

ศึกษาและออกแบบสายอากาศ ISM Band ที่ย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์
สำหรับการทดลองวัดหาตำแหน่ง

STUDY AND DESIGN 2.4 GHZ ISM BAND ANTENNA FOR LOCALIZATION
MEASUREMENT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ศึกษาและออกแบบสายอากาศ ISM Band ที่ย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์

สำหรับการทดลองวัดหาตำแหน่ง

STUDY AND DESIGN 2.4 GHZ ISM BAND ANTENNA FOR LOCALIZATION
MEASUREMENT



T144401

โดย

นาย ชัชวาล	ธีรธีรประภา	55010262
นาย โชตินันท์	จิ่งแสงชัยสกุล	55010296
นาย วีรวิทย์	วงศ์อภิโชค	55011173

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.มนต์ชัย แซ่มซ้อย

ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 144401
วันเดือนปี 24 มี.ย. 2559

b. 10818598
f.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว ปีการศึกษา 2558

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

เอกสาคือฉบับที่ส่งมาใช้ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ (เว้นแต่การ)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งหากมีข้อสงสัยใดๆ กรุณาติดต่อเจ้าหน้าที่หอสมุดฯ
KMITL วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering

KMITL วิศวกรรมโทรคมนาคม

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ศึกษาและออกแบบสายอากาศ ISM BAND ที่ย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์สำหรับการ
ทดลองวัดหาตำแหน่ง

STUDY AND DESIGN 2.4 GHZ ISM BAND ANTENNA FOR LOCALIZATION
MEASUREMENT

ผู้จัดทำ

- | | | |
|------------------|-----------------|----------|
| 1. นาย ชัชวาล | ธีรเกียรติประภา | 55010262 |
| 2. นาย โชตินันท์ | จึงแสงชัยสกุล | 55010296 |
| 3. นาย วีรวิทย์ | วงศ์อภิโชค | 55011173 |


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.มนต์ชัย แซ่มซ้อย)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาและออกแบบสายอากาศ ISM BAND ที่ย่านความถี่
2.4 กิกะเฮิร์ตซ์สำหรับการทดลองวัดหาตำแหน่ง
Study and design 2.4 GHz ISM Band antenna for
localization measurement

โดย	ชัชวาล	ธีรเกียรติ์ประภา	55010262
	โชตินันท์	จิ่งแสงชัยสกุล	55010296
	วีรวิทย์	วงศ์อภิโชค	55011173

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.มนต์ชัย แซ่มซอย
ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล

บทคัดย่อ

สายอากาศถูกใช้ในการส่งสัญญาณและรับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยอาศัยอากาศเป็นตัวกลางซึ่งเป็นนิยามของการสื่อสารไร้สายหรือการเชื่อมต่อไร้สาย ในโครงการนี้เราเลือกสายอากาศแบบบ่วงเพราะมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ราคาไม่สูง ใช้งานที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์โดยที่ได้ออกแบบเพื่อให้แมทซ์กับสายอากาศแบบบ่วงการทดลองวัดใช้ค่าความแรงหรือความเข้มของสัญญาณตัวรับที่วัดได้จากตำแหน่งต่างๆ เพื่อการค้นหาตำแหน่ง ผลการทดลองเพื่อระบุตำแหน่งที่ได้ค่อนข้างถูกต้อง แต่ยังมีข้อจำกัดในการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

ABSTRACT

Antennas are used to transmit and receive electromagnetic energy from a data location to a receiving area by using air as intermediary, defining as wireless connection or wireless communications. In this project we propose loop antennas because smalling, lightweight, inexpensive and can be attached to the materials seamlessly. Single band, i.e. 2.4 GHz is focused. Method is implemented for the single-band design. Feed effectively designed to provide the impedance matching of the loops. The measurement uses RSSI values from a current position to compare with RSSI profile in database for locating position of the user. The measurement gives a quite good result for localization but there is a restriction in real time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1	
บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์	2
บทที่ 2	
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานในการหาตำแหน่ง	3
2.1.1 การเตรียมวัดที่ใช้ในการหาตำแหน่ง	3
2.1.2 เทคนิคการวัดที่ใช้ในการหาตำแหน่ง	4
2.1.2.1 เทคนิคการวัดค่าความแรงของสัญญาณ	5
2.1.2.2 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสะสม	7
2.1.2.3 เทคนิคการหาตำแหน่งแบบ MIN-MAX	8
2.1.2.4 การระบุตำแหน่งโดยใช้วิธี WEIGHTED CENTROID LOCALIZATION	10
2.2 คุณลักษณะพื้นฐานที่สำคัญของสายอากาศ	12
2.2.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	12
2.2.2 โลบของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น	12
2.2.3 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น	13
2.2.4 ค่าการชี้ทิศทาง	14
2.2.5 ลำคลื่น	14
2.2.6 อัตรายาย	15
2.2.7 ประสิทธิภาพของสายอากาศ	15
2.2.8 ความกว้างของแถบความถี่	15
2.2.9 โพลาริเซชัน	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	2.2.10 อัตราส่วนหน้า-หลัง	16
	2.2.11 การทำงานของสายอากาศ	17
	2.3 สายอากาศ	17
	2.3.1 สายอากาศแบบบ่วง	17
	2.3.2 สายอากาศไดโพล	20
	2.4 สิ่งที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดของสัญญาณ	25
	2.4.1 MULTIPATH FADING AND SHADOWING	25
	2.4.2 NON LINE-OF-SIGHT	25
	2.4.3 MUTIPLE-ACCESS INTERFERENCE	25
	2.4.4 FLUCTUATIONS IN SIGNAL PROPAGATION SPEEDS	25
บทที่ 3	การออกแบบและการจัดทำปฏิญานิพนธ์	26
	3.1 การออกแบบ	26
	3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	27
	3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	34
บทที่ 4	ผลการทดลอง	36
	4.1 ผลการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ระยะอ้างอิง	36
	4.2 ทดลองเก็บค่าความแรงสัญญาณในแต่ละพิกัดตามโมเดลในการทดลอง	37
	4.3 ผลการทดลองของเทคนิคการหาตำแหน่งแบบ MIN-MAX โดยใช้พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ	45
	4.4 ผลการทดลองของเทคนิคการหาตำแหน่งแบบ WEIGHTED CENTROID โดยใช้พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ	48
	4.5 สรุปผลจากตารางและกราฟ	65
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	66
	5.1 สรุปผล	66
	5.2 ข้อเสนอแนะ	67
บรรณานุกรม		69

