

การวิเคราะห์ทดลองวัดของการหาตำแหน่งแบบแถบกว้างยิ่ง
สภาวะแวดล้อมภายในอาคารด้วยวิธีการเกตเวลา
EXPERIMENTAL ANALYSIS OF UWB LOCALIZATION IN AN INDOOR
ENVIRONMENT WITH TIME-GATING METHOD



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ทดลองวัดของการหาตำแหน่งแบบแถบกว้างยิ่ง
สภาวะแวดล้อมภายในอาคารด้วยวิธีการเกตเวลา
EXPERIMENTAL ANALYSIS OF UWB LOCALIZATION IN AN INDOOR
ENVIRONMENT WITH TIME-GATING METHOD



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2567

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวิเคราะห์ทดลองวัดของการหาตำแหน่งแบบแถบกว้างยิ่งสภาวะแวดล้อมภายใน
อาคารด้วยวิธีการเกตเวลา

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF UWB LOCALIZATION IN AN INDOOR
ENVIRONMENT WITH TIME-GATING METHOD

ผู้จัดทำ

1. นายทวิศักดิ์ ประจันทร์ 64010283
2. นางสาวนฤกร เนียมปุก 64010416



(ผศ. ดร.สถาพร พรหมวงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา



(ผศ. ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์ทดลองวัดของการหาตำแหน่งแบบแถบกว้าง ยิ่งสภาวะแวดล้อมภายในอาคารด้วยวิธีการเกตเวลา จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา คือ ผศ. ดร.สถาพร พรหมวงศ์ และ ผศ. ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล ที่กรุณาให้คำปรึกษา และแนวทางการแก้ไขปัญหาตลอดระยะเวลาในการจัดทำปริญญาานิพนธ์รวมทั้งสนับสนุนสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ระหว่างการจัดทำปริญญาานิพนธ์ ขอขอบพระคุณในความห่วงใยและความหวังดีที่มีให้แก่คณะผู้จัดทำเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่คณะผู้จัดทำ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษา ที่ให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน คอยให้กำลังใจ รวมถึงความห่วงใย และแรงบันดาลใจที่ช่วยผลักดันให้งานประสบความสำเร็จ

นายทวิศักดิ์ ประจันทร์
นางสาวนฤกร เนียมปุก
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ทดลองวัดของการหาตำแหน่งแบบแถบกว้าง
 ยิ่งสภาวะแวดล้อมภายในอาคารด้วยวิธีการเกตเวลา
 EXPERIMENTAL ANALYSIS OF UWB LOCALIZATION IN AN
 INDOOR ENVIRONMENT WITH TIME-GATING METHOD

โดย นายทวีศักดิ์ ประจันทร์ 64010283

นางสาวนฤกร เนียมปุก 64010416

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร.สถาพร พรหมวงศ์
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ. ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง (Ultra-Wideband) ปัจจุบันได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่งในการประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่ง ซึ่งมีความแม่นยำสูงในการส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง ปริญญาโทนี้ได้นำเสนอการออกแบบจำลองสำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งด้วยเทคนิค Min-Max ทำการหาตำแหน่งภายในอาคารในช่วงความถี่ที่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ โดยใช้สายอากาศแบบกรวยคู่เป็นสายอากาศส่ง และสายอากาศรับร่วมกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ นำผลที่ได้จากการวัดมาวิเคราะห์และประเมินผลเปรียบเทียบกับเทคนิคการเกตเวลาโดยพิจารณาความผิดพลาดทางระยะทาง ปริญญาโทนี้จะ เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาทดลองขั้นพื้นฐาน โดยใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งที่นำมาประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่ง และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

Ultra-Wideband (UWB) technology is gaining popularity in the field of locating systems due to its high accuracy in UWB communication. This thesis proposes a model for indoor localization using UWB technology with a min-max technique. The indoor localization measurement is carried out within the frequency range of 3.1 GHz to 10.6 GHz using the biconical antenna as the transmitter and receiver with a vector network analyzer. The results obtained from the measurements were analyzed and evaluated with time-gating technique by considering the distance error. This thesis will be useful for basic experimental studies using UWB technology applied in indoor locating and the basis for future research studies.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1	
บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์	2
บทที่ 2	
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง	5
2.1.1 ความเป็นมาของเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง	5
2.1.2 หลักการของเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง	5
2.1.3 จุดเด่นของเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง	6
2.1.4 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	8
2.1.5 การประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง	11
2.2 ทฤษฎีที่ใช้ในการหาตำแหน่ง	14
2.2.1 ความแรงของสัญญาณที่รับได้ (Received Signal Strength : RSS)	14
2.2.2 เทคนิค Min-Max	15
2.2.3 การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)	17
บทที่ 3	
การออกแบบและการจัดทำปริญญาานิพนธ์	18
3.1 การออกแบบและการสร้างสายอากาศกรวยคู่	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.1 เหตุผลที่เลือกใช้สายอากาศกรวยคู่	18
3.1.2 การออกแบบและการสร้างสายอากาศกรวยคู่	19
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	25
3.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer: VNA)	25
3.2.2 สายอากาศกรวยคู่ (Biconical Antenna)	26
3.2.3 สายส่งสัญญาณ Semi-Rigid ชนิด RG-142	26
3.2.4 ชุดอุปกรณ์ปรับเทียบ (Calibration Kit)	27
3.3 การทดลองวัดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศกรวยคู่	27
3.3.1 การทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $ S_{11} $	27
3.3.2 การทดลองวัดอัตราขยายการส่งผ่านของสายอากาศกรวยคู่	29
3.4 การทดลองวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับของสายอากาศกรวยคู่	31
3.4.1 วิธีการทดสอบวัดความแรงของสัญญาณที่ได้รับของสายอากาศกรวยคู่	31
3.4.2 แบบจำลองการหาตำแหน่งภายในอาคาร	33
3.4.3 แบบจำลองการหาตำแหน่งภายในอาคารในรูปแบบ 3 มิติ (3D)	35
3.4.4 สถานที่ที่ใช้ในการทดสอบวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง	35
3.5 สูตรการส่งผ่านสัญญาณฟรีส (Friis' Transmission Formula)	36
3.6 ทฤษฎีการประยุกต์สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีส สำหรับการส่งผ่านเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง (Extension of Friis' Transmission Formula for UWB)	37
3.7 สัญญาณส่งแบบแถบกว้างยิ่ง	38
3.8 สัญญาณที่ได้รับ	39
3.9 เทคนิคการเกตเวลา (Time-Gating Technique)	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.10 ค่าความผิดพลาดทางระยะทาง (Distance Error)	43
3.11 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function: CDF)	43
บทที่ 4 ผลการทดลอง	45
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศรวยคู่สำหรับใช้ในความถี่แถบกว้างยิ่ง	45
4.1.1 การทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศรวยคู่	45
4.1.2 ผลการทดสอบการวัดขนาดและเฟสของสัญญาณ	46
4.1.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศรวยคู่	47
4.2 ความแรงของสัญญาณที่รับได้	49
4.3 การสูญเสียเชิงวิถี	52
4.4 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดทางระยะทาง	55
4.4.1 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดทางระยะทางของการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Min-Max กรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา	55
4.4.2 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดทางระยะทางของการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Min-Max กรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา	56
4.4.3 เปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดทางระยะทางของการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Min-Max ระหว่างกรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา และกรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา	58
4.5 การเปรียบเทียบระหว่างพิกัดตำแหน่งที่วัดได้ของสายอากาศรับและพิกัดตำแหน่งจริงของสายอากาศรับ	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5.1 การเปรียบเทียบระหว่างพิกัดตำแหน่งที่วัดได้ของ สายอากาศรับและพิกัดตำแหน่งจริงของสายอากาศรับ กรณีที่ไม่ผ่าน เทคนิคการเกิดเวลา	59
4.5.2 การเปรียบเทียบระหว่างพิกัดตำแหน่งที่วัดได้ของ สายอากาศรับและพิกัดตำแหน่งจริงของสายอากาศรับ กรณีที่ผ่าน เทคนิคการเกิดเวลา	60
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	61
5.1 สรุปผล	61
5.2 ข้อเสนอแนะ	62
บรรณานุกรม	62
ภาคผนวก	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 บล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์ทดลองวัดของการหาตำแหน่งแบบแถบกว้างยิ่งสภาวะแวดล้อมภายในอาคารด้วยวิธีการเกิดเวลา	4
2.1 ความหนาแน่นกำลังงานเชิงสเปกตรัมและย่านความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเมื่อเทียบกับระบบการสื่อสารในปัจจุบัน	6
2.2 ข้อกำหนดสเปกตรัมของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งภายในอาคารระหว่าง FCC และ ETSI	10
2.3 ข้อกำหนดสเปกตรัมของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคารระหว่าง FCC และ ETSI	11
2.4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์โครงข่ายภายในอาคารสำนักงาน	12
2.5 การเชื่อมต่อโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์	12
2.6 การหาตำแหน่งโดยใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง	13
2.7 การประยุกต์เอาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งไปใช้ในด้านการแพทย์	14
2.8 เทคนิคการหาตำแหน่งแบบ Min-Max	16
3.1 สายอากาศแบบกรวยคู่	18
3.2 โครงสร้างสายอากาศกรวยคู่	19
3.3 สายอากาศกรวยคู่ที่ออกแบบ 2 มิติ	21
3.4 แผ่นทองแดงทรงกรวย	22
3.5 สาย Semi-Rigid ที่ปกเสร็จ	22
3.6 เจาะรูตรงกลางแผ่นทองแดงทรงกรวย	23
3.7 เชื่อมสาย Semi-Rigid กับแผ่นทองแดงทรงกรวย	23
3.8 สายอากาศกรวยคู่ที่สร้างในภาคการศึกษาที่ 1	24
3.9 สายอากาศกรวยคู่ที่สร้างในภาคการศึกษาที่ 2	24
3.10 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ รุ่น E5063A	25
3.11 ขนาดสายอากาศกรวยคู่	26
3.12 สายส่งสัญญาณ Semi-Rigid ชนิด RG-142	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 อุปกรณ์ปรับเทียบ	27
3.14 บล็อกไดอะแกรมการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศกรวยคู่	28
3.15 แบบจำลองการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศกรวยคู่	29
3.16 บล็อกไดอะแกรมการทดลองวัดอัตราขยายการส่งผ่านของสายอากาศกรวยคู่	30
3.17 แบบจำลองการทดลองวัดอัตราขยายการส่งผ่านของสายอากาศกรวยคู่	31
3.18 บล็อกไดอะแกรมการทดลองวัดความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ของสายอากาศกรวยคู่	32
3.19 แบบจำลองการทดลองวัดความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ของสายอากาศกรวยคู่	33
3.20 แบบจำลองการหาตำแหน่งภายในอาคาร	34
3.21 แบบจำลองการวัดหาตำแหน่งในรูปแบบ 3 มิติ (3D)	35
3.22 สถานที่ใช้จำลองการวัดช่องสัญญาณ	35
3.23 บล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งสัญญาณที่ได้มีการขยายจากสมการการส่งผ่านของฟรีสและเพิ่มวงจรกรองแบบแมตซ์ทางด้านรับ	37
3.24 รูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซีโคชานน์ที่ถูกลนอร์แมลไลซ์ในโดเมนเวลาที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์	39
3.25 ความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซีโคชานน์ในโดเมนความถี่ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์	39
3.26 บล็อกไดอะแกรมของเทคนิคการเกิดเวลา	41
3.27 วินโดวโคเชอร์-เบสเซล	42
3.28 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสม	44
4.1 คุณสมบัติของสายอากาศ $ S_{11} $	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.2	ขนาดของการถ่ายโอนช่องสัญญาณ	47
4.3	เฟสของการถ่ายโอนช่องสัญญาณ	47
4.4	เปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศไอโซทรอปิกกับสายอากาศกรวยคู่ในระนาบ E-plane	48
4.5	เปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศไอโซทรอปิกกับสายอากาศกรวยคู่ในระนาบ H-plane	48
4.6	ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งที่ 1 (Tx1)	49
4.7	ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งที่ 2 (Tx2)	50
4.8	ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งที่ 3 (Tx3)	50
4.9	ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งที่ 4 (Tx4)	51
4.10	ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งทั้ง 4	52
4.11	การสูญเสียเชิงวิถีของสายอากาศส่งทั้ง 4 ในกรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา	53
4.12	การสูญเสียเชิงวิถีของสายอากาศส่งทั้ง 4 ในกรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา	54
4.13	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดระยะทางของการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Min-Max กรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา	55
4.14	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดระยะทางของการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Min-Max กรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา	57
4.15	เปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดทางระยะทางของการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Min-Max ระหว่างกรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา และกรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา	58
4.16	เปรียบเทียบระหว่างพิกัดตำแหน่งที่วัดได้ของสายอากาศรับและพิกัดตำแหน่งจริงของสายอากาศรับ กรณีที่ไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา	59
4.17	เปรียบเทียบระหว่างพิกัดตำแหน่งที่วัดได้ของสายอากาศรับและพิกัดตำแหน่งจริงของสายอากาศรับ กรณีที่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการทำงานของปริญญาโทในภาคการศึกษาที่ 1 และภาคการศึกษาที่ 2	3
2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายแถบกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	9
2.2 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายแถบกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	10
3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศกรวยคู่	28
3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดอัตราขยายการส่งผ่านของสายอากาศกรวยคู่	30
3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้ของสายอากาศกรวยคู่	32
4.1 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางระยะทาง โดยพิจารณาความกว้างของวินโดว์ และพารามิเตอร์รูปร่างของวินโดว์โคเซอร์-เบสเซล	56
4.2 เปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดทางระยะทางของการหา ตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Min-Max ระหว่างกรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา และกรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น เนื่องจากมีข้อดีหลายอย่าง เช่น สามารถส่งข้อมูลได้ทุกทิศทางโดยมีอากาศเป็นตัวกลาง ประหยัดค่าใช้จ่าย สะดวก ใช้งานได้ในทุกสถานที่ทุกเวลาอย่างไม่จำกัด และเทคโนโลยีได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว โดยในการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายนั้นมีจุดประสงค์เพื่อที่จะตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ในด้านต่างๆ เช่น จำนวนข้อมูลที่ส่งได้, อัตราความเร็วในการส่งข้อมูล, ระยะทางที่สามารถส่งได้ และความสามารถในการใช้งานร่วมกัน เป็นต้น ซึ่งเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างหลากหลายด้าน เช่น ด้านการแพทย์ ใช้ในการติดตามอาการคนไข้, ด้านธุรกิจใช้ในการติดตามระบบขนส่งทางบกหรือทางอากาศ, การระบุตำแหน่ง และเรดาร์ จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจสำหรับนักพัฒนานักวิจัยทางด้านการสื่อสารไร้สาย เพื่อรองรับสื่อแบบมัลติมีเดียที่เพิ่มขึ้น จึงได้มีการพัฒนาระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra-Wideband) โดยการรับและส่งสัญญาณมีย่านความถี่ที่ถูกกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission: FCC) ซึ่งได้มีการกำหนดกำลังงานของระบบที่แพร่ออกมาในช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารประเภทนี้ไว้ที่ระดับ -41.3 dBm/MHz เพื่อไม่ให้ระบบการสื่อสารนี้ไปกวนกับระบบการสื่อสารเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

นอกจากนี้การหาตำแหน่งมีการนำมาประยุกต์ใช้หาตำแหน่งบนร่างกายมนุษย์ รวมถึงหาวัตถุสิ่งของ สามารถพิจารณาได้หลากหลายเทคนิค ซึ่งสำหรับระบบการหาตำแหน่งภายในอาคารนั้นต้องการความแม่นยำสูง มีเทคนิคการระบุตำแหน่งเพื่อทำการคาดคะเนตำแหน่ง เช่น เทคนิคการหาตำแหน่งด้วยวงกลม 3 วง (Trilateration) เทคนิคพิจารณาวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ (Received signal strength: RSS) วิธีพิจารณาเวลาในการมาถึงของสัญญาณ (Time of arrival: TOA) วิธีการพิจารณาความต่างของเวลาในการมาถึงของสัญญาณ (Time difference of arrival: TDOA) ซึ่งอยู่ภายใต้เงื่อนไขการแพร่กระจายของสัญญาณ ทำให้วิธีการเหล่านี้มีความแม่นยำไม่เพียงพอ จึงได้มีการพัฒนาโดยเลือกใช้วิธีการหาตำแหน่งด้วยเทคนิค Min-Max เป็นเทคนิคการหาตำแหน่งที่ใช้หลักการซ้อนทับกันของขอบเขตต่ำที่สุดและขอบเขตสูงที่สุด ซึ่งอาศัยการวัดระยะทางระหว่างตัวส่งถึงตัวรับ เพื่อนำมาใช้เป็นขอบเขต ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีขั้นตอนไม่ซับซ้อน มีความแม่นยำสูงและง่ายต่อการวิเคราะห์หาตำแหน่ง และจากการศึกษาเทคนิคการเกิดเวลาเป็นวิธีการลดการรบกวนหลายวิธี เพื่อลดผลกระทบของการเชื่อมต่อระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับในโดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์นี้นำวิธีการหาตำแหน่งด้วยเทคนิค Min-Max ร่วมกับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ในช่วงย่านความถี่ต่ำที่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ และได้นำเทคนิคการเกิดเวลามาใช้ในการวิเคราะห์ตำแหน่ง เนื่องจากเป็นวิธีการวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนเวลาที่จำกัดขอบเขตความกว้างของรูปคลื่นแถบกว้างยิ่งโดยใช้วินโดว์โคเซอร์-เบสเซล เพื่อลดการหน่วงทางเวลาของรูปคลื่นแถบกว้างยิ่ง เนื่องมาจากผลกระทบของการแพร่กระจายคลื่น ทำให้การคาดคะเนตำแหน่งมีการพัฒนาความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาเทคนิคการหาตำแหน่งแบบแถบกว้างยิ่งและการประยุกต์ใช้งานด้านการหาตำแหน่ง
- 2) เพื่อศึกษาออกแบบจำลองการวัดภายในอาคารรวมถึงศึกษาสายอากาศกรวยคู่สำหรับใช้ในความถี่แถบกว้างยิ่ง
- 3) เพื่อวิเคราะห์และประเมินผล เปรียบเทียบการหาตำแหน่งแบบแถบกว้างยิ่งสถานะแวดล้อมภายในอาคาร

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

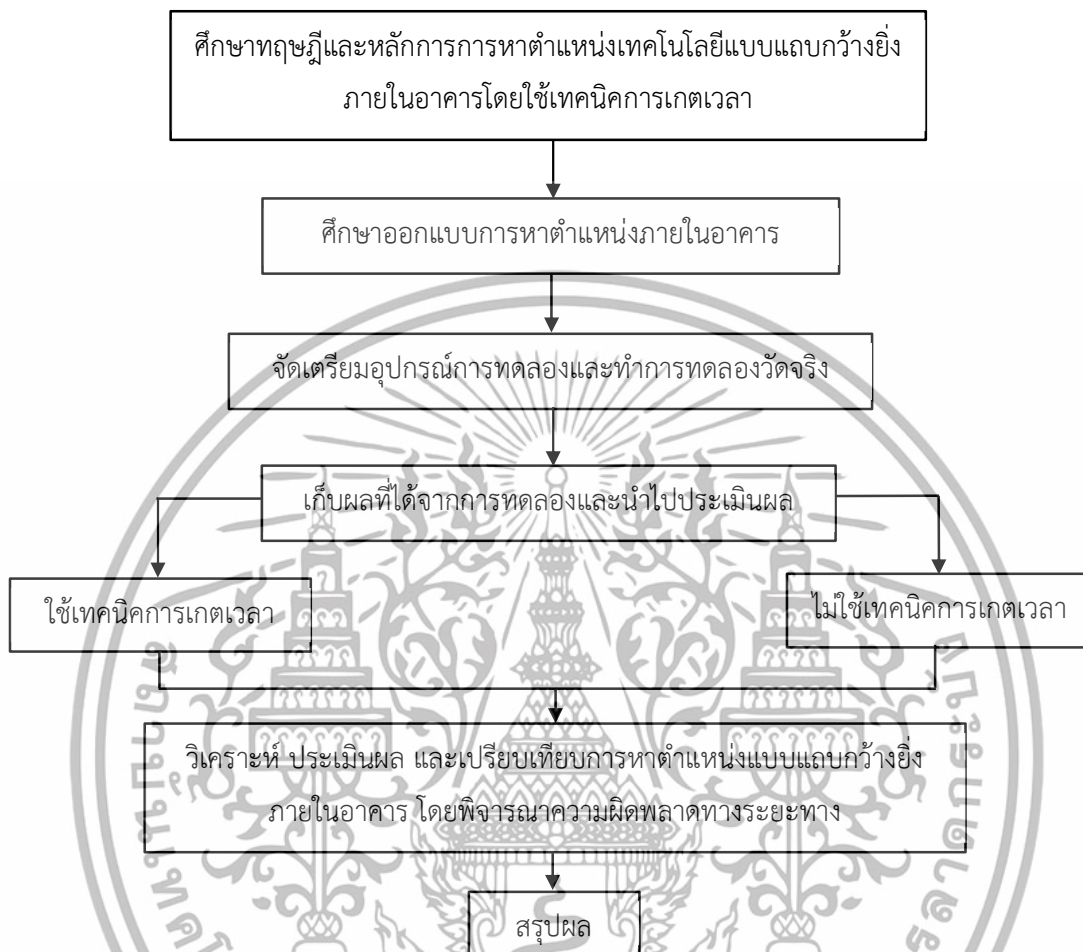
ทำการศึกษาเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง คุณสมบัติสายอากาศกรวยคู่ ทำการออกแบบแบบจำลองการวัดและการหาตำแหน่งภายในอาคาร ภายใต้การตำแหน่งแบบเทคนิค Min-Max และทำการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ในแต่ละพิกัด โดยทำการวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งในช่วงความถี่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ด้วยเครื่องวิเคราะห์โคร่งข่ายแบบเวกเตอร์ จากนั้นทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และนำผลที่ได้จากการวัดมาวิเคราะห์ประเมินผล เปรียบเทียบหาตำแหน่งค่าความผิดพลาดทางระยะทางที่ได้จากการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Min-Max ในกรณีที่ใช้เทคนิคการเกิดเวลา และกรณีที่ไม่ใช้เทคนิคการเกิดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แผนการทำงานของปริญญานิพนธ์ในภาคการศึกษาที่ 1 และภาคการศึกษาที่ 2

