Fig. 9. The peak of RCS is at 0°, 90°, 180° and 360° correspond to shape of TUT. The lower level of RCS with time gating is less than that without time gating that because the mutual coupling is removed.

V. CONCLUSION

This paper proposes measurement scheme of RCS with time gating for removing mutual coupling between Tx and Rx antennas occurred from quasi monostatic radar channel. From the results, the RCS with time gating has less fluctuation along frequency and less lower level compared with that without time gating. These indicate that the proposed measurement scheme can be increased the accuracy of RCS that evaluated from quasi monostatic radar with dense mutual coupling between Tx and Rx antennas.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank Electrical and Electronics Institute for anechoic chamber, TUT and measurement equipment.

REFERENCES

- [1] M. A. S. Miacci, E. L. Nohara, I. M. Martin, G. G. Peixoto and M. C. Rezende, "Indoor Radar Cross Section Measurements of Simple Targets," *Journal of Aerospace Technology and Management (JATM)*, vol. 4, no. 1, Jan.-Mar. 2012, pp. 25-32.
- [2] Y. L. C. Jong and M. H. A. J. Herben, "A Tree-Scattering Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 53, no. 2, Mar. 2004, pp. 503-513.
- [3] V. D. Esposti, F. Fuschini, E. M. Vitucci and G. Falciasecca, "Measurement and Modelling of Scattering from Buildings," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 55, no. 1, Jan 2007, pp. 143-153.
- [4] M. Ghoraiishi, J. Takada and T. Imai, "Radio Wave Scattering from Lampposts in Microcell Urban Mobile Propagation Channel," *ECTI Transactions on Electrical Eng., Electronics, and Communications*, vol. 7, no. 1, Feb. 2009, pp. 14-20.
- [5] H. Tsuchiya, N. Lertsirisopon, J. Takada and T. Kobayashi, "Effects of Bragg Scattering on Ultra-Wideband Signal Transmission from Periodic Surface," *IEICE Transactions on Communications*, vol. E91-B, no. 2, Feb. 2008, pp. 536-542.
- [6] M. M. Maw, P. Supanakoon, S. Promwong and J. Takada, "Measurement and Evaluation of Radar Cross Section for Furniture in An Indoor Propagation Channel," *Advances in Radio Science*, vol. 12, Nov. 2014, pp. 273-278.
- [7] E. F. Knott, J. F. Shaeffer and T. M. Tuley, *Radar Cross Section*. Artech House, New Jersey, 1985.
- [8] S. K. Mitra and J. F. Kaiser, *Handbook for Digital Signal Processing*. John Wiley, New York, 1993.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Proceedings

การประชุมวิชาการระดับชาติ

เครือข่ายวิจัยอุดมศึกษาทั่วประเทศ
ครั้งที่ 12

หัวข้อ

“สานพลังเครือข่ายอุดมศึกษา เพื่อความมั่นคง มั่งคั่งและยั่งยืน”

วันที่ 27-29 พฤษภาคม 2561

ณ โรงแรมธรรมรินทร์ธนา จังหวัดตรัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโครงการฯ หากมีการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ถือว่าผิดกฎหมาย ผู้ที่นำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต จะต้องมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การลดการเชื่อมต่อร่วมโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลาสำหรับการวัดภาคตัดขวางเป้าเรดาร์
แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับ

Mutual Coupling Reduction Using Time Gating Technique for Quasi Monostatic
Radar Cross Section Measurement

รัชชานนท์ ภูมิวิจิตร¹, พิชญ สุพรรณกุล^{2*}, มนต์ชัย แชมช้อย²

Ratcharnom Phumvijit¹, Pichaya Supanakoon^{2*}, Monchai Chamchoy²

บทคัดย่อ

ในบทความนี้ได้นำเสนอการลดการเชื่อมต่อร่วมโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลาสำหรับการวัดภาคตัดขวางเป้าเรดาร์ (RCS) แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับ การวัดได้ทำในห้องไร้การสะท้อน โดยที่เป้าการทดสอบ (TUT) เป็นคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล สายอากาศปากแตรท่อนำคลื่นสั้นคู่ได้ถูกนำมาใช้เป็นสายอากาศส่ง (Tx) และสายอากาศรับ (Rx) โดยมีการโพลาไรซ์แนวอน ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ (VNA) วัดฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการกระจายที่มี TUT และการเชื่อมโยงสายอากาศ Tx-Rx ในช่วงความถี่ 3 ถึง 11 GHz ได้ใช้เทคนิคการเกิดเวลาลดการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ Tx กับ Rx ของช่องสัญญาณการกระจายที่มี TUT ในโดเมนเวลา ช่องสัญญาณการเชื่อมโยงสายอากาศ Tx-Rx นำมาใช้เพื่อกำจัดคุณสมบัติของสายอากาศ Tx และ Rx ออกไปจากช่องสัญญาณการกระจาย ได้แสดง RCS ของ TUT ที่แต่ละมุมโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลา และเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้ใช้เทคนิคการเกิดเวลา จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า RCS ที่ใช้เทคนิคการเกิดเวลาเพิ่มความเที่ยงตรงของ RCS แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับได้อย่างชัดเจน