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 (A) การระบุตำแหน่งโดยตรงและ (B) การระบุตำแหน่งแบบสองขั้นตอน	5
2.2 การหาตำแหน่งโดยวิธี TRILATERATION	6
2.3 เทคนิคการหาตำแหน่งแบบ MIN-MAX	10
2.4 การหาตำแหน่งโดยใช้ WCT	11
2.5 โลบต่างๆและบีมิววิทซ์ของแบบรูปสายอากาศ	12
2.6 ความกว้างลำ (BEAMWIDTH)	14
2.7 ระบบแกนประสานของสายอากาศแบบบ่วงขนาดเล็กกรุปสี่เหลี่ยมจัตุรัส	18
2.8 การกระจายตัวของกระแสบนสายอากาศแบบบ่วงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความยาวเส้นรอบรูปเท่ากับหนึ่ง	19
2.9 การแพร่กระจายคลื่นในแนวราบของสายอากาศรูป	19
2.10 การแพร่กระจายคลื่นในแนวตั้งของสายอากาศรูป	20
2.11 สายอากาศไดโพล	21
2.12 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของไดโพลอุดมคติตามหลักทฤษฎีระนาบสนามไฟฟ้า (E-PLANE)	22
2.13 แบบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของไดโพลอุดมคติ	22
2.14 การกระจายของกระแสในไดโพล	23
2.15 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระนาบสนามไฟฟ้า (E-PLANE) ของสายอากาศไดโพลและไดโพลอุดมคติ	23
2.16 การโพลาริเซชันของสายอากาศไดโพล	24
3.1 โมเดลแบบจำลองพื้นที่สำหรับการวัดช่องสัญญาณ	26
3.2 พื้นที่จริงสำหรับการวัดช่องสัญญาณ	27
3.3 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์	27
3.4 เครื่องวิเคราะห์แอมพลิจูด	29
3.5 เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ	29
3.6 สายอากาศรูป	30
3.7 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน	31
3.8 ค่าแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น	32
3.9 สายอากาศไดโพล 2.4 กิกะเฮิรตซ์	32
3.10 สัดส่วนของสายอากาศไดโพล (มิลลิเมตร)	33

4.1	กราฟค่าความแรงสัญญาณในแต่ละพิกัดของตัวส่งที่ 1	38
4.2	กราฟค่าความแรงสัญญาณในแต่ละพิกัดของตัวส่งที่ 2	40
4.3	กราฟค่าความแรงสัญญาณในแต่ละพิกัดของตัวส่งที่ 3	42
4.4	กราฟค่าความแรงสัญญาณในแต่ละพิกัดของตัวส่งที่ 4	44
4.5	ค่าระยะทางผิดพลาด โดยแสดงในรูปแบบความน่าจะเป็นแจกแจงสะสม	47
4.6	ค่าระยะทางผิดพลาด ในรูปแบบกราฟพื้นผิว	48
4.7	ค่าระยะทางผิดพลาด โดยแสดงในรูปแบบความน่าจะเป็นแจกแจงสะสม	51
4.8	ค่าระยะทางผิดพลาด ในรูปแบบกราฟพื้นผิว	52
4.9	ค่าระยะทางผิดพลาด โดยแสดงในรูปแบบความน่าจะเป็นแจกแจงสะสม	53
4.10	ค่าระยะทางผิดพลาด ในรูปแบบกราฟพื้นผิว	54
4.11	ค่าระยะทางผิดพลาด โดยแสดงในรูปแบบความน่าจะเป็นแจกแจงสะสม	57
4.12	ค่าระยะทางผิดพลาด ในรูปแบบกราฟพื้นผิว	58
4.13	ค่าระยะทางผิดพลาด โดยแสดงในรูปแบบความน่าจะเป็นแจกแจงสะสม	59
4.14	ค่าระยะทางผิดพลาด ในรูปแบบกราฟพื้นผิว	60
4.15	ค่าระยะทางผิดพลาด โดยแสดงในรูปแบบความน่าจะเป็นแจกแจงสะสม	63
4.16	ค่าระยะทางผิดพลาด ในรูปแบบกราฟพื้นผิว	64
4.17	คำมัยฐานความผิดพลาดของระยะทางของค่าตัวถ่วงน้ำหนัก	65