ภาคการศึกษาที่ 1	ภาคการศึกษาที่ 2
<ul style="list-style-type: none"> - ศึกษาเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง ข้อดีข้อเสีย - ศึกษาเทคนิคที่ใช้ในการหาตำแหน่งภายในอาคาร - ศึกษาเทคนิคที่ใช้ในการหาตำแหน่งแบบแถบกว้างยิ่ง 	<ul style="list-style-type: none"> - แก๊สโมเดลสายอากาศกรวยคู่ - เตรียมการวัดและทดลองวัดคุณสมบัติของสายอากาศกรวยคู่
<ul style="list-style-type: none"> - ศึกษาและออกแบบจำลองการวัดภายในอาคาร - สร้างสายอากาศกรวยคู่ - จัดเตรียมอุปกรณ์การทดลอง 	<ul style="list-style-type: none"> - ทดลองวัด - นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ ประเมินผล และเปรียบเทียบการหาตำแหน่งแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร โดยพิจารณาความผิดพลาดระยะทาง
<ul style="list-style-type: none"> - ทดสอบคุณสมบัติสายอากาศ - เตรียมการทดลองวัดจริง 	<ul style="list-style-type: none"> - สรุปผลการหาตำแหน่งแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารด้วยวิธีการเกิดเวลา - จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์ทดลองวัดของการหาตำแหน่งแบบแถบกว้างยิ่ง
สภาวะแวดล้อมภายในอาคารด้วยวิธีการเกิดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

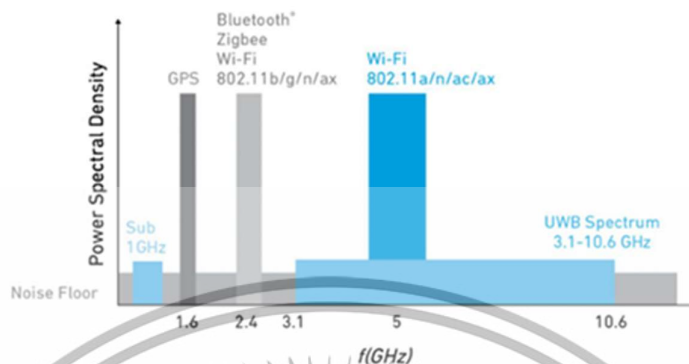
2.1 เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง

2.1.1 ความเป็นมาของเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้เกิดขึ้นในปี 1901 โดยที่มาร์โคนี (Guglielmo Marconi) ได้ทดลองสาธิตเครื่องส่งสัญญาณสปาร์กแก๊ป (Spark Gap Transmitters) ในการส่งสัญญาณวิทยุข้ามมหาสมุทรแอตแลนติก และหลังจากนั้นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งถูกนำมาใช้สำหรับทางการทหารของกองทัพสหรัฐฯ ในปี 1960 ถึง 1990 จึงพบว่าเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งเหมาะสำหรับระบบเรดาร์ (Radar system) ระบบตรวจสอบ (Sensing) และการติดต่อสื่อสารที่ต้องการความปลอดภัยสูง ต่อมาในเดือนพฤษภาคมปี ค.ศ. 2000 ทางคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้ออกหนังสือ Notice of Proposed Rule Making (NPRM) ซึ่งเป็นการเสนอให้หน่วยงานแสดงข้อคิดเห็นที่จะนำมาปรับปรุงแก้ไขกฎข้อบังคับของ FCC เพื่อควบคุมดูแลระบบแถบกว้างยิ่งให้มีขอบเขตที่ชัดเจน และเป็นประโยชน์มากที่สุด โดยข้อบังคับนี้ได้ถูกนำออกมาใช้งานเมื่อ เดือนกุมภาพันธ์ปี ค.ศ. 2002 ที่ผ่านมา [1]

2.1.2 หลักการของเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งเป็นระบบการสื่อสารที่มีแบนด์วิดท์ของระบบที่กว้างมาก และได้ไปทับซ้อนกับระบบสื่อสารที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่น ระบบเครือข่ายไร้สายท้องถิ่น (Wireless Local Area Network: WLAN) เป็นต้น ดังนั้นทาง FCC จึงได้มีการกำหนดกำลังงานของระบบที่แพร่ออกมาในช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารประเภทนี้ไว้ที่ระดับ -41.3 dBm/MHz ซึ่งเป็นระดับของกำลังงานของสัญญาณรบกวนโดยในรูปที่ 2.1 แสดงระดับกำลังงานและย่านความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง เมื่อทำการเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารอื่นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน [2]



รูปที่ 2.1 ความหนาแน่นกำลังงานเชิงสเปกตรัมและย่านความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเมื่อเทียบกับระบบการสื่อสารในปัจจุบัน [3]

จากรูปที่ 2.1 หากเปรียบเทียบระบบเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งกับระบบการสื่อสารในปัจจุบันจะพบว่าระบบเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจะมีระดับกำลังงานที่ต่ำกว่าระบบอื่น และมีแบนด์วิดท์ที่กว้างมาก ดังนั้นสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งจึงไม่ไปรบกวนกับสัญญาณของระบบการสื่อสารเดิม ซึ่งเป็นเหตุให้สามารถนำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งไปใช้งานในที่มีระบบการสื่อสารเดิมใช้อยู่ได้

2.1.3 จุดเด่นของเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งหรือรวมถึงอิมพัลส์ (Impulse) พัลส์แคบ (Short-pulse) สัญญาณที่ไม่ใช่ไซน์ซอว์ด (Non-sinusoidal) สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห้ (Carrier less) แถบกว้างยวดยิ่ง (Super wideband) การอัดพัลส์แบบเอฟเอ็มอย่างรวดเร็ว (Fast frequency chirp) และพัลส์แบบโมโน (Mono pulse) [2] ซึ่งเป็นระบบสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารได้ดังนี้

2.1.3.1 มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Noise)

เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่ำและลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียบ (Pseudo random) ของสัญญาณส่ง จึงทำให้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมีลักษณะคล้ายสัญญาณรบกวน ซึ่งทำให้การตรวจหาสัญญาณทำได้ยาก และไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่น เนื่องจากสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำโดยอยู่ในระดับของสัญญาณรบกวนพื้น (Noise floor) ทำให้สัญญาณรบกวนถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.2 เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนต่ำของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

เกิดขึ้นจากปัจจัยทางลักษณะของสัญญาณเดิมที่ยังไม่ผ่านการมอดูเลต (Base band) ของการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่น โดยที่เครื่องส่ง จะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างน้อยมากในโดเมนเวลา สามารถที่จะแพร่กระจายคลื่น ออกไป โดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือคลื่นพาห้รวมเข้าไป และในส่วนของ การรวมสัญญาณ วิทยุ นั้นจะเป็นการนำสัญญาณเบสแบนด์รวมกับคลื่นพาห้เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการ ซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดี โดยปราศจากความต้องการในการเพิ่มการแปลงความถี่ให้สูงขึ้น (Up-conversion) และการเพิ่ม กำลังให้สูงขึ้น (Amplification) โดยในกระบวนการกลับกันการแปลงความถี่ลง (Down-conversion) และตัวผลิตความถี่ (Local oscillator) จึงไม่จำเป็นในเครื่องรับเทคโนโลยี แถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน ทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิต [2]

2.1.3.3 มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี (Multipath) และการรบกวนของ สัญญาณใกล้เคียงในระบบการมอดูเลตทางเวลา (Time modulation)

แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงใน ระดับหลักร้อยเมกะบิตต่อวินาที อีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนของจำนวนผู้ใช้งานในระบบการ สื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้จำนวนที่มากกว่าระบบทั่วไป และเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของ สัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถีอย่างมาก เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้าง ทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมากซึ่งรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึง ทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งมีการมอดูเลตทางเวลานั้นมีความต้านทานต่อการแพร่กระจายของ คลื่นหลายวิถีรุนแรง และรบกวนหรือแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียง [2]

2.1.3.4 มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่ง และการประยุกต์ใช้ในระบบติดตาม (Tracking)

ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมากหรือเป็นพัลส์ที่มีความกว้าง ของสัญญาณน้อยมากๆ ซึ่งหมายถึงระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถ ควบคุมจังหวะ และคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมพิกัด (Global Positioning System: GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่น อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัสดุ ได้ดีจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะ

สิ้น เช่น ในการช่วยเหลือชีวิต และปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้ในงานสำรวจ และในอุตสาหกรรมการทำเหมือง เป็นต้น [2]

2.1.4 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งคือการจัดสรรความถี่ในการใช้งาน ซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการถอดถอนการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มทำงานนี้ได้ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการโดยใช้ชื่อว่า Ultra-wideband working group (UWBWG) เพื่อทำการเจรจาข้อตกลงรวมกับ FCC เช่นเดียวกันกับในยุโรปได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของความถี่วิทยุ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งในสถาบันกำหนดมาตรฐานทาง โทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunication Standards Institute: ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union: ITU) [4]

2.1.4.1 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal communications commission: FCC) ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ Notice Of Inquiry (NOI) โดยถึงแม้ว่าจะได้คาดการณ์ถึงระดับกำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณที่มีระดับต่ำมากๆ แล้วยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบบเดิมที่มีใช้งานกันอยู่ได้ทำการต่อต้านการนำระบบแถบกว้างยิ่งมาใช้งานสำหรับการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งขอเรียกร้องโดยมากจะเกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการแทรกสอดในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด เช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์แถบความถี่ที่สำรองไว้สำหรับคลื่นวิทยุทางดาราศาสตร์ และระบบ GPS โดยที่องค์กรบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกา หรือ Federal Aviation Administration (FAA) ได้แสดงความเป็นห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน [4]

ในเดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 ทาง FCC ได้ออกกฎหมายสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชน เมื่อเดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งทั้ง 4 ประเภท และการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่างๆ โดยจากนิยามข้างต้น ส่วนข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร [4]

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายแถบกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [4]

ความถี่ (เมกะเฮิรตซ์)	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
	EIRP in dBm/MHz	EIRP in dBm/MHz
960 - 1610	-75.3	-75.3
1610 -1990	-53.3	-63.3
1990 - 3100	-51.3	-61.3
3100 – 10600	-41.3	-41.3
สูงกว่า 10600	-51.3	-61.3

2.1.4.2 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

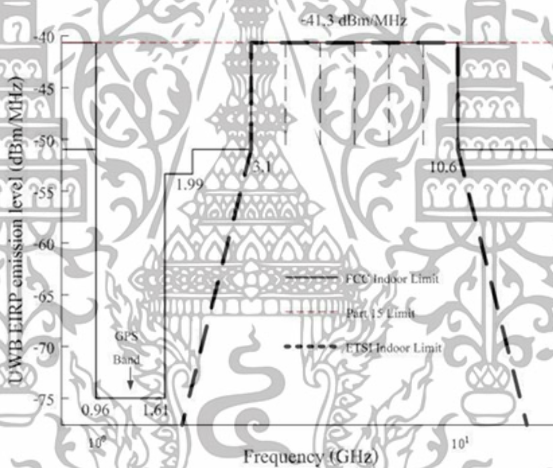
ปัจจุบันโครงร่างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่ โดยทางยุโรปนั้นบางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่ โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2 [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายแถบกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสาร ทั้งภายในและภายนอกอาคาร [4]

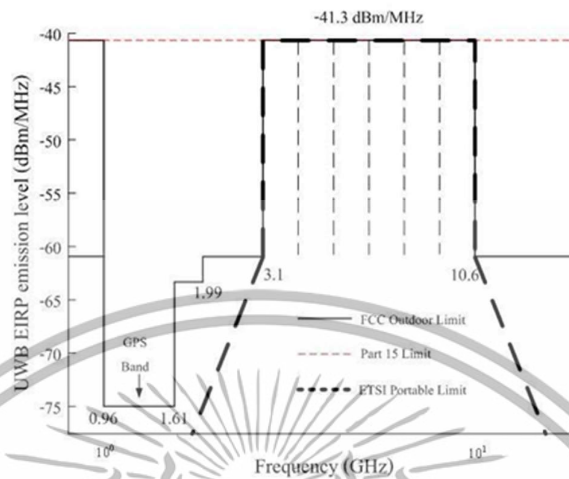
	ช่วงความถี่ (GHz)		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
ภายในอาคาร	$-51.3 + 87\log(f/3.1)$	-41.3	$-51.3 + 87\log(10.6/f)$
ภายนอกอาคาร	$-61.3 + 87\log(f/3.1)$	-41.3	$-61.3 + 87\log(10.6/f)$

ในรูปที่ 2.2 และ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัม ความถี่ของแถบกว้างยิ่งระหว่าง FCC และ ETSI ภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ [4]



รูปที่ 2.2 ข้อกำหนดสเปกตรัมของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งภายในอาคารระหว่าง FCC และ ETSI [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ข้อจำกัดสเปกตรัมของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคารระหว่าง FCC และ ETSI [4]

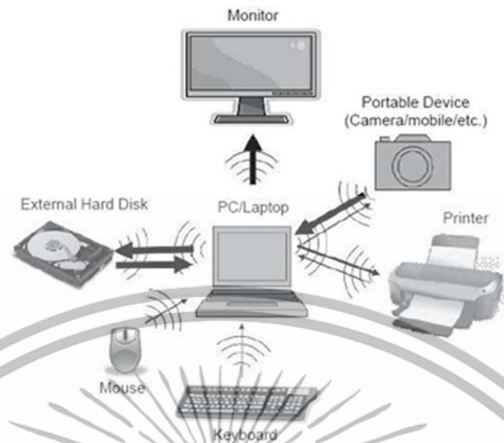
2.1.5 การประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งถูกนำมาใช้ในระบบการสื่อสารระยะสั้นระหว่างคอมพิวเตอร์อุปกรณ์ที่อยู่ภายในอาคารสำนักงาน และโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัยที่มีความต้องการความเร็วสูง ซึ่งสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากสายอากาศนั้นอาจจะถูกลดทอนกำลังงาน (Power attenuation) โดยปัจจัยต่างๆ เช่น ถูกลดทอนโดยผนังหรือกำแพงของอาคารจากวัสดุอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงทั้งหมดที่ได้กล่าวมาส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณที่ทางด้านเครื่องรับ เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบดังนี้ [4]

2.1.5.1 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในอาคารสำนักงาน (Offices network)

โดยรูปที่ 2.4 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ในโครงข่ายที่ได้รับผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมภายในอาคารสำนักงาน สามารถวิเคราะห์ได้ซึ่งมีแนวทางการศึกษาวิจัยการเชื่อมโยงอินเทอร์เน็ตไร้สาย [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์เครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน [4]

2.1.5.2 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในบ้านพักอาศัย (Ohm network)

ในรูปที่ 2.5 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ของเครือข่ายสภาวะแวดล้อมภายในบ้านพักอาศัยจะมีลักษณะการนำไปใช้ติดต่อสื่อสารภายในอาคาร ซึ่งมักจะมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อข้อสังเกตในการสื่อสาร เช่น กำแพง ประตู อุปกรณ์ เครื่องใช้ต่าง ๆ ผนัง สิ่งกีดขวางต่างๆ ซึ่งสิ่งกีดขวางแต่ละชนิดมีองค์ประกอบที่ไม่เหมือนกัน จึงส่งผลกระทบต่ออย่างสูงทำให้สัญญาณที่ส่งผ่านมีลักษณะแตกต่างกันสามารถวิเคราะห์ได้ [4]



รูปที่ 2.5 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในอาคารเครือข่ายภายในบ้านพักอาศัย [4]

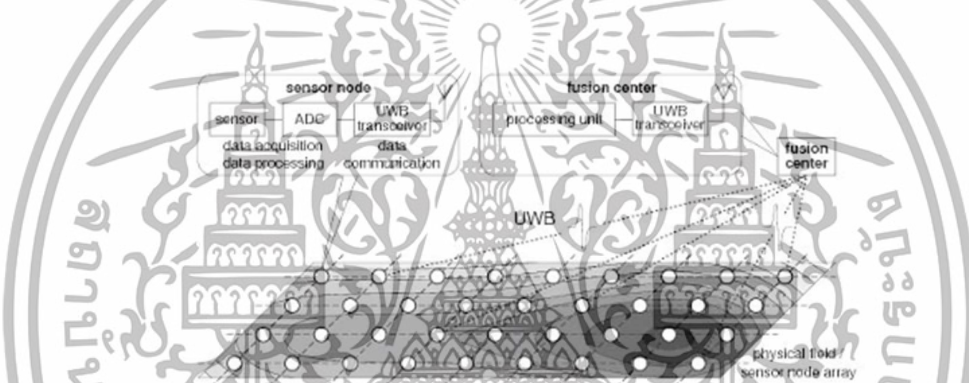
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.3 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ไร้สาย (Wireless body area network)

เป็นลักษณะการใช้งานในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ไปยังเครื่องมือวัด อาจมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสื่อสารในสภาวะแวดล้อมจริงได้ และจากร่างกายมนุษย์ อย่างไรก็ตามแนวทางการหาพารามิเตอร์ และการวิเคราะห์ต่างๆ ได้ [4]

2.1.5.4 การประยุกต์ใช้งานการหาตำแหน่ง (UWB localization)

รูปที่ 2.6 เป็นลักษณะการใช้งานในการหาตำแหน่งโดยพิจารณาจากการสูญเสียเชิงวิถี และเวลาประวิง แต่อาจมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสื่อสารในสภาวะแวดล้อมจริงได้ ทำให้เกิดการผิดพลาดในการหาพิจารณาตำแหน่งได้ [4]

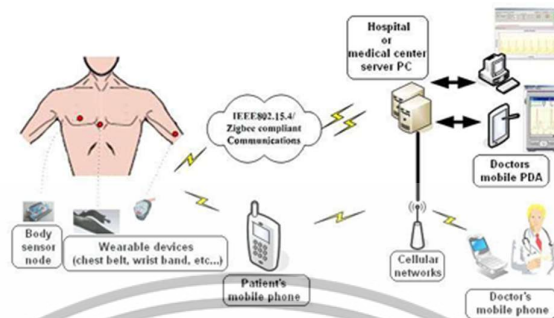


รูปที่ 2.6 การหาตำแหน่งโดยใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง [4]

2.1.5.5 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายทางการแพทย์ไร้สาย (Wireless medical network)

รูปที่ 2.7 เป็นลักษณะการใช้งานในโครงข่ายทางการแพทย์แบบไร้สายโดยพิจารณาจากผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ ทำให้คุณลักษณะจำเพาะของอุปกรณ์หรือเครื่องมือทางการแพทย์เปลี่ยนไป และการเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่ายปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสื่อสารในสภาวะแวดล้อมจริงได้ ทำให้เกิดการผิดพลาดได้ อย่างไรก็ตามควรหาวิธีการวิเคราะห์ ผลกระทบต่างๆ ได้ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การประยุกต์เอาเทคโนโลยีแลบกว้างยิ่งไปใช้ในการแพทย์ [4]