คำสำคัญ: ภาคตัดขวางเป้าเรดาร์ (RCS), การเกิดเวลา, การเชื่อมต่อร่วม

Abstract

In this paper, the reduction of mutual coupling using time gating technique for the measurement of quasi monostatic radar cross section (RCS) is proposed. The measurement is done in anechoic chamber. Target under test (TUT) is the personal computer. The double ridged waveguide horn antennas are used as transmitter (Tx) and receiver (Rx) antennas with horizontal polarization. The vector network analyzer (VNA) is used to measure frequency transfer function of scattering with TUT and Tx-Rx antenna link channels in frequency ranged from 3 to 11 GHz. The time gating technique is used to reduce the mutual coupling between Tx and Rx antennas of scattering channel in time domain. The Tx-Rx antenna link channel is used to remove the characteristics of Tx and Rx antennas from scattering channel. The RCS of TUT at each angle using time gating technique is illustrated and compared with that not using time gating technique. From the results, RCS using time gating technique can be clearly increased the accuracy of quasi monostatic RCS.

Keyword: Radar cross section (RCS), Time gating, Mutual coupling

¹ นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

² อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

*Corresponding author, E-mail: pichaya.su@kmitl.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บทนำ

การเฟดหลายวิถี (Multipath Fading) เป็นปัจจัยสำคัญที่จะลดประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารไร้สาย ซึ่งมีสาเหตุมาจากการรวมกันของสัญญาณที่มาจากเส้นทางตรงกับสัญญาณที่กระจัดกระจายจากวัตถุในแต่ละสภาพแวดล้อม ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเข้าใจคุณสมบัติการกระจายของสัญญาณจากแต่ละวัตถุเพื่อนำมาใช้สร้างแบบจำลองช่องสัญญาณการสื่อสารไร้สาย ภาคตัดขวางเป้าเรดาร์ (RCS) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายคุณสมบัติการกระจายของเป้าการทดสอบ (TUT) ถึงแม้ว่าจะมีสูตรทางทฤษฎีในการหา RCS ของ TUT ที่มีโครงสร้างอย่างง่าย แต่สำหรับ TUT ที่มีโครงสร้างซับซ้อนจะต้องทำการวัดหา RCS

ได้มีงานวิจัยนำเสนอ RCS ที่ได้จากการวัด โดยได้ใช้ TUT ชนิดต่าง ๆ M. A. S. Miacci and et al. (2012) ได้ทำการวัด RCS ของ TUT ที่มีโครงสร้างอย่างง่ายในห้องไร้การสะท้อน และเปรียบเทียบกับสูตรทางทฤษฎี เพื่อเปรียบเทียบผลการวัดให้ตรงตามทฤษฎี ได้มีการวัด RCS ของ TUT ที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อน เช่น ต้นไม้ทำการวัดโดย Y. L. C. Jong และ M. H. A. J. Herbin (2004) ตีกรวัดโดย V. D. Esposti and et al. (2007) และวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่ตามถนนทำการวัดโดย M. Ghoraiishi and et al. (2009) นอกจากนี้ H. Tsuchiya and et al. (2008) ได้ใช้เทคนิคการวัดแถบกว้างยิ่ง (UWB) เพื่อหา RCS ในช่วงแถบความถี่ที่กว้าง M. M. Maw and et al. (2014) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการเกิดเวลาผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมในกรณีทำการวัดนอกอาคาร แต่ก็ยังไม่ได้มีการลดผลกระทบของการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่ง (Tx) และสายอากาศรับ (Rx)