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัด	28
3.2 คุณสมบัติและค่าที่วัดของสายอากาศไดโพล	33
4.1 การหาค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณที่ระยะอ้างอิง	36
4.2 ผลการทดลองเก็บค่าความแรงสัญญาณในแต่ละพิกัดของตัวส่งที่ 1	37
4.3 ผลการทดลองเก็บค่าความแรงสัญญาณในแต่ละพิกัดของตัวส่งที่ 2	39
4.4 ผลการทดลองเก็บค่าความแรงสัญญาณในแต่ละพิกัดของตัวส่งที่ 3	41
4.5 ผลการทดลองเก็บค่าความแรงสัญญาณในแต่ละพิกัดของตัวส่งที่ 4	43
4.6 พิกัดของการระบุตำแหน่งแบบ MIN - MAX	45
4.7 พิกัดของการระบุตำแหน่งแบบการถ่วงน้ำหนักโดยค่าตัวถ่วงน้ำหนักหรือค่า K นั้นมีค่า 1 และ 1.5	49
4.8 พิกัดของการระบุตำแหน่งแบบการถ่วงน้ำหนักโดยค่าตัวถ่วงน้ำหนักหรือค่า K นั้นมีค่า 2 และ 2.5	54
4.9 พิกัดการระบุตำแหน่งแบบการถ่วงน้ำหนักโดยค่าตัวถ่วงน้ำหนักหรือค่า K นั้นมีค่า 3	60
4.10 ค่ามัธยฐานความผิดพลาดของระยะทางของค่าตัวถ่วงน้ำหนักในกรณีค่าดัชนีการแพร่กระจายสัญญาณในสภาวะแวดล้อมต่างๆ	64
5.1 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของระยะทาง	66

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายเข้ามามีบทบาทในการดำรงชีวิตประจำวันมากขึ้น เนื่องจากการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายสามารถส่งข้อมูลได้ทุกทิศทางโดยมีอากาศเป็นตัวกลางในการสื่อสาร ซึ่งมีข้อดีหลากหลาย เช่น มีความคล่องตัวสูงไม่ว่าจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดก็สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ ประหยัดค่าใช้จ่ายและสามารถใช้งานได้ในทุกสถานที่ ทุกเวลา อย่างไม่จำกัดอีกด้วย เทคโนโลยีการสื่อสารได้มีการพัฒนาอย่างกว้างขวาง ได้แก่ เทคโนโลยี WiMax เทคโนโลยีระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio frequency identification: RFID) เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย เทคโนโลยีบลูทูธ (Bluetooth) และเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband) เป็นต้น

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลายๆด้าน ใช้ในทางการแพทย์ในการติดตามอาการคนไข้ การติดต่อสื่อสารของทหาร การใช้ในเชิงธุรกิจ เช่น การติดตามระบบขนส่ง หรือ ใช้ในการค้นหาทิศทางและการระบุตำแหน่งเป็นต้น ซึ่งการระบุตำแหน่งที่ได้นำมาใช้งานก่อนหน้านี้เป็นระบบจีพีเอส (Global positioning system:GPS) ซึ่งเป็นระบบที่สามารถนำทางเพื่อไปยังสถานที่ที่ต้องการได้ แต่ระบบจีพีเอสมีข้อจำกัดเมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานภายในอาคาร เนื่องจากเป็นการสื่อสารผ่านดาวเทียม หากนำมาใช้ภายในอาคารหรือสถานที่ที่ปิดทึบแล้วจะทำให้ไม่สามารถใช้คำนวณหาตำแหน่งได้ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีแนวทางการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้กับโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor network: WSN) ซึ่งมีขนาดเล็ก สะดวกและง่ายต่อการพกพา โดยได้นำมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เพราะเป็นเทคโนโลยีที่มีแถบกว้างมาก มีแบนด์วิดท์กว้างถึง 7.5 GHz อยู่ในช่วงความถี่ระหว่าง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และใช้พลังงานต่ำ ให้ความเร็วสูงในการรับและส่งข้อมูล สัญญาณแถบกว้างยิ่งอยู่บนมาตรฐาน IEEE 802.15.3a ซึ่งเป็นมาตรฐานที่กำหนดอัตราการรับส่งข้อมูลที่มีอัตราสูงมากกว่า 100 Mbps สำหรับโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล(Wireless personal area network: WPAN) สามารถสื่อสารในระยะใกล้ไม่เกิน 10 เมตร ด้วยข้อกำหนดเหล่านี้จึงเหมาะสมในการเลือกใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับนำมาประยุกต์ใช้กับเซ็นเซอร์ไร้สายขนาดเล็ก

การหาตำแหน่งภายในอาคารมีการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อหาวัตถุสิ่งของ รวมถึงการหาตำแหน่งที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ภายในอาคาร สามารถพิจารณาด้วยเทคนิคที่หลากหลาย เช่น เทคนิคการหาตำแหน่งด้วยวงกลม 3 วง (Trilateration) เทคนิคพิจารณาวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ (Received signal strength:RSS) วิธีพิจารณาเวลาในการมาถึงของสัญญาณ (Time of arrival:TOA) โดยวิธีการเหล่านี้เป็นการพิจารณาทิศทางกำลังงานและเวลาของสัญญาณที่ได้รับได้อย่างไรก็ตามวิธีการที่ใดกล่าวข้างต้นมีความเที่ยงตรงและแม่นยำไม่มากนัก จึงได้มีการพัฒนาวิธีการหาตำแหน่งด้วยวิธีเสมือนการสแกนลายนิ้วมือด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่งขึ้น ซึ่งจะทำการคาดคะเนตำแหน่งที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์นั้นมีความแม่นยำ เที่ยงตรงและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาออกแบบและนำเสนอสายอากาศที่สามารถค้นหาตำแหน่งซึ่งสายอากาศที่ออกแบบคือสายอากาศที่ยานความถี่ ISM band 2.4GHz ซึ่ง ISM ย่อมาจาก Industrial Sciences Medicine หรือคลื่นความถี่สาธารณะสำหรับอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ โดยยานความถี่สำหรับคลื่นวิทยุในโลกนี้ จัดได้ความมีการควบคุมการเป็นเจ้าของหรือใช้งาน ซึ่งในงานวิจัยการขอคลื่นความถี่มาใช้งานทำได้ค่อนข้างยาก จึงมีการตั้ง ISM band นี้ขึ้นมาสำหรับการวิจัยโดยเฉพาะ โดยแบ่งเป็นสามย่านความถี่ คือ 900 เมกะเฮิร์ตซ, 2.4 กิกะ เฮิร์ตซ และ 5.7 กิกะเฮิร์ตซ สำหรับ Wireless Network 802.11 จะใช้สองย่านความถี่หลัง แต่เนื่องจากความถี่ 5.7 กิกะเฮิร์ตซ นั้นมีการยอมให้ใช้ได้เฉพาะบางประเทศเท่านั้น (ส่วนที่เหลืออาจจะถูกจัดสรรไปให้กับองค์กรต่างๆ ก่อนจะมีการประกาศ ISM Band ออกมา) ทำให้มาตรฐาน a ไม่สามารถใช้งานได้ในประเทศบางประเทศ รวมถึงประเทศไทยด้วย เราจึงใช้งานโดยเฉพาะ 802.11b และ g เท่านั้น ดังนั้นการนำเสนอโครงการนี้จึงมีจุดประสงค์ต่อไปนี้

