

การศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณโคจรข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว
CHARACTERIZATION OF WBAN CHANNEL MEASUREMENT
WITH HUMAN BODY MOVING MODEL



โดย
นางสาวกนกวรรณ ประพฤติตระกูล
นางสาวปภาวี คาดสนิท
นางสาวปิยะธิดา สูงรัมย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว
CHARACTERIZATION OF WBAN CHANNEL MEASUREMENT
WITH HUMAN BODY MOVING MODEL

โดย
นางสาวกนกวรรณ ประพทธิตระกูล 62010008
นางสาวปภาวี คาคสนิท 62010529
นางสาวปิยะธิดา สูงรัง 62010562

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2565

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลอง
ร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว

CHARACTERIZATION OF WBAN CHANNEL MEASUREMENT WITH HUMAN
BODY MOVING MODEL

ผู้จัดทำ

1. นางสาวกนกวรรณ ประพฤติตระกูล 62010008
2. นางสาวปภาวี คาคสนิท 62010529
3. นางสาวปิยะธิดา สูงรัง 62010562



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง “การศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว” ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาของ ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์ โดยเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ช่วยในเรื่องของการให้คำแนะนำ คำชี้แนะในแนวทางการแก้ปัญหาต่าง ๆ รวมไปถึงการสนับสนุนในด้านอุปกรณ์เครื่องใช้ที่จำเป็นต่อการทดลองของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งยังเป็นอีกหนึ่งในประสบการณ์ในการทำงานที่เป็นประโยชน์ที่สามารถจะนำไปประยุกต์ใช้ได้ในอนาคต

ขอขอบคุณพี่ ธนดล เตียงทอง นักศึกษาปริญญาเอกในห้องปฏิบัติการของ ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือ และข้อชี้แนะต่าง ๆ รวมไปถึงคอยดูแลในตลอดการทำการทดลอง และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการของ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้สถานที่เอื้อเพื่อสำหรับการทำการทดลอง

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณบิดา และมารดาที่ให้ความสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทั้งด้านงบประมาณในการทำงาน ความเข้าใจ ความห่วงใย และกำลังใจที่คอยเป็นแรงผลักดันให้ผู้จัดทำทำงานได้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณคณาจารย์ในภาควิชาทุกท่านด้านการศึกษาและให้กำลังใจด้วยดี

นางสาวกนกวรรณ	ประพฤทธิ์ตระกูล
นางสาวภาวี	คาดสนิท
นางสาวปิยะธิดา	สูงรัง

ผู้จัดทำ

การศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบน
ร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว

CHARACTERIZATION OF WBAN CHANNEL
MEASUREMENT WITH HUMAN BODY MOVING MODEL

โดย นางสาวกนกวรรณ ประพทธีตระกูล 62010008
นางสาวปภาวี คาศสนิท 62010529
นางสาวปิยะธิดา สูงรัง 62010562

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันระบบการสื่อสารไร้สายได้เป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวัน เช่น โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (WBAN) เป็นต้นซึ่งมีเทคโนโลยีอีกหนึ่งคือ เทคโนโลยีชิกปีบนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ที่ใช้ในการสื่อสารระยะสั้น มีกำลังงานต่ำ จึงทำให้เทคโนโลยีชิกปีนั้นเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ปรินูญานินพนธ์นี้ได้ศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ร่วมกับเทคโนโลยีชิกปีด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว โดยออกแบบการจำลองการวัดโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ในขณะที่มนุษย์กำลังเคลื่อนไหว ตามเงื่อนไขการทดลอง ได้แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่มีร่างกายมนุษย์ และกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ จากนั้นนำเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ที่ช่วงความถี่ 2.32 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 2.44 จิกะเฮิรตซ์ สำหรับการวัดและบันทึกผล นำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์และประเมินผลด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ขนาดและเฟสของช่องสัญญาณ การสูญเสียเชิงวิถี และอัตราขยายในการส่งผ่าน โดยพิจารณาความผิดพลาดของสัญญาณโดยใช้อัลกอริทึมแบบคลื่นปรับคุณภาพช่องสัญญาณให้มีความเหมาะสมที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

Nowadays, wireless communication systems have become a part of daily life, such as Wireless Body Area Network (WBAN). Zigbee technology based on the IEEE 802.15.4 standard used in short-range communications. have low energy This makes ZigBee technology suitable for use in wireless networks on the human body. This thesis studied the characteristics of human body wireless network channels in conjunction with ZigBee technology using a moving human body model. By designing a simulation of a wireless network measurement on the human body while the human being is moving according to the experimental conditions. Divided into 2 cases in the case of a human body and the absence of the human body The vector network analyzer was then used at a frequency range of 2.32 GHz to 2.44 GHz for measurement and recording. The results obtained from the experiment were analyzed. and evaluated with parameters such as channel size and phase. trajectory loss and transmission gain It considers channel distortion using a clean algorithm optimizing channel quality.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1	
บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	3
1.5 สรุป	3
บทที่ 2	
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์	5
2.2 เทคโนโลยีซิกบี	8
2.3 อัลกอริทึมแบบคลีน (CLEAN ALGORITHM)	8
2.4 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ทดสอบสายอากาศกับร่างกายมนุษย์ขณะเคลื่อนไหว	14
บทที่ 3	
การออกแบบและการจัดทำปฏิยานุภาพ	16
3.1 การออกแบบการทดสอบวัดช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายที่กำลังเคลื่อนไหว	16
3.2 การทดสอบคุณลักษณะช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 4	ผลการทดลอง	36
	4.1 ผลการทดลองขนาดและเฟสของช่องสัญญาณขณะร่างกายมีการเคลื่อนไหว	36
	4.2 ผลการทดลองการสูญเสียเชิงวิถี	47
	4.3 ผลการทดลองสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	53
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	57
	5.1 สรุปผล	57
	5.2 ข้อเสนอแนะ	59
บรรณานุกรม		59
ภาคผนวก ก	ตารางแสดงค่าการสูญเสียวิถี	62
ภาคผนวก ข	ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	65

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 บล็อกไดอะแกรมของการศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว	4
2.1 โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์	5
2.2 การใช้คลื่นอัลกอริทึมเพื่อลดสัญญาณรบกวนแสดงให้เห็นสัญญาณภาครับ	11
2.3 บล็อกไดอะแกรมการคลื่นสำหรับช่องสัญญาณการส่งผ่านบนร่างกายของมนุษย์	13
3.1 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการวัดช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว	17
3.2 แบบจำลองการติดตั้งอุปกรณ์การวัดช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์	18
3.3 แบบจำลองขณะที่กำลังเอียงไปทางด้านหน้า และด้านหลัง กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์	18
3.4 แบบจำลองขณะที่กำลังเอียงไปทางด้านซ้าย และด้านขวา กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์	19
3.5 แบบจำลองขณะที่กำลังเอียงไปทางด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย และด้านขวากรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ มุมด้านบน (TOPVIEW)	19
3.6 แบบจำลองการติดตั้งการวัดช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว กรณีมีร่างกายมนุษย์	20
3.7 แบบจำลองขณะที่กำลังเอียงไปทางด้านหน้า และด้านหลัง กรณีที่มีร่างกายมนุษย์	21
3.8 แบบจำลองขณะที่กำลังเอียงไปทางด้านซ้าย และด้านขวา กรณีที่มีร่างกายมนุษย์	21
3.9 แบบจำลองขณะที่กำลังเอียงไปทางด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย และด้านขวากรณีที่ มี ร่างกายมนุษย์ มุมด้านบน (TOPVIEW)	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า	
3.10	แบบจำลองสถานที่ในการทำการทดสอบ	23
3.11	บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการทดลองวัดช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบน ร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว	24
3.12	เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์	26
3.13	สายอากาศแบบไมโครสตริป	27
3.14	สายอากาศไดโพล	28
3.15	สายนำสัญญาณเซมิริจิด ชนิด RG-142	29
3.16	อุปกรณ์เปรียบเทียบ	29
3.17	สายอากาศไมโครสตริปด้านภาคส่ง กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์	31
3.18	สายอากาศไดโพลด้านภาครับ กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์	32
3.19	การทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์	32
3.20	สายอากาศไมโครสตริปด้านภาคส่ง กรณีที่มีร่างกายมนุษย์	34
3.21	สายอากาศไดโพลฝั่งภาครับ กรณีที่มีร่างกายมนุษย์	34
3.22	การทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีที่มีร่างกายมนุษย์	35
4.1	เปรียบเทียบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์ด้านหน้า และด้านหลัง	36
4.2	เปรียบเทียบคุณลักษณะของช่องสัญญาณขณะร่างกายมีการเคลื่อนไหวไป ทิศด้านซ้าย และด้านขวาเมื่อติดสายอากาศไว้ที่ด้านหน้าของผู้ทดลอง	38
4.3	เปรียบเทียบคุณลักษณะของช่องสัญญาณขณะร่างกายมีการเคลื่อนไหวไป ทิศด้านหน้า และด้านหลังเมื่อติดสายอากาศไว้ที่ด้านหน้าของผู้ทดลอง	40
4.4	เปรียบเทียบคุณลักษณะของช่องสัญญาณขณะร่างกายมีการเคลื่อนไหวไป ทิศด้านซ้าย และด้านขวาเมื่อติดสายอากาศไว้ที่ด้านหลังของผู้ทดลอง	42
4.5	เปรียบเทียบคุณลักษณะของช่องสัญญาณขณะร่างกายมีการเคลื่อนไหวไป ทิศด้านหน้า และด้านหลังเมื่อติดสายอากาศไว้ที่ด้านหลังของผู้ทดลอง	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
4.6 เปรียบเทียบคุณลักษณะของช่องสัญญาณขณะร่างกายมีการเคลื่อนไหวไป ทิศด้านซ้าย และด้านขวาเมื่อติดสายอากาศไว้ที่ด้านหลังของผู้ทดลอง	46
4.7 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณขณะไม่มีร่างกายมนุษย์เมื่อไม่ ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นและผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น	48
4.8 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณขณะมีร่างกายมนุษย์เมื่อไม่ ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นและผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นกรณีติดสายอากาศ รับไว้ที่บริเวณด้านหน้าผู้ทดลอง	49
4.9 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณขณะมีร่างกายมนุษย์เมื่อไม่ ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นและผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นกรณีติดสายอากาศ รับไว้ที่บริเวณด้านหลังผู้ทดลอง	55
4.10 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ขณะไม่มีร่างกายมนุษย์เมื่อไม่ผ่าน อัลกอริทึมแบบคลื่นและผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น	54
4.11 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ขณะมีร่างกายมนุษย์เมื่อไม่ผ่าน อัลกอริทึมแบบคลื่นและผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นที่ติดอากาศรับด้านหน้า	54
4.12 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ขณะร่างกายมนุษย์เมื่อไม่ผ่าน อัลกอริทึมแบบคลื่นและผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นที่ติดสายอากาศรับ ด้านหลัง	55

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบไมโครสตริป	26
3.2 ตารางค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบไดโพล	28
3.3 ตารางพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดจริงของช่องสัญญาณการส่งผ่าน โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ในขณะที่ร่างกายกำลังเคลื่อนไหว กรณีที่ ไม่มีร่างกายมนุษย์	30
3.4 ตารางพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดจริงของช่องสัญญาณการส่งผ่าน โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ในขณะที่ร่างกายกำลังเคลื่อนไหว กรณีที่ มีร่างกายมนุษย์	33
4.1 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์	52
4.2 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์	53
4.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสายอากาศภาครับกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์	55
4.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสายอากาศภาครับกรณีมีร่างกายมนุษย์	56

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยีไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (Wireless Body Area Networks: WBANs) เป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมในวงการแพทย์ เช่นการตรวจสอบสถานะของผู้ป่วยทั้งภายในและภายนอกโรงพยาบาล นอกจากนี้ WBAN ยังสามารถใช้ในการติดตามกิจกรรมของนักกีฬา ใช้ในการทหาร และในการใช้งานมัลติมีเดียต่าง ๆ ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เทคโนโลยีไร้สายบนร่างกายมนุษย์นั้นใช้เซ็นเซอร์ไร้สายขนาดเล็ก และพลังงานต่ำ โดยอุปกรณ์เหล่านี้จะต้องอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับมนุษย์ (ไม่จำกัดเพียงแค่มนุษย์เท่านั้น) อาจจะต้องติดอยู่บนร่างกาย หรือใต้ผิวหนัง เพื่อเก็บหรือรวบรวมข้อมูลทางสรีรวิทยาที่มีความเฉพาะเจาะจงไปตามบุคคล และส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ของเทคโนโลยีซิกบี (ZigBee) จากนั้นจึงถ่ายโอนข้อมูลไปยังผู้เชี่ยวชาญทางการแพทย์เพื่อให้สามารถติดตามสถานการณ์ของผู้ป่วยได้อย่างต่อเนื่อง [1]

เทคโนโลยีซิกบีเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ถูกกำหนดมาตรฐานโดยสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE) 802.15.4 ซึ่งมีลักษณะการรับส่งข้อมูลต่ำและมีการใช้พลังงานต่ำมาก โดยมีความสามารถในการครอบคลุมพื้นที่ใกล้เคียง การนำเทคโนโลยีซิกบีไปใช้สามารถปรับใช้ได้หลากหลายอย่าง เช่น ระบบอัตโนมัติในบ้าน การติดตามสถานะคงคลังสินค้า หรือการใช้ในการดูแลสุขภาพและติดตามสถานะของผู้ป่วยจากระยะไกล เป็นต้น [2]

จากการค้นคว้ามีงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีต่อการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ [3] เพื่อศึกษาว่าที่ระยะห่างจากร่างกายมนุษย์ที่มีระยะแตกต่างกันจะมีผลต่อการส่งผ่านของแถบกว้างยิ่งโดยใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งที่ช่วงความถี่ระหว่าง 3 จิกะเฮิรตซ์ถึง 11 จิกะเฮิรตซ์ เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไร้สายบนร่างกายมนุษย์ อีกทั้งยังได้ศึกษาค้นคว้างานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาทดลองของการหาตำแหน่งโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์บนพื้นฐาน IEEE 802.15.4j [4] เพื่อนำมาศึกษาในด้านการใช้เทคโนโลยีซิกบีควบคู่ไปกับเทคโนโลยีไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และนำมาเป็นแนวทางในการศึกษาต่อในปริญญานิพนธ์นี้ แต่ยังไม่มีการศึกษาลักษณะของช่องสัญญาณหรือการวัดสัญญาณของช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว

ในปริญญานิพนธ์นี้ได้เลือกศึกษาในช่วงความถี่ 2.32 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 2.44 จิกะเฮิรตซ์ เพื่อให้ครอบคลุมความถี่ของมาตรฐาน IEEE 802.15.4 และ IEEE 802.15.6 ที่ความถี่ตามมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ 2.36 ถึง 2.40 จิกะเฮิร์ตซ์ [5] โดยในการทดสอบนั้นได้ใช้สัญญาณรูปคลื่นส่งเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ซึ่งเป็นรูปคลื่นที่เหมาะสมสำหรับเทคโนโลยีซิกบี โดยมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณได้รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลในระยะทางใกล้เคียง ในการทดสอบนี้ ได้ใช้สายอากาศไมโครสตริป และสายอากาศไดโพลเป็นสายอากาศฝั่งส่ง และฝั่งรับ ตามลำดับ เนื่องจากสายอากาศไมโครสตริปมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา รูปร่างไม่ซับซ้อน ออกแบบง่าย และราคาถูก ซึ่งเหมาะสมในการใช้งานกับเทคโนโลยีซิกบี และเลือกสายอากาศไดโพลเป็นฝั่งรับสัญญาณ เนื่องจากสายอากาศไดโพลสามารถรับสัญญาณได้ทุกทิศทาง จึงสามารถจะดูลักษณะของช่องสัญญาณได้ทั่วถึงสำหรับการวัดและบันทึกผล นำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ และประเมินผลด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ขนาดและเฟสของช่องสัญญาณ การสูญเสียเชิงวิถี โดยพิจารณาความผิดเพี้ยนของสัญญาณ โดยใช้อัลกอริทึมแบบคลื่นปรับคุณภาพช่องสัญญาณให้มีความเหมาะสมที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) ศึกษาเทคโนโลยีซิกบีเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
- 2) เพื่อศึกษาโครงสร้าง และคุณสมบัติของสายอากาศแผ่นไมโครสตริป เพื่อไปประยุกต์ใช้สำหรับการวัดช่องสัญญาณขณะที่ร่างกายกำลังเคลื่อนไหว
- 3) เพื่อศึกษาอัลกอริทึมแบบคลื่น และนำไปใช้ในการวัดช่องสัญญาณขณะที่ร่างกายมีการเคลื่อนไหว
- 4) ออกแบบ และจำลองการทดสอบการวัดช่องสัญญาณการส่งผ่านขณะที่ร่างกายกำลังเคลื่อนไหว
- 5) วิเคราะห์ และประเมินผลเปรียบเทียบลักษณะของสัญญาณพารามิเตอร์การสูญเสียเชิงวิถี และอัลกอริทึมแบบคลื่น

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1) นำเทคโนโลยีซิกบีมาใช้ในการวัดลักษณะของช่องสัญญาณขณะที่ร่างกายเคลื่อนไหว
- 2) ทำการออกแบบ และจำลองการทดลองวัดช่องสัญญาณขณะที่ร่างกายมีการเคลื่อนไหว
- 3) นำสายอากาศแผ่นไมโครสตริปและสายอากาศไดโพลที่ศึกษาไปใช้ในการวัดช่องสัญญาณขณะที่ร่างกายมีการเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) นำอัลกอริทึมแบบคลีนที่ได้ศึกษาไปใช้ในการวัดช่องสัญญาณขณะที่ร่างกายมีการเคลื่อนไหว

5) ทำการเปรียบเทียบคุณลักษณะของช่องสัญญาณขณะที่ร่างกายเคลื่อนไหว รวมทั้งนำค่าพารามิเตอร์มาวิเคราะห์ ประเมินผลการสูญเสียเชิงวิถี สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และอัลกอริทึมแบบคลีน

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

สำหรับขั้นตอนแรกในการศึกษาปริญญาโทนี้ ผู้จัดทำจะเริ่มต้นด้วยการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปริญญาโท โดยเมื่อศึกษา และได้แนวคิดแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการออกแบบจำลองการทดสอบ และทำการทดสอบวัดจริงช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ และประเมินผลเปรียบเทียบ โดยพิจารณาพารามิเตอร์ขนาดและเฟสของช่องสัญญาณ การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) แล้วนำอัลกอริทึมแบบคลีน (CLEAN Algorithm) มาใช้เพื่อพิจารณาความผิดเพี้ยนช่องสัญญาณเพื่อปรับคุณภาพช่องสัญญาณให้มีความเหมาะสมที่สุด ขั้นตอนสุดท้ายจะมีการประเมินผลและเปรียบเทียบผลการวัดช่องสัญญาณ โดยแสดงบล็อกไดอะแกรมของการศึกษาคูณลักษณะของช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว แสดงดังรูปที่ 1.1

1.5 สรุป

จากแนวคิด และหลักการข้างต้น สามารถสรุปเป็นขั้นตอนการศึกษาสำหรับโครงงานนี้เป็น 5 บท ดังนี้

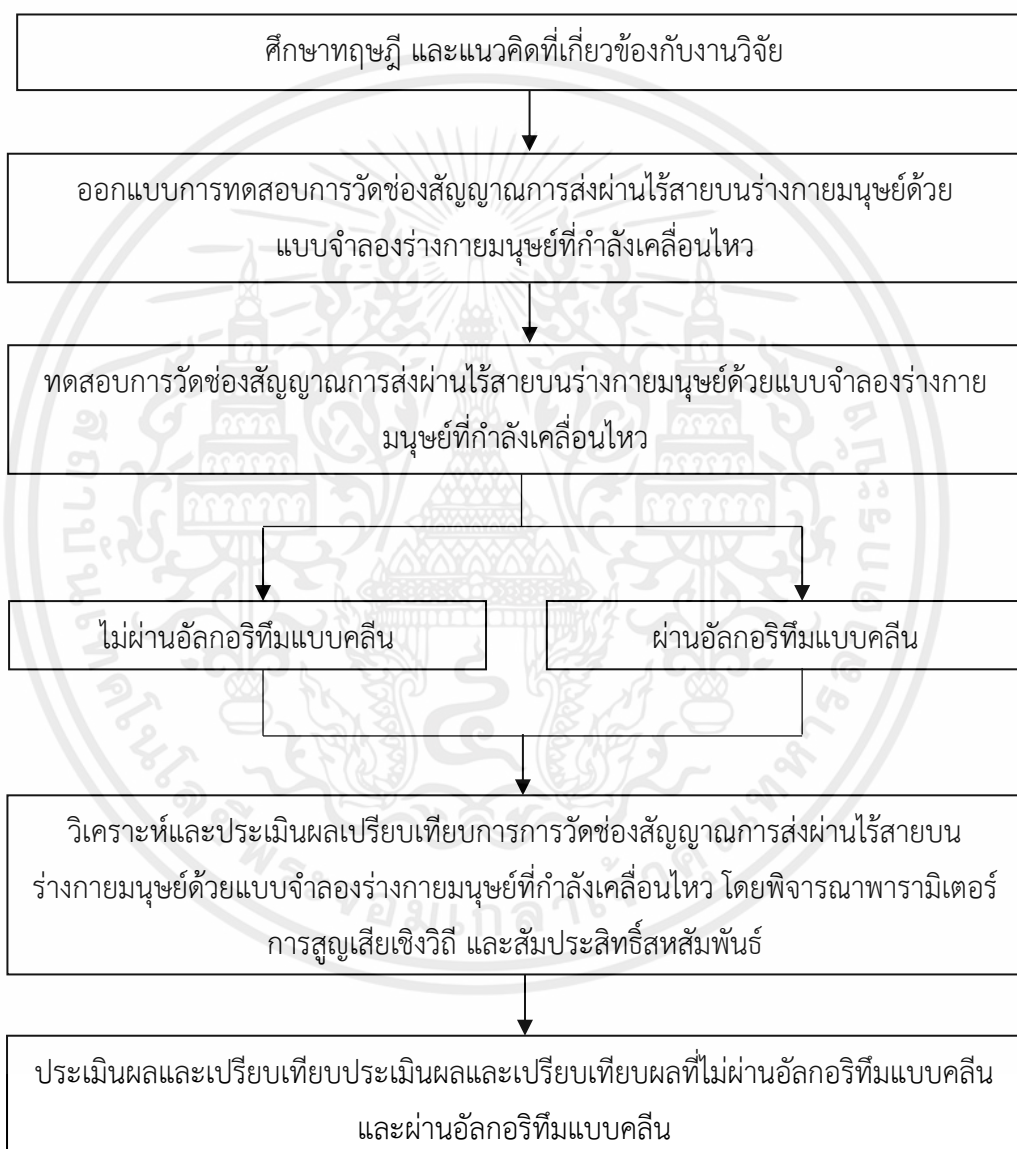
บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ ซึ่งประกอบไปด้วยความเป็นมา และความสำคัญของปัญหาวัตถุประสงค์ของโครงงาน ขอบเขตของโครงงาน และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบไปด้วยเทคโนโลยีไร้สายบนร่างกายมนุษย์ เทคโนโลยีซิกบี อัลกอริทึมแบบคลีน และพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์การทดลองการวัดช่องสัญญาณการส่งผ่านไร้สายบนร่างกายมนุษย์ขณะร่างกายกำลังเคลื่อนไหว