ในบทความนี้จึงได้นำเสนอการลดการเชื่อมต่อร่วมโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลาสำหรับการวัด RCS แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับ การวัดได้ใช้เทคนิคการวัดแถบกว้างยิ่งและทำการวัดในห้องไร้การสะท้อน โดยที่ TUT เป็นคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ได้ใช้สายอากาศปากแตรที่นำคลื่นสั้นคู่เป็นทั้งสายอากาศ Tx และสายอากาศ Rx โดยมีการโพลาไรซ์แนวนอน ใช้เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายเวกเตอร์ (VNA) วัดฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการกระจายที่มี TUT และการเชื่อมโยงสายอากาศ Tx-Rx ในช่วงความถี่ 3 ถึง 11 GHz ซึ่งครอบคลุมแถบความถี่ของ UWB เทคนิคการเกิดเวลาได้ใช้วินโดวเคเซอร์-เบสเซล (Kaiser-Bessel Window) ลดการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ Tx กับ Rx ของช่องสัญญาณการกระจายที่มี TUT ในโดเมนเวลา ช่องสัญญาณการเชื่อมโยงสายอากาศ Tx-Rx นำมาใช้เพื่อกำจัดผลกระทบของสายอากาศ Tx และ Rx ออกไปจากช่องสัญญาณการกระจาย หลังจากนั้นได้คำนวณหา RCS ของ TUT ที่แต่ละมุมโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลาและที่ไม่ได้ใช้เทคนิคการเกิดเวลา และแสดง RCS ที่ได้เปรียบเทียบกับ จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า RCS ที่ใช้เทคนิคการเกิดเวลาสามารถเพิ่มความเที่ยงตรงของ RCS แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับซึ่งจะมีการแกว่งตามโดยถี่น้อยและมีมุมที่มีค่ายอดและระดับต่ำอย่างชัดเจน

ทฤษฎีการหา RCS

1. ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของสมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ

สมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับมีที่มาจาก การเชื่อมโยงในเทอมของอัตราขยายและการสูญเสียกำลัง โดยวัตถุที่ทำให้เกิดการกระจายในช่องสัญญาณจะถูกแสดงในเทอมของ RCS สมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับซึ่งมีบล็อกไดอะแกรมดังแสดงในภาพ 1 แสดงได้เป็น (E. F. Knott and et al., 1985)

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{\sigma G_t A_e}{16\pi^2 d^4} \quad (1)$$

เมื่อ P_r เป็นกำลังที่รับได้ (W) P_t เป็นกำลังส่ง (W) G_t อัตราขยายของสายอากาศ Tx A_e เป็นอะเพอร์เจอร์ประสิทธิภาพผลของสายอากาศ Rx (m^2) σ เป็น RCS ของ TUT (m^2) และ d เป็นระยะทางระหว่างสายอากาศกับเป้า (m)

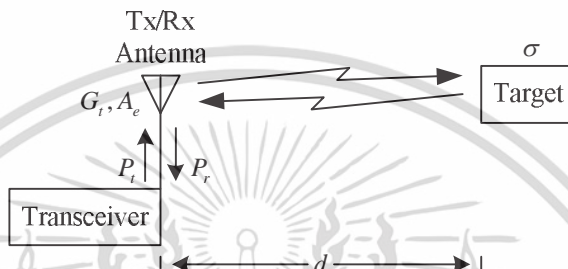
ในบทความนี้ได้ใช้เทคนิคการวัด UWB ดังนั้น จึงได้ตัดแปลงสมการเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับให้อยู่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ในเทอมของฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่เชิงซ้อนเพื่อพิจารณาในแถบความถี่ที่กว้าง ซึ่งแสดงได้เป็น

$$S_{21,s}(f) = \frac{H_\sigma(f)H_t(f)H_e(f)}{4\pi d^2} e^{-j4\pi f d/c} \quad (2)$$

เมื่อ H_t ที่เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของสายอากาศ Tx H_e เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่อะพอร์เจอร์ประสิทธิภาพของสายอากาศ Rx (m) H_σ เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของ RCS (m) f เป็นความถี่และ (Hz) และ c เป็นความเร็วแสง (m/s)



ภาพ 1 บล็อกไดอะแกรมของเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ

พารามิเตอร์ $S_{21,s}$ ในสมการที่ (2) ได้จากการวัดพารามิเตอร์ S_{21} ของช่องสัญญาณการกระจายที่ มี TUT ในห้องไร้การสะท้อน โดยกำหนดแบบจำลองการวัดเป็นเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ ซึ่งได้ใช้สายอากาศตัวเดียวกันเป็นทั้งสายอากาศ Tx และ Rx ดังนั้น จึงไม่เกิดการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ Tx กับ ความสัมพันธ์ระหว่างสมการที่ (1) กับสมการที่ (2) แสดงได้เป็น

$$\sigma = |H_\sigma|^2 \quad (3)$$

$$G_t = |H_t|^2 \quad (4)$$

$$A_e = |H_e|^2 \quad (5)$$

2. ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของสมการการเชื่อมโยงสายอากาศ Tx-Rx