- 1) ศึกษาคุณสมบัติของสายอากาศในย่านความถี่ ISM band ศึกษาเกี่ยวกับการหาตำแหน่งภายในอาคาร
- 2) ศึกษาวิธีการออกแบบสายอากาศ เพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการที่ยานความถี่ ISM Band 2.4 กิกะเฮิร์ต
- 3) ศึกษาผลกระทบของสายอากาศที่ออกแบบที่ยานความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ตสำหรับการทดลองวัดหาตำแหน่ง
- 4) ทดลองวัดหาตำแหน่งและประเมินผลการทดลอง
- 5) เพื่อศึกษาให้รู้และเข้าใจถึงโมเดลในการวัดหาตำแหน่ง

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1) ศึกษาการสร้างสายอากาศ เพื่อให้ได้ย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ต
- 2) ออกแบบสายอากาศ เพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการที่ยานความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ต
- 3) สร้างสายอากาศแบบลูบที่ความถี่ 2.4 GHz และทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศว่าตรงตามที่ต้องการหรือไม่
- 4) ออกแบบจำลองวัดช่องสัญญาณ Chanel Model เพื่อทำการทดลองโมเดลการวัดหาตำแหน่ง
- 5) เขียนโปรแกรมเพื่อการคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของสายอากาศรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานในการหาตำแหน่ง

เมื่อกล่าวถึงระบบการหาตำแหน่งภายในอาคารปัจจุบันนี้เน้นว่ามีการนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายและมีการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ๆ มาใช้ร่วมกับการหาตำแหน่งมากมาย การหาตำแหน่งสภาวะแวดล้อมภายในอาคารนั้นยากต่อการคาดเดาเรื่องของการสูญเสียเชิงวิถี ทั้งนี้เพราะเกิดการสูญเสียหลายวิถีและการลดทอนสัญญาณ การหักเหของสัญญาณและในสภาวะแวดล้อมต่างกัน คล้ายกับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ที่อยู่ภายในอาคาร ฉะนั้นการหาตำแหน่งภายในอาคารต้องอาศัยทฤษฎีต่างๆ ประกอบด้วย โดยตัวอย่างของการนำเอาระบบการหาตำแหน่งมาใช้ในปัจจุบัน เช่น การหาตำแหน่งของผู้ป่วยในโรงพยาบาล การหาตำแหน่งของสิ่งของภายในโรงงาน อุตสาหกรรม การหาตำแหน่งของนักดับเพลิงที่เข้าไปช่วยเหลือผู้ประสบภัยภายในอาคาร การหาตำแหน่งของวัตถุต่างๆ เป็นต้น

2.1.1 การเตรียมการวัดที่ใช้ในการหาตำแหน่ง

2.1.1.1 Channel Model

$$P_r(d) = \frac{K}{d^n} + x \quad (2.1)$$

เมื่อ $P_r(d)$ คือ กำลังงานที่รับได้

K คือ ค่าคงที่

x คือ ตัวแปรสุ่มของ Fading

$$P_r(d)[dB] = -10n \log d + K[dB] + x[dB]$$

$$\overline{P_r(d)}[dB] = -10n \log d + K[dB] \quad (2.2)$$

ค่า $\overline{P_r(d)}$ คือ ค่ากำลังงานที่รับได้เฉลี่ย

2.1.1.2 Linear Regression Model

กำหนด d_0 เป็น Reference Distance

$$\overline{P_r(d)}[dB] = -10n \log d_0 + k[dB] \quad (2.3)$$

สมการ (2.2) – (2.3) จะได้

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

กำหนดให้ $d_0 = 1$ เมตร

$$\overline{P_r(d)}[dB] = -10n \log(d) + \overline{P_r(1m)}[dB]$$

กำหนดให้

$$y = \overline{P_r(d)}[dB], A = -10n$$

$$x = \log d, B = \overline{P_r(1m)}[dB]$$

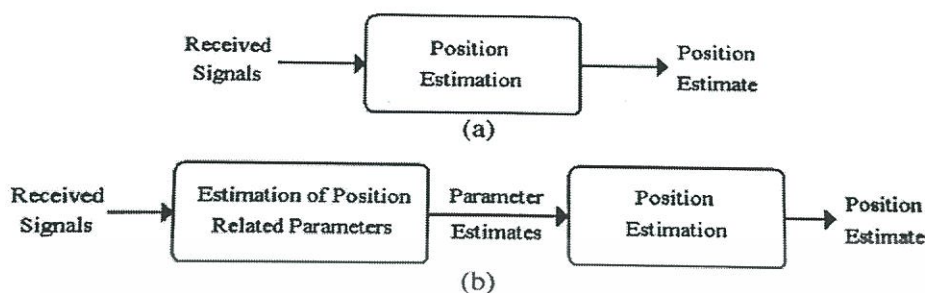
จะได้ $y = Ax + B$

กำหนดให้มีข้อมูลที่ได้จากการวัดจำนวน N ข้อมูล

$$x_i = \log d_i, y = \overline{P_r(d_i)}[dB]; i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2.4)$$