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบจำลองการทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วย การออกแบบแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณการส่งผ่านไร้สายบนร่างกายมนุษย์ขณะร่างกายกำลังเคลื่อนไหว เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ และขั้นตอนการทดสอบ

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองของการวัดช่องสัญญาณขณะที่ร่างกายมีการเคลื่อนไหว ซึ่งประกอบไปด้วยผลการวัดช่องสัญญาณการส่งผ่านไร้สายบนร่างกายมนุษย์ขณะร่างกายกำลังเคลื่อนไหว

บทที่ 5 กล่าวถึงสรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะการศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ในขณะที่ร่างกายมนุษย์กำลังเคลื่อนไหว



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมของการศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

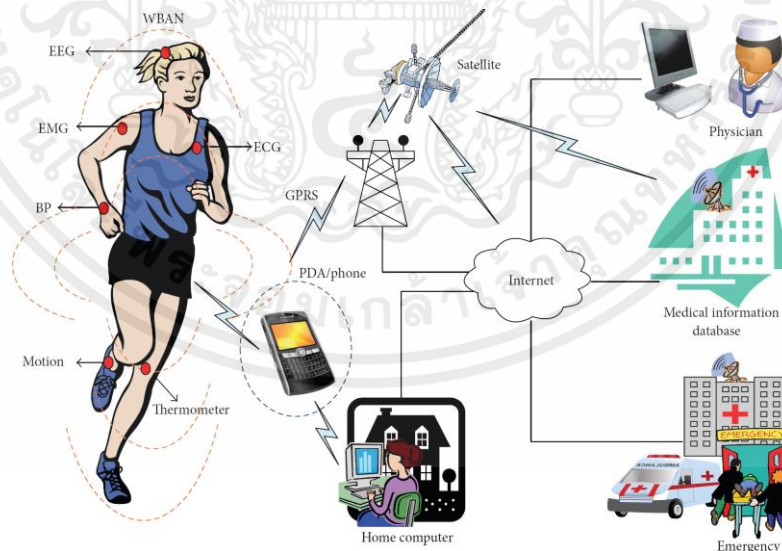
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ เทคโนโลยีซิกบี คลื่นอัลกอริทึม และพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ทดสอบสายอากาศกับร่างกายมนุษย์ขณะเคลื่อนไหว

2.1 เทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

เทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์นับเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยม และมีความก้าวหน้าเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เพื่อเพิ่มคุณภาพชีวิตของมนุษย์โดยการตรวจสอบสภาพของผู้ป่วยภายใน และภายนอกโรงพยาบาล กิจกรรมของนักกีฬา [6] การใช้งานทางทหาร เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีน้ำหนักเบา พลังงานต่ำ ราคาถูก มีความสามารถในการตรวจจับที่สามารถเชื่อถือได้ และสามารถปรับขนาดสำหรับการตรวจสอบกิจกรรมในชีวิตประจำวัน ในระยะเวลาที่สั้นถึงระยะยาวได้ เป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการใช้งานกับด้านต่าง ๆ แต่ทั้งนี้ก็ยังมีข้อเสียของเทคโนโลยีนี้อยู่หลายประการ เช่น ความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของข้อมูล เป็นต้น [7]



รูปที่ 2.1 โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ประวัติความเป็นมาเทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

เทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (Wireless Body Area Network: WBAN) เกิดขึ้นเมื่อ Guglielmo Marconi สาธิตการสื่อสารไร้สายครั้งแรกในปี ค.ศ. 1896 โดยส่งสัญญาณไปยังระยะทาง 1.75 ไมล์ ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายได้ก้าวไกลอย่างมหาศาล รวมถึงวิทยุ โทรทัศน์ โทรศัพท์มือถือ ไวไฟ และการสื่อสารด้วยดาวเทียม ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากต่อมนุษยชาติ นักวิจัยและวิศวกรไฟฟ้ากำลังพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายรูปแบบใหม่ที่เรียกว่า เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย (Body Area Network : BAN) เพื่อที่จะใช้เป็นเครือข่ายการสื่อสารสำหรับอวัยวะและส่วนต่าง ๆ ของร่างกายมนุษย์ ในอดีตการสื่อสารของมนุษย์กับโลกภายนอก จำกัดอยู่ที่เพียง 3 อวัยวะ คือ ตา หู และปาก เช่น การดูหนัง ฟังเพลง ใช้อินเทอร์เน็ต และโทรศัพท์มือถือ การใช้เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายยังต้องพัฒนาต่อไปเพื่อสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งาน อีกทั้งยังมีความต้องการในการจัดการกับข้อมูลส่วนบุคคลที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการป้องกันการแฝงข้อมูลและการบุกรุกจากระยะไกล ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายยังคงเป็นการวิจัยที่ต้องการการทำงานของผู้เชี่ยวชาญในด้านวิศวกรรมไฟฟ้า และเทคโนโลยีสารสนเทศอย่างสูงสุด [9]

IEEE 802.15.1 เป็นมาตรฐานแรกที่ทำให้มีความสำคัญกับการสร้างโครงข่ายส่วนบุคคลระยะสั้น ในขณะที่ IEEE 802.15.4 เน้นไปที่การแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยใช้พลังงานต่ำ โดยทั้งสองมาตรฐานนี้เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในระบบทางการแพทย์ โดย IEEE 802.15.4 เหมาะสำหรับระบบที่ต้องการอัตราการส่งข้อมูลต่ำ ในขณะที่มาตรฐาน IEEE 802.15.6 ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของระบบประยุกต์ทางการแพทย์ โดยให้ความสำคัญกับการสร้างโครงข่ายสื่อสารที่ใช้งานได้ในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อน และสามารถรองรับการสื่อสารข้อมูลทางการแพทย์ที่มีอัตราสูงโดยมีประสิทธิภาพและปลอดภัย มาตรฐาน IEEE 802.15.6 ได้สร้างร่างมาตรฐานฉบับแรกในปี ค.ศ.2010 และกำลังพัฒนาต่อเนื่องอยู่ในปัจจุบัน [10]

2.1.2 ข้อกำหนดของเทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

การออกแบบเซ็นเซอร์ขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ เชื่อมถือได้ และสวมใส่ได้อุปกรณ์โหนดเป็นข้อกำหนดหลักของการออกแบบโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ เป็นเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับวัตถุประสงค์พิเศษที่ออกแบบมาเพื่อส่งสัญญาณข้อมูลในระยะทางที่สั้นมาก คุณภาพการให้บริการ (Quality of Service: QoS) ของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ จะขึ้นอยู่กับการใช้งาน ซึ่งหลักๆ จะเกี่ยวกับโปรแกรมทางการแพทย์ โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์สามารถ

นำไปใช้กับที่อื่นได้ เช่น การฝึกกีฬา การฟื้นฟูสมรรถภาพ หรือการใช้งานทางทหารที่คุณภาพการให้บริการ จะถูกกำหนด โดยลักษณะของโปแกรมเหล่านั้น สำหรับการใช้งานทางการแพทย์ที่แหล่งข้อมูล ข้อมูลเป็นสัญญาณทางสรีรวิทยา เช่น อัตราการเต้นของหัวใจ ความดันเลือด คลื่นไฟฟ้าหัวใจ ฯลฯ โดยทั่วไประบบต้องการความล่าช้า และความน่าเชื่อถือสูง นอกจากนี้แหล่งที่มาของสัญญาณทางสรีรวิทยาส่วนใหญ่ทำให้ข้อมูลแตกได้สั้นลงด้วยความถี่การสุ่มตัวอย่างปกติ เพราะฉะนั้นข้อกำหนดอัตราการส่งข้อมูลโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลางในแต่ละการเชื่อมต่อ อย่างไรก็ตามโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ จะประกอบด้วยโหนดเซนเซอร์หลายโหนดที่รับส่งข้อมูลควรประสานงานโดยใช้สื่อที่เชื่อถือได้และมีประสิทธิภาพ โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึง ข้อกำหนดการออกแบบหลักของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ คือการพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายระยะสั้นและเชื่อถือได้ [11]

โดยข้อกำหนดทางเทคนิคของ IEE 802.15.6 มีดังนี้

1. จำนวนของอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทางการแพทย์มี 6 โหนด แต่สามารถมีได้ถึง 256 โหนด
2. อัตรารับส่งข้อมูลตั้งแต่ 10 กิโลบิตต่อวินาที ถึง 10 เมกะบิตต่อวินาที
3. ช่วงการส่งผ่านระยะมาตรฐาน 2 เมตร และการใช้งานพิเศษ 5 เมตร
4. สามารถทำงานบนร่างกายภายใต้เสื้อผ้าหรือบนผิวหนัง
5. ลักษณะของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับสภาพของร่างกาย
6. ระดับพลังงานอยู่ในระดับต่ำ 0.1 มิลลิวัตต์ ถึง 1 มิลลิวัตต์
7. ใช้พลังงานน้อย
8. ความปลอดภัยของข้อมูล เช่น Authentication Data Integrity and Encryption

2.1.3 การประยุกต์ใช้โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

ในกรณีส่วนใหญ่โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ จะตั้งขึ้นในโรงพยาบาล โดยเจ้าหน้าที่ทางการแพทย์ เครือข่ายสามารถกำหนดค่า และบำรุงรักษาตัวเองได้โดยอัตโนมัติ กล่าวคือ ควรสนับสนุนการจัดการด้วยตนเองและการบำรุงรักษาด้วยตนเอง เมื่อใดก็ตามที่วางโหนดบนตัวเครื่อง และเปิดใช้งาน โหนดนั้นควรจะสามารถเข้าร่วมเครือข่ายและตั้งค่าเส้นทางได้โดยปราศจากการแทรกแซงจากภายนอก ด้านการจัดระเบียบตนเองยังรวมถึงปัญหาของการจัดการโหนดด้วย ที่อยู่สามารถกำหนดค่าได้ในขณะการผลิต หรือที่เวลาตั้งค่าโดยเครือข่ายเอง นอกจากนี้เครือข่ายควรกำหนดค่าใหม่ได้อย่างรวดเร็ว เพื่อเพิ่มบริการใหม่ ๆ เมื่อเส้นทางล้มเหลว ควรตั้งค่า

เส้นทางสำรอง อุปกรณ์อาจจะจัดกระจายไปทั่วร่างกาย ตำแหน่งที่แน่นอนของอุปกรณ์จะขึ้นอยู่กับแอปพลิเคชัน เช่น เห็นได้ชัดว่าต้องวางเซ็นเซอร์วัดหัวใจไว้ในบริเวณใกล้เคียงกับหัวใจ สามารถวางเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิได้เกือบทุกที่ ไม่มีความเห็นเป็นเอกฉันท์ของนักวิจัยเกี่ยวกับตำแหน่งของร่างกายในอุดมคติสำหรับโหมดเซ็นเซอร์บางตัว เช่น เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว เนื่องจากการตีความข้อมูลที่วัดได้นั้นไม่เหมือนกันเสมอไป เครือข่ายไม่ควรถือเป็นแบบคงที่ ร่างกายอาจมีการเคลื่อนไหว เช่น เดิน วิ่ง บิดตัว เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดเอฟเฟกต์ช่องสัญญาณจางลงและเกิดเงา โหนดควรมีรูปแบบขนาดเล็กที่สอดคล้องกับการใช้งานแบบสวมใส่และแบบฝัง สิ่งนี้จะทำให้เทคโนโลยีไร้สายบนร่างกายมนุษย์ มองไม่เห็นและไม่เป็นการรบกวน เนื่องจากการตีความข้อมูลที่วัดได้นั้นไม่เหมือนกันเสมอไป [12]

2.2 เทคโนโลยีซิกบี

2.2.1 มาตรฐานเทคโนโลยีซิกบี IEEE 802.15.4

เทคโนโลยีซิกบี เป็นมาตรฐานเครือข่ายไร้สายพลังงานต่ำที่กำหนดเป้าหมายไปที่อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ในโปรแกรมควบคุม และตรวจสอบแบบไร้สายซิกบี การสื่อสารที่มีความหน่วงแฝงต่ำ โดยทั่วไปซิกบีจะรวมเข้ากับวิทยุและไมโครคอนโทรลเลอร์ ซิกบีดำเนินการใน ย่านความถี่วิทยุอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ คลื่นความถี่สาธารณะสำหรับอุตสาหกรรม (Industrial Sciences Medicine: ISM) 2.4 จิกะเฮิร์ตซ์ ในเขตอำนาจศาลส่วนใหญ่ทั่วโลก แม้ว่าอุปกรณ์บางตัวจะใช้ 784 เมกะเฮิร์ตซ์ ในประเทศจีน 868 เมกะเฮิร์ตซ์ ในยุโรป และ 915 เมกะเฮิร์ตซ์ ในสหรัฐอเมริกาและออสเตรเลีย อย่างไรก็ตาม แม้แต่ภูมิภาคและประเทศเหล่านั้นก็ยังใช้ 2.4 จิกะเฮิร์ตซ์ สำหรับอุปกรณ์ซิกบีเชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่สำหรับใช้ในบ้าน อัตราข้อมูลแตกต่างกันไปตั้งแต่ 20 กิโลบิตต่อวินาที (แถบความถี่ 868 เมกะเฮิร์ตซ์) ถึง 250 กิโลบิตต่อวินาที (แถบความถี่ 2.4 จิกะเฮิร์ตซ์) 16 ช่อง ถูกจัดสรรในย่านความถี่ 2.4 จิกะเฮิร์ตซ์ โดยเว้นระยะห่างกัน 5 เมกะเฮิร์ตซ์ แม้ว่าแต่ละช่องจะใช้แบนด์วิดท์เพียง 2 เมกะเฮิร์ตซ์ วิทยุใช้การเข้ารหัสสเปกตรัมแบบลำดับตรง ซึ่งจัดการโดยสตรีมดิжитัลเข้าสู่อุปกรณ์ควบสัญญาณ Binary phase-shift keying : BPSK ใช้ในแบนด์ 868 และ 915 เมกะเฮิร์ตซ์ และ Offset quadrature phase-shift keying (O-QPSK) ที่ส่งสองบิตต่อสัญลักษณ์ถูกใช้ในแบนด์ 2.4 จิกะเฮิร์ตซ์ อัตราข้อมูลดิบทางอากาศคือ 250 กิโลบิตต่อวินาที ต่อช่องสัญญาณในย่านความถี่ 2.4 จิกะเฮิร์ตซ์ 40 กิโลบิตต่อวินาทีต่อช่องสัญญาณในย่านความถี่ 915 เมกะเฮิร์ตซ์ และ 20 กิโลบิตต่อวินาที ในย่านความถี่ 868 เมกะเฮิร์ตซ์ ปริมาณงาน (Throughput) ของข้อมูลจริงจะน้อยกว่าอัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิตสูงสุดที่ระบุ เนื่องจากค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมแพ็คเกจและความล่าช้าในการประมวลผล สำหรับการใช้งานในอาคารที่ระยะการส่งสัญญาณ 2.4 จิกะเฮิร์ตซ์ คือ 10 – 20 เมตร ขึ้นอยู่กับวัสดุก่อสร้าง จำนวนกำแพงที่จะเจาะ และกำลังขับที่อนุญาตในตำแหน่งทางภูมิศาสตร์นั้น กำลังขับของวิทยุโดยทั่วไปคือ 0 – 20 dBm (1 – 100 มิลลิวัตต์) [13]

2.2.2 ชนิดอุปกรณ์ของซิกบี

ชนิดอุปกรณ์ของซิกบี [14] สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ อุปกรณ์ทางกายภาพ (Physical Device) และอุปกรณ์ทางตรรกะ (Logic Device)

1) อุปกรณ์ทางกายภาพ สามารถออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1.1) อุปกรณ์เต็มฟังก์ชัน (Full Function Device: FFD) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์จัดเส้นทาง เป็นสื่อกลางในการรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์อื่น ๆ ใช้พลังงานจากสายไฟฟ้าสามารถทำงานได้ทุกโครงข่ายและสามารถทำเป็นจุดเชื่อมต่อกันได้

1.2) อุปกรณ์ลดฟังก์ชัน (Reduce Function Device: RFD) คือ อุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมต่อภายในโครงข่าย ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ ไม่สามารถถ่ายทอดข้อมูลจากอุปกรณ์อื่น ๆ ได้ มีการส่งข้อมูลน้อยและสามารถติดต่อ FFD ได้เพียงตัวเดียว

2) อุปกรณ์ทางตรรกะ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1.1) ตัวประสานงานซิกบี (ZigBee Coordinator: ZC) คือ อุปกรณ์ประเภทอุปกรณ์เต็มฟังก์ชันที่ทำหน้าที่สร้างโครงข่ายการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ปลายทางกับอุปกรณ์จัดเส้นทางหรือตัวประสานงานกับอุปกรณ์จัดเส้นทาง หรือตัวประสานงานกับตัวประสานงานด้วยกัน โดยการกำหนดที่อยู่ให้กับอุปกรณ์ในโครงข่ายที่สร้างขึ้นไม่ให้ซ้ำกัน ทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลในโครงข่าย

1.2) อุปกรณ์จัดเส้นทางซิกบี (ZigBee Router: ZR) คือ อุปกรณ์ประเภทอุปกรณ์เต็มฟังก์ชันที่ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลและจัดการเส้นทางต่าง ๆ ของข้อมูลที่ส่งผ่านภายในโครงข่ายระหว่างคู่ของโหนดใด ๆ

1.3) อุปกรณ์ปลายทางของซิกบี (ZigBee End Device: ZED) ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ปลายทาง ใช้พลังงานต่ำเมื่อใช้งานเป็นโหนดที่อยู่ในส่วนของผู้ใช้งาน อุปกรณ์ปลายทางของซิกบีเป็นอุปกรณ์ประเภท อุปกรณ์ลดฟังก์ชันหรืออุปกรณ์เต็มฟังก์ชัน ในบางกรณีขึ้นอยู่กับอุปกรณ์รับรู้ที่ใช้ และคอยจัดเส้นทางของข้อความ

อุปกรณ์เติมฟังก์ชันสามารถทำหน้าที่ได้ 3 บทบาท ได้แก่ ตัวประสานงาน ตัวประสานงานโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Personal Area Network Coordinator: PAN Coordinator) และอุปกรณ์ส่วนมาตรฐานซิกบี ตัวประสานงานซิกบีคือตัวประสานงานโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล อุปกรณ์จัดเส้นทางซิกบีเป็นอุปกรณ์ที่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวประสานงาน อุปกรณ์ปลายทางของซิกบี คือ อุปกรณ์ที่ไม่ใช่ตัวประสานงานหรืออุปกรณ์จัดเส้นทาง อุปกรณ์ปลายทางของซิกบีมีขนาดหน่วยความจำน้อยที่สุด มีความสามารถและคุณสมบัติในการประมวลผลน้อยที่สุด อุปกรณ์ปลายทางของซิกบีมักจะเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาถูกที่สุดในโครงข่าย

2.1.3 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีซิกบี

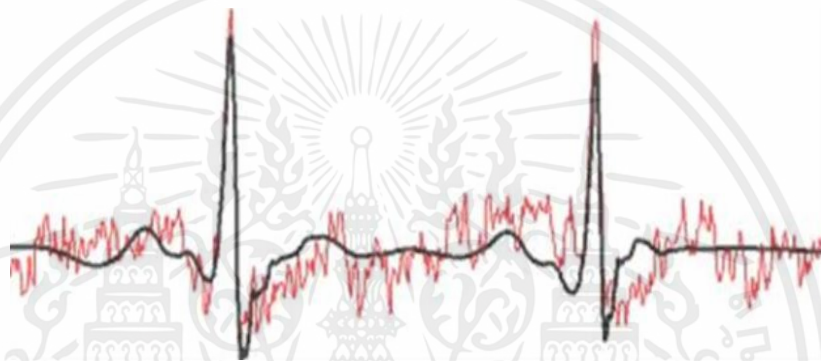
เทคโนโลยีซิกบีมีการประยุกต์ใช้ที่หลากหลายไม่จำกัดเพียงระบบอัตโนมัติในบ้าน รวมถึงการติดตามสินค้าคงคลัง และการดูแลสุขภาพ อุปกรณ์ซิกบีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและหรือลดต้นทุนได้ การใช้โปรโตคอลซิกบีอย่างเต็มรูปแบบมีข้อได้เปรียบด้านความสามารถในการสร้างโครงข่ายแบบเมชที่เชื่อถือได้ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ซิกบีมีดังนี้ [2]

- 1) ระบบอัตโนมัติในบ้าน เป็นหนึ่งในพื้นที่การใช้งานหลักสำหรับเทคโนโลยีซิกบี ระบบอัตโนมัติภายในบ้านมีอัตราการรับส่งข้อมูลเพียง 10 กิโลเมตร เช่น ระบบรักษาความปลอดภัย ระบบการอ่านมิเตอร์ ระบบน้ำ และระบบควบคุมแสง
- 2) เครื่องใช้ไฟฟ้า ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้บริโภคสามารถใช้ได้ในรีโมทไร้สาย ตัวควบคุมเกม เม้าส์ไร้สายสำหรับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และระบบประยุกต์อื่น ๆ
- 3) ระบบอัตโนมัติอุตสาหกรรม ในระดับอุตสาหกรรม โครงข่ายแบบตาข่ายของซิกบีสามารถช่วยในการใช้งานด้านต่าง ๆ เช่น การจัดการพลังงาน การควบคุมแสง การควบคุมกระบวนการ และการจัดการ เช่น การจัดการสินทรัพย์และการติดตามบุคลากร การติดตามด้านปศุสัตว์
- 4) การดูแลสุขภาพ ในการดูแลสุขภาพ เช่น การตรวจสอบข้อมูลที่สำคัญของผู้ป่วยจากระยะไกล