2.2 ทฤษฎีที่ใช้ในการหาตำแหน่ง

2.2.1 ความแรงของสัญญาณที่รับได้ (Received Signal Strength: RSS)

เป็นพารามิเตอร์ของสัญญาณที่ใช้ในการคาดคะเนตำแหน่ง ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ แสดงให้ทราบถึงระดับของกำลังงานที่ถูกส่งออกมา ซึ่งเป็นค่าที่ไม่คงที่จึงต้องทำการบันทึกค่าพารามิเตอร์นั้นในจำนวนที่หลายๆ ครั้ง แล้วนำค่าที่บันทึกมาหาเฉลี่ย เพื่อความเที่ยงตรงสำหรับการหาตำแหน่งพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ เป็นการพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณ ซึ่งถูกลดทอนลงอันเนื่องมาจากความสัมพันธ์ของระยะทางและกำลังที่สูญเสีย หรือเรียกว่า การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) จากการประยุกต์ ของสมการ log-distance path loss model [5] ซึ่งแสดงดังสมการที่ (2.1) เป็นรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นวิทยุที่คาดการณ์ถึงการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่แพร่ออกไปในอากาศ หรือสายนำสัญญาณ

$$PL = P_{Tx} - P_{Rx} = PL_0 + 10 \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (2.1)$$

โดย PL คือ ผลรวมของค่าลดทอนที่วัดได้ (dB)
 P_{Tx} คือ กำลังงานที่ถูกส่งออก (dBm)
 P_{Rx} คือ กำลังงานที่สามารถรับได้ (dBm)
 PL_0 คือ ค่าลดทอนที่ระยะอ้างอิงที่ d_0

ด้วยการลดทอนของพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้นี้จะนำไปสู่พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณในการหาตำแหน่ง คือการแปลงค่าระยะทางจากค่าความเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสัญญาณที่ถูกปล่อยออกมาจากโหนดอ้างอิงไปยังโหนดเป้าหมาย ดังสมการที่ (2.2) และในการหาตำแหน่งจะนำค่าระยะทางที่ได้ไปใช้คำนวณในเทคนิคการหาตำแหน่งแบบต่างๆ [5] การแปลงค่าระยะทางสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ ดังสมการที่ (2.3)

$$RSS(d) = RSS(d_0) - 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (2.2)$$

$$d = d_0 \cdot 10^{\left[\frac{RSS(d) - RSS(d_0)}{10n}\right]} \quad (2.3)$$

โดย d คือ ระยะทางระหว่างโหนดเป้าหมายและโหนดอ้างอิง (เมตร)
 d_0 คือ ระยะทางที่ห่างกันแต่ละตำแหน่ง
 $RSS(d)$ คือ ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่โหนดเป้าหมาย (dB)
 $RSS(d_0)$ คือ ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่โหนดอ้างอิงที่ตำแหน่ง d_0 (dB)
 n คือ ค่าคงที่ตามสภาพที่สัญญาณส่งผ่านภายในอาคาร

2.2.2 เทคนิค Min-Max

การหาตำแหน่งด้วยเทคนิค Min-Max แสดงดังรูปที่ 2.9 โหนดเป้าหมายจะวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากโหนดอ้างอิงจากตำแหน่งตามที่วางไว้ นั่นคือตำแหน่ง x_i และ y_i เทคนิค Min-Max จึงเป็นการหาตำแหน่งแบบ 2 มิติในแนวแกน x และแกน y เป็นเทคนิคการหาตำแหน่งที่ต้องใช้สายอากาศส่งอย่างน้อย 3 อัน เพื่อให้เกิดการซ้อนทับกันของกล่องหรือขอบเขตที่ต่ำที่สุด (Minimum) และขอบเขตที่สูงที่สุด (Maximum) ระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ โดยระยะทางระหว่างโหนดเป้าหมาย และโหนดอ้างอิงสามารถคำนวณได้จากพารามิเตอร์ความแรงของสัญญาณที่รับได้ และในส่วนของ การคำนวณหาตำแหน่งที่ต้องการหรือตำแหน่งของสายอากาศรับสามารถคำนวณได้จากการนำค่าเฉลี่ยของกล่องที่ซ้อนทับกันหรือขอบเขตที่ต่ำที่สุด และขอบเขตที่สูงที่สุดในแนวแกน x และแกน y [6] โดยขอบเขตที่ต่ำที่สุดในแนวแกน x และแกน y คือ

$$(x_i - d_i, y_i - d_i) \quad (2.4)$$

และขอบเขตที่สูงที่สุดในแนวแกน x และแกน y คือ

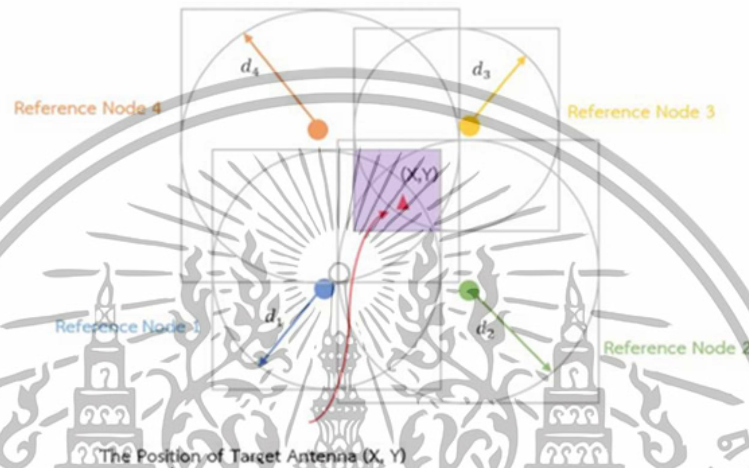
$$(x_i + d_i, y_i + d_i) \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย (x_i, y_i) คือ ตำแหน่งของโหนดอ้างอิง

d_i คือ ระยะทางระหว่างโหนดเป้าหมายและโหนดอ้างอิง (เมตร)

i คือ หมายเลขโหนดอ้างอิง โดยที่ $i = 1, 2, 3$ และ 4



รูปที่ 2.8 เทคนิคการหาตำแหน่งแบบ Min-Max [6]

จากสมการที่ (2.4) และ (2.5) นำค่าขอบเขตที่คำนวณได้มาหาค่าที่สูงที่สุดและต่ำที่สุดของพิกัดที่ต่ำที่สุด และสูงที่สุดในแกน x ดังสมการที่ (2.6) และ (2.7) และค่าสูงที่สุดและต่ำที่สุดของพิกัดต่ำที่สุด และสูงที่สุดในแกน y ดังสมการที่ (2.8) และ (2.9)

$$x_{min} = \max (x_i - d_i) \quad (2.6)$$

$$x_{max} = \min (x_i + d_i) \quad (2.7)$$

$$y_{min} = \max (y_i - d_i) \quad (2.8)$$

$$y_{max} = \min (y_i + d_i) \quad (2.9)$$

สุดท้ายสามารถนำมาคำนวณหาตำแหน่งที่ต้องการหรือตำแหน่งของสายอากาศรับ
ได้ดังสมการที่ (2.10) และ (2.11)

$$X = \frac{x_{min} + x_{max}}{2} \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y = \frac{Y_{min} + Y_{max}}{2} \quad (2.11)$$

2.2.3 การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)

เป็นอัตราส่วนระหว่างการสูญเสียของกำลังงานด้านส่งเทียบกับกำลังงานด้านรับ ซึ่งค่าการสูญเสียเชิงวิถีจะแสดงถึงระดับของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างด้านส่งและด้านรับ [5] โดยทั่วไปมักจะแสดงให้อยู่ในหน่วยของเดซิเบล แสดงดังสมการที่ (2.12)

$$PL[dB] = 20 \log \left(\frac{v_t(t)}{v_r(t)} \right) \quad (2.12)$$

โดย $V_t(t)$ คือ ระดับสัญญาณที่ใช้ส่ง
 $V_r(t)$ คือ ระดับสัญญาณที่เข้ารับ

การสูญเสียเชิงวิถีสำหรับแถบกว้างยิ่งจะพิจารณาที่กำลังงานสูงสุดของสัญญาณส่ง และสัญญาณรับแสดงดังสมการที่ (2.13)

$$PL(d)[dB] = 20 \log \left(\frac{\max|v_t(t)|}{\max|v_r(t)|} \right) \quad (2.13)$$

จากสมการที่ (2.13) กำหนดให้สัญญาณที่ส่งผ่านมีค่าเท่ากับ 1 โวลต์ ดังนั้นสามารถจัดสมการใหม่ได้ดังสมการที่ (2.14)

$$PL(d)[dB] = -20 \log(\max|v_r(t)|) \quad (2.14)$$

บทที่ 3

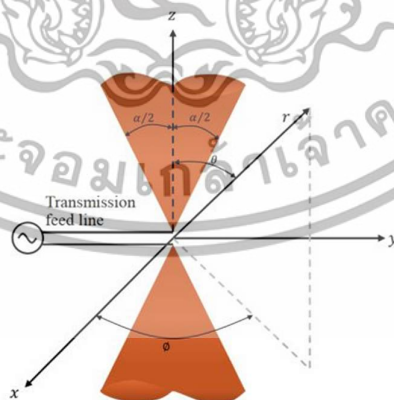
การออกแบบและการจัดทำปฏิญญาพันธ

3.1 การออกแบบและการสร้างสายอากาศกรวยคู่

3.1.1 เหตุผลที่เลือกใช้สายอากาศกรวยคู่

สายอากาศกรวยคู่เป็นสายอากาศที่มีแบนด์วิดท์กว้างมาก สามารถประยุกต์ใช้งานในระบบสื่อสารได้หลากหลายและมีรูปร่างไม่ซับซ้อน แสดงดังรูปที่ 3.1 สำหรับแบนด์วิดท์ของสายอากาศกรวยคู่นั้นเกิดจากการแปรค่ารัศมีตามแนวแกนหรือการเพิ่มค่าของมุมระหว่างกรวยทั้งสอง โครงสร้างของสายอากาศกรวยคู่จะประกอบไปด้วยกรวยสองอันจัดวางอยู่ในแนวแกนเดียวกัน โดยที่จุดยอดของกรวยทั้งสองที่บริเวณจุดกึ่งกลางของสายอากาศจะเป็นจุดบ่อนสัญญาณ หรือจุดบ่อนการแพร่กระจายของคลื่นของสายอากาศ โดยที่บริเวณจุดบ่อนนี้จะมีกระแสไหลมากที่สุดและมีแรงดันต่ำที่สุด ส่วนบริเวณปลายทั้งสองของสายอากาศจะมีแรงดันมากที่สุดและมีกระแสไหลน้อยที่สุด เหมาะสำหรับใช้ติดต่อกับเครื่องลูกข่ายที่เคลื่อนไหวอยู่ในตำแหน่งและทิศทางที่ไม่แน่นอน [8]

ข้อดีของสายอากาศกรวยคู่ คือ มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน ขนาดเล็ก และมีน้ำหนักเบา รวมถึง มีช่วงความถี่กว้างมาก สามารถแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง (Omnidirectional Antenna) สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย แต่มีข้อเสียคือ ถึงแม้สายอากาศกรวยคู่มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน แต่ในการสร้างสายอากาศนั้นมีความยุ่งยาก



รูปที่ 3.1 สายอากาศแบบกรวยคู่ [8]

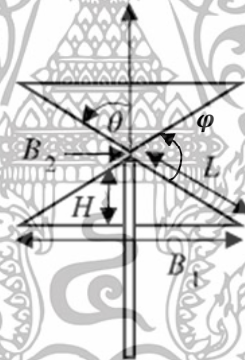
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การออกแบบและสร้างสายอากาศกรวยคู่

เริ่มจากการคำนวณโครงสร้างสายอากาศ จากนั้นวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศที่ต้องการ ถ้าคุณสมบัติของสายอากาศไม่เป็นไปตามต้องการต้องปรับปรุงสายอากาศใหม่ ถ้าคุณสมบัติของสายอากาศเป็นไปตามที่ต้องการสามารถสร้างสายอากาศตามที่ได้ออกแบบไว้ [9]

3.1.2.1 การคำนวณโครงสร้างสายอากาศกรวยคู่

ในการออกแบบสายอากาศกรวยคู่ต้องมีการกำหนด หรือคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องใช้ จากนั้นจึงทำการออกแบบสายอากาศกรวยคู่ โดย B_1 คือเส้นผ่านศูนย์กลางของกรวย B_2 คือเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านในสุดของสัญญาณ H คือความสูงของกรวย L คือความสูงเอียงของกรวย φ คือมุมระหว่างกรวยทั้งสอง θ คือมุมของกรวย โดยคำนวณจาก $\theta = \frac{180-\varphi}{2}$ ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณโครงสร้างสายอากาศ แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โครงสร้างสายอากาศกรวยคู่ [9]

ขั้นตอนการคำนวณโครงสร้างสายอากาศ

1) การกำหนดช่วงความถี่ที่ใช้งาน เนื่องจากสายอากาศกรวยคู่เป็นสายอากาศที่มีแถบความถี่กว้าง จึงต้องกำหนดช่วงความถี่ที่ใช้งานให้เหมาะสม โดยการออกแบบสายอากาศกรวยคู่ในงานนี้ใช้ความถี่ตั้งแต่ 3.1 กิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) กำหนดให้ B_2 มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านในสุดของสาย Semi-Rigid มีค่าเท่ากับ 0.615 มิลลิเมตร จึงกำหนดค่า B_2 เท่ากับ 0.8 มิลลิเมตร กำหนดให้มีค่ามากกว่า เพื่อเผื่อพื้นที่ในการบัดกรี

3) กำหนดมุมระหว่างกรวยทั้งสอง (φ) เท่ากับ 60° ดังนั้น φ จึงมีค่าเท่ากับ 60°

4) กำหนดระยะห่างระหว่างกรวยเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร

5) คำนวณหาความสูงของสายอากาศ โดยใช้ความรู้เรื่องสายอากาศไดโพลเต็มความยาวคลื่น (Full Wave Dipole) ในการคำนวณความสูงของกรวยดังสมการที่ (3.1)

$$H = \frac{\lambda_0}{2} = \frac{C}{2f_0} \quad (3.1)$$

$$H = \frac{3 \times 10^8 / 6.85 \times 10^9}{2} = 0.02190 \text{ m}$$

โดย λ_0 คือ ความยาวคลื่นความถี่กลาง (เมตร)

C คือ ความเร็วแสง (เมตรต่อวินาที)

f_0 คือ ความถี่กลาง (เฮิรตซ์)

6) คำนวณหาความสูงเอียงของกรวย (L) ดังสมการที่ (3.2) โดย θ เท่ากับ 60°

$$\cos \theta = \frac{H}{L} \quad (3.2)$$

$$L = \frac{H}{\cos \theta}$$

$$L = \frac{0.02190}{\cos(60^\circ)} = 0.04379 \text{ m.}$$

7) คำนวณหาความยาวรัศมีของด้าน B_1 ดังสมการที่ (3.3) โดย θ เท่ากับ 60°

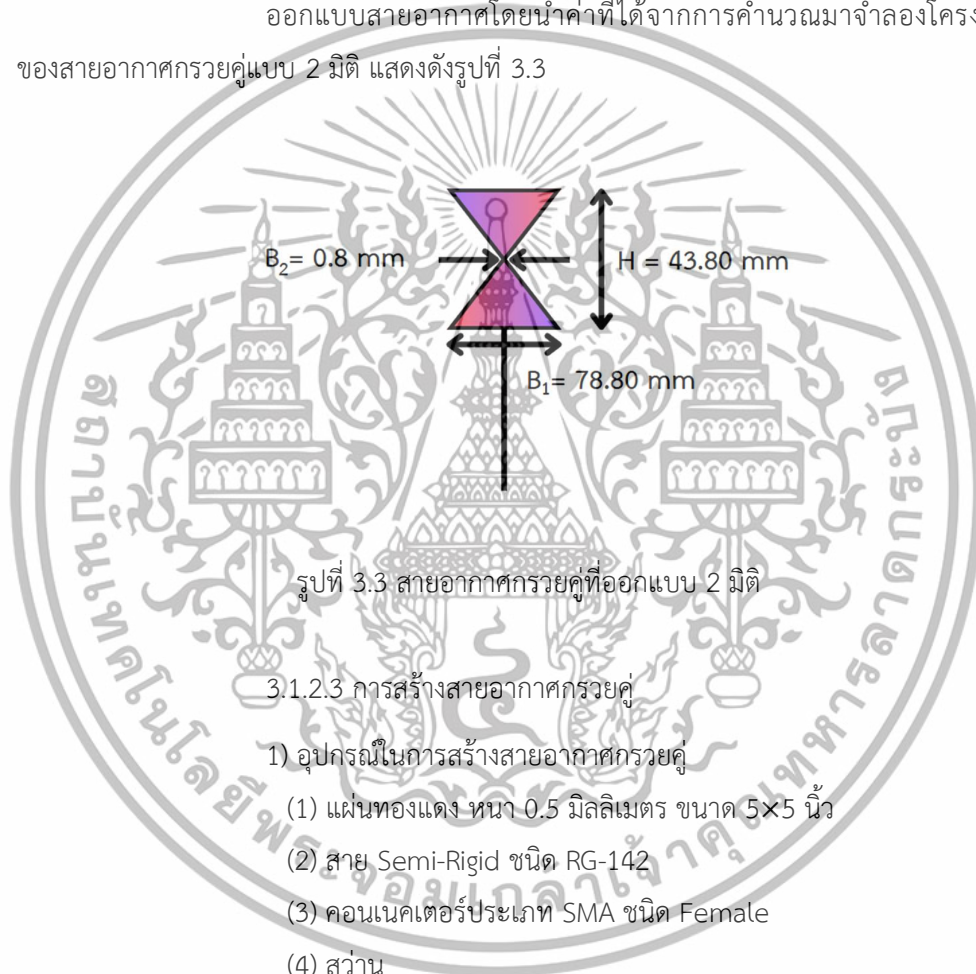
$$\sin \theta = \frac{B_1/2}{L} \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{B_1}{2} = L \times \sin \theta \times 2$$

$$\frac{B_1}{2} = 0.04379 \times \sin(60^\circ) = 0.03792 \text{ m.}$$

3.1.2.2 การออกแบบสายอากาศกรวยคู่
ออกแบบสายอากาศโดยนำค่าที่ได้จากการคำนวณมาจำลองโครงสร้าง
ของสายอากาศกรวยคู่แบบ 2 มิติ แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 สายอากาศกรวยคู่ที่ออกแบบ 2 มิติ

3.1.2.3 การสร้างสายอากาศกรวยคู่

1) อุปกรณ์ในการสร้างสายอากาศกรวยคู่

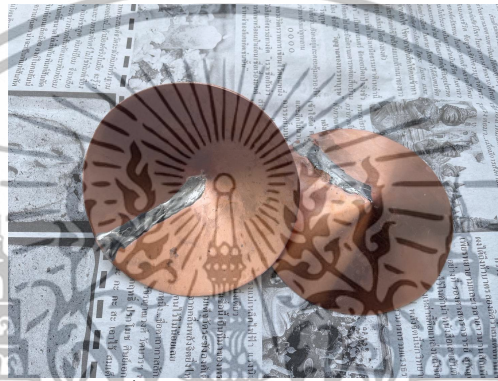
- (1) แผ่นทองแดง หนา 0.5 มิลลิเมตร ขนาด 5×5 นิ้ว
- (2) สาย Semi-Rigid ชนิด RG-142
- (3) คอนเนคเตอร์ประเภท SMA ชนิด Female
- (4) สว่าน
- (5) หัวแร้ง ตะกั่ว และน้ำยาประสานสำหรับบัดกรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ขั้นตอนในการสร้างสายอากาศกรวยคู่

(1) กลึงแผ่นทองแดงเป็นทรงกรวย

นำแผ่นทองแดงที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร มาผ่านกระบวนการตัดและกลึงโลหะให้แผ่นทองแดงเป็นทรงกรวยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 65.34 มิลลิเมตร และความยาวของกรวยรวมกันเท่ากับ 37 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผ่นทองแดงทรงกรวย

(2) ปอกสาย Semi-Rigid ชนิด RG-142

นำสาย Semi-Rigid ที่มีความยาว 5 เซนติเมตร มาปอกให้ได้ดังรูปทั้งสองด้าน เพื่อนำด้านหนึ่งไปบัดกรีเข้ากับแผ่นทองแดงทรงกรวย และอีกด้านหนึ่งนำไปเชื่อมกับคอนเนคเตอร์ประเภท SMA ชนิด Female แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 สาย Semi-Rigid ที่ปอกเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) เจาะรูตรงกลางแผ่นทองแดงทรงกรวย