2.1.2 เทคนิคการวัดที่ใช้ในการหาตำแหน่ง

สำหรับการหาตำแหน่งในระบบการสื่อสารไร้สายนั้นจะมีอยู่สองลักษณะด้วยกัน ในลักษณะแรกจะเป็นการหาตำแหน่งโดยตรงจากสัญญาณที่เดินทางระหว่างตำแหน่งซึ่งจะเรียกว่า Direct positioning และอีกลักษณะหนึ่งจะเป็นการแบ่งการหาตำแหน่งออกเป็น 2 ขั้นตอน (Two step positioning) โดยในขั้นตอนแรกจะเป็นการเก็บค่าพารามิเตอร์จากสัญญาณแล้วจึงทำการประมาณหาตำแหน่งจากค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นโดยการหาตำแหน่งทั้งสองลักษณะแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 โดยทั่วไปแล้วจะนิยมใช้การหาตำแหน่งแบบสองขั้นตอนมากกว่าเนื่องด้วยการหาตำแหน่งแบบตรงมีความยุ่งยากมากกว่า อีกทั้งการหาตำแหน่งแบบสองขั้นตอนยังให้ผลที่ดีกว่าอีกด้วย



รูปที่ 2.1 (a) การระบุตำแหน่งโดยตรงและ (b) การระบุตำแหน่งแบบสองขั้นตอน

2.1.2.1 เทคนิคการวัดค่าความแรงของสัญญาณ (Received Signal Strength Indication หรือ RSSI)

RSSI เป็นค่าที่ใช้บอกความแรงของสัญญาณวิทยุที่ได้รับในเทอมของพลังงานมีหน่วยเป็น dBm (decibels-milliwatts) โดยค่า RSSI จะแปรผันตรงกับความแรงของสัญญาณนั่นคือถ้าค่า RSSI มีค่ามากแสดงว่าสัญญาณที่ได้รับมีความแรงสูง นั่นคือตัวส่งและตัวรับอยู่ใกล้กัน และในทางกลับกัน หากค่า RSSI มีค่าน้อยแสดงว่าสัญญาณที่ได้รับมีความแรงต่ำ แสดงว่าตัวส่งและตัวรับอยู่ไกลกัน

ข้อดีของการใช้วิธีการวัดแบบนี้คือ ไม่ต้องการฮาร์ดแวร์ที่มีราคาสูงและง่ายต่อการติดตั้ง เหมาะสำหรับการวัดในเมืองหรือในอาคาร ใน Cellular และ WLAN Network มีอุปกรณ์สำหรับวัดค่า RSS อยู่แล้ว โดยไม่ต้องเพิ่มอุปกรณ์ใดๆ การทำให้ RSSI นำเชื่อถือมากขึ้น จะต้องสร้างระบบในการจดจำพื้นที่นั้นๆโดยการวัดค่าและเก็บข้อมูลไว้หลายๆครั้ง เมื่อวิเคราะห์ภายหลังก็จะมีคามผิดพลาดน้อยลง

วิธีนี้ไม่นิยมใช้ในงานที่ต้องการความแม่นยำสูง เนื่องจากค่าความแปรปรวนของสัญญาณจากสภาพแวดล้อมต่างๆกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสัญญาณมาจากหลายทิศทางและเกิดเงาสะท้อนของสัญญาณ (Shadowing Effect) อย่างไรก็ตามวิธีการวัดความแรงของสัญญาณ (Signal-Strength-Based) มักนำไปใช้ในการประมาณค่าตำแหน่งวัตถุหรือนำไปใช้ร่วมกับวิธีอื่นในการพิจารณา

นอกจากนี้เราสามารถเพิ่มความแม่นยำของการระบุตำแหน่งวัตถุได้มากขึ้น โดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์โดยโหนดที่ใช้วัดระยะทางต้องมีอย่างน้อย 3 โหนดในระนาบ 2 มิติ (หากเป็น ระบบ 3 มิติ ต้องการ 4 ระยะทาง จาก 4 จุดสังเกต) ตำแหน่งของวัตถุจะอยู่ที่จุดตัด

(Intersection) ของวงกลม 3 วง ที่แต่ละวงรัศมีเท่ากับวัตถุไปยังจุดสังเกต ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

ความแรงของสัญญาณที่ได้รับของสัญญาณวิทยุที่เข้ามา หรือกำลังที่เครื่องส่ง (P_t) มีผลกระทบโดยตรงต่อเครื่องรับ (P_r) ตามสมการ Friis (Friis's Transmission Equation)

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \left(\frac{1}{d} \right)^n \quad (2.5)$$

เมื่อ

P_t คือ กำลังส่ง (Transmitting Power)

P_r คือ กำลังรับ (Receiving Power)

G_t คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง (Transmitting Antenna Gain)