2.3 อัลกอริทึมแบบคลีน (CLEAN Algorithm)

อัลกอริทึมแบบคลีน ได้ถูกนำมาประยุกต์เพื่อใช้ในการทำการปรับปรุงสัญญาณให้ดีขึ้นในโดเมนของเวลา เพื่อลดสัญญาณรบกวนในระบบการสื่อสาร เพราะกระบวนการคลีน มีข้อดีที่สามารถจัดสัญญาณ รบกวนได้จึงสามารถเห็นสัญญาณภาครับในแต่ละช่วงเวลาได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

แนวคิดทั่วไปคือการค้นหาพัลส์ที่ใหญ่ที่สุดในสัญญาณที่ได้รับ โดยทำการเชื่อมโยงกับสัญญาณแม่แบบที่ระบุไว้ล่วงหน้า สำหรับวัตถุประสงค์ของการศึกษาสัญญาณแม่แบบ คือพัลส์อินพุตสายอากาศ จากนั้นการพัลส์ที่ใหญ่ที่สุดจะถูกลบออกจากสัญญาณดั้งเดิม ซึ่งจะลบผลกระทบออกไป โดยที่ C_{au} คือ การทำสหสัมพันธ์อัตโนมัติของสัญญาณส่ง (Auto correlation) C_{cc} คือ สหสัมพันธ์ข้ามระหว่างสัญญาณรับ (Cross-correlation) และสัญญาณส่งที่ a_k คือ ค่าสูงสุดของฟังก์ชันสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างสัญญาณรับและสัญญาณส่ง ดังที่เห็นในรูปที่ 2.9 กระบวนการทั้งหมดนี้จะถูกทำซ้ำจนกว่าค่าของ a_k จะมากกว่าค่าเกณฑ์ที่กำหนด [15]



รูปที่ 2.2 การใช้คลื่นอัลกอริทึมเพื่อลดสัญญาณรบกวนแสดงให้เห็นสัญญาณภาครับ [16]

ในปริณยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอขั้นตอนการคลื่น โดยมีการประยุกต์ใช้นร่างกายมนุษย์และการปรับปรุงจากรูปแบบที่มีอยู่เดิมเพื่อสามารถนำมาใช้ในลักษณะช่องสัญญาณการส่งผ่านบร่ายกายมนุษย์เพื่อลดสัญญาณรบกวน โดยเป็นผลที่มาจากเนื้อเยื่อของร่างกายมนุษย์และยังมีผลให้เห็นสัญญาณภาคส่งชัดเจนขึ้น โดยขั้นตอนของกระบวนการอัลกอริทึมแบบคลื่นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ การกำหนด การคำนวณ และกระบวนการคลื่น จากกระบวนการของอัลกอริทึมแบบคลื่นที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะสามารถอธิบายกระบวนการของอัลกอริทึมแบบคลื่นได้เป็นขั้นตอนการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.3 และมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการคลื่น

1. ทำการหา Dirty map (d_t) คือ สัญญาณรับ ($v_r(t)$) ในโดเมนเวลาผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ (Channel Impulse Response: CIR) โดยที่

$$v_r(t) = IFT \{V_r\} \quad (2.1)$$

และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_r(t) = v_r * H_c \quad (2.2)$$

2. ทำการหาสหสัมพันธ์อัตโนมัติ (C_{au}) ระหว่างสัญญาณส่ง (v_t) ในโดเมนเวลาดังสมการที่ (2.1) และทำการหาสหสัมพันธ์ข้าม (C_{cc}) ระหว่างสัญญาณส่ง (v_t) และสัญญาณรับ (v_r) ดังสมการที่ (2.2)

$$C_{au}(\tau) = v_t(t) \otimes v_t(t) \quad (2.3)$$

$$C_{cc}(\tau) = v_r(t) \otimes v_t(t) \quad (2.4)$$

3. ทำการสร้างบีมสังเคราะห์ (Synthesis Beam: a_k) โดยการหาค่าสูงสุดของ C_{cc} ที่แต่ละตำแหน่งของแต่ละข้อมูล

$$a_k = \max |C_{cc}(\tau)| \quad (2.5)$$

4. ทำการกำหนดเกณฑ์โดยที่ถ้าค่าของบีมสังเคราะห์น้อยกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้จะกลับไปทำข้อ 3

5. ถ้าค่าของบีมสังเคราะห์มากกว่าเกณฑ์จะเป็นไปตามสมการที่ (2.4) และ (2.5)

$$d_t = d_{t-t_0} - (a_{k_{t-t_0}} * C_{au}) \quad (2.6)$$

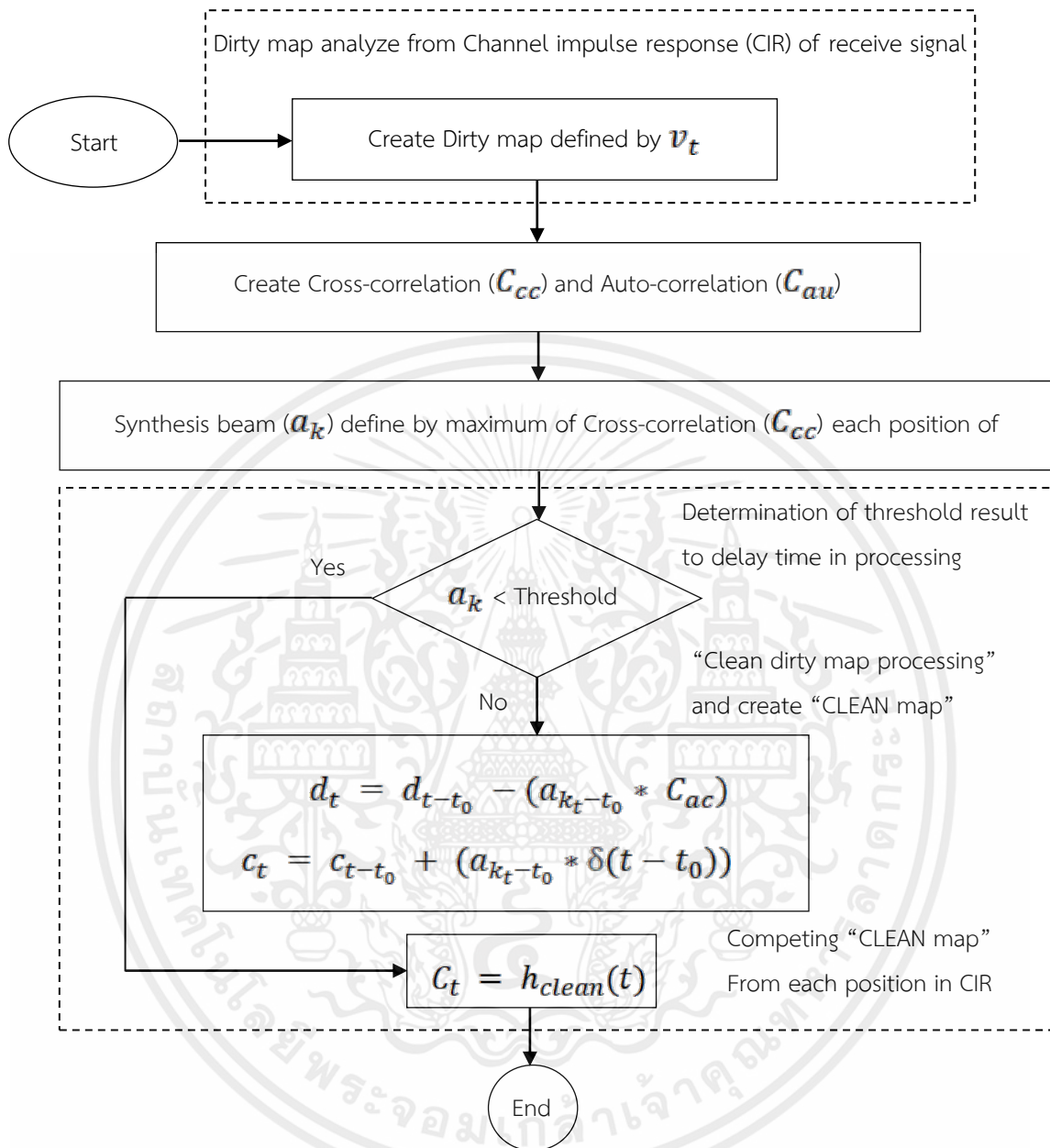
เมื่อ a_k คือ บีมสังเคราะห์ ขั้นตอนนี้จะเรียกว่า CLEAN Dirty map

$$C_t = C_{t-t_0} + (a_{k_{t-t_0}} * \delta(t-t_0)) \quad (2.7)$$

ซึ่งจะได้ $C_t = h(t)$ โดยเรียก C_t ที่เป็นผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ (CIR) ใหม่กว่า CLEAN map หรือ CLEAN component

6. จากนั้นจะได้ช่องสัญญาณอิมพัลส์ใหม่เรียกว่า CLEAN map ($h(t)$)

โดยวิธีการทำคลื่นเป็นดังบล็อกไดอะแกรมการคลื่นสำหรับช่องสัญญาณการส่งผ่านบนร่างกายของมนุษย์ แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมการคลีนสำหรับช่องสัญญาณการส่งผ่านบนร่างกายของมนุษย์ [17]

2.3.1 ข้อจำกัดของอัลกอริทึมแบบคลีน

เนื่องจากอัลกอริทึมแบบคลีนมีการพิจารณาของจำนวนพารามิเตอร์ที่น้อย ดังนั้น อัลกอริทึมแบบคลีนจึงไม่เหมาะกับข้อมูลที่ซับซ้อน และหากมีการวนซ้ำในขั้นตอนการทำซ้ำของ

อัลกอริทึมแบบคลื่นที่มากเกินไป จะทำให้ได้ผลลัพธ์ออกมาที่ไม่ตรงตามความเป็นจริง เนื่องจากหลังจากผ่านขั้นตอนการทำซ้ำในรอบที่ 2-3 ครั้ง นั้น จะไม่ทำให้ค่าของ a_k มากไปกว่าค่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ได้

2.4 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ทดสอบสายอากาศกับร่างกายมนุษย์ขณะเคลื่อนไหว

ผลที่ได้จากการวัดทดสอบสายอากาศกับร่างกายมนุษย์ขณะเคลื่อนไหวจากการทดลองนั้น จะนำไปประมวลผลผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณหาค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

2.4.1 การสูญเสียเชิงวิถี

ภายในระบบการสื่อสารไร้สายนั้นเป้าหมายหลักของการจำลองการแพร่กระจายคลื่นนั้น คือการคาดการณ์ถึงค่าความสูญเสียเชิงวิถี การสูญเสียเชิงวิถีเป็นอัตราส่วนระหว่างการสูญเสียของกำลังงานทางด้านส่งเทียบกับกำลังงานทางด้านรับแสดงค่าระดับสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงของระบบ [18] ในส่วนระบบการสื่อสารไร้สายนั้นเป้าหมายหลักของการจำลองการแพร่กระจายคลื่นคือ การคาดการณ์ถึงค่าความสูญเสียเชิงวิถีเนื่องจากการแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณ ซึ่งใช้การพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างระดับสัญญาณที่ใช้ส่งและระดับกำลังงานที่รับได้ซึ่งโดยทั่วไปจะแสดงให้อยู่ในหน่วยของเดซิเบลดังแสดงในสมการที่ (2.8)

$$PL(d)[dB] = 20 \log \left(\frac{v_t(t)}{v_r(t)} \right) \quad (2.8)$$

โดยที่ $v_t(t)$ คือ สเปกตรัมสัญญาณที่ใช้ส่ง

$v_r(t)$ คือ สเปกตรัมสัญญาณที่รับได้

โดยในสมการที่ (2.8) ได้กำหนดให้ขนาดของสัญญาณที่ใช้ส่งมีค่าเท่ากับ 1 โวลต์ ดังนั้นสามารถจัดสมการใหม่ได้ดังนี้ ดังแสดงในสมการที่ (2.9)

$$PL(d)[dB] = -20 \log[\max |v_r(t, d)|] \quad (2.9)$$

2.4.2 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

จากค่าความผิดพลาดของรูปสัญญาณที่รับได้นั้น สามารถทำการวิเคราะห์และแสดงให้เห็น โดยสามารถพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดของค่า

สหสัมพันธ์ข้ามที่แสดงเป็นฟังก์ชันของสัญญาณส่ง และสัญญาณที่รับได้กับค่าสูงสุดของค่าสัมบูรณ์ รากที่สองของผลคูณระหว่างค่าสหสัมพันธ์อัตโนมัติของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้ [19] โดย สมการที่นิยามค่าดังกล่าวแสดงดังสมการที่ (2.10) ถึงสมการ (2.13) แสดงตามลำดับดังนี้

$$C = \frac{\max |r_{ab}(\tau)|}{\max \sqrt{r_a(\tau)r_b(\tau)}} \quad (2.10)$$

โดยสมการนิยามค่าสหสัมพันธ์ข้ามคือ

$$r_{ab}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_t(\tau)v_r(t+\tau)dt \quad (2.11)$$

และสมการนิยามค่าสหสัมพันธ์อัตโนมัติคือ

$$r_a(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_t(\tau)v_t(t+\tau)dt \quad (2.12)$$

$$r_b(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(\tau)v_r(t+\tau)dt \quad (2.13)$$

โดยที่ $v_t(\tau)$ คือ สัญญาณส่ง
 $v_r(\tau)$ คือ สัญญาณที่รับได้

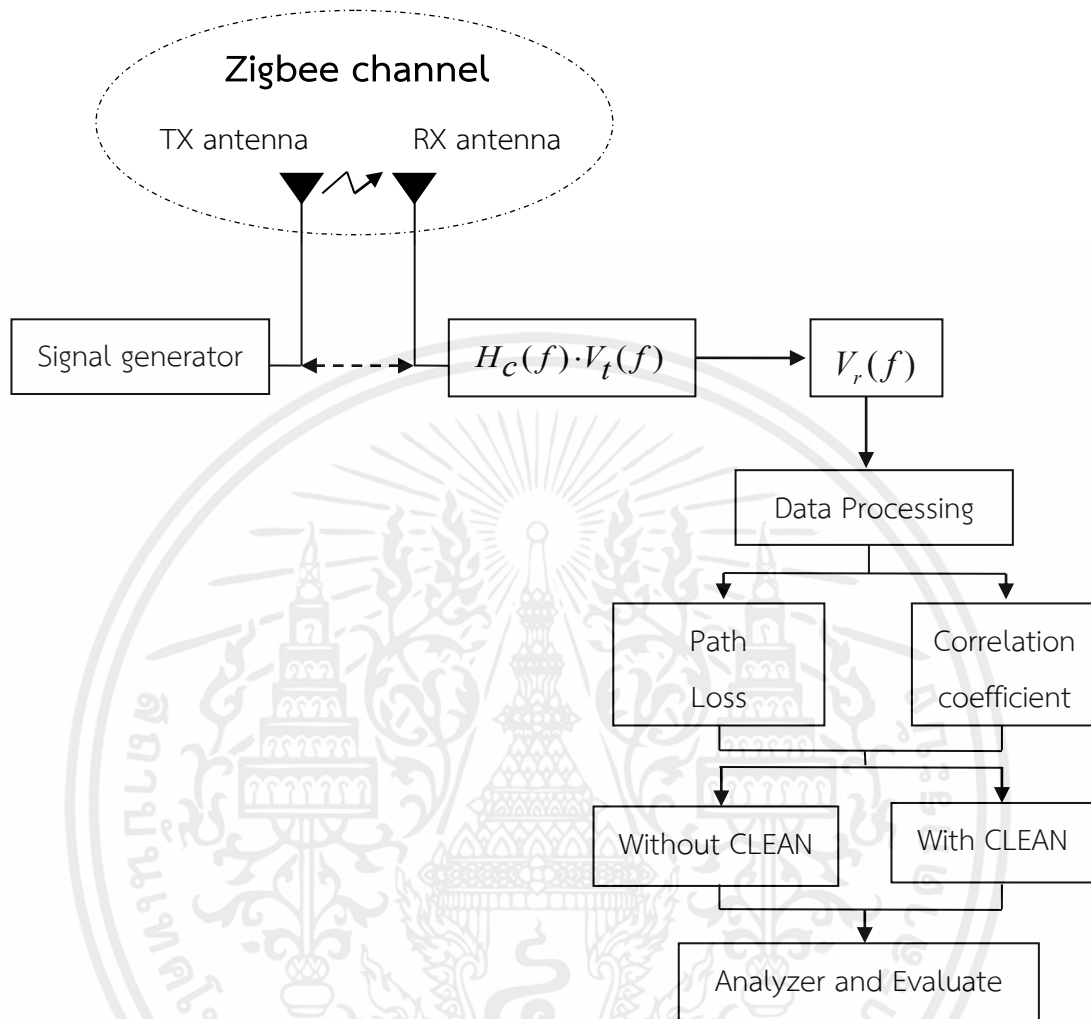
บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปฏิญยานิพนธ์

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนและรายละเอียดการออกแบบแบบจำลองและจำลอง การวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายที่กำลังเคลื่อนไหว

3.1 การออกแบบการทดสอบวัดช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายที่กำลังเคลื่อนไหว

การวัดช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว ได้แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ และกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ ในกรณีที่มีมนุษย์ จะทำการวัดโดยติดตั้งตำแหน่งสายอากาศไดโพลด้านรับไว้ที่ด้านหน้า และด้านหลัง ในขณะที่ร่างกายมนุษย์ยืนตรงที่มุม 90 องศา โดยมุมตั้งฉากกับพื้น เอียงไปทางด้านซ้ายและด้านหลังที่มุม -60 -30 และ 0 เอียงไปทางด้านขวา และหน้าที่มุม 60 30 และ 0 รวมทั้งหมด 26 จุด บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนในการทดสอบแสดงดังรูป 3.1

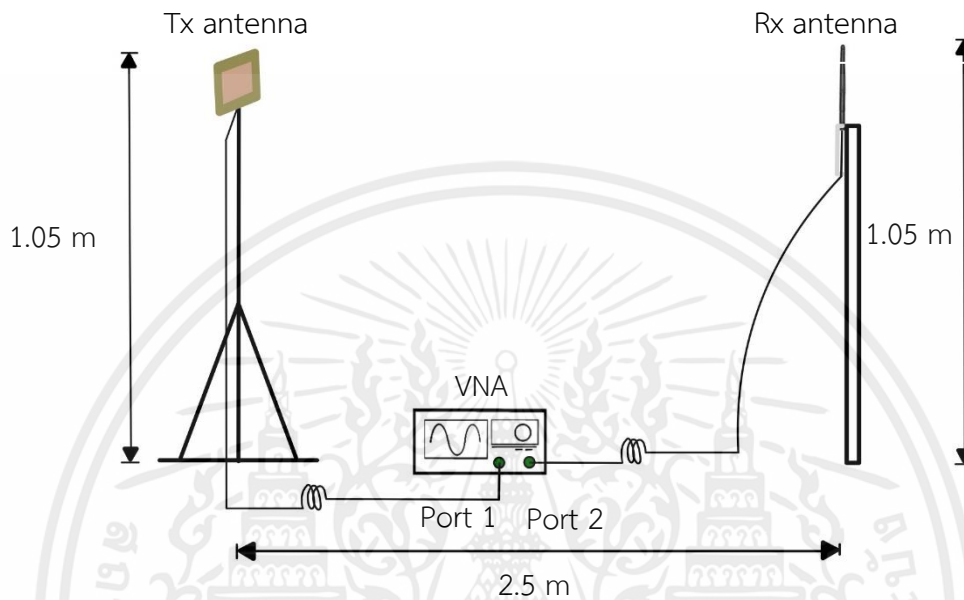


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการวัดช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์แบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว

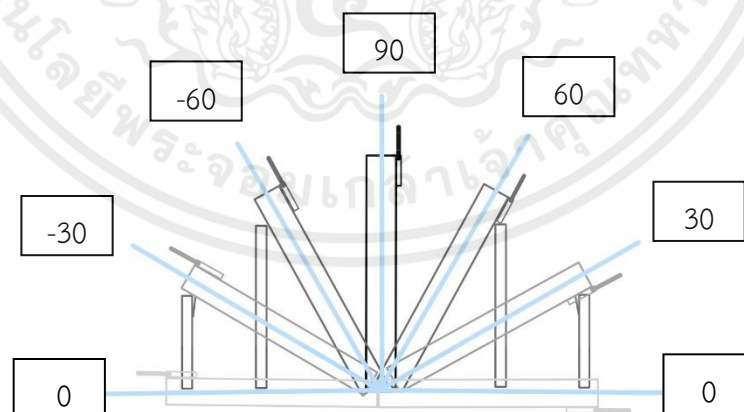
3.1.1 แบบจำลองการทดสอบการวัดช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์

การออกแบบการวัดช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหวกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ ในการทดสอบนี้สายอากาศด้านส่งเป็นสายอากาศไมโครสตริป และด้านรับเป็นสายอากาศไดโพล ตั้งแบบจำลองการติดตั้งการวัดช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว

กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์ ดังรูปที่ 3.2 ทดสอบโดยการเอียงสายอากาศด้านรับไปทางด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย และด้านขวา ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 โดยแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณจากมุมด้านบน (Topview) ดังรูปที่ 3.5