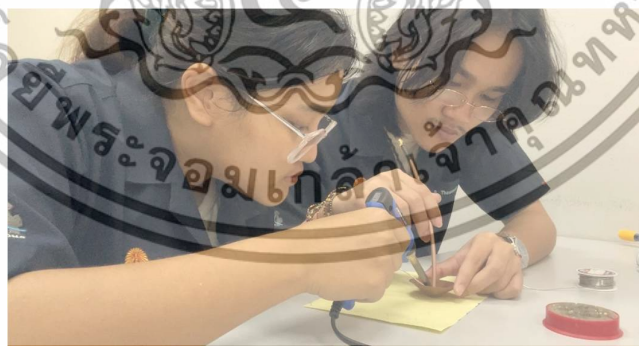
นำแผ่นทองแดงที่ทำการกลึงเป็นทรงกรวยมาเจาะรูที่จุดศูนย์กลางที่มีขนาด 0.8 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เจาะรูตรงกลางแผ่นทองแดงทรงกรวย

(4) เชื่อมสาย Semi-Rigid กับแผ่นทองแดงทรงกรวย

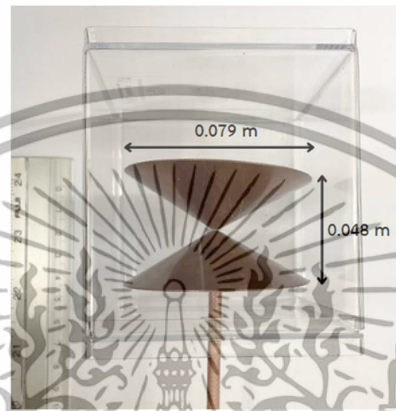
นำขนาดของสาย Semi-Rigid ที่ผ่านการเชื่อมต่อกับคอนเนคเตอร์มาเชื่อมต่อกับแผ่นทองแดงทรงกรวยโดยการบัดกรี แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เชื่อมสาย Semi-Rigid กับแผ่นทองแดงทรงกรวย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) บัดกรีแผ่นทองแดงทรงกรวยเข้ากับสาย Semi-Rigid
นำแผ่นทองแดงทรงกรวยอีกแผ่นมาบัดกรีเข้ากับแกนด้านในสุดของสาย
Semi-Rigid ซึ่งจะได้สายอากาศกรวยคู่ที่สมบูรณ์ แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 สายอากาศกรวยคู่ที่สร้างในภาคการศึกษาที่ 1

3.1.2.4 แก้ไขสายอากาศกรวยคู่

สายอากาศกรวยคู่ที่สร้างขึ้นในภาคการศึกษาที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.8 จากการทดสอบคุณสมบัติสายอากาศพบว่า ในช่วงความถี่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีค่าสูงกว่า -10 เดซิเบล ซึ่งสาเหตุที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีความคลาดเคลื่อน อาจเป็นเพราะขั้นตอนระหว่างการสร้างสายอากาศ เช่น การทำแผ่นทองแดงให้เป็นทรงกรวย การบัดกรี และค่าความสูญเสียจากการเชื่อมต่อ เป็นต้น ดังนั้นในภาคการศึกษาที่ 2 ได้ดำเนินการแก้ไขสายอากาศกรวยคู่ แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 สายอากาศกรวยคู่ที่สร้างในภาคการศึกษาที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

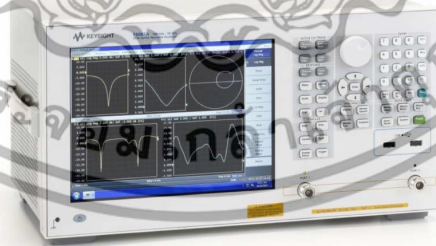
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์การทดลอง

- | | |
|--|-----------------|
| 1. เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ | จำนวน 1 เครื่อง |
| 2. สายอากาศกรวยคู่ | จำนวน 2 ตัว |
| 3. สายส่งสัญญาณ Semi-Rigid ชนิด RG-142 | จำนวน 2 สาย |
| 4. ชุดอุปกรณ์ปรับเทียบ | จำนวน 1 ชุด |
| 5. เสารองรับสำหรับปรับความสูงสายอากาศ | จำนวน 2 ตัว |

3.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer: VNA)

เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ รุ่น E5063A แสดงดังรูปที่ 3.10 เป็นรูปแบบหนึ่งของตัววิเคราะห์โครงข่ายความถี่วิทยุ (Radio-Frequency: RF) ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับใช้วัดคุณสมบัติของสัญญาณ โดยสามารถวัดได้ทั้งขนาดของสัญญาณ (Amplitude) และมุม (Phase) เช่น สายอากาศ ตัวกรอง สายเคเบิล หรือตัวเชื่อมต่อขนาด 18 กิกะเฮิรตซ์ เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ รุ่น E5063A มีการใช้งานวัดส่วนประกอบที่หลากหลายด้วยชุดทดสอบพารามิเตอร์ S แบบ 2 พอร์ต 50 โอห์ม, สดความซับซ้อนของการออกแบบ PCB, เพิ่มประสิทธิภาพด้วยกรอบการวัดที่สม่ำเสมอ และอัปเดตตัวเลือกได้ตลอดเวลา [10]

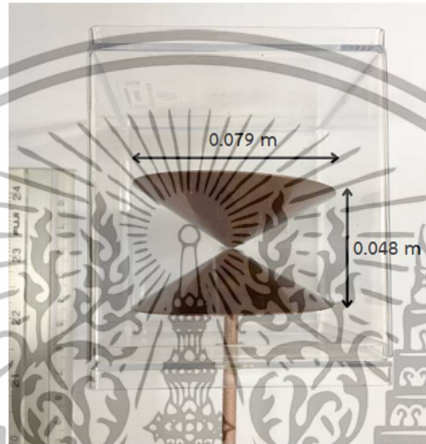


รูปที่ 3.10 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ รุ่น E5063A [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 สายอากาศกรวยคู่ (Biconical Antenna)

โดยแผ่นทองแดงมีความหนา 0.005 เมตร ที่ผ่านกระบวนการกลึงโลหะ ให้แผ่นทองแดง เป็นทรงกรวยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.079 เมตร และมีความยาวของกรวยรวมกัน 0.048 เมตร แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 โครงสร้างและขนาดสายอากาศกรวยคู่

3.2.3 สายส่งสัญญาณ Semi-Rigid ชนิด RG-142

สาย Semi-Rigid เป็นสายส่งสัญญาณที่มีอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 สายส่งสัญญาณ Semi-Rigid ชนิด RG-142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ชุดอุปกรณ์ปรับเทียบ (Calibration Kit)

เป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้เปรียบเทียบค่าที่ได้จากเครื่องมือกับค่ามาตรฐาน ใช้สำหรับกำจัดสัญญาณรบกวนในสายนำสัญญาณที่สูญเสียต่ำแบบเซมิริจิดก่อนเริ่มการทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วย ฟังก์ชันต่อ Open ขั้วต่อ Short และขั้วต่อ Load การปรับเทียบเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่ายกับสายนำสัญญาณ ยังคงมีประสิทธิภาพทราบเท่าที่ความผิดพลาดของระบบไม่ได้เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงทิศทาง การรบกวนไม่ตรงกัน การจับคู่โหลด และการตอบสนองความถี่ของระบบ (<10%) เมื่อเทียบกับข้อกำหนดด้านความแม่นยำ (OSLT = Open + Short + 50 โอห์ม termination Load + Through Adaptor) [11] แสดงดังรูปที่ 3.13

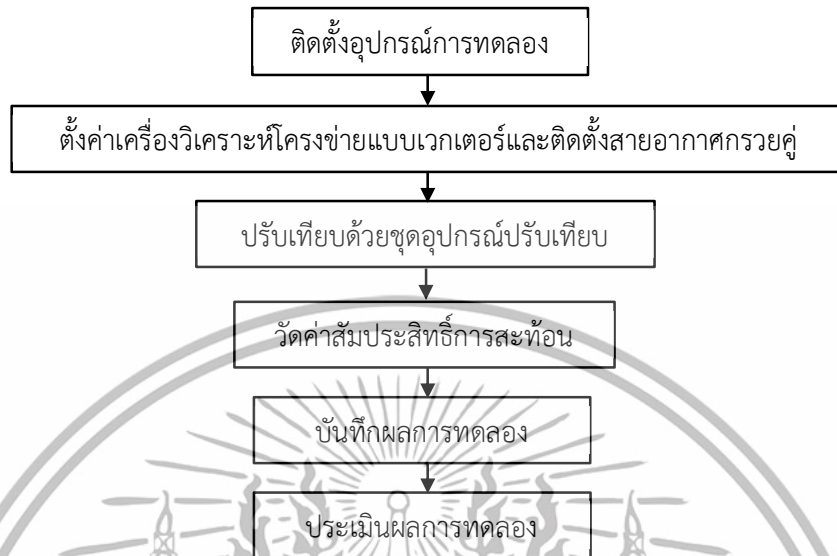


รูปที่ 3.13 อุปกรณ์ปรับเทียบ [11]

3.3 การทดลองวัดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศกรวยคู่

3.3.1 การทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$

ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ เป็นค่าพารามิเตอร์ที่บ่งบอกว่าสายอากาศกรวยคู่สามารถนำไปใช้งานได้จริงหรือไม่ โดยพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ จะทำให้รู้ว่าที่ความถี่ที่ใช้งานนั้นสายอากาศมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนต่ำกว่า -10 เดซิเบลลงไปยังสายอากาศนั้นจึงสามารถนำไปใช้งานได้ แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 บล็อกไดอะแกรมการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศกรวยคู่

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศกรวยคู่

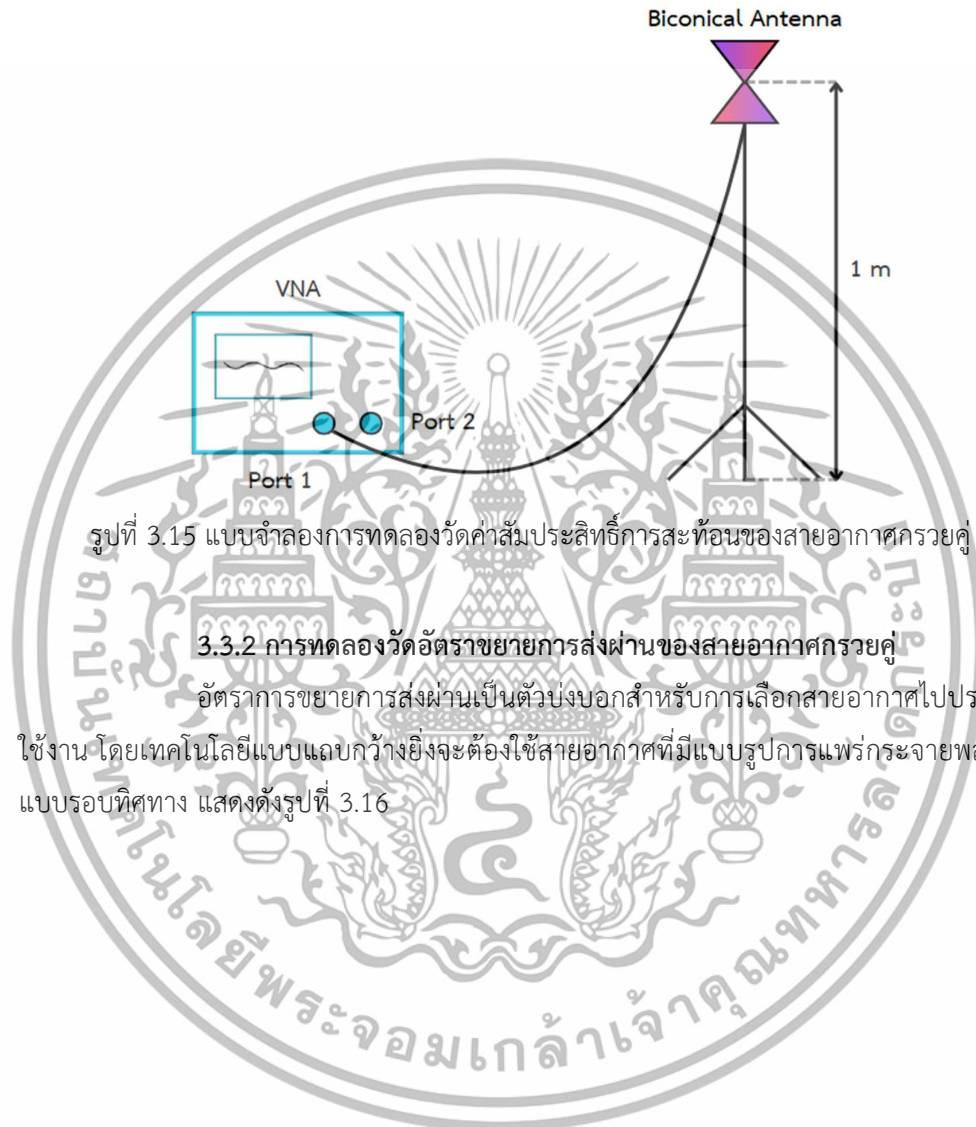
พารามิเตอร์	เงื่อนไขในการทดลอง
ช่วงความถี่	3.0 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 11.0 กิกะเฮิรตซ์
ประเภทสายอากาศ	สายอากาศกรวยคู่
ความสูงของสายอากาศส่ง-รับ	1 เมตร

ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ตั้งค่าเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ โดยกำหนดความถี่ที่ต้องการทดสอบกำลังส่งและจำนวนจุดความถี่
- 2) เริ่มตั้งค่าเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ เลือก Preset-OK > Calibration > Calibrate > 1-Port Cal จากนั้นเลือก Select Port 1 ต่อหัว Open เข้ากับสายนำสัญญาณ กด Open แล้วถอดหัว Open ออก ต่อหัว Short เข้ากับสายนำสัญญาณ กด Short แล้วถอดหัว Short ออก และต่อหัว Load เข้ากับสายนำสัญญาณ กด Load จากนั้นกด Done
- 3) ติดตั้งสายอากาศกรวยคู่เข้ากับสายนำสัญญาณที่ทำการปรับเทียบแล้ว ดังรูปที่ 3.15
- 4) เลือกฟังก์ชันการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศ $|S_{11}|$ จากนั้นบันทึกผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ใช้โปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์และประเมินผล



รูปที่ 3.15 แบบจำลองการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศกรวยคู่

3.3.2 การทดลองวัดอัตราขยายการส่งผ่านของสายอากาศกรวยคู่

อัตราขยายการส่งผ่านเป็นตัวบ่งบอกสำหรับการเลือกสายอากาศไปประยุกต์ใช้งาน โดยเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งจะต้องใช้สายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายพลังงานแบบรอบทิศทาง แสดงดังรูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 บล็อกไดอะแกรมการทดลองวัดอัตราขยายการส่งผ่านของสายอากาศกรวยคู่
ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดอัตราขยายการส่งผ่านของสายอากาศกรวยคู่

พารามิเตอร์	เงื่อนไขในการทดลอง
ช่วงความถี่	3.0 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 11.0 กิกะเฮิรตซ์
ประเภทสายอากาศ	สายอากาศกรวยคู่
ความสูงของสายอากาศส่ง-รับ	1 เมตร
ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่ง-รับ	2 เมตร
การหมุนสายอากาศ	0 องศา ถึง 360 องศา
การหมุนสายอากาศต่อครั้ง	10 องศา

ขั้นตอนการทดลอง

1) เริ่มตั้งค่าเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ เลือก Preset-OK > Calibration > Calibrate > 2-Port Cal (เพื่อวัดทั้งสองสาย) > Reflection สาย 1 กด Port1 Open จากนั้นกดหัว open ออกแล้วใส่หัว short แล้วกด Port1 short นำหัว short ออก แล้วต่อหัว Load กด Port1 Load จากนั้นทำซ้ำอีกครั้งโดยเลือก Port2 เสร็จแล้ว กด Return

2) เลือก Transmission นำหัวเชื่อมต่อเข้าที่ Port1 และ Port2 เพื่อเชื่อมต่อทั้งสองสายสัญญาณเข้าด้วยกัน จากนั้นกด Port 1-2 Thru แล้วถอดสายออก จากนั้นกด Done

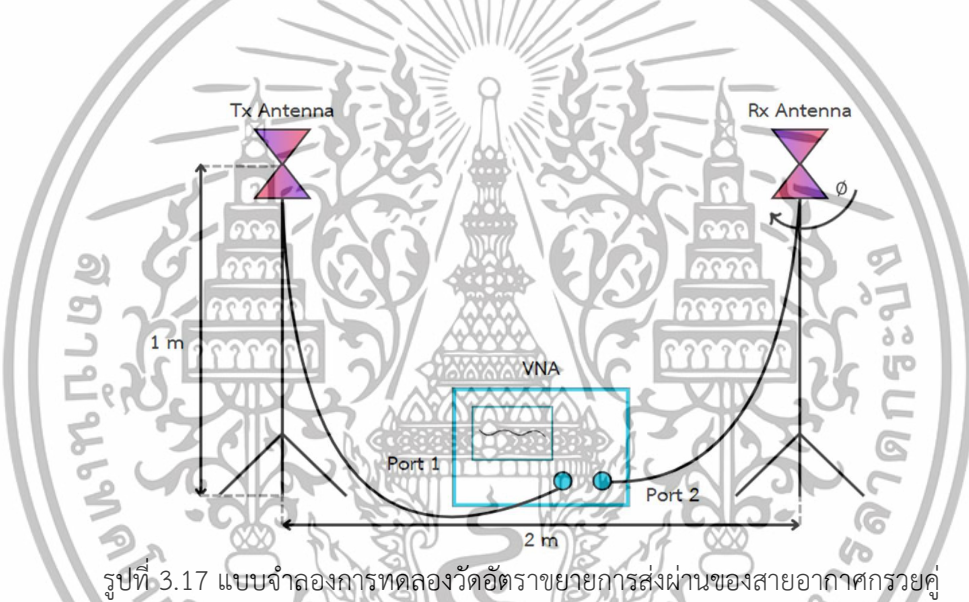
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.17 ประกอบด้วยสายอากาศส่ง และสายอากาศรับ ซึ่งเป็นสายอากาศที่ต้องการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Antenna Under Test: AUT) เพื่อทำการหมุนสายอากาศ

4) วัดการแพร่กระจายพลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) ตั้งค่ากำหนดความถี่เริ่มต้นที่ 3.1 กิกะเฮิร์ตซ์ และความถี่สุดท้ายที่ 10.6 กิกะเฮิร์ตซ์ แล้วบันทึกค่าทุกอย่างของการหมุน θ ของสายอากาศรับ (ตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา) โดยหมุนสายอากาศแบบกรวยคู่วัดที่ละ 10 องศา

5) วัดการแพร่กระจายพลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) ตามข้อที่ 4

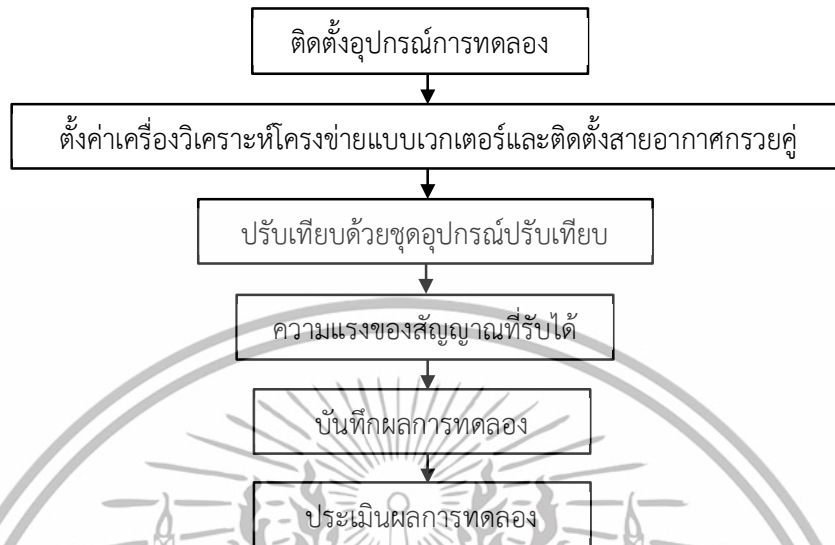
6) ใช้โปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์และประเมินผล



3.4 การทดลองวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับของสายอากาศกรวยคู่

3.4.1 วิธีการทดสอบวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้ของสายอากาศกรวยคู่

นำสายอากาศกรวยคู่ที่ผ่านขั้นตอนการทำสำเร็จแล้วมาทดสอบวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้ เพื่อให้ทราบว่าสามารถใช้งานได้หรือไม่ แสดงดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 บล็อกไดอะแกรมการทดลองวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้ของสายอากาศกรวยคู่