สมการที่ (2) มีคุณสมบัติของสายอากาศ Tx และ Rx รวมอยู่ด้วย นั่นคือ H_t และ H_e เพื่อที่จะกำจัดคุณสมบัติของสายอากาศออกไปให้เหลือแค่เทอม RCS ของ TUT จะใช้สมการการเชื่อมโยงสายอากาศ Tx-Rx ซึ่งมีบล็อกไดอะแกรมในภาพ 2 แสดงได้เป็น

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{G_t A_e}{4\pi d_f^2} \quad (6)$$

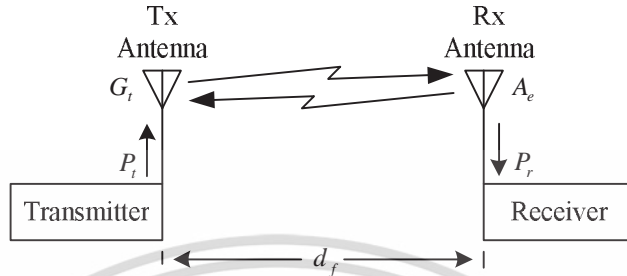
เมื่อ d_f เป็นระยะระหว่างสายอากาศ Tx กับ Rx (m)

หลังจากนั้น ได้ตัดแปลงสมการการเชื่อมโยงสายอากาศ Tx-Rx ให้อยู่ในเทอมของฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่เชิงซ้อน ซึ่งแสดงได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$S_{21,f}(f) = \frac{H_t(f)H_e(f)}{2\sqrt{\pi}d_f} e^{-j2\pi d_f/c} \quad (7)$$



ภาพ 2 บล็อกไดอะแกรมของการเชื่อมโยงสายอากาศ Tx-Rx

พารามิเตอร์ $S_{21,f}$ ในสมการที่ (7) ได้จากการวัดพารามิเตอร์ S_{21} ของช่องสัญญาณการเชื่อมโยงสายอากาศ Tx-Rx ในห้องไร้การสะท้อน จากสมการที่ (2) และ (7) สามารถหาฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของ RCS ได้จาก

$$H_\sigma(f) = \frac{2\sqrt{\pi}d_f^2}{d_f} e^{j2\pi f(2d-d_f)/c} \frac{S_{21,\sigma}(f)}{S_{21,f}(f)} \quad (8)$$

3. การประยุกต์ใช้การเกิดเวลา

สมการที่ (8) สามารถนำมาใช้หา RCS โดยใช้แบบจำลองการวัดเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ แต่ถ้าใช้แบบจำลองการวัดเรดาร์แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับ จะมีผลกระทบของการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ Tx กับ Rx สมการเรดาร์แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับสามารถแสดงได้เป็น

$$S_{21,sm}(f) = \left[\frac{H_\sigma(f)}{4\pi d^2} e^{-j4\pi f d/c} + H_m(f) \right] H_t(f)H_e(f) \quad (9)$$

เมื่อ H_m เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ Tx กับ Rx

พารามิเตอร์ $S_{21,sm}$ ในสมการที่ (9) ได้จากการวัดพารามิเตอร์ S_{21} ของช่องสัญญาณการจัดกระจายที่มี TUT ในห้องไร้การสะท้อน โดยกำหนดแบบจำลองการวัดเป็นเรดาร์แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับ ซึ่งได้ใช้สายอากาศ Tx และ Rx แยกจากกัน แต่ติดตั้งสายอากาศทั้งสองไว้ใกล้กัน เพื่อประมาณเป็นแบบจำลองการวัดเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ ดังนั้น จึงทำให้เกิดการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ Tx กับ Rx ขึ้นมา

ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ Tx กับ Rx ไม่สามารถทำให้ลดลงได้โดยตรงในโดเมนความถี่ ดังนั้น จึงใช้ข้อดีจากเทคนิคการวัด UWB นำการเกิดเวลา มาประยุกต์ใช้ลดผลกระทบของการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ Tx กับ Rx ในโดเมนเวลา ขั้นแรกใช้การแปลงฟูริเยร์ย้อนกลับ (Inverse Fourier Transform) ของฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของสมการเรดาร์แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับได้เป็น

$$h_{sm}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{21,sm}(f) e^{j2\pi f t} df \quad (10)$$