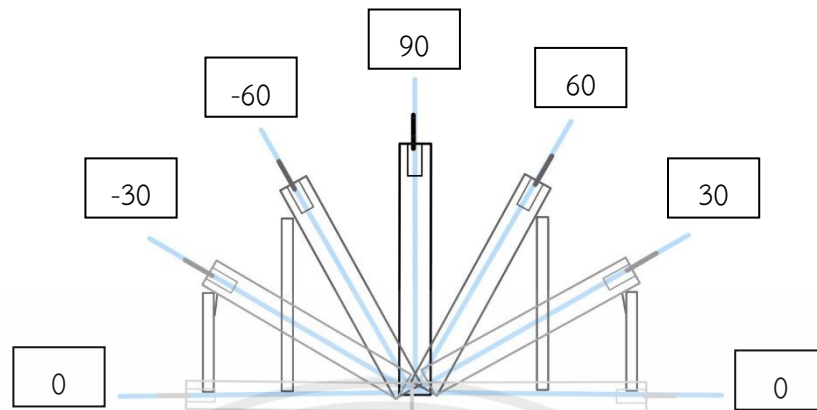


รูปที่ 3.2 แบบจำลองการติดตั้งอุปกรณ์การวัดช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์

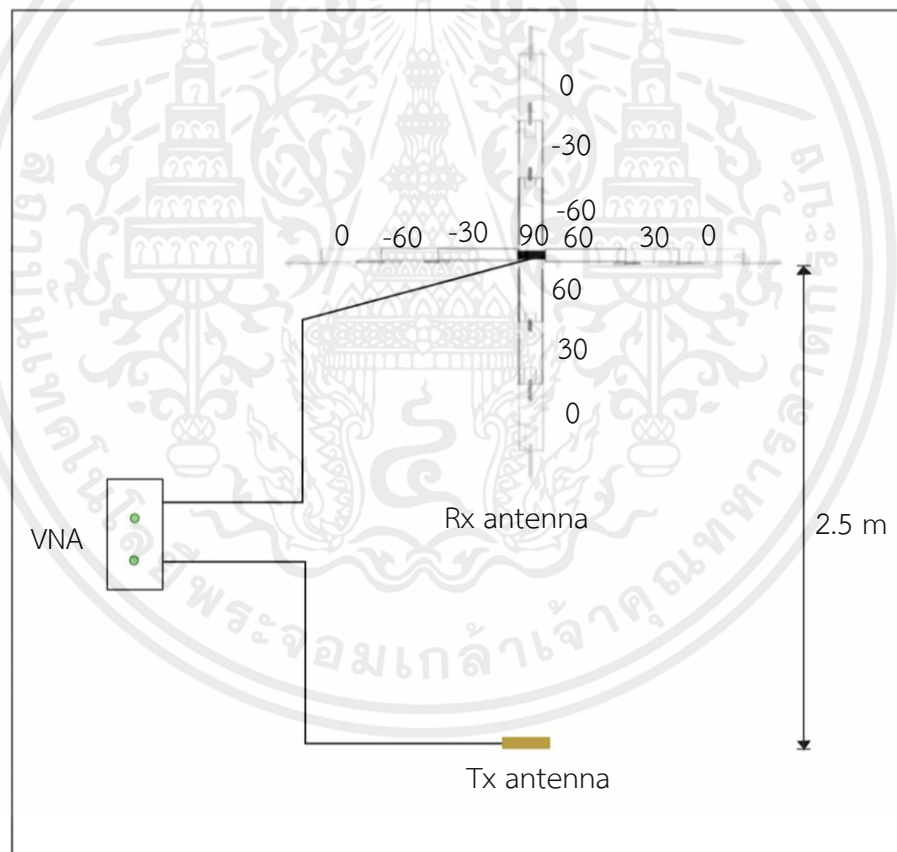


รูปที่ 3.3 แบบจำลองขณะที่กำลังเอียงไปทางด้านหน้า และด้านหลัง กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แบบจำลองขณะที่กำลังเอียงไปทางด้านซ้าย และด้านขวา กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์

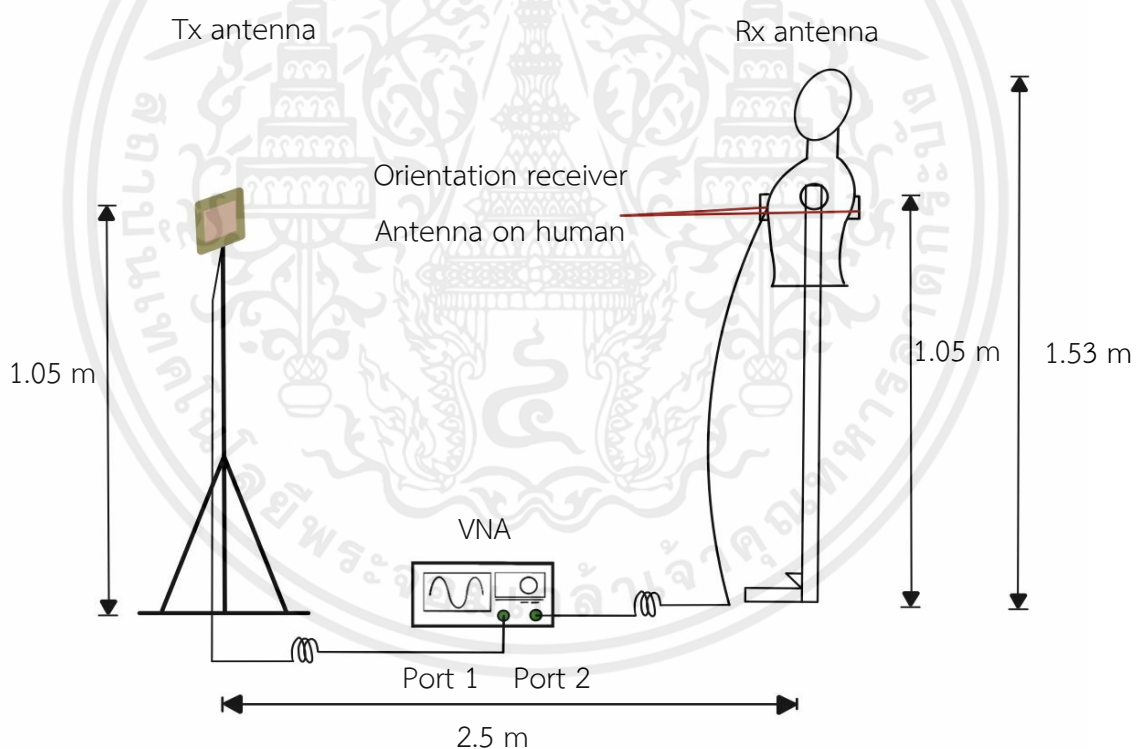


รูปที่ 3.5 แบบจำลองขณะที่กำลังเอียงไปทางด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย และด้านขวากรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ มุมด้านบน (Topview)

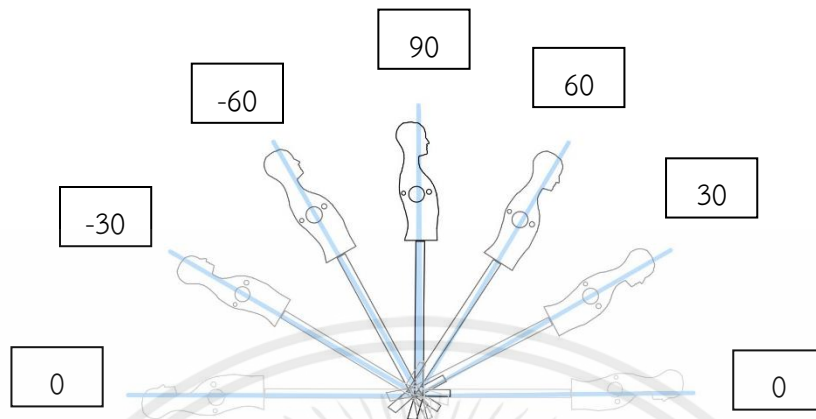
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 แบบจำลองการทดสอบการวัดช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว กรณีที่มีร่างกายมนุษย์

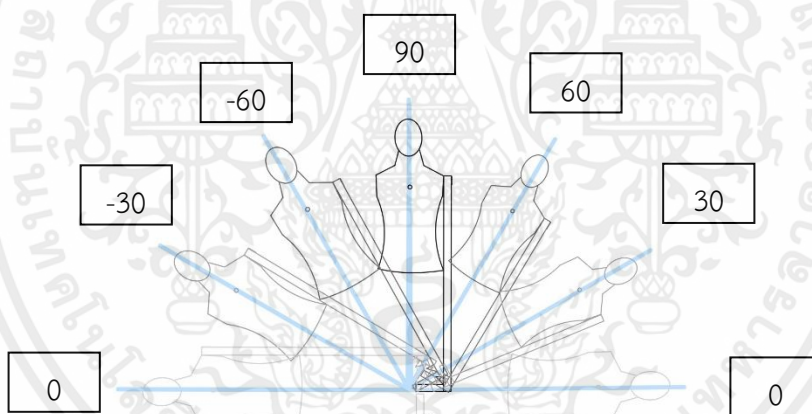
การออกแบบการวัดช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหวกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ ในการทดสอบนี้สายอากาศด้านส่งเป็นสายอากาศไมโครสตริปที่ความสูง 1.05 เมตร และด้านรับเป็นสายอากาศไดโพลที่ความสูง 1.05 เมตร โดยทำการติดตั้งสายอากาศด้านรับไว้ ด้านหน้า และด้านหลัง ดังแบบจำลองการติดตั้งการวัดช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว กรณีที่มีร่างกายมนุษย์ ดังรูปที่ 3.6 ทดสอบโดยการเอียงสายอากาศด้านรับไปทางด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย และด้านขวา ดังรูปที่ 3.7 และ 3.8 โดยแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณจากมุมมองด้านบน (Topview) ดังรูปที่ 3.9 และแบบจำลองสถานที่ในการทำการทดสอบดังรูป 3.10



รูปที่ 3.6 แบบจำลองการติดตั้งการวัดช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว กรณีที่มีร่างกายมนุษย์

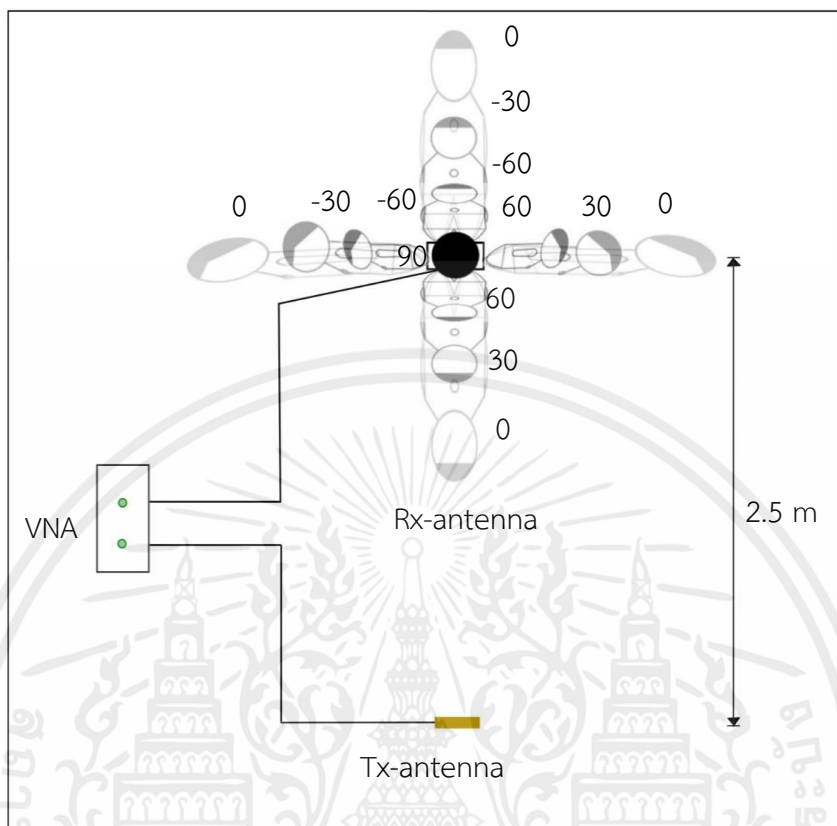


รูปที่ 3.7 แบบจำลองขณะที่กำลังเอียงไปทางด้านหน้า และด้านหลัง กรณีที่มีร่างกายมนุษย์



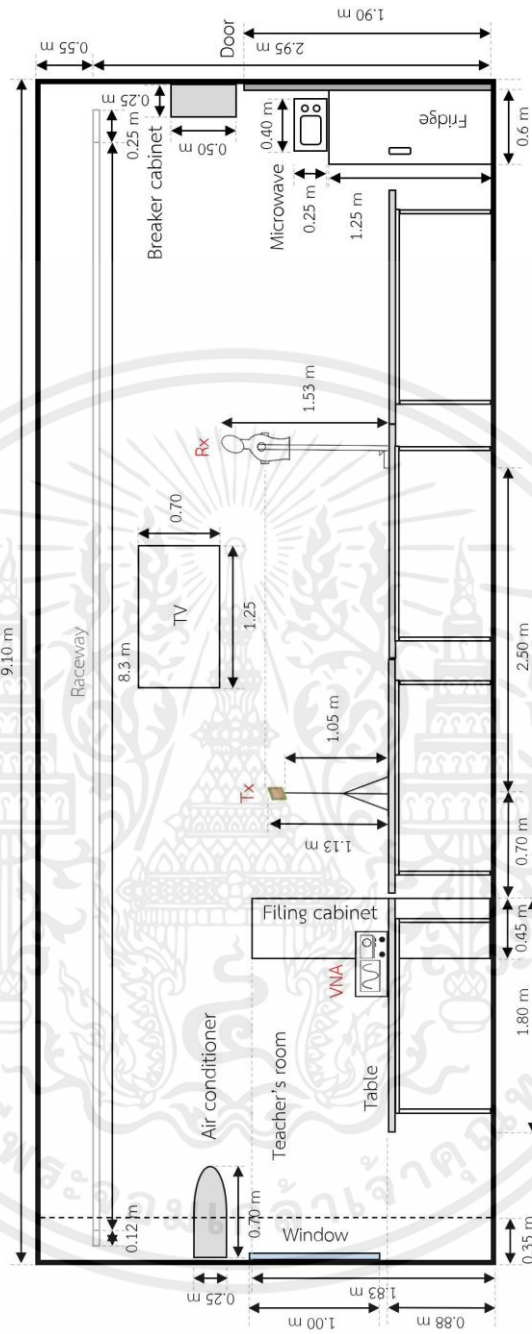
รูปที่ 3.8 แบบจำลองขณะที่กำลังเอียงไปทางด้านซ้าย และด้านขวา กรณีที่มีร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แบบจำลองขณะที่กำลังเอียงไปทางด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย และด้านขวากรณีที่มีร่างกายมนุษย์ มุมด้านบน (Topview)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

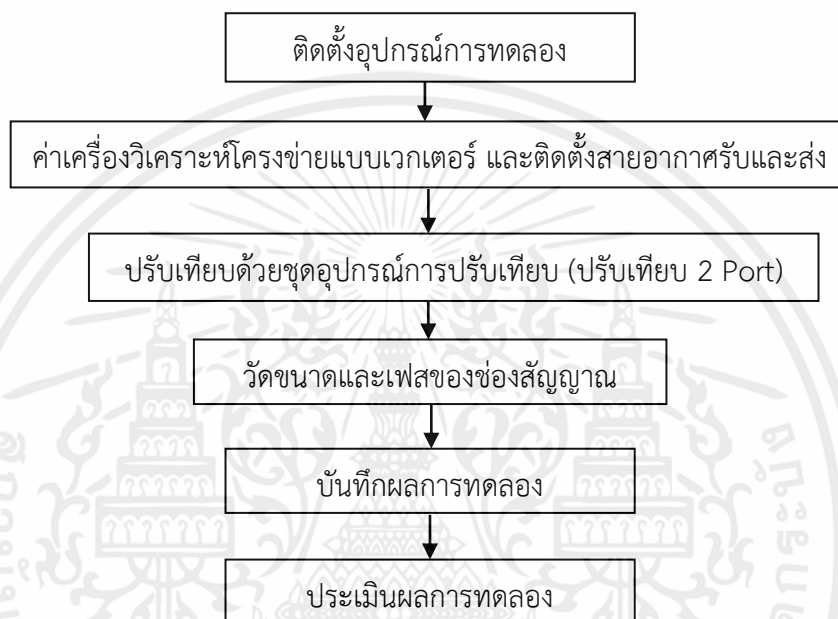


รูปที่ 3.10 แบบจำลองสถานที่ในการทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การทดสอบคุณลักษณะช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว

ขั้นตอนการทดลองวัดช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว



รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการทดลองวัดช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว

ในปฏิญานิพนธ์ 2/2565 นี้จะทำการปรับปรุงการทดสอบการวัดช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ และมีร่างกายมนุษย์ จากนั้นทำการวัดขนาด และเฟสของช่องสัญญาณ ในกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ทำการทดสอบโดยการติดตั้งสายอากาศภาครับไว้ที่จุดทำการทดสอบ จากนั้นเอียงตามองศาไปทางด้านหน้า และด้านขวาเป็นมุม 90 60 30 และ 0 องศาตามลำดับ โดยทำมุมตั้งฉากทำพื้น ต่อมาวัดโดยการเอียงตามองศาไปทางด้านหลัง และซ้ายเป็นมุม 90 -60 -30 และ 0 องศาตามลำดับ โดยทำมุมตั้งฉากทำพื้น และกรณีที่มีร่างกายมนุษย์นั้นทำการวัดขนาด และเฟสของช่องสัญญาณ โดยการวางสายอากาศภาครับไว้ที่จุดที่ทำการทดสอบ

จากนั้นทำการทดลองวัดโดยการเอียงตัวตามองศาไปทางด้านหน้า และด้านขวาเป็นมุม 90 60 30 และ 0 องศาตามลำดับ โดยทำมุมตั้งฉากทำพื้น จากนั้นทำการวัดโดยการเอียงตัวตามองศาไปทางด้านหลัง และซ้ายเป็นมุม 90 -60 -30 และ 0 องศาตามลำดับโดยทำมุมตั้งฉากทำพื้น โดยทั้ง 2 กรณี ขั้นตอนการตรวจวัดจะถูกทำซ้ำ 3 ครั้ง สำหรับแต่ละองศา โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ รุ่น E5063A สำหรับการทดลองชนิดของสายอากาศภาคส่งเป็นสายอากาศแบบไมโครสตริป และชนิดของสายอากาศภาครับเป็นสายอากาศแบบไดโพล โดยที่พอร์ต 1 เชื่อมต่อเข้ากับสายอากาศภาคส่งด้วยสายนำสัญญาณ ที่มีระดับความสูง 1.05 เมตร และพอร์ตที่ 2 เชื่อมต่อกับสายอากาศภาครับด้วยสายนำสัญญาณ ที่มีระดับความสูง 1.05 เมตร ผลการทดลองวัดจะอยู่ในโดเมนความถี่ ซึ่งจะนำไปวิเคราะห์ในการวัดช่องสัญญาณขณะร่างกายมีการเคลื่อนไหว

3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์การทดสอบ

1. เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์	จำนวน 1 เครื่อง
2. สายอากาศไมโครสตริป	จำนวน 1 ตัว
3. สายอากาศไดโพล	จำนวน 1 ตัว
4. ชุดอุปกรณ์การปรับเทียบ	จำนวน 1 ชุด
5. สายส่งสัญญาณ Semi-Rigid ชนิด RG-142	จำนวน 2 สาย
6. เสารองรับสำหรับปรับจูนความสูงสายอากาศ	จำนวน 2 ตัว
7. ฟันมนุษย์	จำนวน 1 อัน
8. โฟม	จำนวน 1 แผ่น
9. เทปกาว	จำนวน 3 อัน
10. โต้ะ	จำนวน 3 ตัว
11. ไม้ตาม	จำนวน 3 อัน

3.2.1.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network

Analyzer : VNA)

เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ [19] เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ และทดสอบการทำงานของโครงข่ายแบบหนึ่งพอร์ตหรือสองพอร์ตโดยใช้สัญญาณความถี่วิทยุ ซึ่งเป็นคลื่นสัญญาณที่มีความถี่อยู่ในช่วง 3 กิโลเฮิร์ตซ์ถึง 3 จิกะเฮิร์ตซ์ และเครื่องนี้สามารถแสดงผลการวัดในรูปของขนาดเชิงลอการิทึม ขนาดเชิงเส้น เฟส เฟสขยาย เฟสด้านบวก อัตราส่วน

คลื่นนิ่ง จำนวนจริง จำนวนจินตภาพ สมิทซาร์ท และในรูปเชิงขั้ว ระบบ S-Parameter สามารถเปลี่ยนค่าเป็นอิมพีแดนซ์การสะท้อน อิมพีแดนซ์การส่งผ่าน แอดมิตแทนซ์การสะท้อน แอดมิตแทนซ์การส่งผ่าน และ $1/S$ ซึ่งช่วยให้เราสามารถวิเคราะห์ และทดสอบคุณสมบัติของโครงข่ายได้ โดยเป็นอิสระที่จะเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณเพื่อตรวจสอบความเหมาะสมในการทำงานของโครงข่ายที่ต้องใช้สัญญาณความถี่วิทยุ ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ [20]

3.2.1.2 สายอากาศแบบไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริป [4] แสดงดังรูปที่ 3.14 เป็นสายอากาศที่มีมีน้ำหนักรที่เบา ขนาดเล็ก สามารถดัดแปลงรูปร่างให้สมดุลได้ มีราคาถูก การแพร่กระจายคลื่นได้ทั้งแบบเส้นตรง และวงกลม โดยมีพารามิเตอร์ ดังตารางที่ 3.1

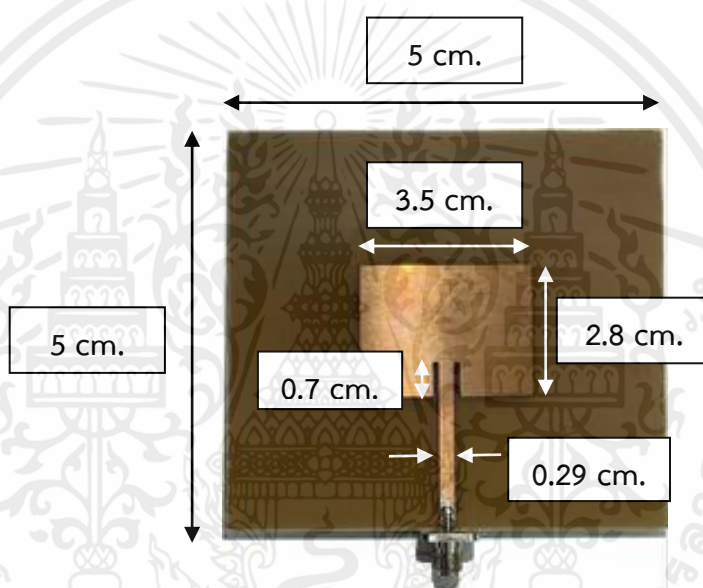
ตารางที่ 3.1 ตารางค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบไมโครสตริป

พารามิเตอร์	ค่า
ความถี่ใช้งาน (f_0)	2.4 จิกะเฮิรตซ์
ค่าคงที่ฉนวนไฟฟ้าของวัสดุฐานรอง (ϵ_r)	4.7
ความสูงของฉนวนไฟฟ้าวัสดุฐานรอง (h)	1.6 มิลลิเมตร
ความสูงของทองแดง	0.035 มิลลิเมตร
ความกว้างของแผ่นไมโครสตริป (W)	35 มิลลิเมตร
ความยาวของแผ่นไมโครสตริป (L)	28.005 เมตร
ความกว้างของระนาบพื้น (W_g)	50 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตารางค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบไมโครสตริป (ต่อ)

พารามิเตอร์	ค่า
ความกว้างของระนาบพื้น (L_g)	50 มิลลิเมตร
ความกว้างของสายส่งไมโครสตริป (W_0)	2.932 มิลลิเมตร
ความยาวของตัวป้อน (y_0)	7 มิลลิเมตร
ความกว้างตัวป้อน	1.5 มิลลิเมตร
ระยะของบริเวณสนามแผ่พลังงานระยะไกล	0.85 เมตร



รูปที่ 3.13 สายอากาศแบบไมโครสตริป [4]

3.2.1.3 สายอากาศแบบไดโพล

สายอากาศของอุปกรณ์ได้รับการออกแบบให้พอดีกับอุปกรณ์พกพาที่ใช้ในสำนักงาน อุตสาหกรรม และที่บ้าน สภาพแวดล้อม สายอากาศไร้สายภายนอกมีองค์ประกอบที่ยืดหยุ่น และหลายรายการเป็นแบบครึ่งคลื่น [21] โดยมีพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตารางค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแบบไดโพล

พารามิเตอร์	ค่า
ความถี่ใช้งาน	2.3 ถึง 2.7 จิกะเฮิรตซ์ และ 3.3 ถึง 3.9 จิกะเฮิรตซ์
อัตราขยาย (Gain)	2.3 dBi และ 2.7 dBi
ประสิทธิภาพเฉลี่ย (Average Efficiency)	58 % และ 65%
โพลาไรเซชัน (Polarization)	แนวตั้ง และมีรูปแบบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง
ค่าอิมพีแดนซ์	50 โอห์ม
อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (VSWR)	< 2 : 1
ขนาด	95.9 มิลลิเมตร (180°ตรง) หรือ 75.4 มิลลิเมตร (90°งอ)
เส้นผ่านศูนย์กลาง	9.3 มิลลิเมตร
ระยะของบริเวณสนามแผ่พลังงานระยะไกล	0.85 เมตร



3.2.1.4 สายนำสัญญาณเซมิริจิด ชนิด RG-142 (Semi Rigid)

สายนำสัญญาณเซมิริจิดชนิด RG-142 [22] ดังรูปที่ 3.15 เป็นสายเป็นสายโคแอกเซียลอุณหภูมิสูงที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์โทรคมนาคม และใช้กันอย่างแพร่หลาย และมีมาตรฐานอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม



รูปที่ 3.15 สายนำสัญญาณเซมิริจิดชนิด RG-142 [22]

3.2.1.5 ชุดอุปกรณ์การปรับเทียบ (Calibration kit)

ชุดอุปกรณ์นี้เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากเครื่องมือกับค่ามาตรฐาน เพื่อใช้ในการกำจัดสัญญาณรบกวนในสายนำสัญญาณที่มีการสูญเสียต่ำ ชุดอุปกรณ์นี้ประกอบไปด้วยฝั่งขั้วต่อ Open ขั้วต่อ Short และขั้วต่อ Load ซึ่งสามารถปรับเทียบเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่ายกับสายนำสัญญาณได้โดยมีประสิทธิภาพในการทำงาน โดยต้องคำนึงถึงความผิดพลาดของระบบซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามทิศทาง การรั่วซึม การจับคู่โหลด และการตอบสนองความถี่ของระบบ อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำของชุดอุปกรณ์นี้ยังคงเป็นไปตามข้อกำหนด OSLT (Open + Short + 50 โอห์ม termination Load + Through adaptor) ดังรูปที่ 3.16 โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น ชุดอุปกรณ์นี้เหมาะสำหรับใช้ในการวิเคราะห์โครงข่าย และทดสอบสายนำสัญญาณอย่างมีประสิทธิภาพ [23]



รูปที่ 3.16 ชุดอุปกรณ์การปรับเทียบ [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ขั้นตอนการทดสอบวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณ

- 1) เตรียมอุปกรณ์และสถานที่การทดลอง
- 2) ตั้งค่าเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ตามพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้
- 3) ปรับเทียบสายอากาศในการทดสอบก่อนทำการเชื่อมต่อสายอากาศกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์
- 4) ติดตั้งสายอากาศไมโครสตริปกับเสารองรับสำหรับปรับจูนความสูงสายอากาศ และเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์สายสัญญาณระหว่างขั้วพอร์ตของสายอากาศส่งและรับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์
- 5) ปรับทิศทางของสายอากาศส่งและรับ ติดตั้งตำแหน่งตามแนวแกนการวัดที่ต้องการทดสอบวัดช่องสัญญาณที่ได้รับ
- 6) เลือกคำสั่งการทดสอบฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณ
- 7) บันทึกค่าลงยูเอสบีแฟลชไดรฟ์
- 8) นำผลที่ได้ไปจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (MATLAB) เพื่อวิเคราะห์และประเมินผลคุณลักษณะของช่องสัญญาณการส่งผ่านระหว่างกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ และมีร่างกายมนุษย์

3.2.3 การทดสอบคุณลักษณะช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์

ทดสอบการวัดช่องสัญญาณใช้สายอากาศไมโครสตริปมาติดตั้งในภาคส่ง และสายอากาศไดโพลมาติดตั้งในภาครับ โดยสายอากาศทั้งสองจะถูกยึดติดกับขาตั้งที่ความสูง 1.05 เมตร มีระยะห่างระหว่างสายอากาศภาคส่งและภาครับ 2.5 เมตร แสดงพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.3 จากนั้นทำการทดสอบวัดสัญญาณที่รับได้ กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ แสดงดังรูปที่ 3.17 3.18 และ 3.19

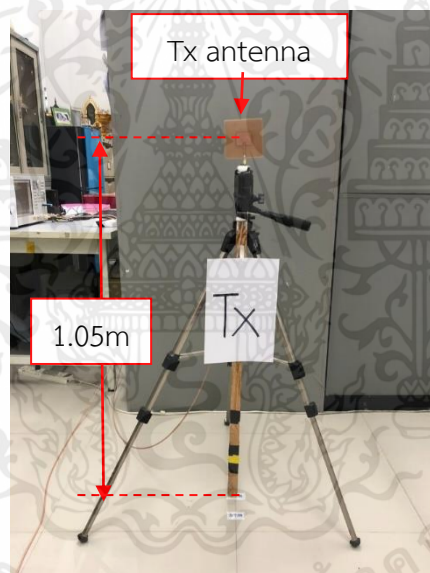
ตารางที่ 3.3 ตารางพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดจริงของช่องสัญญาณการส่งผ่านโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ในขณะที่ร่างกายกำลังเคลื่อนไหว กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์

พารามิเตอร์	เงื่อนไขในการทดลอง
ช่วงความถี่	2.32 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 2.44 จิกะเฮิรตซ์
จำนวนจุดของความถี่	401 จุด
จำนวนจุดที่วัด	13 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

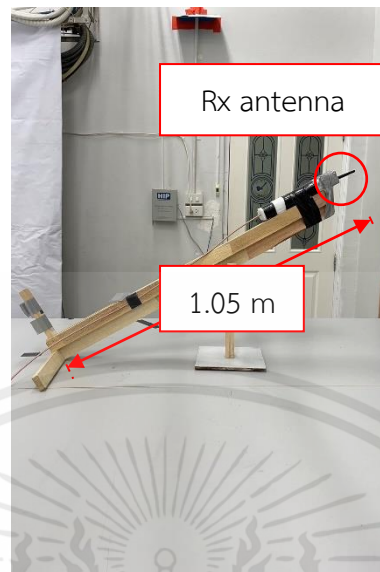
ตารางที่ 3.3 ตารางพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดจริงของช่องสัญญาณการส่งผ่านโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ในขณะที่ร่างกายกำลังเคลื่อนไหว กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ (ต่อ)

พารามิเตอร์	เงื่อนไขในการทดลอง
ความสูงของสายอากาศภาครับ	1.05 เมตร (ได้ะมีความสูง 0.88 เมตร)
ความสูงของสายอากาศภาคส่ง	1.05 เมตร (ได้ะมีความสูง 0.88 เมตร)
ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาครับและภาคส่ง	1.45 - 3.55 เมตร
การวางตัวของสายอากาศ	แนวตั้ง
ชนิดของสายอากาศภาครับ	สายอากาศไดโพล
ชนิดของสายอากาศภาคส่ง	สายอากาศไมโครสตริป
กำลังส่ง	0 dBm

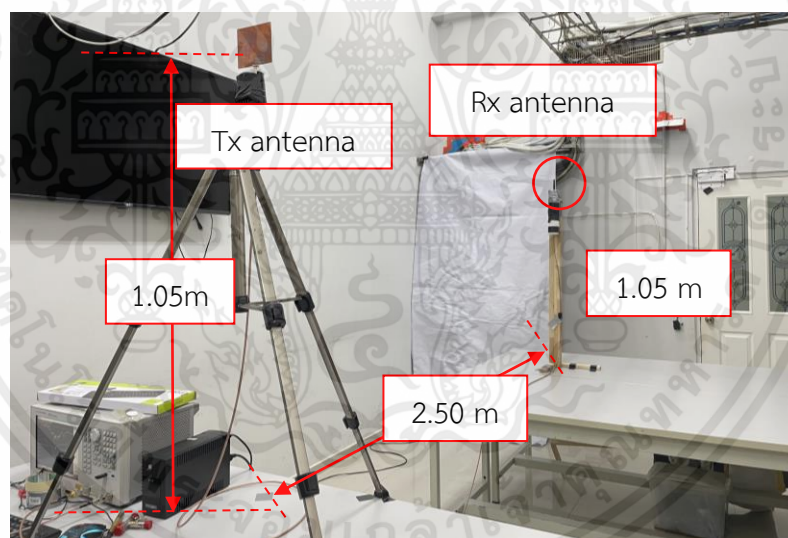


รูปที่ 3.17 สายอากาศไมโครสตริปด้านภาคส่ง กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 สายอากาศไดโพลด้านภาครับ กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์



รูปที่ 3.19 การทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีที่มีร่างกายมนุษย์

3.2.4 การทดสอบคุณลักษณะช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว กรณีที่มีร่างกายมนุษย์

ทดสอบการวัดช่องสัญญาณใช้สายอากาศไมโครสตริปมาติดตั้งในภาคส่ง และสายอากาศไดโพลมาติดตั้งในภาครับ โดยสายอากาศภาครับจะถูกยึดติดกับขาตั้งที่ความสูง

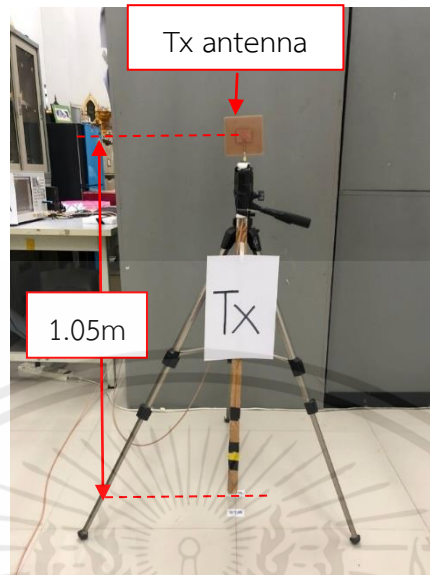
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.05 เมตร และสายอากาศภาครับจะติดอยู่ที่แบบจำลองร่างกายมนุษย์โดยจะติดที่ด้านหน้า และเอียงไปทางด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย และด้านขวา ทำมุม 0 30 60 90 -30 และ-60 จากนั้น ย้ายสายอากาศไปติดที่ด้านหลังของแบบจำลองร่างกายมนุษย์และเอียงไปทางด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย และด้านขวา เช่นเดิม มีระยะห่างระหว่างสายอากาศภาคส่งและภาครับ 2.5 เมตร แสดงพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.4 จากนั้นทำการทดสอบวัดสัญญาณที่รับได้ กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ แสดงดังรูปที่ 3.20 3.21 และ 3.22

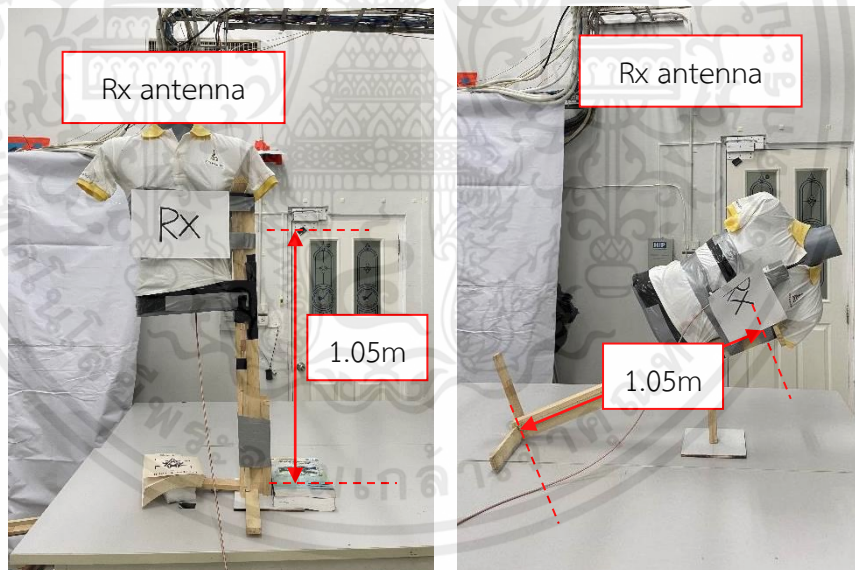
ตารางที่ 3.4 ตารางพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดจริงของช่องสัญญาณการส่งผ่านโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ในขณะที่ร่างกายกำลังเคลื่อนไหว กรณีที่มีร่างกายมนุษย์

พารามิเตอร์	เงื่อนไขในการทดลอง
ช่วงความถี่	2.32 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 2.44 จิกะเฮิรตซ์
จำนวนจุดของความถี่	401 จุด
จำนวนจุดที่วัด	26 จุด
ความสูงของสายอากาศภาครับ	1.05 เมตร (โต๊ะมีความสูง 0.88 เมตร)
ความสูงของสายอากาศภาคส่ง	1.05 เมตร (โต๊ะมีความสูง 0.88 เมตร)
ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาครับและภาคส่ง	1.45-3.55 เมตร
การวางตัวของสายอากาศ	แนวตั้ง
ชนิดของสายอากาศภาครับ	สายอากาศไดโพล
ชนิดของสายอากาศภาคส่ง	สายอากาศไมโครสตริป
กำลังส่ง	0 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

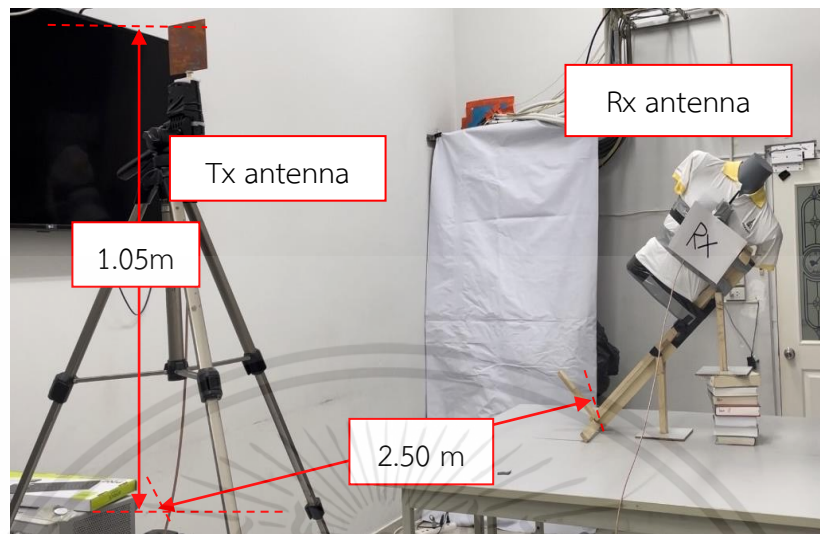


รูปที่ 3.20 สายอากาศไมโครสตริปด้านภาคส่ง กรณีที่มีร่างกายมนุษย์



รูปที่ 3.21 สายอากาศไดโพลฝั่งภาครับ กรณีที่มีร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 การทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีที่มีร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

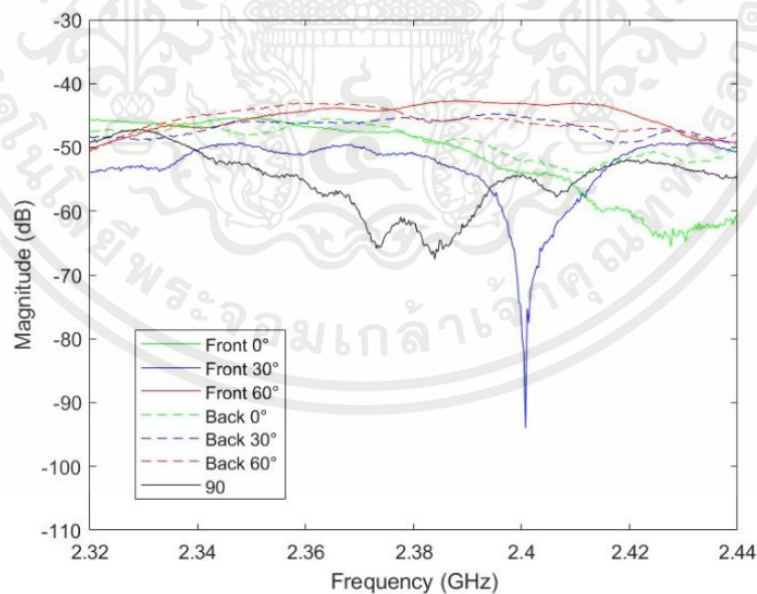
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองการวัดช่องสัญญาณขณะร่างกายมีการเคลื่อนไหว โดยใช้เทคโนโลยีชิป ซึ่งใช้คุณลักษณะสายอากาศแผ่นไมโครสตริบ และสายอากาศไดโพล สำหรับใช้ในการวัดหาช่องสัญญาณของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ขณะร่างกายมีการเคลื่อนไหว โดยพิจารณาขนาดของช่องสัญญาณ เฟสของช่องสัญญาณ การสูญเสียเชิงวิถีของช่องสัญญาณ และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

4.1 ผลการทดลองขนาดและเฟสของช่องสัญญาณขณะร่างกายมีการเคลื่อนไหว

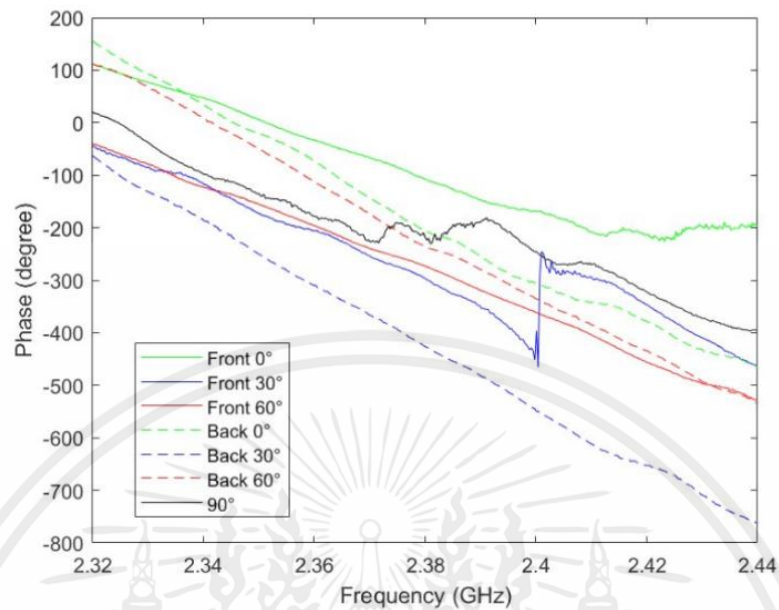
4.1.1 ผลการทดลองขนาดและเฟสของช่องสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์

ผลการทดลองวัดช่องสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์ที่ตำแหน่ง 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ โดยเอียงไปทางทิศด้านหน้า และด้านหลัง สามารถแสดงผลของขนาด และเฟสของช่องสัญญาณจากโปรแกรม MATLAB ได้ดังนี้



(ก) ขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) เฟส

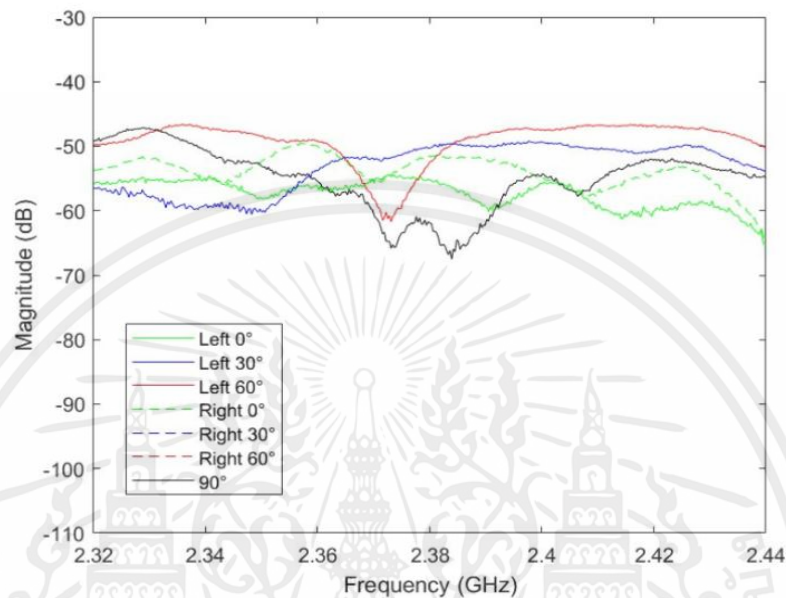
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์ด้านหน้าและด้านหลัง :