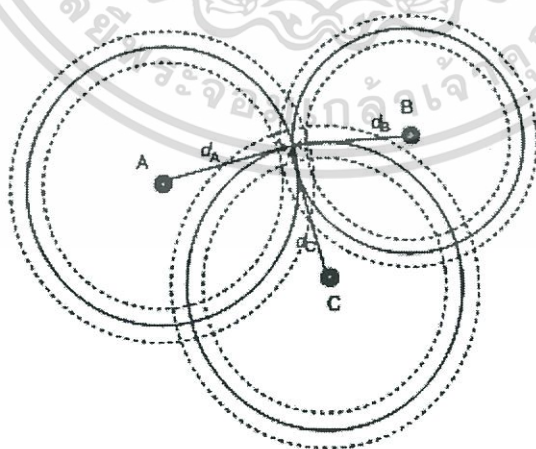
G_r คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ (Receiving Antenna Gain)

λ คือ ความยาวคลื่น (Wavelength)

n คือ Path Loss Exponent

สำหรับสภาพแวดล้อมใดๆ

$$P_r(d) \propto \frac{1}{d^n} \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.2 การหาตำแหน่งโดยวิธี Trilateration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามการหาตำแหน่งโดยวัดค่าความแรงของสัญญาณจะได้รับผลกระทบจากการจางหายหลายวิถี (Multipath fading) และการลดทอนของสัญญาณเนื่องมาจากมีสิ่งกีดขวาง (Shadowing) ซึ่งจะมีผลกระทบต่อค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ ทำให้การหาตำแหน่งโดยวิธีนี้เกิดความคลาดเคลื่อนได้

2.1.2.2 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสะสม (Cumulative Probability Distribution Function : CDF)

ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมของตัวแปรสุ่ม X คือ ฟังก์ชันที่แสดงถึงความน่าจะเป็นสะสมเมื่อ X มีค่าน้อยกว่าค่าใดค่าหนึ่ง

C.D.F ของ X คือ $F(x) = P(X \leq x)$

กรณีที่ X เป็นตัวแปรสุ่มวิฤต $X = x_1, x_2, x_3, \dots, x_j, \dots, x_n$

ความน่าจะเป็นสะสมของ $X = x_1, x_2, x_3, \dots, x_j$ คือ $F(x) = \sum_{i=1}^j P(X = x_i)$

กรณีที่ X เป็นตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง ความน่าจะเป็นสะสมของ X คือ $F(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt$

สมบัติของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสม

- 1) $0 \leq F(x) \leq 1$
- 2) $F(-\infty) = 0, F(\infty) = 1$
- 3) $F(x)$ เป็นฟังก์ชันที่ค่าไม่ลดลง ถ้า a และ b เป็นค่าคงที่ โดยที่ $a \leq b$ จะได้ว่า $F(a) \leq F(b)$
- 4) การหาความน่าจะเป็นจากความน่าจะเป็นสะสม

4.1) ถ้า X เป็นตัวแปรสุ่มวิฤต จะได้ว่า

$$P(X = a) = F(a) - F(a^-) \text{ เช่น } P(X = 1) = P(X \leq 1) - P(X < 1)$$

$$P(a \leq x \leq b) = F(b) - F(a) + P(X = a)$$

$$P(a < X \leq b) = F(b) - F(a)$$

$$P(a \leq X < b) = F(b) + P(X = a) - P(X = b)$$

$$P(a < X < b) = F(b) - F(a) - P(X = b)$$

4.2) ถ้า X เป็นตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง จะได้ว่า

$$P(X = a) = P(X = b) = 0$$

$$\begin{aligned} P(a \leq X \leq b) &= P(a < X \leq b) = P(a \leq X < b) \doteq P(a < X < b) \\ &= F(b) - F(a) \end{aligned}$$

5) ความสัมพันธ์ระหว่าง $f(x)$ และ $F(x)$ เมื่อ X เป็นตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่องเป็น

ดังนี้

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t)dt \text{ และ } f(x) = \frac{d}{dx} F(x) \quad (2.7)$$

จากสมบัติข้อ 5 ถ้ามี $f(x)$ เมื่อ X เป็นตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง โดยที่ $a < X < b$

แล้ว

สรุปค่า $F(x)$ ได้ดังนี้

$$F(x) = \begin{cases} 0 & , x < a \\ \int_a^x f(t)dt & , a \leq x \leq b \\ 1 & , x \geq b \end{cases} \quad (2.8)$$

2.1.2.3 เทคนิคการหาค่าเหมาะแบบ Min-Max

เทคนิคการหาค่าเหมาะแบบ Min-Max เป็นเทคนิคการหาค่าเหมาะที่พิจารณาหาค่าเหมาะจากส่วนที่ซ้อนทับกันของสี่เหลี่ยม หรือการซ้อนทับกันของขอบเขตต่ำที่สุด (Minimum) และขอบเขตที่สูงที่สุด (Minimum) ในแนวแกน x และแกน y ที่เกิดจากสายอากาศส่งอย่างน้อย 3 อัน โดยระยะทางระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งแต่ละอันสามารถหาได้จากการคำนวณ

โดยใช้พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ และพารามิเตอร์เวลาที่สัญญาณมาถึง ซึ่งจะนำมาคำนวณหากล่อง หรือขอบเขตที่เกิดจากสายอากาศส่งแต่ละอัน

การหาตำแหน่งแบบ 2 มิติ โดยใช้เทคนิคการหาตำแหน่งแบบ Min-Max เป็นการหาตำแหน่งในแกน x และแกน y จำเป็นต้องใช้สายอากาศส่งอย่างน้อย 3 อัน โดยจะวาดสี่เหลี่ยมหรือขอบเขตต่ำที่สุด และสูงที่สุดในแกน x และแกน y ที่เกิดจากสายอากาศส่งทั้ง 3 อัน ซึ่งสี่เหลี่ยมหรือขอบเขตที่ต่ำที่สุดและสูงที่สุดในแกน x และแกน y ของแต่ละสายอากาศส่ง จะเกิดจากระยะทางระหว่างสายอากาศส่งแต่ละอันและสายอากาศรับ ทำการบวก และลบกับจุดศูนย์กลางของสายอากาศส่งแต่ละอัน