เมื่อ h_{sm} เป็นผลตอบสนองอิมพัลส์ของสมการเรดาร์แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับ และ t เป็นเวลา (s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผลตอบสนองอิมพัลส์ของสมการเรดาร์แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับมีการกระจายจาก TUT ที่เวลาประมาณ $2d/c$ s และมีการเชื่อมต่อร์หว่างสายอากาศ Tx กับ Rx ที่เวลาน้อยกว่า $2d/c$ s มาก เนื่องจากสายอากาศ Tx และ Rx อยู่ใกล้กัน ดังนั้น จึงใช้เทคนิคการเกิดเวลาลดผลกระทบของการเชื่อมต่อร์หว่างสายอากาศ Tx กับ Rx ได้

เทคนิคการเกิดเวลาในบทความนี้ได้ใช้วินโดว์โคเซอร์-เบสเซล ซึ่งมีนิยามเป็น (S. K. Mitra และ J. F. Kaiser, 1993)

$$w(t) = \begin{cases} \frac{I_0 \left(\pi \alpha \sqrt{1 - \left\{ \frac{2[t - t_p]}{T} \right\}^2} \right)}{I_0(\pi \alpha)} & t_p - \frac{T}{2} \leq t \leq t_p + \frac{T}{2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

เมื่อ T เป็นความกว้างของวินโดว์ (s) α เป็นพารามิเตอร์รูปร่างวินโดว์ และ T_p เป็นเวลาที่วินโดว์มีแอมพลิจูดสูงสุด (s) ในบทความนี้ได้กำหนดให้ α มีค่าเป็น 4.8 และ T_p มีค่าประมาณ $2d/c$ s ฟังก์ชัน $I_0(x)$ เป็นฟังก์ชันเบสเซลที่ถูกแก้ไขอันดับที่ศูนย์ของชนิดแรก (Zeroth-Order Modified Bessel Function of First Kind) ซึ่งมีนิยามเป็น

$$I_0(x) = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi e^{x \cos(\theta)} d\theta \quad (12)$$

การลดการเชื่อมต่อร์หว่างสายอากาศ Tx กับ Rx ทำได้โดยใช้การแปลงฟูริเยร์ (Fourier Transform) ของผลตอบสนองอิมพัลส์ของสมการเรดาร์แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับที่ใช้เทคนิคการเกิดเวลาโดยคูณกับวินโดว์โคเซอร์-เบสเซล ซึ่งจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของสมการเรดาร์แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับที่ลดการเชื่อมต่อร์หว่างสายอากาศ Tx กับ Rx เป็น

$$S_{21,t}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h_{sm}(t) w(t) e^{-j2\pi f t} dt \quad (13)$$

RCS ของ TUT ที่ใช้เทคนิคการเกิดเวลาสามารถหาได้จาก

$$H_{\sigma,t}(f) = \frac{2\sqrt{\pi} d^2}{d_f} e^{j2\pi f (2d-d_f)/c} \frac{S_{21,t}(f)}{S_{21,f}(f)} \quad (14)$$

แบบแผนการวัด

ในบทความนี้ได้ทำการวัด RCS ที่สถาบันไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์โดยได้ใช้ TUT เป็นคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและวัดในห้องไร้การสะท้อน ได้ใช้ VNA วัดฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการกระจายที่มี TUT และการเชื่อมโยงสายอากาศ Tx-Rx ในช่วงความถี่ 3 ถึง 11 GHz ซึ่งครอบคลุมแถบความถี่ของ UWB โดยที่พอร์ตที่ 1 และพอร์ตที่ 2 ต่อเข้ากับสายอากาศ Tx และ Rx ตามลำดับ สายอากาศ Tx และ Rx เป็นสายอากาศปากแตรท่อนำคลื่นสั้นคู่ติดตั้งอยู่ใกล้กันและมีการโพลาไรซ์แนวนอน สายอากาศปากแตรท่อนำคลื่นที่ใช้วัดแสดงในภาพ 3

สำหรับการวัดฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการกระจายที่มี TUT และกำหนดให้มีระยะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ระหว่างสายอากาศกับ TUT เป็น 3 m ดังแสดงในภาพ 4 ซึ่งผลที่ได้นี้ใช้เป็นพารามิเตอร์ $S_{21,sm}$ ในสมการที่ (9) ทำการหมุน TUT จาก 0° เป็น 360° โดยเพิ่มทีละ 10° ส่วนการวัดฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการเชื่อมโยงสายอากาศ Tx-Rx ได้กำหนดให้ระยะระหว่างสายอากาศ Tx กับ Rx เป็น 3 m ดังแสดงในภาพ 5 ผลที่ได้นี้ใช้เป็นพารามิเตอร์ $S_{21,r}$ ในสมการที่ (7) หลังจากนั้นได้ทำ RCS ที่ใช้เทคนิคการเกตเวลา เปรียบเทียบกับที่ไม่ได้ใช้เทคนิคการเกตเวลา