(ก) ขนาด (ข) เฟส

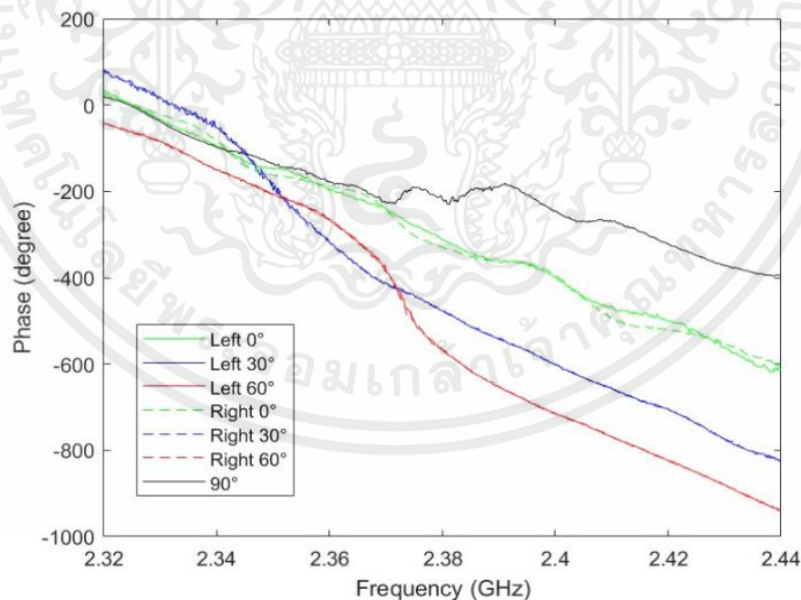
จากรูปที่ 4.1 จะสังเกตได้ว่าขนาดของช่องสัญญาณที่เคลื่อนไหวไปด้านหลังที่ 60 องศา จะมีระดับสัญญาณในการส่งผ่านที่สูงสุด เนื่องจากเป็นช่วงตำแหน่งที่ไม่ได้บดบังสายอากาศฝั่งรับมาก รวมทั้งเป็นตำแหน่งที่อยู่ในช่วงความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศฝั่งส่งค่อนข้างมาก และขนาดของช่องสัญญาณเคลื่อนไหวไปด้านหน้าที่ 30 องศา จะมีระดับสัญญาณในการส่งผ่านที่ต่ำสุดเนื่องจากการถูกบดบังสัญญาณ แต่ก็ยังสามารถที่จะรับสัญญาณได้เพราะมีสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นโต๊ะของห้องรวมไปถึงแม้จะล้มไปด้านหน้าก็ยังอยู่ในระยะของบริเวณสนามแผ่พลังงานระยะไกล

จากรูปที่ 4.1 เฟสของช่องสัญญาณที่เคลื่อนไหวไปด้านหลังที่ 60 องศาจะมีคุณภาพของช่องสัญญาณที่สูงสุด เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ในช่วงความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศฝั่งส่งค่อนข้างมาก และเฟสของช่องสัญญาณที่ขณะเคลื่อนไหวไปด้านหน้าที่ 30 องศา จะมีเฟสของช่องสัญญาณที่ได้นั้นจะมีคุณภาพของช่องสัญญาณที่ต่ำสุด เนื่องจากถูกบดบังสัญญาณและเป็นตำแหน่งที่ได้รับสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นโต๊ะของห้องได้เล็กน้อย

ผลการทดลองวัดช่องสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์ที่ตำแหน่ง 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ โดยเอียงไปทางทิศด้านซ้าย และด้านขวา สามารถแสดงผลของขนาด และเฟสของช่องสัญญาณจากโปรแกรม MATLAB ได้ดังนี้



(ก) ขนาด



(ข) เฟส

รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบคุณลักษณะของช่องสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์ด้านซ้ายและด้านขวา :

(ก) ขนาด (ข) เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

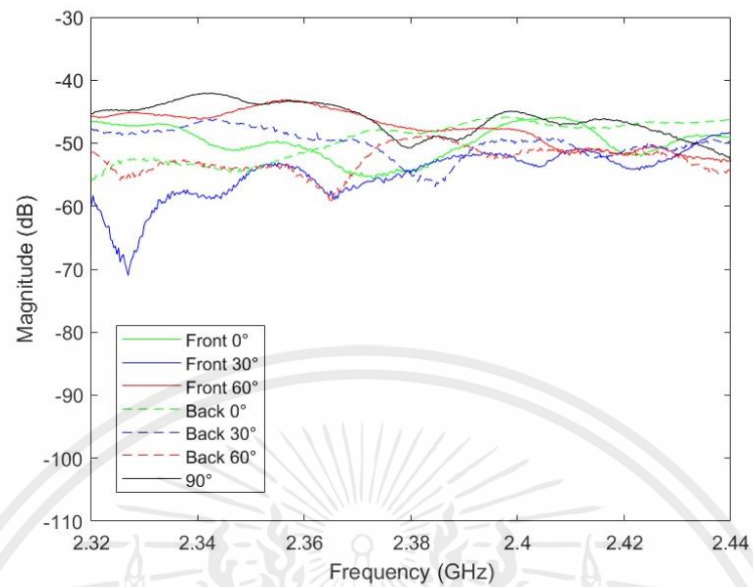
จากรูปที่ 4.2 จะสังเกตได้ว่าขนาดของช่องสัญญาณที่เคลื่อนไหวไปด้านซ้ายที่ 0 องศา จะมีระดับสัญญาณในการส่งผ่านที่สูงสุด เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับสายอากาศฝั่งส่งรวมไปถึงไม่มีกีดขวางหรือไม่มีส่วนมาบดบังในการรับสัญญาณ และยังเป็นตำแหน่งที่ยังอยู่ในความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศฝั่งส่ง และขนาดของช่องสัญญาณเคลื่อนที่ 90 องศา จะมีระดับสัญญาณในการส่งผ่านที่ต่ำสุด เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ได้รับสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นโต๊ะของห้องมารบกวนได้

จากรูปที่ 4.2 เฟสของช่องสัญญาณที่เคลื่อนไหวไปด้านซ้ายที่ 0 องศาจะมีคุณภาพของช่องสัญญาณที่สูงสุด เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ในช่วงความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศฝั่งส่งค่อนข้างมากและถูกบดบังสัญญาณได้น้อย และเฟสของช่องสัญญาณที่ 90 องศาจะมีเฟสของช่องสัญญาณที่ได้นั้นจะมีคุณภาพของช่องสัญญาณที่ต่ำสุด เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ได้รับสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นโต๊ะของห้องมารบกวนได้

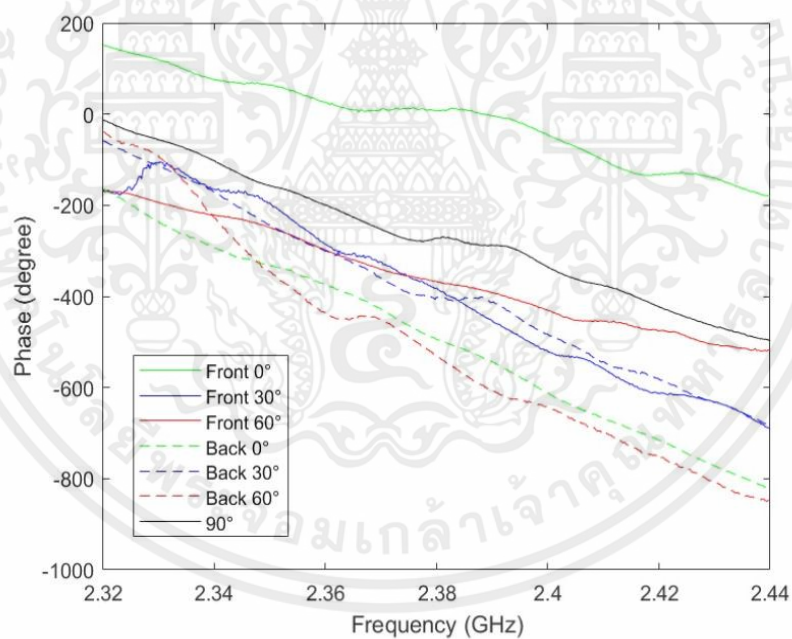
4.1.2 ผลการทดลองขนาดและเฟสของช่องสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์

จากการทดลองวัดช่องสัญญาณขณะร่างกายมีการเคลื่อนไหวโดยใช้เทคโนโลยีซิกบีตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้ ได้นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ โดยแสดงให้เห็นถึงขนาด และเฟสของช่องสัญญาณ ซึ่งขนาดจะแสดงให้เห็นถึงระดับสัญญาณในการส่งผ่านที่ความถี่ที่พิจารณา และเฟสจะแสดงให้เห็นถึงคุณภาพของช่องสัญญาณ หากช่องสัญญาณที่ได้มีความเป็นเชิงเส้นหมายความว่าคุณภาพช่องสัญญาณดี เมื่อสายอากาศฝั่งรับอยู่ที่ด้านหน้าของผู้ทดลอง จะสามารถแสดงในลักษณะของกราฟได้ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ เมื่อแกน x คือ ความถี่ และ แกน y คือ ขนาดของช่องสัญญาณในรูป (ก) และเฟสของช่องสัญญาณในรูป (ข) เมื่อสายอากาศฝั่งรับอยู่ที่ด้านหลังของผู้ทดลอง จะสามารถแสดงในลักษณะของกราฟได้ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ ตามลำดับ เมื่อแกน x คือ ความถี่ และ แกน y คือ ขนาดของช่องสัญญาณในรูป (ก) และเฟสของช่องสัญญาณในรูป (ข)

ผลการทดลองวัดช่องสัญญาณขณะร่างกายมีการเคลื่อนไหวในตอนที่ยึดสายอากาศไว้ที่ด้านหน้าของผู้ทดลอง ที่ตำแหน่ง 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ โดยเอียงไปทางทิศด้านหน้าและด้านหลัง สามารถแสดงผลของขนาด และเฟสของช่องสัญญาณจากโปรแกรม MATLAB ได้ดังนี้



(ก) ขนาด



(ข) เฟส

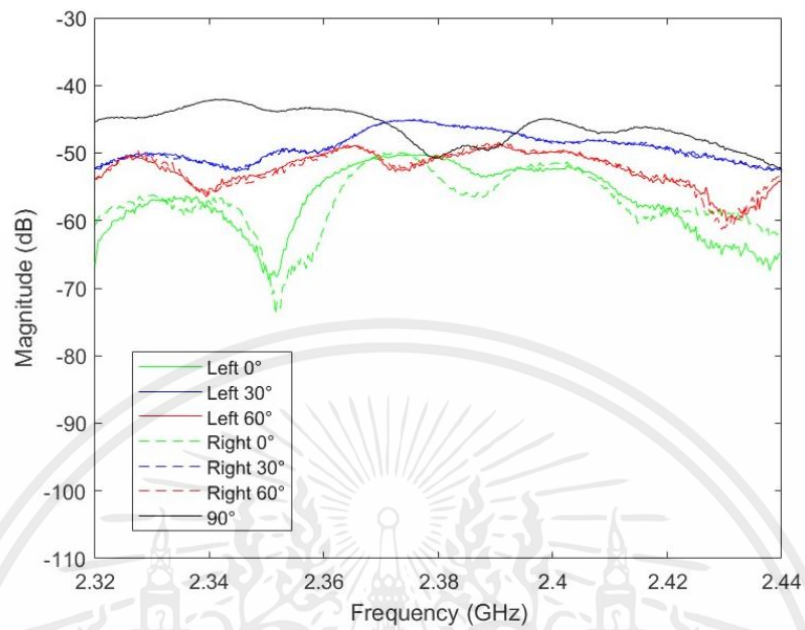
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบคุณลักษณะของช่องสัญญาณขณะร่างกายมีการเคลื่อนไหวไปทิศด้านหน้า และด้านหลังเมื่อติดสายอากาศไว้ที่ด้านหน้าของผู้ทดลอง : (ก) ขนาด (ข) เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

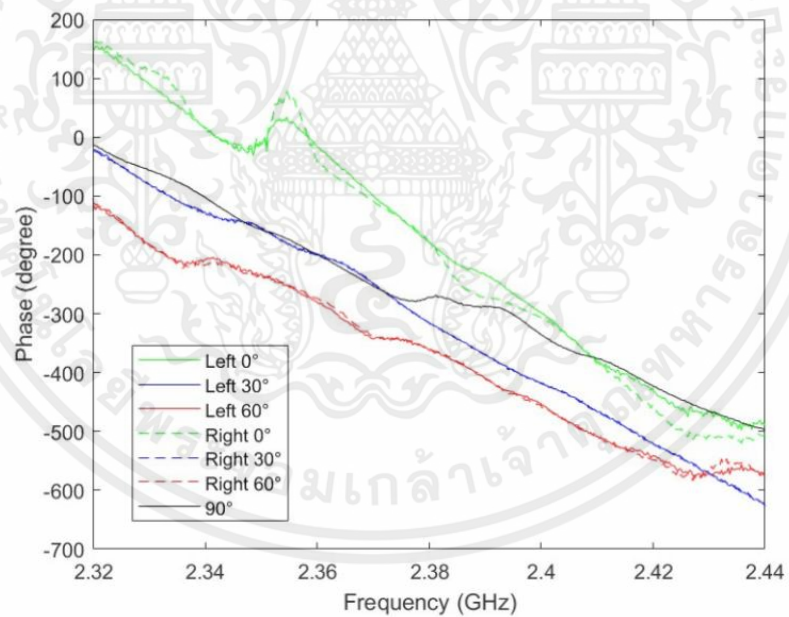
จากรูปที่ 4.3 จะสังเกตได้ว่า ขนาดของช่องสัญญาณที่ติดสายอากาศด้านหน้าในขณะที่เคลื่อนไหวไปด้านหน้าที่ 60 องศา จะมีระดับสัญญาณในการส่งผ่านที่สูงสุด เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับสายอากาศฝั่งส่งมาก รวมไปถึงไม่มีกีดขวางหรือไม่มีส่วนของร่างกายมาบดบังในการรับสัญญาณ และยังเป็นตำแหน่งที่ยังอยู่ในความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศฝั่งส่ง เนื่องจากในทิศทางหรือองศาอื่น ๆ นั้นอาจจะถูกร่างกายมาบดบังในการรับสัญญาณหรือไม่ได้อยู่ในความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศฝั่งส่ง ซึ่งขนาดของช่องสัญญาณที่ติดสายอากาศด้านหน้าในขณะที่เคลื่อนไหวไปด้านหน้าที่ 30 องศา จะมีระดับสัญญาณในการส่งผ่านที่ต่ำสุด เนื่องจากมีร่างกายของผู้ทดลองบดบัง แต่ก็ยังสามารถที่จะรับสัญญาณได้ เพราะมีสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นโต๊ะของห้องรวมไปถึงแม้จะล้มไปด้านหน้าก็ยังอยู่ในระยะของบริเวณสนามแผ่พลังงานระยะไกล

จากรูปที่ 4.3 จะสังเกตได้ว่า เฟสของช่องสัญญาณที่ติดสายอากาศด้านหน้าในขณะที่เคลื่อนไหวไปด้านหน้าที่ 60 องศาจะมีคุณภาพของช่องสัญญาณที่สูงสุด เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับสายอากาศฝั่งส่งมากที่สุดของกรณีที่ไม่สิ่งกีดขวางหรือร่างกายที่มาบดบังในการรับสัญญาณ และยังเป็นตำแหน่งที่ยังอยู่ในความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศฝั่งส่ง เนื่องจากในทิศทางหรือองศาอื่น ๆ นั้นอาจจะถูกร่างกายมาบดบังในการรับสัญญาณหรือไม่ได้อยู่ในความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศฝั่งส่ง ซึ่งเฟสของช่องสัญญาณที่ติดสายอากาศด้านหน้าในขณะที่เคลื่อนไหวไปด้านหน้าที่ 30 องศา จะมีเฟสของช่องสัญญาณที่ได้นั้นจะมีคุณภาพของช่องสัญญาณที่ต่ำสุด เนื่องจากมีร่างกายของผู้ทดลองบดบัง แต่ก็ยังสามารถที่จะรับสัญญาณได้เพราะมีสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นโต๊ะของห้องรวมไปถึงแม้จะล้มไปด้านหน้าก็ยังอยู่ในระยะของบริเวณสนามแผ่พลังงานระยะไกล

จากการทดลองวัดช่องสัญญาณขณะร่างกายมีการเคลื่อนไหวในตอนที่ยังติดสายอากาศไว้ที่ด้านหน้าของผู้ทดลอง ที่ตำแหน่ง 0, 30, 60 และ 90 องศา ตามลำดับ ไปทางทิศด้านซ้าย และด้านขวา สามารถแสดงผลของขนาด และเฟสของช่องสัญญาณจากโปรแกรม MATLAB ได้ดังนี้



(ก) ขนาด



(ข) เฟส

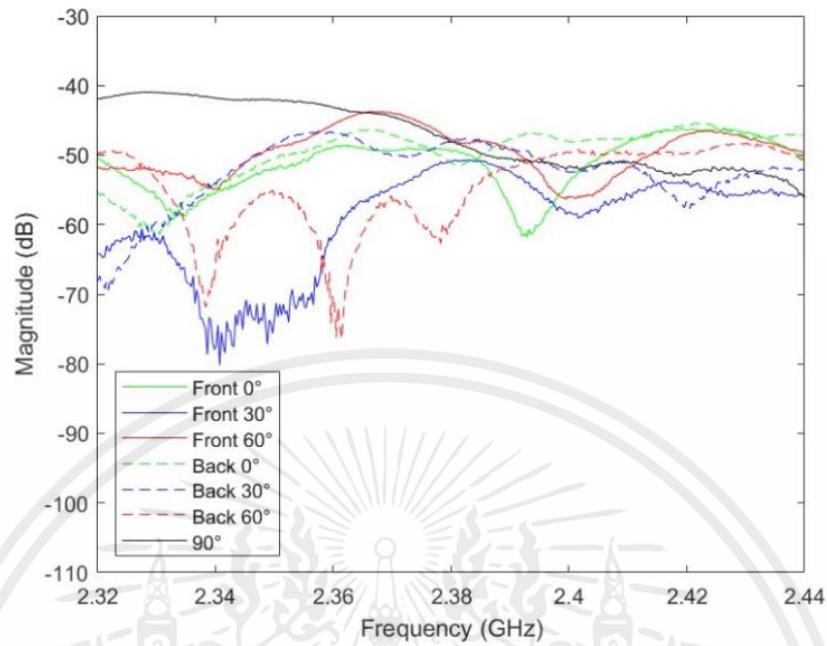
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบคุณลักษณะของช่องสัญญาณขณะร่างกายมีการเคลื่อนไหวไปทิศด้านซ้าย และด้านขวาเมื่อติดสายอากาศไว้ที่ด้านหน้าของผู้ทดลอง : (ก) ขนาด (ข) เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

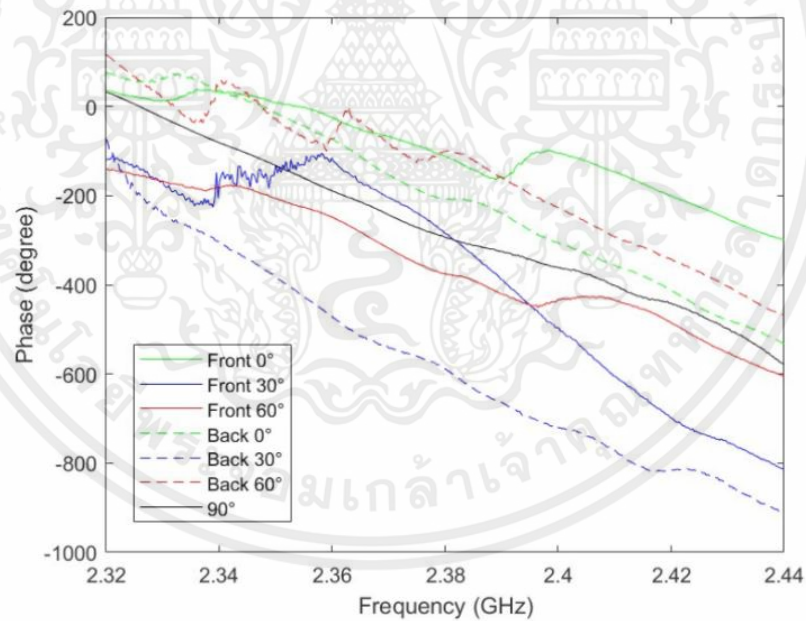
จากรูปที่ 4.4 จะสังเกตได้ว่า ขนาดของช่องสัญญาณที่ติดสายอากาศด้านหน้าในขณะที่เคลื่อนไหวไปด้านซ้ายที่ 30 องศา จะมีระดับสัญญาณในการส่งผ่านที่สูงที่สุด เพราะที่ตำแหน่ง 30 องศา เป็นตำแหน่งที่อยู่ในช่วงของความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศฝั่งส่งครอบคลุมมากที่สุด เนื่องจากทุกตำแหน่งจะไม่สิ่งกีดขวางหรือไม่มีส่วนของร่างกายมาบดบังในการรับสัญญาณ ซึ่งขนาดของช่องสัญญาณที่ติดสายอากาศด้านหน้าในขณะที่เคลื่อนไหวไปด้านขวาที่ 0 องศา จะมีระดับสัญญาณในการส่งผ่านที่ต่ำสุด แต่ยังเป็นตำแหน่งที่สามารถจะรับสัญญาณได้ ทั้งยังมีสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นโต๊ะของห้องที่อาจไปรบกวน