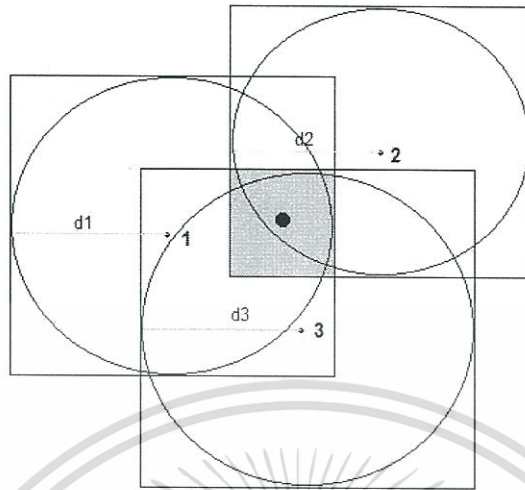
โดยสี่เหลี่ยม หรือขอบเขตที่ต่ำที่สุดในแกน x และแกน y คือ $(x_i - d_i, y_i - d_i)$ และขอบเขตที่สูงที่สุดในแกน x และแกน y คือ $(x_i + d_i, y_i + d_i)$ เมื่อ (x_i, y_i) คือ จุดศูนย์กลางของสายอากาศส่งที่ i โดยที่ $i=1, 2$ และ 3

ดังนั้นตำแหน่งที่ต้องการหาหรือตำแหน่งของสายอากาศรับจะสามารถหาได้จากค่าเฉลี่ยที่ซ้อนทับกันของกล่อง หรือขอบเขตที่ต่ำที่สุดและสูงที่สุดในแกน x และแกน y ซึ่งก็คือค่าเฉลี่ยของค่าสูงที่สุดของพิกัดที่ต่ำที่สุด และค่าต่ำที่สุดของพิกัดที่สูงที่สุดในแต่ละแกน x และแกน y แสดงได้ดังสมการนี้ ซึ่งรูปที่ 3.6 แสดงการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิค Min-Max

$$x = \frac{\max(x_i - d_i) + \min(x_i + d_i)}{2} \quad (2.9)$$

$$y = \frac{\max(y_i - d_i) + \min(y_i + d_i)}{2} \quad (2.10)$$

เมื่อ $\max(x_i - d_i)$ คือ ค่าสูงที่สุดของพิกัดที่ต่ำที่สุดในแกน x
 $\min(x_i + d_i)$ คือ ค่าต่ำที่สุดของพิกัดที่สูงที่สุดในแกน x
 $\max(y_i - d_i)$ คือ ค่าสูงที่สุดของพิกัดที่ต่ำที่สุดในแกน y
 $\min(y_i + d_i)$ คือ ค่าต่ำที่สุดของพิกัดที่สูงที่สุดในแกน y



รูปที่ 2.3 เทคนิคการหาตำแหน่งแบบ Min-Max

2.1.2.4 การระบุตำแหน่งโดยใช้วิธี Weighted Centroid Localization

การระบุตำแหน่งมีวิธีการที่หลากหลายวิธี สำหรับโครงงานนี้ได้เลือกใช้วิธีการระบุตำแหน่งแบบ การถ่วงน้ำหนัก หรือ weighted centroid โดยมีพื้นฐานแนวคิดจากวิธีการหาจุดเซนทรอยด์ของวัตถุ ซึ่งแสดงสมการของค่าพิกัด (x,y) ของวัตถุ ดังสมการที่ (2.5)

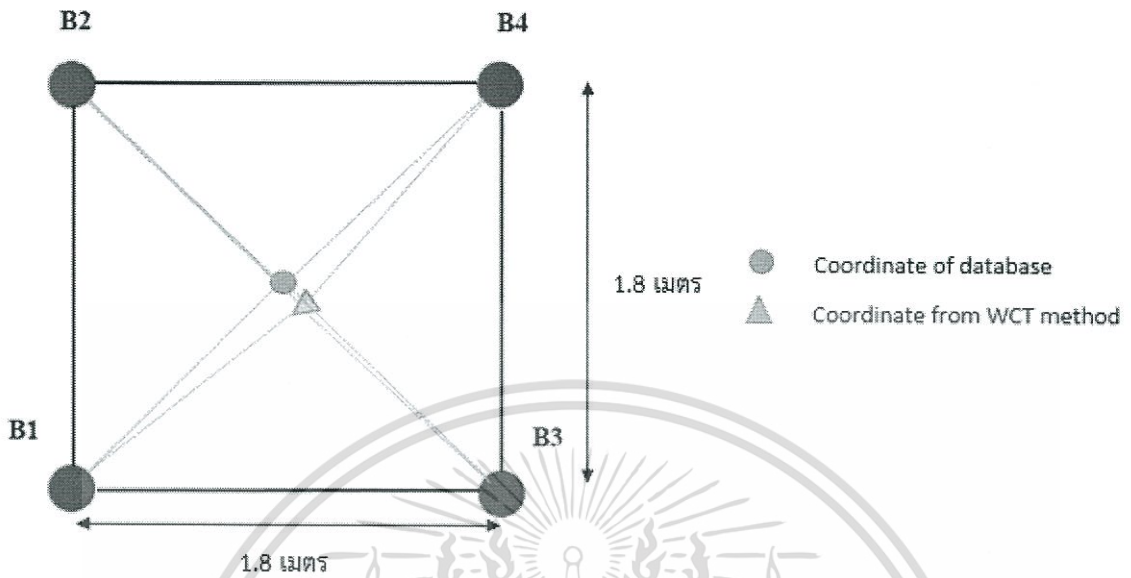
$$p'_i(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i(x_i, y_i))}{n} \quad (2.11)$$