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้ของสายอากาศกรวยคู่

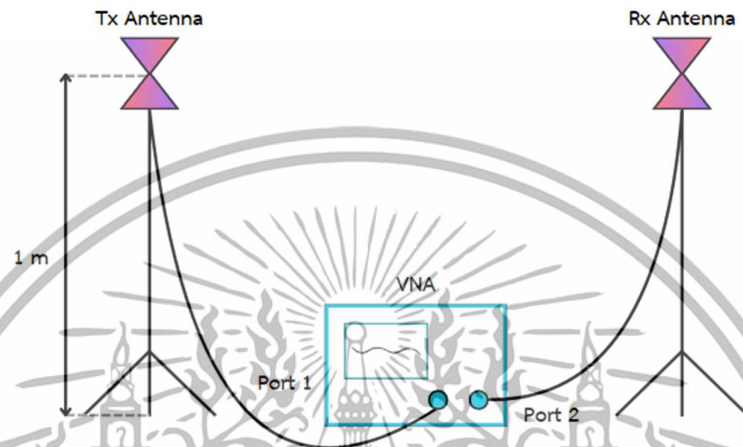
พารามิเตอร์	เงื่อนไขในการทดลอง
ช่วงความถี่	3.0 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 11.0 กิกะเฮิรตซ์
ประเภทสายอากาศ	สายอากาศกรวยคู่
จำนวนจุดที่ใช้ในการทดลองต่อ 1 Tx	4 จุด
จำนวนจุดที่ใช้ทดลองทั้งหมด	81 จุด
จำนวนจุดความถี่	801 จุด
ช่วงของกำลังของสัญญาณ	80 เดซิเบล
ความสูงของสายอากาศส่ง-รับ	1 เมตร

ขั้นตอนการทดลอง

- 1) เปรียบเทียบอุปกรณ์ในการทดลองสายอากาศกรวยคู่ก่อนเชื่อมต่อสายอากาศกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์
- 2) ติดตั้งสายอากาศกรวยคู่เข้ากับเสาตั้งรูปที่ 3.19 โดยให้อยู่บนแท่นหมุนและทำการเชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่างขั้วของสายอากาศรับเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์
- 3) ปรับทิศทางของสายอากาศรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ติดตั้งสายอากาศส่งในแนวแกนที่ต้องการทดลองและทำการเชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่างหัวของสายอากาศส่งเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

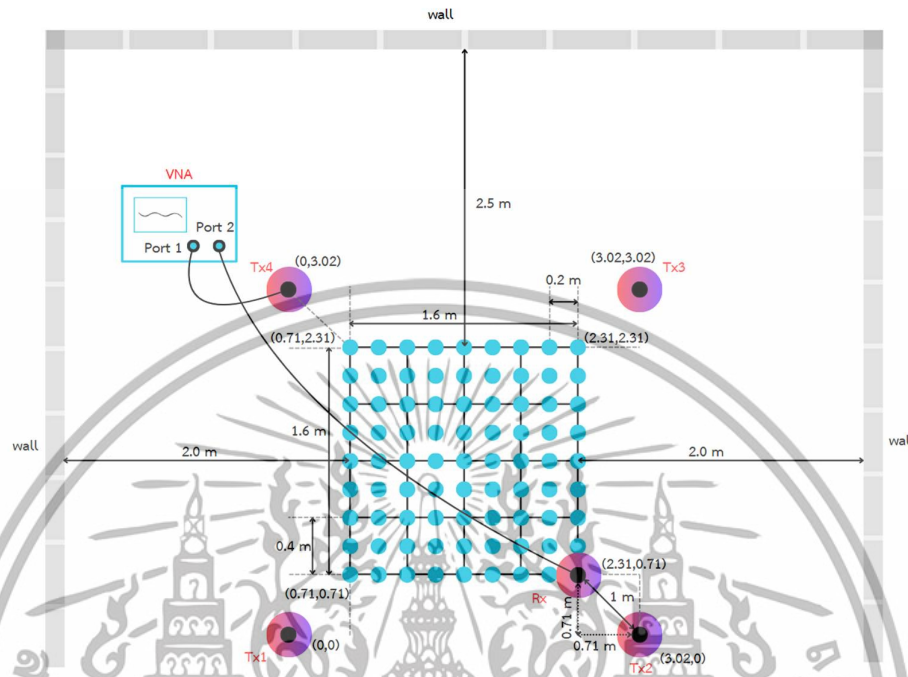


รูปที่ 3.19 แบบจำลองการทดลองวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้ของสายอากาศกรวยคู่

3.4.2 แบบจำลองการหาตำแหน่งภายในอาคาร

การออกแบบวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้จากแบบจำลองการหาตำแหน่งภายในอาคาร โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.3 มาพิจารณาในการออกแบบจำลองดังรูปที่ 3.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 แบบจำลองการหาตำแหน่งภายในอาคาร

จากรูปที่ 3.20 แบบจำลองการหาตำแหน่งนี้ได้นำเสนอการออกแบบจำลองสำหรับการหาตำแหน่งแบบแถบกว้างยิ่งสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร โดยการวางสายอากาศรับไว้ที่จุดที่ทำการทดสอบ จากนั้นทำการทดลองวัดโดยการเคลื่อนสายอากาศรับให้ครบทั้งหมด 81 ตำแหน่งต่อสายอากาศส่ง ซึ่งในแต่ละจุดห่างกันในแนวแกน x และ y เป็นระยะทาง 0.20 เมตร ในการหาตำแหน่งภายในอาคาร จะทำการบันทึกค่าทั้งหมด 3 ครั้งต่อตำแหน่งของสายอากาศรับ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โคจรข่ายเวกเตอร์ สำหรับการทดสอบเป็นสายอากาศกรวยคู่ทั้งด้านส่งและด้านรับ โดยที่พอร์ต 1 ถูกเชื่อมต่อเข้ากับสายอากาศส่งด้วยสายนำสัญญาณที่ระดับความสูงของสายอากาศ 1 เมตร และพอร์ต 2 เชื่อมต่อกับสายอากาศรับด้วยสายนำสัญญาณที่ระดับความสูงของสายอากาศ 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 แบบจำลองการหาตำแหน่งภายในอาคารในรูปแบบ 3 มิติ (3D)



รูปที่ 3.21 แบบจำลองการวัดหาตำแหน่งในรูปแบบ 3 มิติ (3D)

3.4.4 สถานที่ที่ใช้ในการทดสอบวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง ทดลองวัดที่ห้องใต้อาคารบี แสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 สถานที่ใช้จำลองการวัดช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 สูตรการส่งผ่านสัญญาณฟรีส (Friis' Transmission Formula)

ถูกเสนอขึ้นครั้งแรกโดยวิศวกรไฟฟ้าชาวเดนมาร์ค แฮร์ลด์ตัก ฟรีส ใช้สำหรับอธิบาย การเชื่อมโยงในระบบการสื่อสารแบบไร้สาย โดยสัญญาณจากสายอากาศส่งจะถูกส่งผ่านอากาศ ไปยังสายอากาศรับ การส่งคลื่นสัญญาณผ่านอวกาศว่างนั้นมักจะนิยมให้ค่าสูญเสียเชิงวิถีในอวกาศ ว่าง [12],[13],[14] ซึ่งมีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อกำลังงาน ของสัญญาณที่ถูกส่งออก แสดงดังสมการที่ (3.4)

$$G_{Friis}(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_f(f)G_r(f)G_t(f) \quad (3.4)$$

โดย $G_{Friis}(f)$ คือ อัตราการขยายของฟรีส

$P_r(f)$ คือ กำลังของสัญญาณด้านรับในรูปของกำลังงาน

$P_t(f)$ คือ กำลังของสัญญาณด้านส่งในรูปของกำลังงาน

$G_f(f)$ คือ อัตราการขยายของช่องสัญญาณในอวกาศว่าง

$G_r(f)$ คือ อัตราการขยายของสัญญาณด้านรับ

$G_t(f)$ คือ อัตราการขยายของสัญญาณด้านส่ง

ซึ่งเขียนในรูปแบบของฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณคือ

$$H_{Friis}(f) = H_c(f) \cdot H_r(f) \cdot H_t(f) \quad (3.5)$$

สามารถคำนวณหาฟังก์ชันการส่งผ่านช่องสัญญาณ โดยพิจารณาจากสมการที่ (3.6)

ซึ่งมีนิยามดังสมการที่ (3.7) เป็นการเขียนให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศ

$$H_{Friis}(f) = \frac{v_r(f)}{v_t(f)} = H_c(f) \cdot H_r(f) \cdot H_t(f) \quad (3.6)$$

โดย $v_r(f)$ คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณรับ

$v_t(f)$ คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณส่ง

$H_c(f)$ คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านช่องสัญญาณ

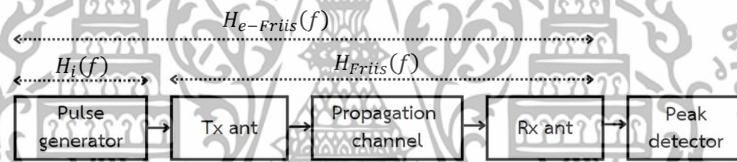
$H_r(f)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศรับ

$H_t(f)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ทฤษฎีการประยุกต์สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีส สำหรับการส่งผ่านเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง (Extension of Friis' Transmission Formula for UWB)

ในระบบแถบกว้างยิ่งการวิเคราะห์ระบบการสื่อสารไร้สาย นิยมที่จะใช้สมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis' Transmission Formula) ในการวิเคราะห์ แต่ไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงกับการส่งสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง โดยในสมการนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องของความถี่ แต่อย่างไรก็ตามรูปร่างของสัญญาณที่ส่งไปนั้นอาจจะผิดเพี้ยนไป เนื่องจากคุณสมบัติในการตอบสนองความถี่ของสายอากาศ จึงได้มีการขยายสมการของฟรีส (Extension Of Friis' Transmission Formula) [12] ที่เขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชันการส่งผ่านของวงจรกรองกำเนิดพัลส์ (Pulse generator filter, H_t) เพื่อวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนของสัญญาณได้ดังนี้



รูปที่ 3.23 บล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งสัญญาณที่ได้มีการขยายจากสมการการส่งผ่านของฟรีสและใช้วงจรกรองแบบแมตซ์ทางด้านรับ [12]

จึงได้นำมาประยุกต์สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีส สำหรับการส่งผ่านเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งได้ดังสมการที่ (3.7)

$$H_{e-Friis}(f) = \frac{V_r(f)}{V_t(f)} = H_c(f) \cdot H_r(f) \cdot H_t(f) \quad (3.7)$$

โดย $V_r(f)$ คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณรับ

$V_t(f)$ คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณส่ง

$H_c(f)$ คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านช่องสัญญาณ

$H_r(f)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศรับ

$H_t(f)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 สัญญาณส่งแบบแถบกว้างยิ่ง

รูปคลื่นสัญญาณส่งแบบแถบกว้างยิ่งที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์สามารถใช้ในการทดสอบความเพี้ยนของรูปคลื่นสัญญาณการรับของระบบการส่งผ่านแบบแถบกว้างได้ แต่ผลของความผิดเพี้ยนของสัญญาณรูปคลื่นนั้นจะเห็นได้ชัดเจนมาก เมื่อความกว้างของแถบความถี่นั้นกว้างขึ้น ดังนั้นจะพิจารณาตลอดช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งที่กำหนดขึ้นโดยคณะกรรมการกลางกำกับดูแลกิจการสื่อสาร โดยใช้รูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคซายน์ (Root Raised Cosine Waveform) มีช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ มีความถี่ศูนย์กลางเท่ากับ 6.85 กิกะเฮิรตซ์ และสเปกตรัมแบนด์วิดท์ เท่ากับ 6.37 กิกะเฮิรตซ์ [15] พึ่งก็ขึ้นความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นแบบแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคซายน์ แสดงดังสมการที่ (3.11) และ (3.12) ตามลำดับ

$$V_t(f) = \begin{cases} 1, & |f| - f_c \leq \frac{(1-\beta)}{2T} \\ A, & \frac{(1-\beta)}{2T} < |f| - f_c \leq \frac{(1+\beta)}{2T} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.11)$$

เมื่อ

$$A = \sqrt{\frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\frac{\pi T}{\beta} \left[|f| - f_c - \frac{(1-\beta)}{2T} \right] \right) \right]} \quad (3.12)$$

โดย

$$T = \frac{1}{f_b}$$

$$f_b$$

$$f_c$$

$$\beta = 0.3$$

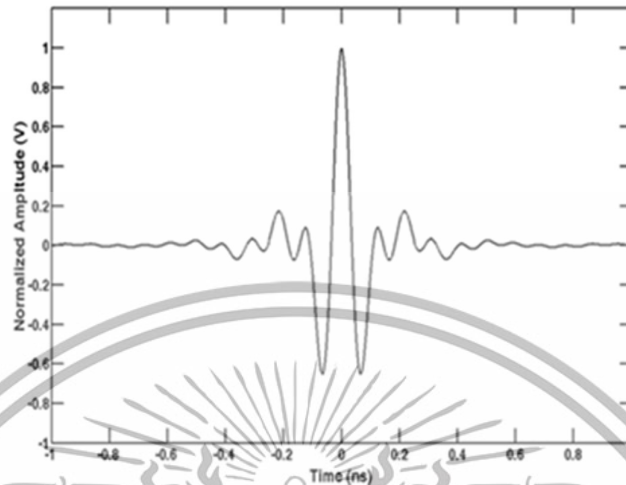
คือ ส่วนกลับของอัตราสัญลักษณ์

คือ สเปกตรัมแบนด์วิดท์

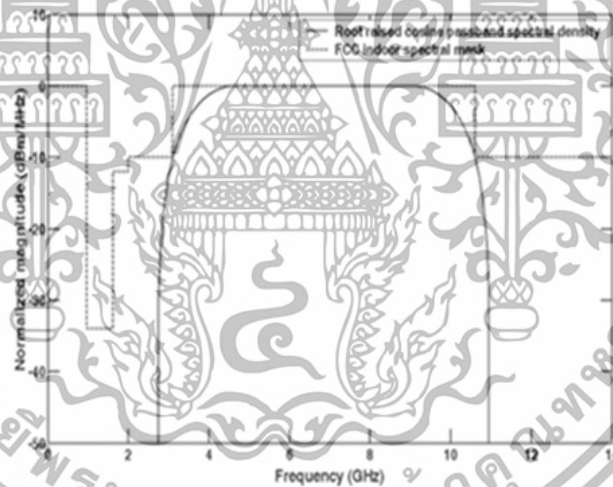
คือ ความถี่ศูนย์กลาง

คือ ตัวประกอบโรลล์ออฟ (Roll-off Factor)

รูปที่ 3.24 แสดงถึงรูปคลื่นสัญญาณที่ใช้โดเมนเวลา โดยแกน x แสดงถึงค่าของเวลา และแกน y แสดงถึงขนาดของแอมพลิจูดที่ใช้ในการส่งผ่านระบบแถบกว้างยิ่งมีค่าเท่ากับ 1 โวลต์ รูปที่ 3.24 แสดงถึงความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของรูปคลื่นที่ใช้ในการส่งผ่านระบบแถบกว้างยิ่งในโดเมนความถี่ โดยมีแกน x แสดงถึงค่าความถี่ และแกน y แสดงถึงค่าความหนาแน่นสเปกตรัมในหน่วยของ dBm/MHz



รูปที่ 3.24 รูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของรหัสโคซายนที่ถูกรบกวนในโดเมนเวลา
ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ [15]



รูปที่ 3.25 ความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของรหัสโคซายนในโดเมนความถี่
ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ [15]

3.8 สัญญาณที่รับได้

สำหรับสัญญาณที่รับได้ในโดเมนความถี่หรือความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณ
ที่รับได้นั้นสามารถวิเคราะห์ได้จากการนำฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณส่งคุณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณ สัญญาณที่รับได้ในโดเมนความถี่หรือความหนาแน่นของสเปกตรัมของสัญญาณที่รับได้ [16] แสดงดังสมการที่ (3.13)

$$v_r(f) = v_t(f) \cdot H_c(f) \quad (3.13)$$

โดย $v_r(f)$ คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณรับ
 $v_t(f)$ คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณส่ง
 $H_c(f)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด

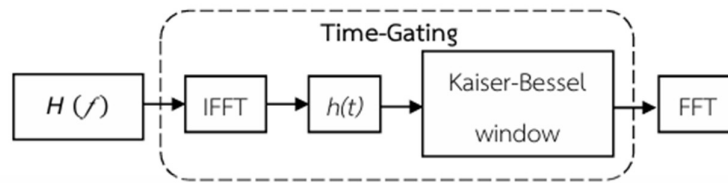
สำหรับสัญญาณที่รับได้ในโดเมนเวลานั้น สามารถหาได้โดยใช้การแปลงฟูริเยร์ย้อนกลับ (Inverse Fourier Transform) ของความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณที่รับได้ในโดเมนเวลา $V_r(t)$ [16] แสดงดังสมการที่ (3.14)

$$V_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(f) e^{j2\pi ft} df \quad (3.14)$$

3.9 เทคนิคการเกิดเวลา (Time-Gating Technique)

การเกิดเวลาเป็นวิธีการลดการรบกวนหลายวิธี และเป็นการวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนเวลา โดยการใช้วินโดว์คูณกับสัญญาณในโดเมนเวลา เพื่อเป็นการกำหนดช่วงเวลาที่ทำให้สัญญาณมีค่าประมาณเท่าเดิม และช่วงเวลาที่ทำให้สัญญาณมีค่าประมาณเป็นศูนย์ แต่การใช้วินโดว์จะทำให้เกิดค่าผิดพลาดของสัญญาณในช่วงเวลาที่ต้องการขึ้น โดยวินโดว์พื้นฐานมีหลายชนิด เช่น วินโดว์สี่เหลี่ยม (Rectangular Window) วินโดว์บาร์เลทท์ (Barlett Window) วินโดว์แฮมมิง (Hamming Window) วินโดว์ฮานนิง (Hanning Window) และวินโดว์แบลคแมน (Blackman Window) จะต้องใช้ความยาวของวินโดว์มาก และอันดับวินโดว์สูง วินโดว์ที่ทำให้เกิดค่าผิดพลาดน้อยจะต้องมีคุณสมบัติในโดเมนความถี่คือ โลบหลักจะต้องแคบและมีความชันมาก โลบข้างจะต้องมีระดับต่ำ เพื่อที่จะให้ได้คุณสมบัติเหล่านี้ จะต้องใช้วินโดว์ทรงคล้ายทรงกลมแบนข้าง แต่วินโดว์ชนิดนี้มีข้อเสียคือมีความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์มาก ซึ่งวินโดว์ไคเซอร์-เบสเซล (Kaiser-Bessel Window) เป็นวินโดว์ที่ประมาณมาจากวินโดว์ทรงคล้ายทรงกลมแบนข้างให้อยู่ในทอมทางคณิตศาสตร์ที่ง่ายขึ้น แล้วยังคงคุณสมบัติที่ทำให้เกิดค่าผิดพลาดน้อย ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกใช้วินโดว์ไคเซอร์-เบสเซลในการศึกษา [15] โดยแสดงบล็อกไดอะแกรมเทคนิคการเกิดเวลา ดังรูปที่ 3.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 บล็อกไดอะแกรมของเทคนิคการเกตเวลา [15]

การเกตเวลาเป็นวิธีการลดการรบกวนหลายวิธีและเพิ่มความแม่นยำในการวัด ซึ่งฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับไม่สามารถกำจัดได้โดยตรงในโดเมนความถี่ จึงจำเป็นต้องใช้การแปลงฟูริเยร์เพื่อแปลงให้อยู่ในโดเมนเวลา ก่อน ดังนั้นจึงนำมาใช้ในการวัดสัญญาณ โดยทำเทคนิคการเกตเวลามาประยุกต์ใช้ลดผลกระทบของการเชื่อมต่อร่วมระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับในโดเมนเวลา เมื่อวินโดว์โคเชอร์-เบสเซล $w(t)$ [15] แสดงดังสมการที่ (3.15)

$$w(t) = \begin{cases} I_0\left(\pi\alpha \sqrt{1 - \left\{\frac{2[t - t_p]}{T}\right\}^2}\right), & t_p - \frac{T}{2} \leq t \leq t_p + \frac{T}{2} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.15)$$

โดย T คือ ความกว้างของวินโดว์หรือระยะเวลาของวินโดว์ (วินาที)
 α คือ พารามิเตอร์รูปร่างของวินโดว์
 t_p คือ เวลาที่วินโดว์มีแอมพลิจูดสูงสุด (วินาที)

ฟังก์ชัน $I_0(x)$ เป็นฟังก์ชันเบสเซลที่ถูกแก้ไขอันดับที่ศูนย์ของชนิดแรกสามารถทำได้ดังสมการที่ (3.16)