จากรูปที่ 4.4 จะสังเกตได้ว่า เฟสของช่องสัญญาณที่ติดสายอากาศด้านหน้าในขณะที่เคลื่อนไหวไปด้านซ้ายที่ 30 องศาจะมีคุณภาพของช่องสัญญาณที่สูงที่สุด เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ในช่วงของความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศฝั่งส่งครอบคลุมมากที่สุด เนื่องจากทุกตำแหน่งจะไม่สิ่งกีดขวางหรือไม่มีส่วนของร่างกายมาบดบังในการรับสัญญาณ ซึ่งเฟสของช่องสัญญาณที่ติดสายอากาศด้านหน้าในขณะที่เคลื่อนไหวไปด้านขวาที่ 0 องศา จะมีเฟสของช่องสัญญาณที่ได้นั้นจะมีคุณภาพของช่องสัญญาณที่ต่ำสุด แต่ยังเป็นตำแหน่งที่สามารถจะรับสัญญาณได้ ทั้งยังมีสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นโต๊ะของห้องที่อาจไปรบกวน

จากการทดลองวัดช่องสัญญาณขณะร่างกายมีการเคลื่อนไหวในตอนที่ยังติดสายอากาศไว้ที่ด้านหลังของผู้ทดลอง ที่ตำแหน่ง 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ ไปทางทิศด้านหน้า และด้านหลัง สามารถแสดงผลของขนาด และเฟสของช่องสัญญาณจากโปรแกรม MATLAB ได้ดังนี้



(ก) ขนาด



(ข) เฟส

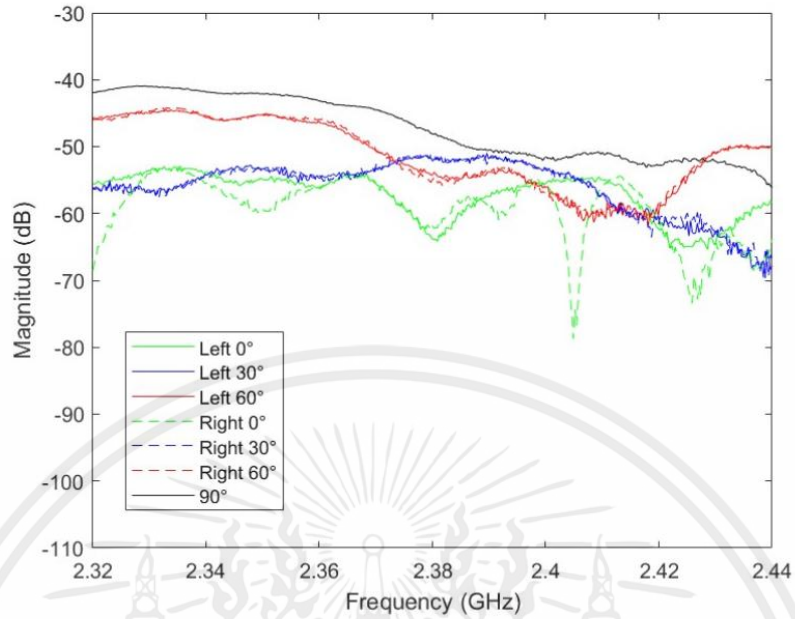
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบคุณลักษณะของช่องสัญญาณขณะร่างกายมีการเคลื่อนไหวไปทิศด้านหน้า และด้านหลังเมื่อติดสายอากาศไว้ที่ด้านหลังของผู้ทดลอง : (ก) ขนาด (ข) เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

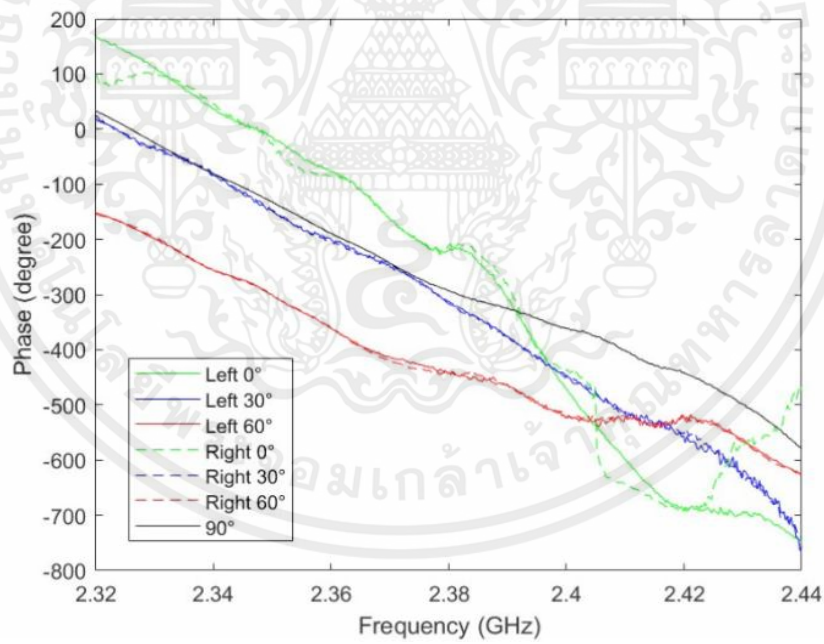
จากรูปที่ 4.5 จะสังเกตได้ว่า ขนาดของช่องสัญญาณที่ติดสายอากาศด้านหลังที่ 90 องศา จะมีระดับสัญญาณในการส่งผ่านที่สูงที่สุด เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับฝั่งส่งมากที่สุด โดยเกือบจะเป็นระนาบเดียวกับฝั่งส่ง และเป็นช่วงตำแหน่งที่ร่างกายของผู้ทดลองไม่ได้บังสายอากาศฝั่งรับมาก รวมทั้งเป็นตำแหน่งที่อยู่ในช่วงความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศฝั่งส่งค่อนข้างมาก ซึ่งขนาดของช่องสัญญาณที่ติดสายอากาศด้านหลังในขณะที่เคลื่อนไหวไปด้านหน้าที 30 องศา มีระดับสัญญาณในการส่งผ่านที่ต่ำที่สุด เนื่องจากมีร่างกายของผู้ทดลองบัง และเป็นตำแหน่งที่ได้รับสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นโต๊ะของห้อง

จากรูปที่ 4.5 จะสังเกตได้ว่า เฟสของช่องสัญญาณที่ติดสายอากาศด้านหลังที่ 90 องศาจะมีคุณภาพของช่องสัญญาณที่สูงที่สุด เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับสายอากาศฝั่งส่งมากที่สุดของกรณีที่ไม่สิ่งกีดขวาง หรือร่างกายที่มาบังในการรับสัญญาณ และยังเป็นตำแหน่งที่ยังอยู่ในความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศฝั่งส่ง เนื่องจากในทิศทางหรือองศาอื่น ๆ นั้นอาจถูกร่างกายมาบังในการรับสัญญาณหรือไม่ได้อยู่ในความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศฝั่งส่ง ซึ่งเฟสของช่องสัญญาณที่ติดสายอากาศด้านหลังในขณะที่เคลื่อนไหวไปด้านหน้าที 30 องศา จะมีเฟสของช่องสัญญาณที่ได้นั้นจะมีคุณภาพของช่องสัญญาณที่ต่ำที่สุด เนื่องจากมีร่างกายของผู้ทดลองบังมากที่สุดของทิศทาง และองศาของการทดลอง แต่ก็ยังสามารถที่จะรับสัญญาณได้เพราะมีสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นโต๊ะของห้องรวมไปถึงแม้จะล้มนไปด้านหน้าก็ยังอยู่ในระยะของบริเวณสนามแผ่พลังงานระยะไกล

จากการทดลองวัดช่องสัญญาณขณะร่างกายมีการเคลื่อนไหวในตอนทีติดสายอากาศไว้ที่ด้านหลังของผู้ทดลอง ทีตำแหน่ง 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ ไปทางทิศด้านซ้าย และด้านขวา สามารถแสดงผลของขนาด และเฟสของช่องสัญญาณจากโปรแกรม MATLAB ได้ดังนี้



(ก) ขนาด



(ข) เฟส

รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบคุณลักษณะของช่องสัญญาณขณะร่างกายมีการเคลื่อนไหวไปทิศทางซ้าย และด้านขวาเมื่อติดสายอากาศไว้ที่ด้านหลังของผู้ทดลอง : (ก) ขนาด (ข) เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

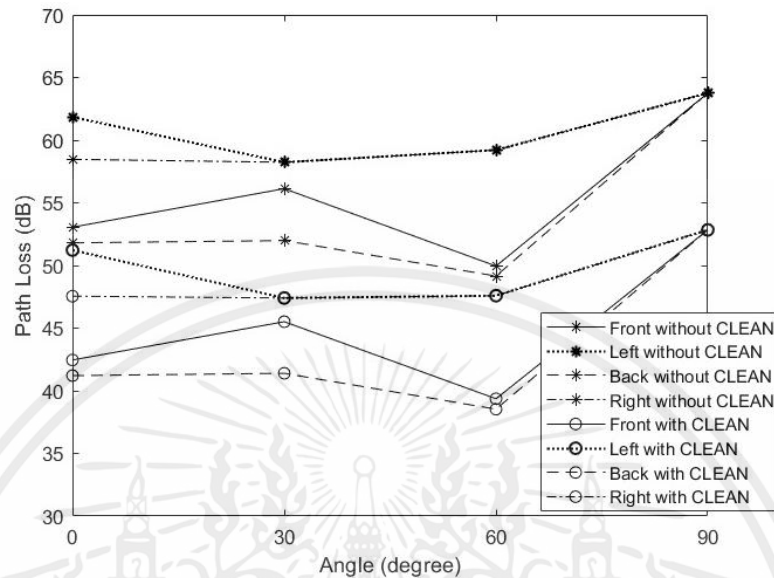
จากรูปที่ 4.6 จะสังเกตได้ว่า ขนาดของช่องสัญญาณที่ติดสายอากาศด้านหลังที่ 90 องศา จะมีระดับสัญญาณในการส่งผ่านที่สูงสุด เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่เกือบจะเป็นระนาบเดียวกับฝั่งส่ง รวมทั้งเป็นตำแหน่งที่อยู่ในช่วงความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศฝั่งส่งค่อนข้างมาก ซึ่งขนาดของช่องสัญญาณที่ติดสายอากาศด้านหลังในขณะที่เคลื่อนไหวไปด้านขวาที่ 0 องศา มีระดับสัญญาณในการส่งผ่านที่ต่ำสุด เนื่องจากมีร่างกายของผู้ทดลองบดบัง และแม้จะเป็นตำแหน่งที่ได้รับสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นโต๊ะของห้องแต่ได้ถูกร่างกายของผู้ทดลองบดบังสัญญาณก่อนเกิดการสะท้อน

จากรูปที่ 4.6 จะสังเกตได้ว่า เฟสของช่องสัญญาณที่ติดสายอากาศด้านหลังที่ 90 องศา จะคุณภาพของช่องสัญญาณที่สูงสุด เนื่องจากเป็นมุมที่อยู่ในช่วงตำแหน่งที่อยู่ในความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของสายอากาศฝั่งส่ง และเฟสของช่องสัญญาณที่ติดสายอากาศด้านหน้าในขณะที่เคลื่อนไหวไปด้านขวาที่ 0 องศา จะมีคุณภาพของช่องสัญญาณที่ต่ำสุด เนื่องจากมีร่างกายของผู้ทดลองบดบัง และเป็นตำแหน่งที่ได้รับสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นโต๊ะของห้องได้น้อยเพราะมีร่างกายของผู้ทดลองมาบดบังก่อนเกิดการสะท้อน

4.2 ผลการทดลองการสูญเสียเชิงวิถี

จากการวิเคราะห์การสูญเสียเชิงวิถี และการวิเคราะห์การสูญเสียเชิงวิถีเมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นนั้นจะแสดงในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียใน หน่วยเดซิเบล และมุมที่ทำการทดสอบ โดยแสดงดังรูปที่ 4.7 4.8 และ 4.9

4.2.1 ผลการทดลองการสูญเสียเชิงวิถีกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณขณะไม่มีร่างกายมนุษย์เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลีนและผ่านอัลกอริทึมแบบคลีน

จากรูปที่ 4.7 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณขณะไม่มีร่างกายมนุษย์เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลีนและผ่านอัลกอริทึมแบบคลีนที่ติดตั้งอากาศรับไว้กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถี ดังนี้

- กรณีวัดด้านหน้า

เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลีน มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 53.06 56.13 49.95 และ 63.76 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลีน มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 42.46 45.52 39.36 และ 52.84 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

- กรณีวัดด้านหลัง

เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลีน มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 51.81 51.99 49.16 และ 63.76 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลีน มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 41.21 41.39 38.53 และ 52.84 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลีน มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 61.85 58.24 59.21 และ 63.76 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลีน มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 51.22 47.40 47.59 และ 52.84 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

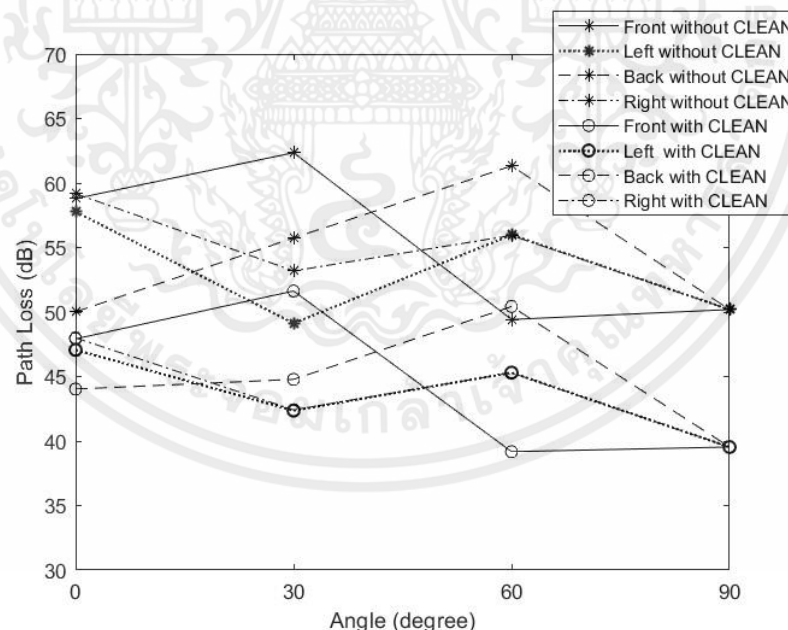
- กรณีวัดด้านขวา

เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลีน มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 58.47, 58.24, 59.21 และ 63.76 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลีน มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 47.55 47.40 47.59 และ 52.84 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ โดยมุมที่ 60 องศา ที่ติดสายอากาศรับไว้ด้านหลังขณะไม่มีร่างกาย จะมีค่าสูญเสียเชิงวิถีที่น้อยที่สุด เนื่องจากการเอียง 60 องศา มาด้านหลังนั้นเป็นตำแหน่งที่เกิดการบดบังของสัญญาณได้ ส่วนมุมที่ 90 องศา จะมีค่าสูญเสียเชิงวิถีมากที่สุด แต่ยังเป็นตำแหน่งที่สามารถจะรับสัญญาณได้

4.2.2 ผลการทดลองการสูญเสียเชิงวิถีกรณีมีร่างกายมนุษย์



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณขณะมีร่างกายมนุษย์เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลีนและผ่านอัลกอริทึมแบบคลีนกรณีที่ติดสายอากาศรับไว้ที่บริเวณด้านหน้าผู้ทดลอง

จากรูปที่ 4.8 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณขณะมีร่างกายมนุษย์เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นและผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นกรณีที่ติดสายอากาศรับไว้ที่บริเวณด้านหน้าของผู้ทดลองแสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถี ดังนี้

- กรณีวัดด้านหน้า

เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 58.79 62.35 50.42 และ 50.19 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 47.92 51.63 39.78 และ 39.54 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

- กรณีวัดด้านหลัง

เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 55.74 55.39 61.33 และ 50.19 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 45.03 44.78 50.43 และ 39.54 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

- กรณีวัดด้านซ้าย

เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 57.78 53.13 55.98 และ 50.19 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

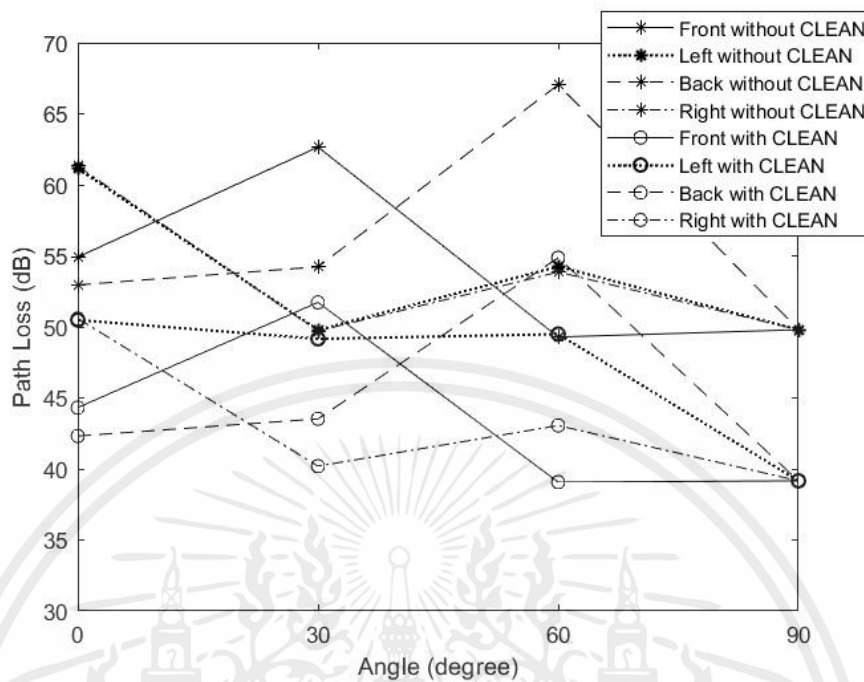
เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 47.07 42.36 45.30 และ 39.54 เดซิเบล ที่องศา 0, 30, 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

- กรณีวัดด้านขวา

เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 59.18, 53.19, 55.94 และ 50.19 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 47.99 42.42 45.29 และ 39.54 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าร่างกายมนุษย์มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ โดยมุมที่ 60 องศา จะมีค่าสูญเสียเชิงวิถีน้อยที่สุดขณะที่เอียงตัวไปด้านหลัง นั้นไม่ได้มีร่างกายมาบดบังการแพร่กระจายคลื่น และอยู่ใกล้กับสายอากาศส่ง ส่วนมุมที่ 30 องศา ขณะที่เอียงไปด้านหน้าจะมีค่าสูญเสียเชิงวิถีมากที่สุด เนื่องจากเกิดการบดบังการแพร่กระจายของคลื่นของสายอากาศ



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณขณะมีร่างกายมนุษย์เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นและผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นกรณีที่ติดสายอากาศรับไว้ที่บริเวณด้านหลังผู้ทดลอง

จากรูปที่ 4.9 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณขณะมีร่างกายมนุษย์เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นและผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นกรณีที่ติดสายอากาศรับไว้ที่บริเวณด้านหลังของผู้ทดลองแสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถี ดังนี้

- กรณีวัดด้านหน้า

เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 54.91 62.66 55.29 และ 49.80 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 44.32 51.73 39.66 และ 39.16 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

- กรณีวัดด้านหลัง

เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 52.95 54.23 67.04 และ 49.80 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 42.32 43.53 54.87 และ 39.16 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

- กรณีวัดด้านซ้าย

เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 61.15 59.78 54.25 และ 49.80 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 50.48 49.16 43.49 และ 39.16 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

- กรณีวัดด้านขวา

เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 61.32 59.84 53.86 และ 49.80 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีประมาณ 50.59 49.20 43.06 และ 39.16 เดซิเบล ที่องศา 0 30 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าร่างกายมนุษย์มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ โดยมุมที่ 60 องศา ขณะที่เอียงตัวไปด้านหน้า จะมีค่าสูญเสียเชิงวิถีที่น้อยที่สุด เนื่องจากการยื่นตรง และสายอากาศ ติดที่ด้านหลังของผู้ทดลอง จึงทำให้อยู่ใกล้กับสายอากาศมีการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณ ส่วนมุมที่ 60 องศา ขณะที่เอียงตัวไปด้านหลัง จะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีมากที่สุด เนื่องจากสายอากาศ ติดที่ด้านหลังของผู้ทดลอง

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณเมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นกับเมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น จะสังเกตได้ว่าเมื่อผ่านคลื่นแล้วค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณจะมีค่าลดลงซึ่งหมายความว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณจะดีขึ้น ทำให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณนั้นมีคุณภาพที่ดีขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์

ตำแหน่งของสายอากาศ ภาครับบนร่างกายมนุษย์	การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ					
	เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึม แบบคลื่น			เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น		
	ค่าน้อย ที่สุด	ค่ามาก ที่สุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าน้อย ที่สุด	ค่ามาก ที่สุด	ค่าเฉลี่ย
ด้านหน้า	49.16	63.76	57.65	39.36	52.84	46.79

ตารางที่ 4.2 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณกรณีมีร่างกายมนุษย์

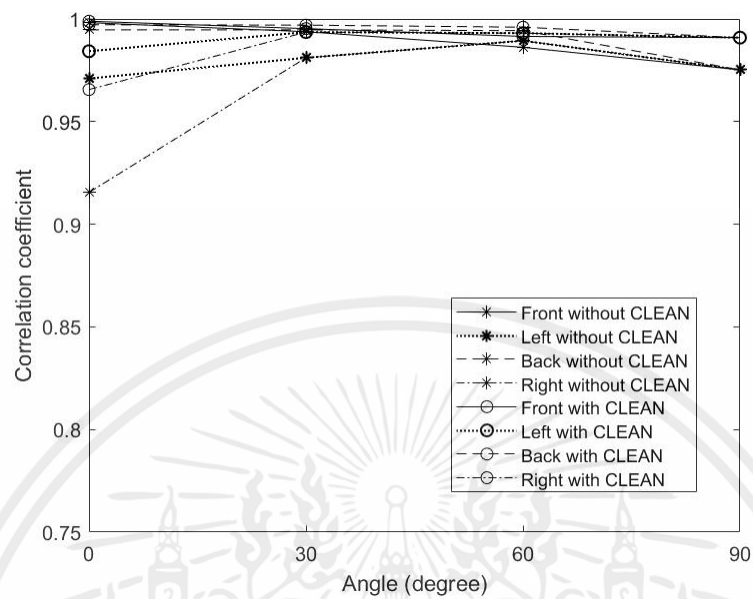
ตำแหน่งของสายอากาศ ภาครับบนร่างกายมนุษย์	การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ					
	เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึม แบบคลื่น			เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น		
	ค่าน้อย ที่สุด	ค่ามาก ที่สุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าน้อย ที่สุด	ค่ามาก ที่สุด	ค่าเฉลี่ย
ด้านหน้า	50.19	62.35	55.00	39.54	51.63	44.26
ด้านหลัง	49.80	67.04	56.03	39.16	58.87	44.94