ภาพ 3 สายอากาศปากแตรที่นำคลื่นสั้นคู่



ภาพ 4 การติดตั้งการวัดฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการจัดกระจายที่มี TUT

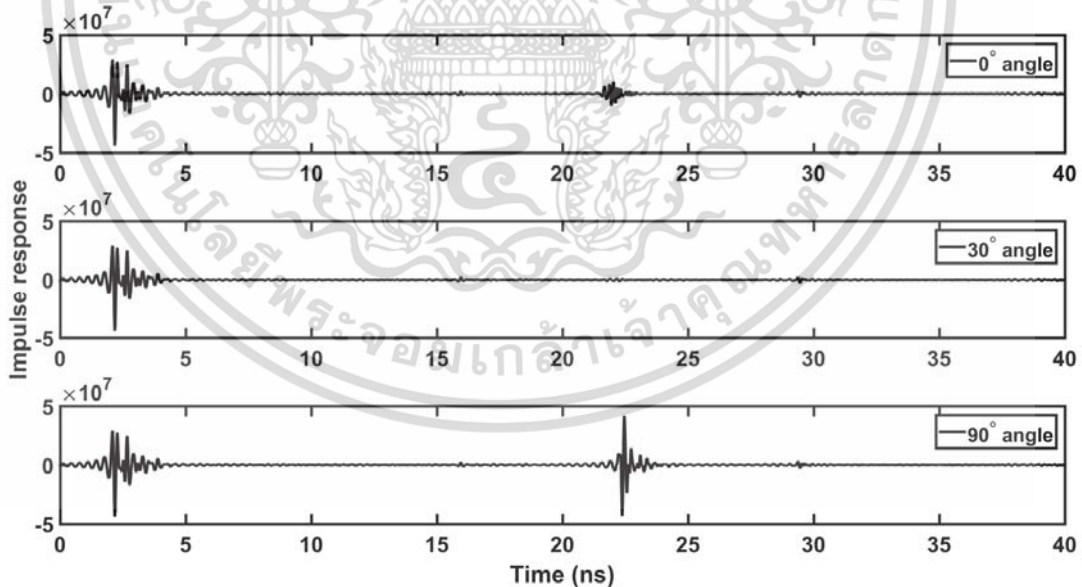
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพ 5 การติดตั้งการวัดฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการเชื่อมโยงสายอากาศ Tx-Rx

ผลการวัด

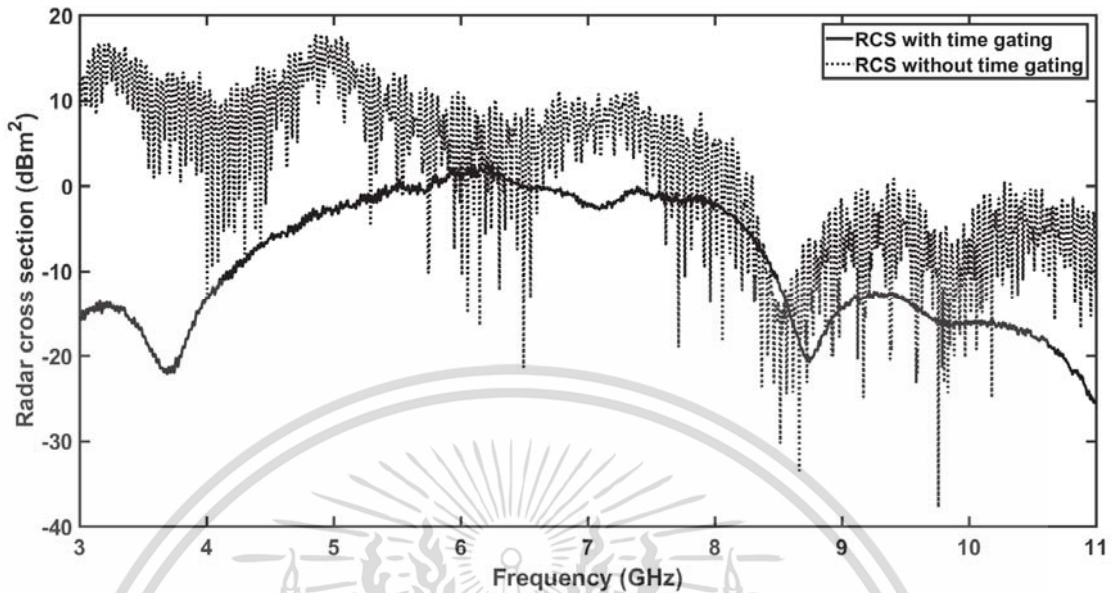
ภาพ 6 แสดงผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณการกระจายที่มี TUT ซึ่งคำนวณมาจากสมการที่ (10) โดยยกตัวอย่างมาแสดงที่มุม 0° , 30° และ 90° จากภาพแสดงให้เห็นชัดว่ามีการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ Tx กับ Rx ที่เหมือนกันในแต่ละมุมที่เวลาน้อยกว่า 5 s และมีการกระจายจาก TUT ที่เวลาอยู่ในช่วง 20 ถึง 25 s ดังนั้น จึงสามารถลดการเชื่อมต่อร่วมโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลาได้