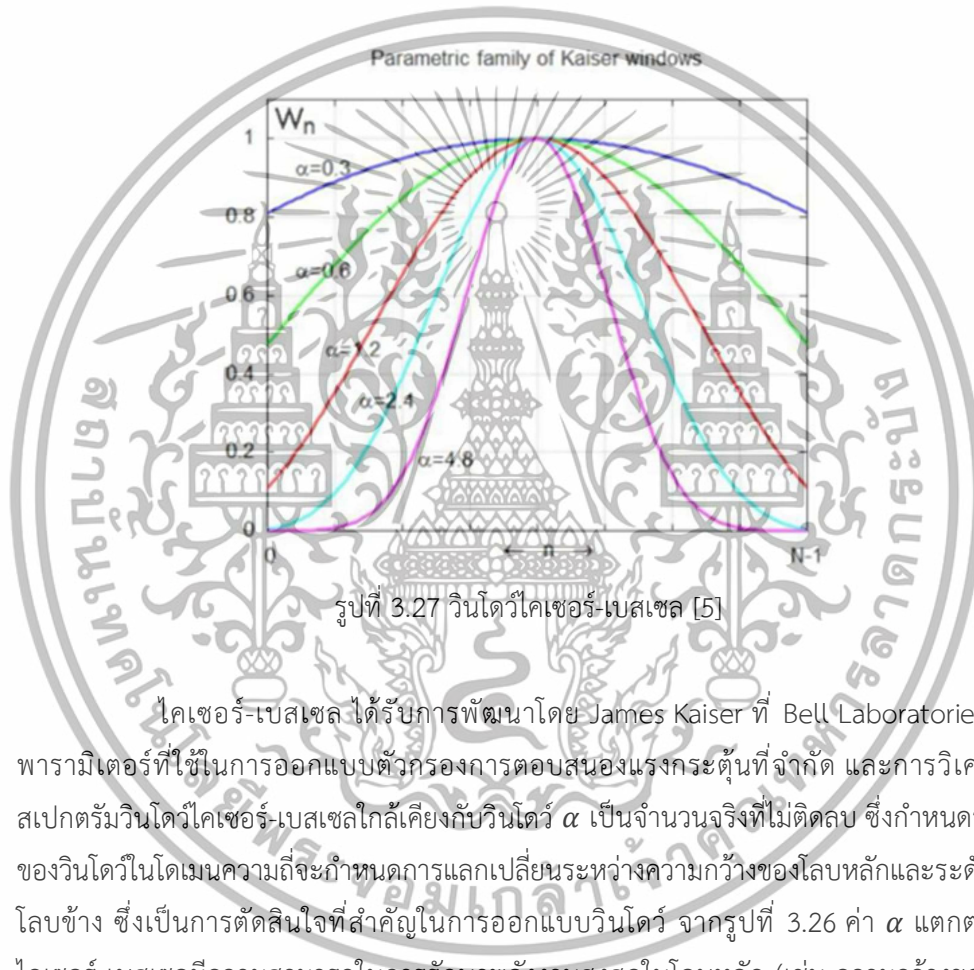
$$I_0(x) = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi e^{x \cos \theta} d\theta \quad (3.16)$$

การเกตเวลา โดยใช้วินโดว์โคเชอร์-เบสเซลในโดเมนเวลาเพื่อที่จะกรองคลื่นหลายวิธีที่เข้ามาออก [15] ซึ่งสามารถแสดงในรูปแบบของฟังก์ชันการถ่ายโอนและผลตอบสนองอิมพัลส์ได้ดังสมการที่ (3.17) และ (3.18) ตามลำดับ

$$H_{tg}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h_c(t)w(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (3.17)$$

$$h_{tg}(t) = IFFT(H_{tg}(f)) \quad (3.18)$$

พารามิเตอร์ของวินโดว์ไคเซอร์-เบสเซล



รูปที่ 3.27 วินโดว์ไคเซอร์-เบสเซล [5]

ไคเซอร์-เบสเซลได้รับการพัฒนาโดย James Kaiser ที่ Bell Laboratories เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบตัวกรองการตอบสนองแรงกระตุ้นที่จำกัด และการวิเคราะห์สเปกตรัมวินโดว์ไคเซอร์-เบสเซลใกล้เคียงกับวินโดว์ α เป็นจำนวนจริงที่ไม่ติดลบ ซึ่งกำหนดรูปร่างของวินโดว์ในโดเมนความถี่จะกำหนดการแลกเปลี่ยนระหว่างความกว้างของโลบหลักและระดับของโลบข้าง ซึ่งเป็นการตัดสินใจที่สำคัญในการออกแบบวินโดว์ จากรูปที่ 3.26 ค่า α ต่างกัน ไคเซอร์-เบสเซลมีความสามารถในการรักษาพลังงานสูงสุดในโลบหลัก (เช่น ความกว้างของโลบหลักแคบ) และสามารถลดระดับโลบข้างได้ บางกรณีวินโดว์ไคเซอร์จะถูกกำหนดพารามิเตอร์โดย β โดยที่ $\beta = \pi\alpha$ เมื่อ α เพิ่มขึ้น โลบหลักจะมีความกว้างเพิ่มขึ้น และโลบข้างจะมีความกว้างลดลง $\alpha = 0$ ตรงกับวินโดว์สี่เหลี่ยมสำหรับ α ขนาดใหญ่ รูปร่างของวินโดว์ไคเซอร์ (ทั้งในโดเมนเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และความถี่) มีแนวโน้มที่จะเป็นเส้นโค้งแบบเกาส์เซียน วินโดว์โคเซอร์-เบสเซลเกือบจะดีที่สุด ในแง่ของความเข้มข้นของความถี่สูงสุด [5]

3.10 ค่าความผิดพลาดทางระยะทาง (Distance Error)

เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ถึงความแม่นยำของการระบุตำแหน่ง โดยหาความสัมพันธ์ของตำแหน่งจริง และตำแหน่งจากการทดลองด้วยสูตรการคำนวณค่ากำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด [5] สามารถหาค่าความผิดพลาดทางระยะทางได้จากสมการที่ (3.19)

$$Error = \sqrt{(X - x_{real})^2 + (Y - y_{real})^2} \quad (3.19)$$

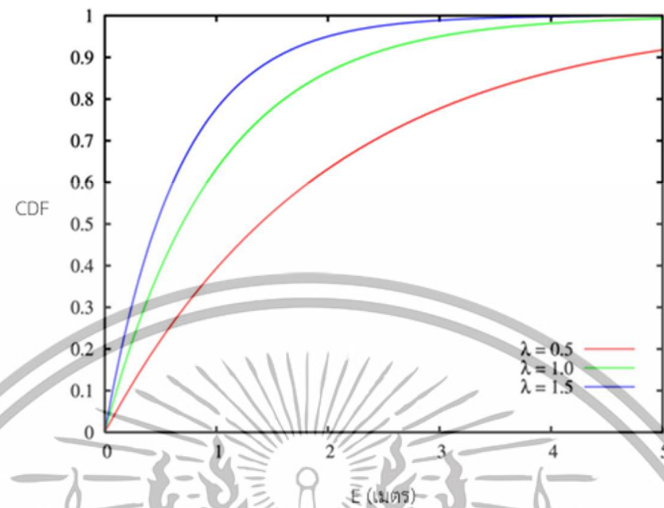
โดย x_{real} คือ ตำแหน่งในพิกัด x ที่ถูกต้อง
 y_{real} คือ ตำแหน่งในพิกัด y ที่ถูกต้อง
 X คือ ตำแหน่งในพิกัด x ที่ได้จากการทดลอง
 Y คือ ตำแหน่งในพิกัด y ที่ได้จากการทดลอง

3.11 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function: CDF)

เป็นการแสดงการแจกแจงที่มาสะสมด้วยกัน โดยสังเกตที่ความชันของเส้นกราฟ ซึ่งในทางทฤษฎีเส้นกราฟจะมีความตรง (Linear) แต่ในความเป็นจริงต้องสังเกตจากผลทดลอง [15] ซึ่งค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสมสามารถหาได้จากสมการที่ (3.20)

$$P(R) = \Pr(r \leq R) = \int_0^R p(r) dr = 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสม [15]

จากรูปที่ 3.28 เป็นตัวอย่างกราฟแสดงข้อมูลของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่จะถูกนำมาแสดงข้อมูลผลการทดลองโดยกำหนดค่าจำนวนจริงให้กับ λ ซึ่งเป็นแฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนัก และในแนวแกน X คือค่าของระยะทางความผิดพลาด E เมื่อเทียบกับ CDF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

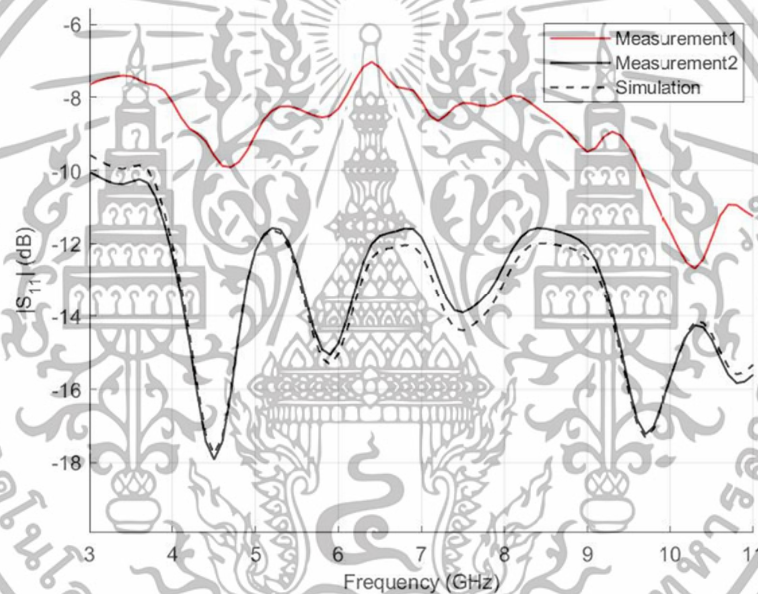
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศกรวยคู่สำหรับใช้ในควมถี่แบบแถบกว้างยิ่ง

4.1.1 การทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศกรวยคู่

จากการทดสอบวัดค่าประสัมพันธ์การสะท้อน $|S_{11}|$ แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 คุณสมบัติของสายอากาศกรวยคู่ $|S_{11}|$

จากรูปที่ 4.1 แสดงถึงผลการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศกรวยคู่สำหรับใช้ในควมถี่แบบแถบกว้างยิ่ง ระหว่างผลการทดสอบวัดสายอากาศที่สร้างในภาคการศึกษาที่ 1 ด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (เส้นที่บสีแดง) ผลการทดสอบวัดสายอากาศที่สร้างในภาคการศึกษาที่ 2 ด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (เส้นที่บสีดำ) และผลการจำลองการออกแบบสายอากาศด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ (เส้นประ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

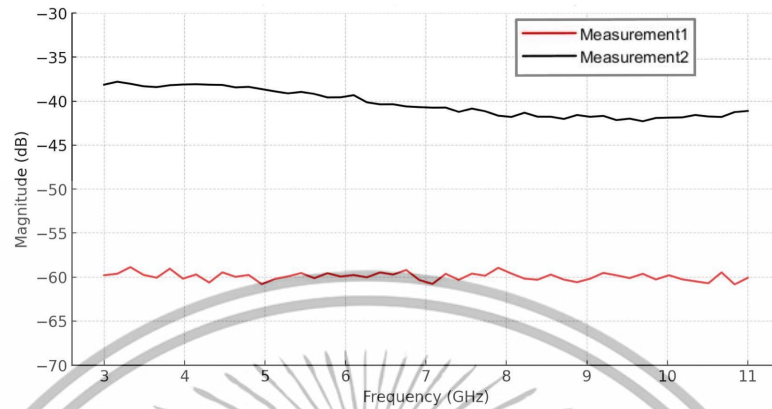
การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ของสายอากาศ จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าช่วงความถี่ที่นำไปใช้งานสามารถใช้งานได้หรือไม่ โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนควรมีค่าต่ำกว่า -10 เดซิเบล ซึ่งจากรูปที่ 4.1 พบว่า ตั้งแต่ช่วงความถี่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของการจำลองการออกแบบสายอากาศด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ดีกว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของการทดสอบวัดสายอากาศกรวยคู่ที่สร้างในภาคการศึกษาที่ 1 และ 2 ด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์เฉลี่ยต่ำกว่า -10 เดซิเบล สาเหตุที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศกรวยคู่มีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากอาจเป็นเพราะขั้นตอนระหว่างการสร้างสายอากาศ เช่น การบัดกรี และค่าความสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อ เป็นต้น ซึ่งสายอากาศในภาคการศึกษาที่ 2 มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนดีกว่าสายอากาศในภาคการศึกษาที่ 1 ดังนั้นสายอากาศกรวยคู่ในภาคการศึกษาที่ 2 ที่ได้ทำการแก้ไขและทดสอบนี้ สามารถนำมาใช้ทดลองวัดของการหาตำแหน่งแบบแถบกว้างยิ่งสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้ได้

4.1.2 ผลการทดสอบการวัดขนาดและเฟสของสายอากาศ

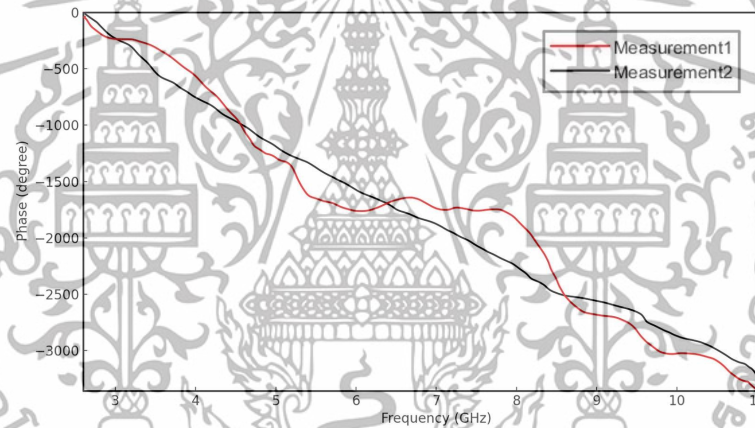
ในการทดสอบการวัดขนาดและเฟสของสายอากาศจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะระบบแถบกว้างยิ่งจะส่งสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์กว้าง หากสายอากาศส่งสัญญาณได้ไม่ดีจะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูล ซึ่งจากการวัดขนาดจะแสดงให้เห็นถึงระดับสัญญาณในการส่งผ่านที่ความถี่ที่พิจารณา และเฟสจะแสดงให้เห็นถึงคุณภาพของช่องสัญญาณ หากช่องสัญญาณที่ได้มีความเป็นเชิงเส้น หมายความว่าคุณภาพของช่องสัญญาณดี

จากการพิจารณาขนาดและเฟสของสัญญาณ เมื่อนำสายอากาศกรวยคู่ในภาคการศึกษาที่ 1 และ 2 มาเปรียบเทียบกัน พบว่าขนาดของสัญญาณมีความแตกต่างกัน โดยสายอากาศในภาคการศึกษาที่ 1 มีค่าของขนาดสัญญาณที่น้อยกว่าสายอากาศในภาคการศึกษาที่ 2 และมีการแกว่งของสัญญาณมากกว่า แสดงดังรูปที่ 3.15 ทำให้ทราบว่าขนาดของสัญญาณจากสายอากาศกรวยคู่ในภาคการศึกษาที่ 2 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า และเฟสของสายอากาศกรวยคู่ภาคการศึกษาที่ 2 มีลักษณะเป็นเชิงเส้นมากกว่าสายอากาศในภาคการศึกษาที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.16 ทำให้ทราบว่าสายอากาศในภาคการศึกษาที่ 2 มีความเสถียรมากกว่าสายอากาศในภาคการศึกษาที่ 1 ดังนั้นสายอากาศกรวยคู่ในภาคการศึกษาที่ 2 สามารถนำมาใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ขนาดของการถ่ายโอนของสัญญาณ

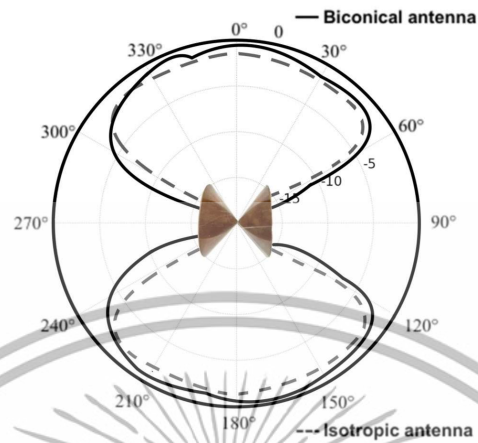


รูปที่ 4.3 เฟสของการถ่ายโอนของสัญญาณ

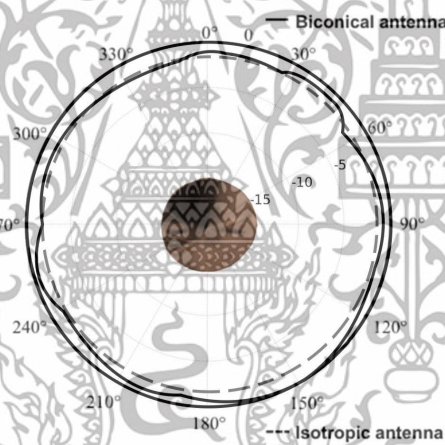
4.1.3 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศกรวยคู่

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศกรวยคู่จะแสดงในรูปของกราฟสองมิติ แสดงดังรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศไอโซทรอปิก กับสายอากาศกรวยคู่ ในระนาบ E-plane



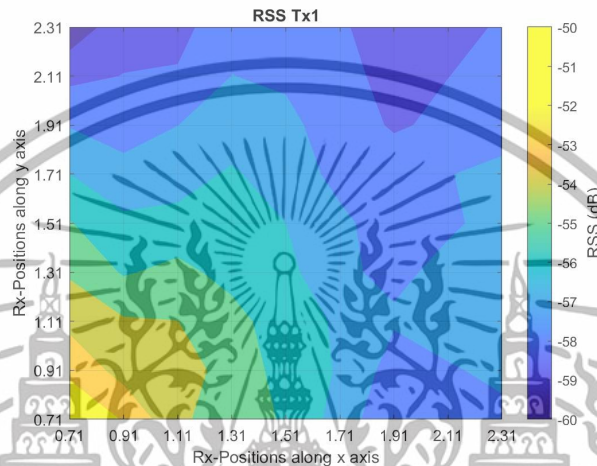
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศไอโซทรอปิก กับสายอากาศกรวยคู่ ในระนาบ H-plane

จากรูปที่ 4.4 แสดงถึงการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไอโซทรอปิก (เส้นประ) กับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศกรวยคู่ (เส้นทึบ) ในระนาบ E-plane และ จากรูปที่ 4.5 แสดงถึงการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไอโซทรอปิก (เส้นประ) กับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศกรวยคู่ (เส้นทึบ) ในระนาบ H-plane พบว่า เป็นไปตามคุณสมบัติของสายอากาศกรวยคู่ มีการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง โดยมีค่าคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ความแรงของสัญญาณที่รับได้

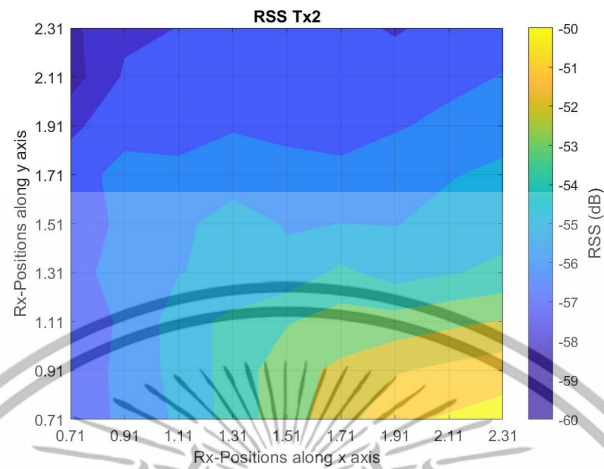
ความแรงของสัญญาณที่รับได้จะแสดงค่ากำลังงานของสัญญาณในหน่วยเดซิเบล โดยที่แกน x และแกน y คือตำแหน่งของสายอากาศรับ แสดงดังรูปที่ 3.1 ถึง รูปที่ 3.4



รูปที่ 4.6 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งที่ 1 (Tx1)