4.3 ผลการทดลองสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

จากการแสดงผลสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์นั้นจะแสดงในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และตำแหน่งในการทดสอบ โดยระบบโครงข่ายไร้สายรูปร่างของสัญญาณมีความสำคัญ ดังนั้นจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ถึงค่าความเพี้ยนของสัญญาณที่รับได้ด้วย โดยค่าดังกล่าวจะอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 กล่าวคือถ้าค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าเท่ากับ 1 นั้นสัญญาณที่รับได้จะเหมือนกับสัญญาณแบบไอโซทรอปิกทุกประการ คือ ไม่เกิดความผิดเพี้ยน

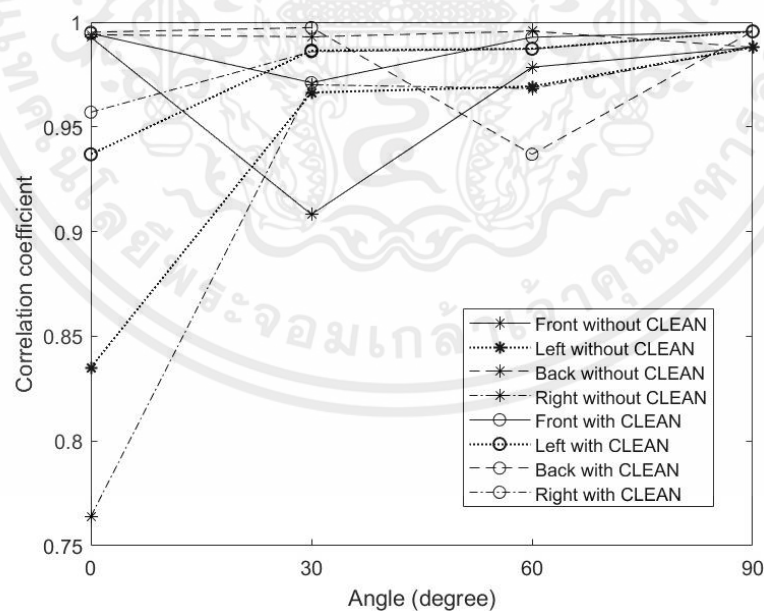
โดยสามารถแสดงผลสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และผลสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น ดังรูปที่ 4.10, 4.11 และรูปที่ 4.12 ตามลำดับ

4.3.1 ผลการทดลองสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์



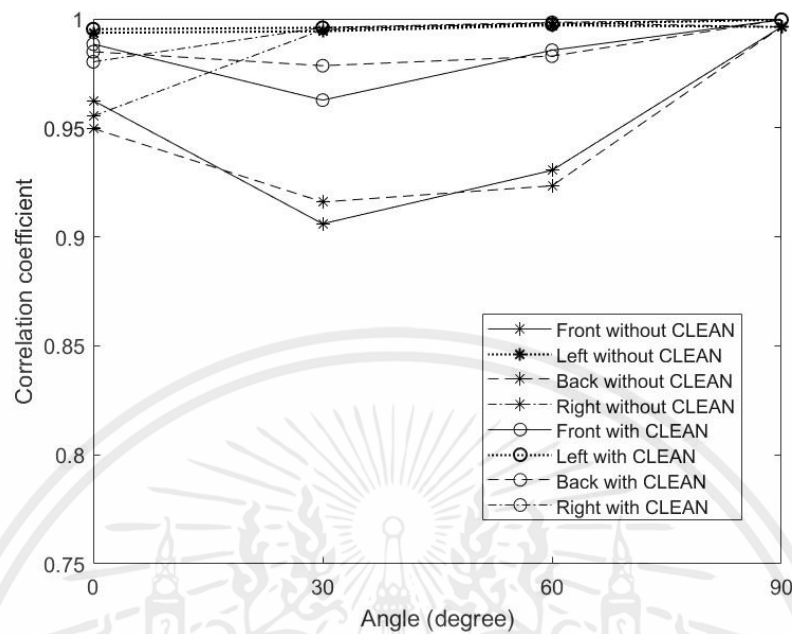
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นและผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น

4.3.2 ผลการทดลองสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีมีร่างกายมนุษย์



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีมีร่างกายมนุษย์เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นและผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นที่ติดอากาศรับด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ขณะมีร่างกายมนุษย์เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลีนและผ่านอัลกอริทึมแบบคลีนที่ติดอากาศรับด้านหลัง

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลีนกับเมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลีน จะเห็นได้ว่าเมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลีนแล้วค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะสูงขึ้นกว่ากับเมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลีน ซึ่งส่งผลให้ค่าความแม่นยำของสัญญาณที่รับได้น้อยลง โดยค่าดังกล่าวนี้จะมีคุณภาพของสัญญาณที่ดีขึ้น ดังแสดงค่าเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลีนกับเมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลีนในตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสายอากาศภาครับกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์

ตำแหน่งของสายอากาศภาครับบนร่างกายมนุษย์	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์					
	เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลีน			เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลีน		
	ค่าน้อยที่สุด	ค่ามากที่สุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าน้อยที่สุด	ค่ามากที่สุด	ค่าเฉลี่ย
ด้านหน้า	0.9155	0.9982	0.9819	0.9656	0.9989	0.9915

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสายอากาศภาครับกรณีมีร่างกายมนุษย์

ตำแหน่งของสายอากาศ ภาครับบนร่างกายมนุษย์	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์					
	เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึม แบบคลื่น			เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น		
	ค่าน้อย ที่สุด	ค่ามาก ที่สุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าน้อย ที่สุด	ค่ามาก ที่สุด	ค่าเฉลี่ย
ด้านหน้า	0.7639	0.9957	0.9479	0.9369	0.9956	0.9827
ด้านหลัง	0.9060	0.9970	0.9549	0.9627	0.9996	0.9861

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้การศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว เพื่อศึกษาเทคโนโลยีซิกบี ศึกษาโครงสร้างและคุณสมบัติของสายอากาศแผ่นไมโครสตริป อัลกอริทึมแบบคลิ่น การออกแบบและจำลองการทดสอบการวัดช่องสัญญาณการส่งผ่านขณะที่ร่างกายกำลังเคลื่อนไหว และวิเคราะห์ ประเมินผลเปรียบเทียบลักษณะของสัญญาณพารามิเตอร์การสูญเสียเชิงวิถี และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยนำอัลกอริทึมแบบคลิ่นมาประเมินผล

ในปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการทดสอบการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหวแบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ และกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ จากนั้นนำผลการทดสอบทำการวิเคราะห์และประเมินผลตามพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ คือ ขนาดและเฟสของช่องสัญญาณ การสูญเสียเชิงวิถี และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

5.1 สรุปผล

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีเป้าหมาย คือการศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว ซึ่งทำการวัดช่องสัญญาณในช่วงความถี่ 2.32 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 2.44 จิกะเฮิรตซ์ เพื่อให้ความถี่ครอบคลุมตามมาตรฐานที่ได้ศึกษา โดยใช้สายอากาศไมโครสตริปเป็นตัวส่ง และสายอากาศไดโพลเป็นสายอากาศรับ รวมทั้งเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์เพื่อสำหรับการนำไปบันทึกค่าขนาด และเฟสของสัญญาณที่ได้รับ และทำการวิเคราะห์ผลจากขนาด และเฟสของสัญญาณที่ได้รับ การสูญเสียเชิงวิถี ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณขณะไม่มีร่างกายมนุษย์เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลิ่นและผ่านอัลกอริทึมแบบคลิ่นซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ โดยมุมที่ 60 องศา ที่ติดสายอากาศรับไว้ด้านหลังขณะไม่มีร่างกาย จะมีค่าสูญเสียเชิงวิถี น้อยที่สุด เนื่องจากการเอียง 60 องศา มาด้านหลังนั้นเป็นตำแหน่งที่เกิดการบดบังของสัญญาณได้ ส่วนมุมที่ 90 องศา จะมีค่าสูญเสียเชิงวิถีมากที่สุด แต่ยังเป็นตำแหน่งที่สามารถจะรับสัญญาณได้

เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณขณะมีร่างกายมนุษย์เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นและผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นกรณีที่ติดสายอากาศรับไว้ที่บริเวณด้านหน้าผู้ทดลองซึ่งแสดงให้เห็นว่าร่างกายมนุษย์มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ โดยมุมที่ 60 องศา จะมีค่าสูญเสียเชิงวิถีน้อยที่สุดขณะที่เอียงตัวไปด้านหลัง นั้นไม่ได้มีร่างกายมาบดบังการแพร่กระจายคลื่น และอยู่ใกล้กับสายอากาศส่ง ส่วนมุมที่ 30 องศา ขณะที่เอียงไปด้านหน้าจะมีค่าสูญเสียเชิงวิถีมากที่สุด เนื่องจากเกิดการบดบังการแพร่กระจายของคลื่นของสายอากาศ

เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณขณะมีร่างกายมนุษย์เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นและผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นกรณีที่ติดสายอากาศรับไว้ที่บริเวณด้านหลังผู้ทดลองซึ่งแสดงให้เห็นว่าร่างกายมนุษย์มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ โดยมุมที่ 60 องศา ขณะที่เอียงตัวไปด้านหน้า จะมีค่าสูญเสียเชิงวิถีที่น้อยที่สุด เนื่องจากการยื่นตรง และสายอากาศติดที่ด้านหลังของผู้ทดลอง จึงทำให้อยู่ใกล้กับสายอากาศมีการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณ ส่วนมุมที่ 60 องศา ขณะที่เอียงตัวไปด้านหลัง จะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีมากที่สุด เนื่องจากสายอากาศติดที่ด้านหลังของผู้ทดลอง

จากผลการวิเคราะห์ผลการสูญเสียเชิงวิถีที่ไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น และผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น ทั้งในกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ และกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ผลที่ได้คือ กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นค่าเฉลี่ยของการสูญเสียเชิงวิถีที่น้อยลงคิดเป็นร้อยละ 10.68 ในกรณีมีร่างกายมนุษย์ด้านหน้าเมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นค่าเฉลี่ยของการสูญเสียเชิงวิถีที่น้อยลงคิดเป็นร้อยละ 10.74 และในกรณีมีร่างกายมนุษย์ด้านหลังเมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นค่าเฉลี่ยของการสูญเสียเชิงวิถีที่น้อยลงคิดเป็นร้อยละ 11.09 ดังนั้นสรุปได้ว่าการนำอัลกอริทึมแบบคลื่นมาใช้ในประเมินผลการทดสอบสามารถช่วยขจัดสัญญาณรบกวนให้ดีขึ้นได้

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสายอากาศภาครับกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นมีค่าเฉลี่ย 0.9879 และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสายอากาศภาครับกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นมีค่าเฉลี่ย 0.9915 โดยเมื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสายอากาศภาครับติดไว้ด้านหน้ากรณีมีร่างกายมนุษย์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นมีค่าเฉลี่ย 0.9479 เมื่อผ่านอัลกอริทึมคลื่นมีค่าเฉลี่ย 0.9827 และเมื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสายอากาศภาครับติดไว้ด้านหลังกรณีมีร่างกายมนุษย์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสายเมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นมีค่าเฉลี่ย 0.9827 เมื่อผ่านอัลกอริทึมคลื่นมีค่าเฉลี่ย 0.9861

จากผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลินกับเมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลิน จะเห็นได้ว่าเมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลินแล้วค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะสูงขึ้นกว่ากับเมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลิน ซึ่งส่งผลให้ค่าความเพี้ยนของสัญญาณที่รับได้น้อยลง โดยค่าดังกล่าวนี้จะมีคุณภาพของสัญญาณที่ดีขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองการวัดช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว ผู้จัดทำเล็งเห็นถึงความสำคัญของการวัดสัญญาณขณะที่ร่างกายเกิดการเคลื่อนไหวดังนั้นผู้จัดทำจึงได้ทำการคุณลักษณะของช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว และนำอัลกอริทึมแบบคลิน เพื่อนำมาช่วยลดค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเพื่อปรับปรุงผลการทดสอบให้ดีและเหมาะสมที่สุด

ในปฏิญานีพจน์นี้ได้ออกแบบแบบจำลองการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแบบจำลองร่างกายมนุษย์ที่กำลังเคลื่อนไหว โดยมีอัลกอริทึมแบบคลินมาช่วยลดค่าความผิดพลาดที่เกิดจากสัญญาณรบกวนให้ดีขึ้น สำหรับโอกาสถัดไปอาจทำการทดสอบที่ใช้สายอากาศชนิดอื่นในการทดสอบ หรืออาจเปลี่ยนอริยาบถในการเคลื่อนไหว เช่น การเคลื่อนไหวแบบต่อเนื่อง เป็นต้น ในการทดสอบนี้ใช้มีสภาพแวดล้อมสถานที่ทดสอบแบบปิดอาจทำให้เกิดการสะท้อนหรือสัญญาณรบกวนที่เยอะ ในครั้งถัดไปอาจเปลี่ยนสถานที่ไปทดสอบที่ห้องไร้การสะท้อน หรือสถานที่โล่งกว้าง เพื่อลดการสะท้อนที่เกิดขึ้นในการทดสอบนี้ ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในอนาคตได้

บรรณานุกรม

- [1] R. Jafari and M. Effatparvar, "WBAN," Cooperative Routing Protocols in Wireless Body Area Networks (WBAN): A Survey, Dec 18 2016.
- [2] F. Shahin, ZigBee Wireless Networks and Transceivers. Burlington, MA.: Newnes, 2008.
- [3] ธนดล เตียงทอง. "การศึกษาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีต่อการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2559
- [4] ชนม์นิภา หงส์ยนต์, ฐาณิญา สือสรรพ, ณัฐนิชา พงศ์พิทยธร. "การศึกษาทดลองของการหาตำแหน่งโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์บนพื้นฐาน IEEE 802.15.4j." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2564
- [5] Robert F. Heile, Chair, Rick Alfvén, Vice Chair. "ISO/IEC/IEEE 8802-15-6:2017". The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2012
- [6] Mr. MOHAMMAD YAGHOUBI. "Wireless Body Area Network (WBAN): A Survey on Architecture, Technologies, Energy Consumption, and Security Challenges." <https://www.mdpi.com/2224-2708/11/4/67>.
- [7] S. S. Ahmad, S. Camtepe, and D. Jayalath, "Understanding data flow and security requirements in wireless body area networks for healthcare," in 2015 17th International Conference on E-health Networking, Application & Services (HealthCom). IEEE, 2015, pp. 621–626.
- [8] Khan, P., Ullah, N., Alam, M. N., & Kwak, K. S. (2015). Performance Analysis of WBAN MAC Protocol under Different Access Periods. International Journal of Distributed Sensor Networks. <https://doi.org/10.1155/2015/102/2015/102052>
- [9] รศ.ดร.ลัญฉกร วุฒิสัทติกุลกิจ. "เทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย." <http://www.chulapedia.chul.ac.th/index.php>.

- [10] N. F. Timmons and W. G. Scanlon, "Analysis of the performance of IEEE 802.15.4 for medical sensor body area networking," In Proceedings of 2004 1st Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks (IEEE SECON), Oct 2004.
- [11] R. Yuce Mehmet and Y.Khan Jamil, *Wireless Body Area Networks: Technology, Implementation, and Applications*, Dec 02 2012.
- [12] Deena M. Barakah, "A Survey of Challenges and Applications of Wireless Body Area Network (WBAN) and Role of A Virtual Doctor Server in Existing Architecture." <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=6169702>
- [13] Wikipedia contributors. (2023, March 28). Zigbee. In Wikipedia. Retrieved March 29, 2023, from <https://en.wikipedia.org/wiki/Zigbee>
- [14] ภาคย์ สนธเสาวภาคย์. "การพัฒนาาระบบประมวลผลข้อมูลของสภาวะแวดล้อมร่วมกับโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย." , สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 2557.
- [15] C. Mark, B. Grill, "An Efficient Implementation of the Algorithm 'CLEAN'," *Astron. Astrophys*, vol. 89, pp. 377-378, 1980.
- [16] C. Buccella M. Feliziani and G. Manzi, "Detection and localization of defects in shielded cables by time-domain measurements with UWB pulse injection and clean algorithm postprocessing," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 46, no. 4, pp. 597-605, Nov. 2004.
- [17] D. Arpasin and S. Promwong, "Evaluation of UWB-Body Area Network by Using CLEAN Algorithm," *2013 International Conference on Engineering, Applied Science, and Technology (ICEAST 2013)*, August 21-24, 2013, Bangkok, Thailand
- [18] W. Li, X. Hu and T. Jiang, "Path Loss Models for IEEE 802.15.4 Vehicle-to-Infrastructure Communications in Rural Areas," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 5, pp. 3865-3875, Oct. 2018, doi: 10.1109/JIOT.2018.

- [19] S. R. SAUNDERS. Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems. NJ. : John Wiley & Sons Inc., 2007
- [20] Keysight. Product Fact Sheet Keysight E5061B Network Analyzer 5 Hz to 3 GHz - Technical Overview, 2017.
- [21] Laird Technologies. “WTX Antenna External Wireless Dipole Antenna.” 17085897064158_datasheet.pdf. สื่อสารไร้สาย.”
- [22] Allied wire & cable. “RG142 Coax Cable.”<http://www.awcwire.com/rg-catalog/rg142-coax-cable>.
- [23] Agilent Technologies. “Calibration Kit Datasheet” User’s and Service Guide, USA,2010,http://www.av.it.pt/medidas/data/Test_Equipment_manuals/Agilent-85038A-7-17_calibration-kit.pdf
- [24] วุฒิชัย ป้อมคำ และสนิท เตียวฉิม. “แบบแผนการติดตั้งตำแหน่งของวิทยุแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลแบบไร้สาย.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถึ กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์

ทิศ องศา	ด้านหน้า	ด้านหลัง	ด้านซ้าย	ด้านขวา
0	53.0574	51.8067	61.8462	58.4704
30	56.1301	51.9869	58.2378	58.2378
60	49.9539	49.1585	59.2114	59.2114
90	63.7565	63.7565	63.7565	63.7565

ตารางแสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถึ กรณีมีร่างกายมนุษย์เมื่อติดสายอากาศที่บริเวณด้านหลัง

ทิศ องศา	ด้านหน้า	ด้านหลัง	ด้านซ้าย	ด้านขวา
0	54.9135	52.9541	61.1465	61.3160
30	62.6605	54.2279	49.7827	49.7124
60	49.2862	67.0435	54.2505	53.8611
90	49.8023	49.8023	49.8023	49.8023

ตารางแสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถึ กรณีมีร่างกายมนุษย์เมื่อติดสายอากาศที่บริเวณด้านหน้า

ทิศ องศา	ด้านหน้า	ด้านหลัง	ด้านซ้าย	ด้านขวา
0	58.7944	50.0145	57.7750	59.1763
30	62.3493	55.7403	49.1271	53.1905
60	49.4246	61.3266	55.9817	55.9358
90	50.1928	50.1928	50.1928	50.1928

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถึ กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น

ทิศ องศา	ด้านหน้า	ด้านหลัง	ด้านซ้าย	ด้านขวา
0	42.4563	41.2102	51.2247	47.5500
30	45.5121	41.3946	47.4025	47.4025
60	39.3638	38.5333	47.5884	47.5884
90	52.8400	52.8400	52.8400	52.8400

ตารางแสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถึ กรณีมีร่างกายมนุษย์เมื่อติดสายอากาศที่บริเวณด้านหลังเมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น

ทิศ องศา	ด้านหน้า	ด้านหลัง	ด้านซ้าย	ด้านขวา
0	44.3215	42.3174	50.4807	50.5882
30	51.7262	43.5254	49.1572	40.1991
60	39.0691	54.8678	49.4887	43.0564
90	39.1641	39.1641	39.1641	39.1641

ตารางแสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถึ กรณีที่มีร่างกายมนุษย์เมื่อติดสายอากาศที่บริเวณด้านหน้าเมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น

ทิศ องศา	ด้านหน้า	ด้านหลัง	ด้านซ้าย	ด้านขวา
0	47.9193	44.0299	47.0697	47.9983
30	51.6316	44.7814	42.3624	42.4178
60	39.1787	50.4309	45.3031	45.2916
90	39.5371	39.5371	39.5371	39.5371

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์

ตำแหน่งที่	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	
	เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น	เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น
1	0.9982	0.9989
2	0.9938	0.9953
3	0.9862	0.9915
4	0.9947	0.9972
5	0.9947	0.9970
6	0.9943	0.9960
7	0.9710	0.9843
8	0.9811	0.9936
9	0.9894	0.9931
10	0.9155	0.9656
11	0.9811	0.9939
12	0.9894	0.9931
13	0.9752	0.9909

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีที่มีร่างกายมนุษย์ทางด้านหน้า

ตำแหน่งที่	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	
	เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น	เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น
1	0.9928	0.9946
2	0.9082	0.9711
3	0.9785	0.9928
4	0.9940	0.9942
5	0.9930	0.9952
6	0.9957	0.9974
7	0.8351	0.9369
8	0.9664	0.9864
9	0.9693	0.9873
10	0.7639	0.9570
11	0.9701	0.9946
12	0.9683	0.9711
13	0.9880	0.9928

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีที่มีร่างกายมนุษย์ทางด้านหลัง

ตำแหน่งที่	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	
	เมื่อไม่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น	เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น
1	0.9625	0.9884
2	0.9060	0.9627
3	0.9305	0.9856
4	0.9497	0.9849
5	0.9160	0.9785
6	0.9234	0.9829
7	0.9936	0.9953
8	0.9943	0.9959
9	0.9970	0.9975
10	0.9554	0.9803
11	0.9950	0.9960
12	0.9982	0.9984
13	0.9963	0.9996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้