ภาพ 6 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณการกระจายที่มี TUT

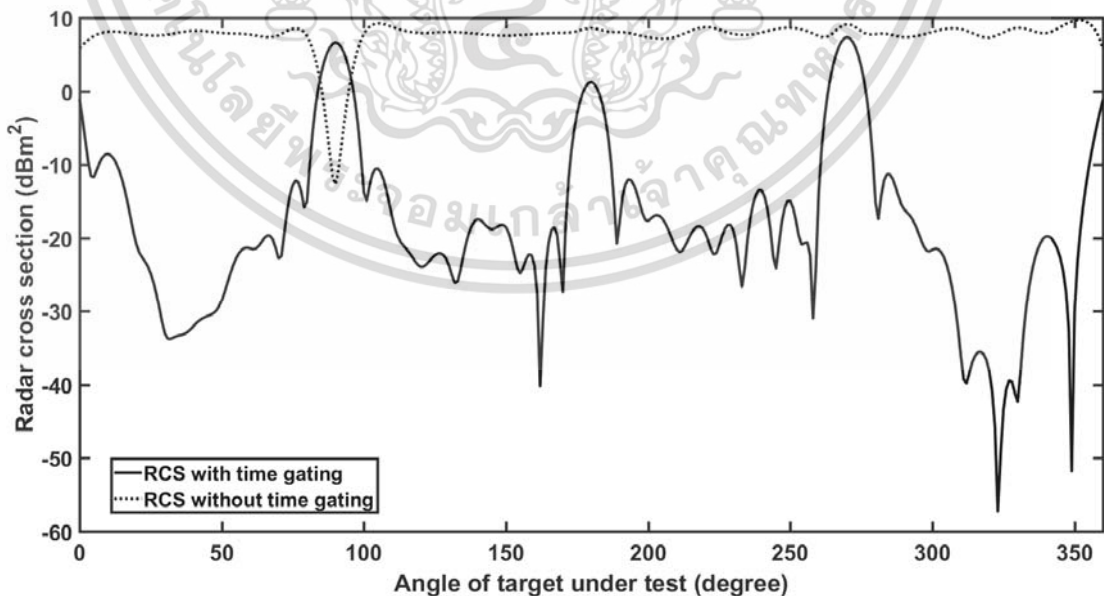
ภาพ 7 แสดง RCS ที่มุม 0° ตามความถี่จาก 3 GHz ถึง 11 GHz RCS ที่ใช้เทคนิคการเกิดเวลาจะมีการแกว่งตามความถี่น้อยกว่าที่ไม่ได้ใช้เทคนิคการเกิดเวลา เนื่องจากไม่เกิดการแทรกสอดระหว่างสัญญาณการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ Tx กับ Rx และสัญญาณที่กระจายมาจาก TUT หรือเกิดการแทรกสอดน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพ 7 RCS ที่มุม 0° ตามความถี่จาก 3 GHz ถึง 11 GHz