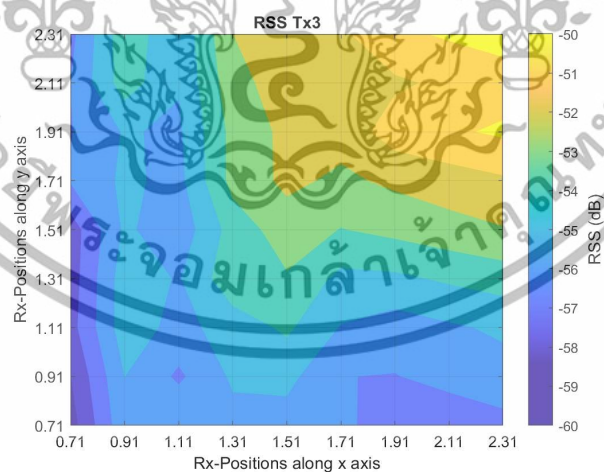
จากรูปที่ 4.6 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งที่ 1 (Tx1) พบว่า จุดที่มีความแรงของสัญญาณสูงที่สุด เท่ากับ -51.26 เดซิเบล เกิดขึ้นที่พิกัด (0.71, 0.71) เนื่องจากสายอากาศรับอยู่ใกล้กับสายอากาศส่งที่ 1 มากที่สุด และจุดที่มีความแรงของสัญญาณต่ำที่สุด เท่ากับ -57.92 เดซิเบล เกิดขึ้นที่พิกัด (2.31, 2.31) เนื่องจากสายอากาศรับอยู่ไกลจากสายอากาศส่งที่ 1 มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งที่ 2 (Tx2)

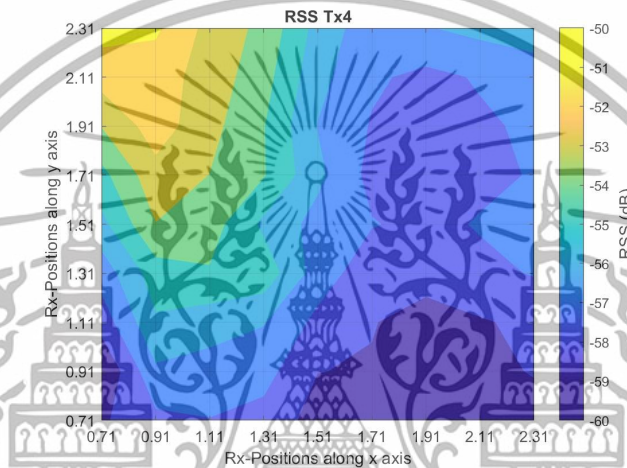
จากรูปที่ 4.7 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งที่ 2 (Tx2) พบว่า จุดที่มีความแรงของสัญญาณสูงที่สุด เท่ากับ -49.56 เดซิเบล เกิดขึ้นที่พิกัด $(2.31, 0.71)$ เนื่องจากสายอากาศรับอยู่ใกล้กับสายอากาศส่งที่ 1 มากที่สุด และจุดที่มีความแรงของสัญญาณต่ำที่สุด เท่ากับ -58.23 เดซิเบล เกิดขึ้นที่พิกัด $(0.71, 2.31)$ เนื่องจากสายอากาศรับอยู่ไกลจากสายอากาศส่งที่ 2 มากที่สุด



รูปที่ 4.8 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งที่ 3 (Tx3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

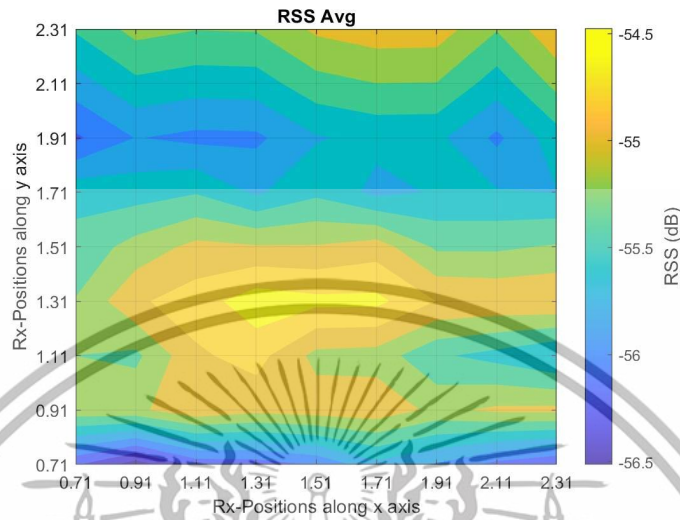
จากรูปที่ 4.8 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งที่ 3 (Tx3) พบว่า จุดที่มีความแรงของสัญญาณสูงที่สุด เท่ากับ -49.56 เดซิเบล เกิดขึ้นที่พิกัด (2.31, 2.31) เนื่องจากสายอากาศรับอยู่ใกล้กับสายอากาศส่งที่ 1 มากที่สุด และจุดที่มีความแรงของสัญญาณต่ำที่สุด เท่ากับ -58.44 เดซิเบล เกิดขึ้นที่พิกัด (0.71, 0.71) เนื่องจากสายอากาศรับอยู่ไกลจากสายอากาศส่งที่ 3 มากที่สุด



รูปที่ 4.9 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งที่ 4 (Tx4)

จากรูปที่ 4.9 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งที่ 4 (Tx4) พบว่า จุดที่มีความแรงของสัญญาณสูงที่สุด เท่ากับ -50.62 เดซิเบล เกิดขึ้นที่พิกัด (0.71, 2.31) เนื่องจากสายอากาศรับอยู่ใกล้กับสายอากาศส่งที่ 1 มากที่สุด และจุดที่มีความแรงของสัญญาณต่ำที่สุด เท่ากับ -58.37 เดซิเบล เกิดขึ้นที่พิกัด (2.31, 0.71) เนื่องจากสายอากาศรับอยู่ไกลจากสายอากาศส่งที่ 4 มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

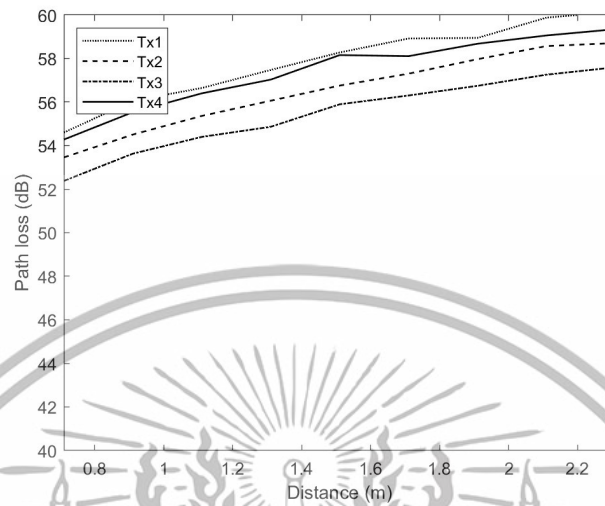


รูปที่ 4.10 เกลี่ยความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งทั้ง 4

จากรูปที่ 4.10 เกลี่ยความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งทั้ง 4 พบว่า จุดที่มีความแรงของสัญญาณสูงที่สุด เท่ากับ -54.48 เดซิเบล เกิดขึ้นที่พิกัด $(1.31, 1.31)$ เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่สายอากาศรับอยู่ตรงกลางแบบจำลองพอดี

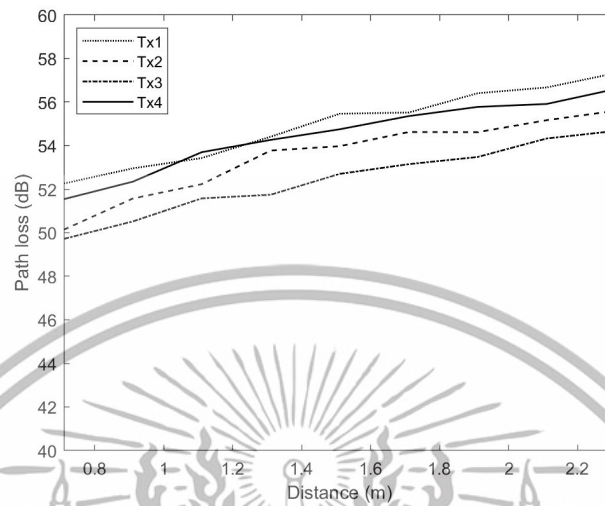
4.3 การสูญเสียเชิงวิถี

เมื่อระยะทางระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งอยู่ใกล้กัน ทำให้มีค่าสูญเสียเชิงวิถีที่สูงขึ้น โดยที่แกน x คือระยะทางในหน่วยเมตร และแกน y คือค่าสูญเสียเชิงวิถีในหน่วยเดซิเบล โดยทำการจำลองด้วยโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ และพิจารณาค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสายอากาศส่งทั้ง 4 ในกรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา แสดงดังรูปที่ 4.11 ถึงรูปที่ 4.12 ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสายอากาศส่งทั้ง 4 ในกรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา

จากรูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสายอากาศส่งทั้ง 4 ในกรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา พบว่า สายอากาศส่งที่ 1 (เส้นจุด) มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีสูงสุด เท่ากับ 59.87 เดซิเบล ที่ระยะทาง 2.31 เมตร และมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่ต่ำที่สุด เท่ากับ 54.92 เดซิเบล ที่ระยะทาง 0.71 เมตร สายอากาศส่งที่ 2 (เส้นประ) มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีสูงสุด เท่ากับ 58.67 เดซิเบล ที่ระยะทาง 2.31 เมตร และมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่ต่ำที่สุด เท่ากับ 53.88 เดซิเบล ที่ระยะทาง 0.71 เมตร สายอากาศส่งที่ 3 (เส้นประจุด) มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีสูงสุด เท่ากับ 57.75 เดซิเบล ที่ระยะทาง 2.31 เมตร และมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่ต่ำที่สุด เท่ากับ 52.30 เดซิเบล ที่ระยะทาง 0.71 เมตร และสายอากาศส่งที่ 4 (เส้นทึบ) มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีสูงสุด เท่ากับ 59.71 เดซิเบล ที่ระยะทาง 2.31 เมตร และมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่ต่ำที่สุด เท่ากับ 54.40 เดซิเบล ที่ระยะทาง 0.71 เมตร



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสายอากาศส่งทั้ง 4 ในกรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา

จากรูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสายอากาศส่งทั้ง 4 ในกรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา พบว่า สายอากาศส่งที่ 1 (เส้นจุด) มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีสูงที่สุด เท่ากับ 57.08 เดซิเบล ที่ระยะทาง 2.31 เมตร และมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่ต่ำที่สุด เท่ากับ 51.66 เดซิเบล ที่ระยะทาง 0.71 เมตร สายอากาศส่งที่ 2 (เส้นประ) มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีสูงที่สุด เท่ากับ 55.68 เดซิเบล ที่ระยะทาง 2.31 เมตร และมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่ต่ำที่สุด เท่ากับ 50.55 เดซิเบล ที่ระยะทาง 0.71 เมตร สายอากาศส่งที่ 3 (เส้นประจุด) มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีสูงที่สุด เท่ากับ 54.63 เดซิเบล ที่ระยะทาง 2.31 เมตร และมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่ต่ำที่สุด เท่ากับ 49.54 เดซิเบล ที่ระยะทาง 0.71 เมตร และสายอากาศส่งที่ 4 (เส้นทึบ) มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีสูงที่สุด เท่ากับ 56.66 เดซิเบล ที่ระยะทาง 2.31 เมตร และมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่ต่ำที่สุด เท่ากับ 51.23 เดซิเบล ที่ระยะทาง 0.71 เมตร

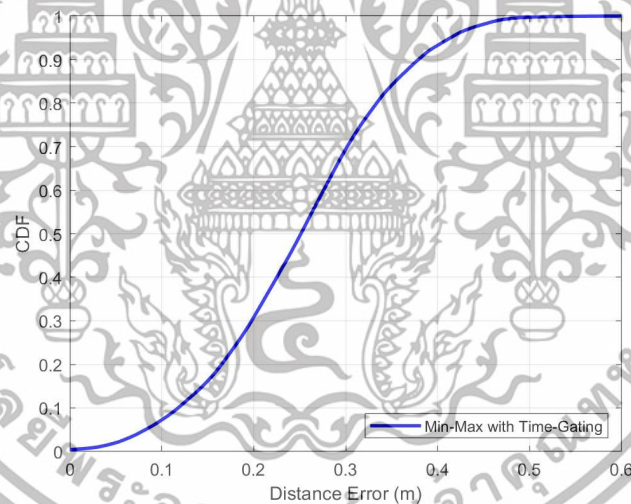
จากรูปที่ 4.11 ถึงรูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสายอากาศส่งทั้ง 4 จึงสรุปได้ว่า การสูญเสียเชิงวิถีความเกี่ยวข้องกับระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับส่งผลให้ค่าสูญเสียเชิงวิถีมีการเพิ่มขึ้นและลดลง ผลกระทบอาจมาจากสภาพแวดล้อมของห้องทำการทดลองวัดหาตำแหน่งภายในอาคาร และจากรูปที่ 4.12 การสูญเสียเชิงวิถีของสายอากาศส่งทั้ง 4 ในกรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา ค่าสูญเสียเชิงวิถีที่ได้มีค่าน้อยลงเมื่อเทียบ

กับรูปที่ 4.11 เนื่องจากเทคนิคการเกิดเวลาสามารถลดการรบกวนของสัญญาณลงได้ ส่งผลให้ระดับสัญญาณที่รับได้มีค่าสูงขึ้น

4.4 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดทางระยะทาง

ค่าความผิดพลาดทางระยะทางจะแสดงในรูปแบบของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม โดยทำการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางระยะทางของการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Min-Max ระหว่างกรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา และกรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา แสดงดังรูปที่ 4.13 ถึงรูปที่ 4.15 ตามลำดับ

4.4.1 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดทางระยะทางของการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Min-Max กรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา



รูปที่ 4.13 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดทางระยะทางของการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Min-Max กรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา

จากรูปที่ 4.13 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดทางระยะทางของการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Min-Max กรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา พบว่า มีค่าความผิดพลาดทางระยะทางต่ำที่สุด เท่ากับ 0.09 เมตร มีค่าความผิดพลาดทางระยะทางเฉลี่ย เท่ากับ 0.33 เมตร และมีค่าความผิดพลาดทางระยะทางสูงที่สุด เท่ากับ 0.61 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

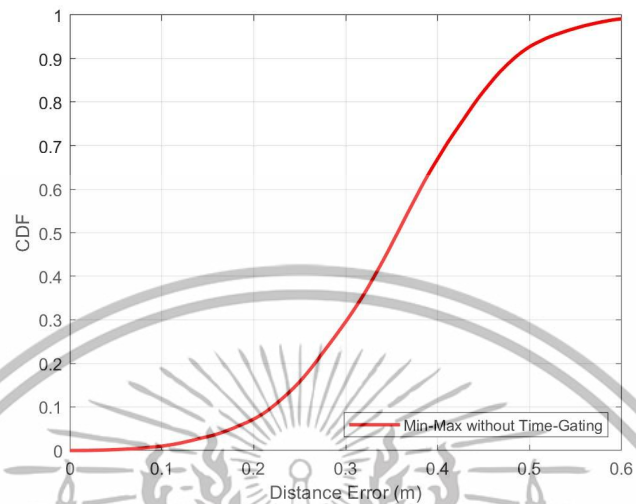
4.4.2 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดทางระยะทางของการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Min-Max กรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา

เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางระยะทาง โดยพิจารณาความกว้างของวินโดว์ และพารามิเตอร์รูปร่างของวินโดว์โคเซอร์-เบสเซล เพื่อเลือกค่าที่มีความเหมาะสมกับการวิเคราะห์ในปริภูมิพจน์ฉบับนี้ โดยความกว้างของวินโดว์โคเซอร์-เบสเซลถูกกำหนดเป็น 1 นาโนวินาที และ 2 นาโนวินาที และพารามิเตอร์รูปร่างของวินโดว์โคเซอร์-เบสเซลเป็น 0.3 0.6 1.2 2.4 และ 4.8

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางระยะทาง โดยพิจารณาความกว้างของวินโดว์ และพารามิเตอร์รูปร่างของวินโดว์โคเซอร์-เบสเซล

ความกว้างของวินโดว์ (นาโนวินาที)	พารามิเตอร์ รูปร่างของวินโดว์	ค่าความผิดพลาดทางระยะทาง (เมตร)		
		ต่ำที่สุด	สูงที่สุด	ค่าเฉลี่ย
1	0.3	0.067	0.261	0.563
	0.6	0.071	0.283	0.601
	1.2	0.074	0.286	0.599
	2.4	0.086	0.292	0.600
	4.8	0.102	0.305	0.614

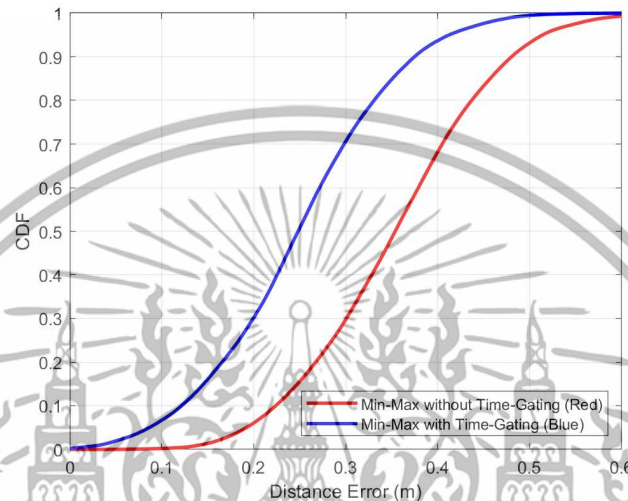
จากตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางระยะทาง โดยพิจารณาความกว้างของวินโดว์ และพารามิเตอร์รูปร่างของวินโดว์โคเซอร์-เบสเซล พบว่า ความกว้างของวินโดว์ 1 นาโนวินาที เป็นความกว้างของวินโดว์ที่เหมาะสม เนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกับ 0.133 ซึ่งเป็นความกว้างของพัลส์ และพารามิเตอร์รูปร่างของวินโดว์ 0.3 ให้ค่าความผิดพลาดทางระยะทางที่ดีที่สุด ดังนั้นในปริภูมิพจน์ฉบับนี้ จึงเลือกพารามิเตอร์รูปร่างของวินโดว์ 0.3



รูปที่ 4.14 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดทางระยะทางของการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Min-Max กรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา

จากรูปที่ 4.14 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดทางระยะทางของการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Min-Max กรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา พบว่า มีค่าความผิดพลาดทางระยะทางต่ำที่สุด เท่ากับ 0.067 เมตร มีค่าความผิดพลาดทางระยะทางเฉลี่ย เท่ากับ 0.261 เมตร และมีค่าความผิดพลาดทางระยะทางสูงที่สุด เท่ากับ 0.578 เมตร

4.4.3 เปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดทางระยะทางของการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Min-Max ระหว่างกรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา และกรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดทางระยะทางของการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Min-Max ระหว่างกรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา และกรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา

จากรูปที่ 4.15 เปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดทางระยะทางของการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Min-Max ระหว่างกรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา และกรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา พบว่า ในกรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา (เส้นสีแดง) มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดทางระยะทาง เท่ากับ 0.33 เมตร ในกรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา (เส้นสีน้ำเงิน) มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดทางระยะทาง เท่ากับ 0.26 เมตร ค่าความผิดพลาดทางระยะทางที่ได้จากกรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลามีแนวโน้มที่ดีกว่ากรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา เนื่องจากเทคนิคการเกิดเวลาช่วยทำการปรับปรุงสัญญาณทางด้านรับให้ดีขึ้น

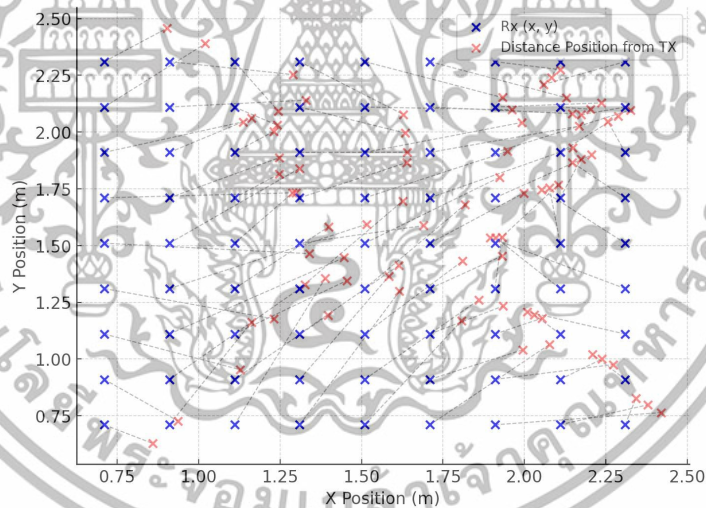
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดทางระยะทางของการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Min-Max ระหว่างกรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา และกรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา

การหาตำแหน่งภายในอาคารด้วย เทคนิค Min-Max	ค่าความผิดพลาดทางระยะทาง (เมตร)		
	ต่ำที่สุด	ค่าเฉลี่ย	สูงที่สุด
กรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา	0.09	0.33	0.62
กรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา	0.07	0.26	0.58

4.5 การเปรียบเทียบระหว่างพิกัดตำแหน่งที่วัดได้ของสายอากาศรับและพิกัดตำแหน่งจริงของสายอากาศรับ

เปรียบเทียบระหว่างพิกัดตำแหน่งที่วัดได้ของสายอากาศรับและพิกัดตำแหน่งจริงของสายอากาศรับ ทั้งกรณีที่ไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลาและกรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา

4.5.1 การเปรียบเทียบระหว่างพิกัดตำแหน่งที่วัดได้ของสายอากาศรับและพิกัดตำแหน่งจริงของสายอากาศรับ กรณีที่ไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา



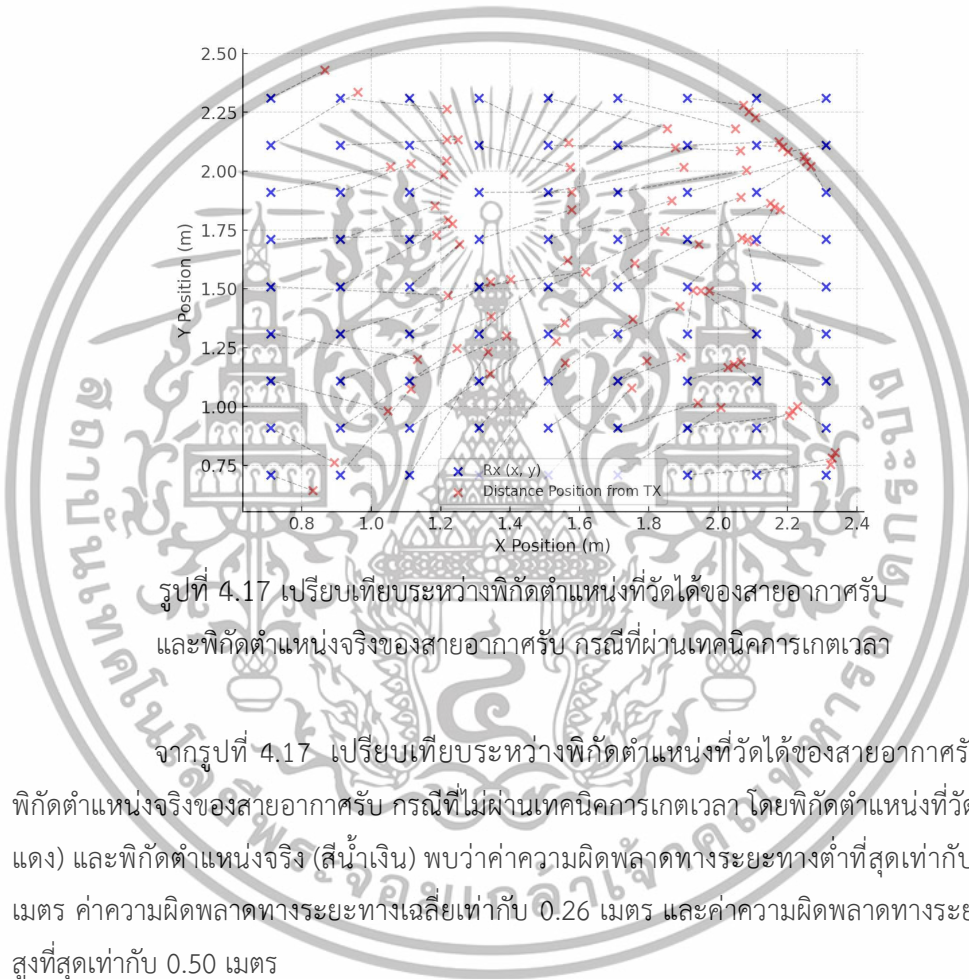
รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบระหว่างพิกัดตำแหน่งที่วัดได้ของสายอากาศรับและพิกัดตำแหน่งจริงของสายอากาศรับ กรณีที่ไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา

จากรูปที่ 4.16 เปรียบเทียบระหว่างพิกัดตำแหน่งที่วัดได้ของสายอากาศรับและพิกัดตำแหน่งจริงของสายอากาศรับ กรณีที่ไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา โดยพิกัดตำแหน่งที่วัดได้ (สีแดง) และพิกัดตำแหน่งจริง (สีน้ำเงิน) พบว่าค่าความผิดพลาดทางระยะทางต่ำที่สุดเท่ากับ 0.09 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความผิดพลาดทางระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 0.35 เมตร และค่าความผิดพลาดทางระยะทางสูงสุดเท่ากับ 0.62 เมตร

4.5.2 การเปรียบเทียบระหว่างพิกัดตำแหน่งที่วัดได้ของสายอากาศรับและพิกัดตำแหน่งจริงของสายอากาศรับ กรณีที่ผ่านเทคนิคการถอดเวลา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้คือการวิเคราะห์ทดลองวัดของการหาตำแหน่งแบบแถบกว้างยิ่ง สภาวะแวดล้อมภายในอาคารด้วยวิธีการเกิดเวลา โดยทำการศึกษาเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง และ พารามิเตอร์สำหรับการวัดหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง ทำการ ออกแบบสร้างสายอากาศกรวยคู่สำหรับใช้ในแถบกว้างยิ่ง และแบบจำลองการหาตำแหน่งด้วยเทคนิค Min-Max ซึ่งทำการวัดในช่วงความถี่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ โดยใช้สายอากาศกรวยคู่ เป็นสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ร่วมกับเครื่องวิเคราะห์โคจรข่ายแบบเวกเตอร์ เพื่อบันทึกค่า ความแรงของสัญญาณที่รับได้ในลักษณะของขนาด และเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณ ทำการ ประเมินผลของการหาตำแหน่ง โดยพิจารณาจากความแรงของสัญญาณที่รับได้ การสูญเสียเชิงวิถี และ ทำการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางระยะทางในรูปแบบของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม สามารถ สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

จากการสร้างสายอากาศกรวยคู่สำหรับใช้ในระบบแถบกว้างยิ่ง และทดสอบคุณสมบัติ ของสายอากาศ โดยพิจารณาจากการทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ พบว่าในช่วงความถี่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ สายอากาศในภาคการศึกษาที่ 1 มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีค่าสูง กว่า -10 เดซิเบล ซึ่งสายอากาศในภาคการศึกษาที่ 2 มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีค่าต่ำกว่า -10 เดซิเบล สาเหตุที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีความคลาดเคลื่อน อาจเป็นเพราะขั้นตอนระหว่างการสร้าง สายอากาศ เช่น การทำแผ่นทองแดงให้เป็นทรงกรวย การบัดกรี และค่าความสูญเสียจากการเชื่อมต่อ เป็นต้น ดังนั้นสายอากาศในภาคการศึกษาที่ 2 มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนดีกว่าสายอากาศในภาค การศึกษาที่ 1 จึงนำสายอากาศกรวยคู่ที่สร้างในภาคการศึกษาที่ 2 มาใช้ทดลองวัดของการหาตำแหน่ง แบบแถบกว้างยิ่งสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้ได้

จากการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสายอากาศส่งทั้ง 4 ของการ หาตำแหน่งภายในอาคาร ทั้งกรณีที่ไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา และกรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา พบว่ากรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลามีค่าการสูญเสียเชิงวิถีมากกว่า เมื่อเทียบกับกรณีผ่านเทคนิค การเกิดเวลา เนื่องจากเทคนิคการเกิดเวลาช่วยลดสัญญาณรบกวน ทำให้ที่ได้ดีขึ้น

จากการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางระยะทางในรูปแบบของฟังก์ชัน การแจกแจงสะสม ทั้งกรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา และกรณีผ่านเทคนิคการเกิดเวลา พบว่า กรณี ไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลามีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดทางระยะทาง เท่ากับ 0.33 เมตร กรณีผ่านเทคนิค การเกิดเวลามีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดทางระยะทาง เท่ากับ 0.26 เมตร ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า กรณีผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการเกิดเวลาสามารถลดค่าความผิดพลาดทางระยะทางได้ดีกว่า ซึ่งมีประสิทธิภาพการหาตำแหน่งค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.07 เมตร เมื่อเทียบกับกรณีไม่ผ่านเทคนิคการเกิดเวลา

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับขั้นตอนการสร้างสายอากาศกรวยคู่ การเจาะรูของกรวยทั้งสองต้องเจาะที่จุดศูนย์กลางให้พอดี มิฉะนั้นจะทำให้สายอากาศเอียง ส่งผลให้คุณสมบัติของสายอากาศเปลี่ยนไป และสำหรับขั้นตอนการบัดกรีต้องใช้ความประณีตและความละเอียด หากผิดพลาดจะทำให้ยากต่อการแก้ไข

จากการออกแบบจำลองที่ใช้ในการหาตำแหน่งด้วยเทคนิค Min-Max พบว่าควรทดสอบในห้องไร้การสะท้อน เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาด และเพิ่มความแม่นยำในการหาตำแหน่ง

ในปฏิญานีพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาในการหาตำแหน่งภายในอาคาร โดยใช้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง โดยใช้เทคนิคการเกิดเวลาเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนก่อนนำผลมาวิเคราะห์ ซึ่งได้ทำการศึกษาเฉพาะสภาพแวดล้อมในอาคาร แต่ในการใช้งานจริงสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น ภายนอกอาคาร แสดงดังรูป เป็นต้น ซึ่งนอกจากนี้ยังมีเทคนิคอื่นที่สามารถใช้ในการหาตำแหน่งได้ทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร และเทคนิคการหาตำแหน่งแบบอื่นอาจจะให้ประสิทธิภาพที่แม่นยำและดีกว่า จะเป็นข้อมูลอ้างอิงแนวทางในการศึกษาทดลองต่อไปในอนาคต



รูปแบบจำลองการหาตำแหน่งภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] เสถียร บุญวิเศษ. “การศึกษาของการสูญเสียในการแพร่กระจายคลื่นย่านแถบความถี่กว้างยิ่งที่ประกอบด้วยหุ่นยนต์สำหรับระบบไร้สายระยะสั้น.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.
- [2] พิทักษ์ อนุรักษ, เฉลิมพล ชื่นอารมณ, อรัญ เหลืองอนุศาสตร์. “การศึกษาของการสูญเสียในการแพร่กระจายคลื่นย่านแถบความถี่กว้างยิ่งที่ประกอบด้วยหุ่นยนต์สำหรับระบบไร้สายระยะสั้น.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550.
- [3] WHITE PAPER: Getting Back to Basics with Ultra-Wideband (UWB), QORVO.
- [4] เทคโนโลยี UWB: อนาคตของการสื่อสารไร้สาย. kmcenter.rid.go.th., 2011
- [5] ทวีศักดิ์ ประจันทร์, เมทนี เวศพันธ์, สุเมธ อัครสถิตทิพย์, “การทดลองและการวิเคราะห์เกี่ยวกับการหาตำแหน่งด้วยเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งที่ช่วงความถี่ 3 – 5 GHz ด้วยเทคนิคการเกิดเวลา.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2566.
- [6] Kuo Yang, Zhoghua Liang, Ren Liu, and Wei Li. “RSS-Based Indoor Localization Using Min-Max Algorithm with Area Partition Strategy.” in IEEE Access, vol. 9, pp. 125561-125568, 2021.
- [7] Keolounxay S. “MEASUREMENT MODEL AND EVALUATION OF ULTRA WIDEBAND PROPAGATION LOSS IN AN INDOOR ENVIRONMENT FOR SHORT RANGE WIRELESS SYSTEMS.” School of Information Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, 2009.
- [8] Constantine, A. Balanis. Antenna Theory Analysis and Design. 4nd ed. Hoboken, New Jersey, U.S. : John wiley and sons, 2016
- [9] K. Rapin, S. Nipapon, M. Komsak, and K. Sompol. Design of a Compact Biconical Antenna for UWB Applications. : International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS).
- [10] Keysight Technologies. (n.d.). “ENA Series Network Analyzer E5063A Data Sheet.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://www.testunlimited.com/pdf/keysight_E5063A_datasheet.pdf.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] ทศพร น้อมระวี. “การประเมินผลของการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้สัญญาณแถบกว้างยิ่ง.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556.
- [12] นิตากร ยิ่งขจร. “การศึกษาการแพร่กระจายคลื่นวิทยุแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมของทางเดิน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550.
- [13] วุฒิชัย ป้อมคำ, สนิท เตียวฉิม. “แบบแผนการตีเทคตำแหน่งของวิทยุแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลแบบไร้สาย.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.
- [14] สมการการส่งผ่านของ Friis สูตรดั้งเดิมของ Friis และสูตรรวมสมัย (hmong.in.th)
- [15] ญาณโณภษ ม่วงมี. “การจำลองและการวัดของการหาตำแหน่งวิทยุอิมพัลส์ด้วยเทคนิคการเกิดเวลา.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2566.
- [16] วิภัสสร วินิจฉัยกุล. “การจำลองการแพร่กระจายคลื่นแถบกว้างยิ่งสำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยโครงข่ายประสาท.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

ตารางค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลอง							
x (m)	y (m)	Rx	RSS (dB)	RSS (dB)	RSS (dB)	RSS (dB)	Avg RSS (dB)
		position	Tx1	Tx2	Tx3	Tx4	
0.71	0.71	1	-51.26	-56.86	-58.44	-58.14	-56.18
0.71	0.91	2	-52.18	-56.86	-58.02	-58.99	-56.51
0.71	1.11	3	-53.29	-56.32	-57.38	-57.56	-56.14
0.71	1.31	4	-54.12	-56.23	-57.51	-56.58	-56.11
0.71	1.51	5	-54.94	-56.16	-57.54	-55.29	-55.98
0.71	1.71	6	-55.99	-56.44	-55.91	-54.30	-55.66
0.71	1.91	7	-57.06	-57.23	-56.05	-52.96	-55.82
0.71	2.11	8	-58.25	-58.46	-55.99	-51.58	-56.07
0.71	2.31	9	-59.68	-58.23	-56.29	-50.62	-56.20
0.91	0.71	10	-52.06	-55.69	-55.27	-57.25	-55.07
0.91	0.91	11	-53.41	-55.62	-54.99	-56.18	-55.05
0.91	1.11	12	-53.89	-55.91	-54.44	-55.13	-54.84
0.91	1.31	13	-55.10	-55.73	-54.43	-54.48	-54.93
0.91	1.51	14	-55.78	-55.93	-54.82	-53.03	-54.89
0.91	1.71	15	-56.66	-55.66	-54.80	-52.34	-54.87
0.91	1.91	16	-57.44	-56.36	-54.91	-51.50	-55.05
0.91	2.11	17	-57.97	-56.86	-53.48	-51.52	-54.96
0.91	2.31	18	-58.37	-57.21	-53.36	-50.84	-54.95
1.11	0.71	19	-53.82	-54.85	-55.10	-57.03	-55.20
1.11	0.91	20	-53.70	-54.68	-56.17	-56.42	-55.25
1.11	1.11	21	-53.99	-54.47	-55.33	-55.55	-54.83
1.11	1.31	22	-54.70	-55.01	-55.08	-54.10	-54.72
1.11	1.51	23	-55.69	-55.38	-55.64	-53.53	-55.06
1.11	1.71	24	-56.42	-55.60	-55.30	-53.02	-55.09
1.11	1.91	25	-57.01	-56.63	-55.16	-52.67	-55.37
1.11	2.11	26	-57.88	-56.66	-54.91	-52.43	-55.47
1.11	2.31	27	-58.38	-56.98	-54.81	-52.32	-55.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลอง							
x (m)	y (m)	Rx	RSS (dB)	RSS (dB)	RSS (dB)	RSS (dB)	Avg RSS (dB)
		position	Tx1	Tx2	Tx3	Tx4	
1.31	0.71	28	-54.51	-53.57	-55.33	-57.34	-55.19
1.31	0.91	29	-54.25	-53.59	-54.84	-56.64	-54.83
1.31	1.11	30	-54.61	-53.7	-54.55	-55.94	-54.70
1.31	1.31	31	-55.35	-54.92	-53.30	-54.35	-54.48
1.31	1.51	32	-55.10	-54.28	-53.58	-55.22	-54.54
1.31	1.71	33	-55.87	-55.72	-52.66	-53.93	-54.55
1.31	1.91	34	-56.53	-56.04	-52.68	-53.95	-54.80
1.31	2.11	35	-56.99	-56.39	-52.34	-53.61	-54.83
1.31	2.31	36	-57.21	-56.72	-52.00	-53.27	-54.80
1.51	0.71	37	-55.10	-52.39	-55.45	-58.40	-55.33
1.51	0.91	38	-55.47	-52.34	-54.70	-57.98	-55.12
1.51	1.11	39	-55.61	-53.07	-53.82	-57.26	-54.94
1.51	1.31	40	-55.69	-54.64	-53.10	-56.49	-54.98
1.51	1.51	41	-56.00	-55.11	-52.47	-56.35	-54.98
1.51	1.71	42	-56.54	-55.51	-51.78	-55.76	-54.90
1.51	1.91	43	-56.78	-56.37	-51.75	-56.04	-55.23
1.51	2.11	44	-57.13	-56.60	-51.52	-55.69	-55.23
1.51	2.31	45	-57.24	-56.82	-51.29	-55.36	-55.18
1.71	0.71	46	-56.41	-51.40	-55.58	-58.46	-55.46
1.71	0.91	47	-56.08	-51.80	-55.98	-58.08	-55.49
1.71	1.11	48	-56.11	-52.54	-55.06	-57.94	-55.41
1.71	1.31	49	-56.88	-53.77	-54.27	-57.60	-55.63
1.71	1.51	50	-56.82	-54.99	-53.03	-56.94	-55.45
1.71	1.71	51	-57.24	-55.88	-52.19	-57.31	-55.66
1.71	1.91	52	-57.43	-56.19	-51.63	-57.08	-55.58
1.71	2.11	53	-57.66	-56.43	-51.39	-56.84	-55.58
1.71	2.31	54	-57.86	-56.76	-51.17	-56.62	-55.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลอง							
x (m)	y (m)	Rx	RSS (dB)	RSS (dB)	RSS (dB)	RSS (dB)	Avg RSS (dB)
		position	Tx1	Tx2	Tx3	Tx4	
1.91	0.71	55	-57.90	-50.22	-56.98	-59.03	-56.03
1.91	0.91	56	-57.44	-51.09	-56.04	-58.60	-55.79
1.91	1.11	57	-56.90	-52.58	-55.49	-58.43	-55.85
1.91	1.31	58	-57.16	-54.42	-54.20	-57.59	-55.84
1.91	1.51	59	-57.44	-55.04	-52.73	-57.27	-55.62
1.91	1.71	60	-57.38	-55.41	-51.80	-57.59	-55.55
1.91	1.91	61	-58.12	-56.10	-50.50	-57.49	-55.55
1.91	2.11	62	-58.36	-56.61	-51.15	-57.26	-55.84
1.91	2.31	63	-58.58	-57.09	-50.21	-56.06	-55.48
2.11	0.71	64	-57.55	-49.88	-56.64	-58.69	-55.69
2.11	0.91	65	-57.10	-50.75	-55.69	-58.25	-55.45
2.11	1.11	66	-56.56	-52.24	-55.14	-58.09	-55.51
2.11	1.31	67	-56.81	-54.07	-53.85	-57.25	-55.50
2.11	1.51	68	-57.10	-54.69	-52.38	-56.92	-55.27
2.11	1.71	69	-57.04	-55.07	-51.46	-57.24	-55.20
2.11	1.91	70	-57.78	-55.75	-50.15	-57.14	-55.21
2.11	2.11	71	-58.01	-56.26	-50.81	-56.91	-55.50
2.11	2.31	72	-58.23	-56.74	-49.87	-55.71	-55.14
2.31	0.71	73	-57.24	-49.56	-56.32	-58.37	-55.38
2.31	0.91	74	-56.78	-50.43	-55.38	-57.94	-55.13
2.31	1.11	75	-56.24	-51.93	-54.83	-57.78	-55.19
2.31	1.31	76	-56.50	-53.76	-53.54	-56.94	-55.18
2.31	1.51	77	-56.79	-54.38	-52.07	-56.61	-54.96
2.31	1.71	78	-56.72	-54.76	-51.14	-56.93	-54.89
2.31	1.91	79	-57.46	-55.44	-49.84	-56.83	-54.89
2.31	2.11	80	-57.70	-55.95	-50.50	-56.60	-55.19
2.31	2.31	81	-57.92	-56.43	-49.56	-55.40	-54.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้