RCS ที่ความถี่ 6.85 GHz ตามมุมของ TUT จาก 0° ถึง 360° ได้แสดงในภาพ 8 สำหรับ RCS ที่ใช้เทคนิคการเกิดเวลาจะเห็นได้ว่าค่ายอดของ RCS ที่มุม 0° , 90° , 180° , 270° และ 360° สอดคล้องกับรูปร่างของ TUT ซึ่งตรงกับด้านหน้า ด้านขวา ด้านหลัง ด้านซ้าย และด้านหน้าของ TUT ที่เป็นคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลตามลำดับ แล้วยังมีมุมที่ทำให้ RCS มีระดับต่ำอย่างเห็นได้ชัดเจน ส่วน RCS ที่ไม่ได้ใช้เทคนิคการเกิดเวลาจะมีค่าผิดพลาดอย่างมาก เนื่องจากไม่สอดคล้องกับรูปร่างของ TUT และไม่มีมุมที่ทำให้ RCS มีระดับต่ำ เนื่องจากยังรับสัญญาณได้จากการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ Tx กับ Rx ถึงแม้ว่าจะไม่มีสัญญาณที่กระจัดกระจายมาจาก TUT



ภาพ 8 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณการกระจัดกระจายที่มี TUT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สรุปผลการวิจัย

บทความนี้ได้นำเสนอผลการลดการเชื่อมต่อร่วมโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลาสำหรับการวัด RCS แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับ ซึ่งเทคนิคการเกิดเวลาได้ใช้วินโดวโคเซอร์-เบสเซลล์ลดการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ Tx กับ Rx ในโดเมนเวลา จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า RCS ที่ใช้เทคนิคการเกิดเวลาสามารถเพิ่มความเที่ยงตรงของ RCS แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยที่ RCS ที่ใช้เทคนิคการเกิดเวลาจะมีการแกว่งตามความถี่น้อย เนื่องจากไม่เกิดการแทรกสอดระหว่างสัญญาณการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศ Tx กับ Rx และสัญญาณที่กระจัดกระจายมาจาก TUT หรือเกิดการแทรกสอดน้อย นอกจากนี้ RCS ที่ใช้เทคนิคการเกิดเวลามีมุมที่มีค่ายอดและระดับต่ำอย่างชัดเจนสอดคล้องกับโครงสร้างของ TUT ดังนั้น การลดการเชื่อมต่อร่วมโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลาที่ได้แนะนำในบทความนี้จึงเหมาะสมนำมาใช้หา RCS ที่ใช้แบบแผนการวัดเรดาร์แบบกึ่งรวมสายอากาศส่งรับ ซึ่งติดตั้งการวัดได้ง่ายกว่าเรดาร์แบบรวมสายอากาศส่งรับ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้การสนับสนุนในการใช้สถานที่ในการเตรียมอุปกรณ์การวัด ห้องปฏิบัติการสะท้อน TUT สายอากาศปากแตรท่อนำคลื่นสั้นคู่ VNA เคเบิลสายส่งสัญญาณ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการติดตั้งการวัด

เอกสารอ้างอิง

- M. A. S. Miacci and et al. (2012). “Indoor Radar Cross Section Measurements of Simple Targets.” In *Journal of Aerospace Technology and Management (JATM)*. Jan.-Mar. 2012, 25-32.
- Y. L. C. Jong and M. H. A. J. Herben. (2004). “A Tree-Scattering Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells.” In *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. Mar. 2004, 503-513.
- V. D. Esposti and et al. (2007). “Measurement and Modelling of Scattering from Buildings.” In *IEEE Transactions on Antenna and Propagation*. Jan. 2007, 143-153.
- M. Ghoraihi and et al. (2009). “Radio Wave Scattering from Lampposts in Microcell Urban Mobile Propagation Channel.” In *ECTI Transactions on Electrical Eng., Electronics and Communications*. Feb. 2009, 14-20.
- H. Tsuchiya and et al. (2008). “Effects of Bragg Scattering on Ultra Wideband Signal Transmission from Periodic Surface.” In *IEICE Transactions on Communications*. Feb. 2008, pp. 536-542.
- M. M. Maw and et al. (2014). “Measurement and Evaluation of Radar Cross Section for Furniture in An Indoor Propagation Channel.” In *Advances in Radio Science*. Nov. 2014, 273-278.
- E. F. Knott and et al. (1985). *Radar Cross Section*. New Jersey: Artech House.
- S. K. Mitra and J. F. Kaiser. (1993). *Handbook for Digital Signal Processing*. New York: John Wiley.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายรัชชานนท์ ภูมิวิจิตร
วัน เดือน ปีเกิด	15 เมษายน 2535
ที่อยู่	975 หมู่ 4 นิคมอุตสาหกรรมบางปู ซอย 8 ถ.สุขุมวิท กม.37 ต.แพรกษา อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ 10280
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ที่ทำงาน	สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 975 หมู่ 4 นิคมอุตสาหกรรมบางปู ซอย 8 ถ.สุขุมวิท กม.37 ต.แพรกษา อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ 10280



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้