กำหนดให้

$p'_i(x, y)$ คือ พิกัดที่ได้จากวิธีแบบเซนทรอยด์

$(a_i(x_i, y_i))$ คือ ตำแหน่งของพิกัดจริง

n คือ จำนวนจุดที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 2.4 การหาตำแหน่งโดยใช้ WCT

สูตรการหาตำแหน่งโดยใช้วิธี weighted centroid เป็นวิธีการระบุตำแหน่ง โดยเพิ่มค่าตัวถ่วงน้ำหนัก เข้าไปในการวิเคราะห์ ซึ่งแสดงดังสมการ

$$w_{ij} = \frac{1}{(d_{ij})^g} \quad (2.12)$$

$$p''_i(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n w_{ij}(a_i(x_i, y_i))}{\sum_{i=1}^n w_{ij}} \quad (2.13)$$

กำหนดให้

$p''_i(x, y)$ คือ พิกัดการประมาณค่าที่ได้จากการใช้วิธีระบุตำแหน่งแบบ WCT
 $12d_{ij}$ คือ ระยะทางที่ได้จากการคำนวณจาก path loss model จากโหนดอ้างอิง
 w_{ij} คือ ค่าตัวถ่วงน้ำหนักของระยะทาง
 g คือ ระดับของตัวถ่วงน้ำหนัก

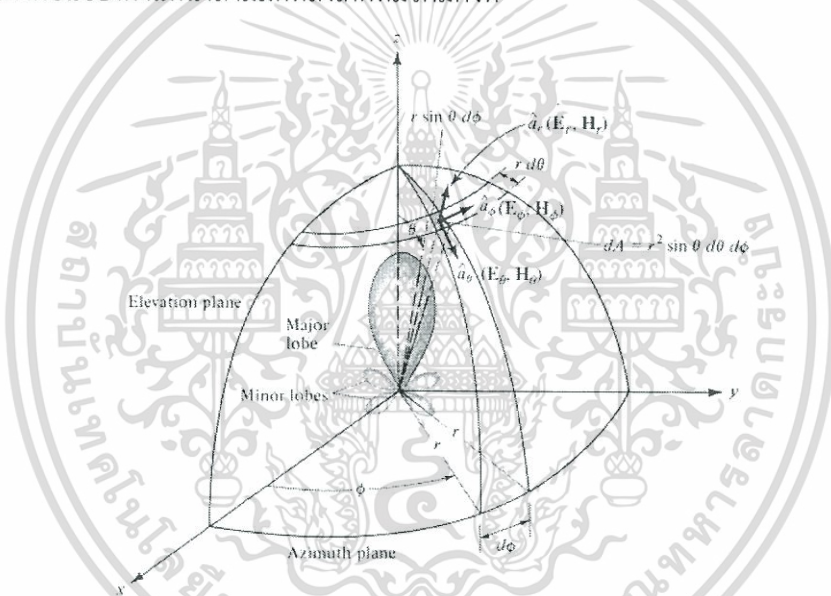
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณลักษณะพื้นฐานที่สำคัญของสายอากาศ

2.2.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น คือ รูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งเป็นฟังก์ชันของสเปซโคออดิเนต (Space Coordinate) ส่วนใหญ่รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นนี้มักคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far Field)

การอธิบายคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นจะอาศัยคุณสมบัติต่างๆ ต่อไปนี้ คือ ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity) ความเข้มของสนาม (Field Strength) เฟส (Phase) หรือโพลาไรซ์เซชัน (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการแจกแจงของพลังงานเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งสามมิติที่สังเกตที่มีรัศมีคงที่



รูปที่ 2.5 โลบต่างๆและบีมวิทซ์ของแบบรูปสายอากาศ

2.2.2 โลบของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe)

โลบของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe) เป็นส่วนหนึ่งของการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณ โดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น

โลบหลัก (Major Lobe หรือ Main Lobe) เป็นโลบของการแพร่กระจายคลื่นซึ่งอยู่ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด มีโลบหลักอยู่ในทิศทาง $\theta = 0$ สำหรับสายอากาศบางชนิดมีโลบหลักมากกว่าหนึ่งโลบ เช่น สายอากาศแยกบีม (Split Beam Antenna)

โลบย่อย (Minor Lobe) ได้แก่โลบอื่นๆนอกเหนือจากโลบหลัก

โลบข้างหรือไซด์โลบ (Side Lobe) เป็นโลบย่อยที่ติดกับโลบหลักและอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมซีกเดียวกับโลบหลัก

โลบหลัง (Back Lobe) เป็นโลบย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับโลบหลัก ปกติแล้วโลบย่อยจะเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ

ดังนั้นสายอากาศที่ดีจะต้องกำจัดโลบเหล่านี้ให้น้อยที่สุด ระดับของโลบย่อยมักแสดงเป็นอัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานในโลบที่กำลังคิดต่อความหนาแน่นของพลังงานในโลบหลัก ซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนไซด์โลบ (Side Lobe Ratio) หรือระดับของไซด์โลบ (Side Lobe Level:SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นมักจะต้องการให้ระดับของไซด์โลบน้อยกว่า -20 dB

2.2.3 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น

คำจำกัดความของคำว่าความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่กำหนดให้คือ กำลังงานที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศต่อหน่วยมุมตัน ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการแสดงคุณสมบัติของสายอากาศ เกี่ยวกับสนามระยะไกลความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นสามารถหาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่นและผลจากการกำลังสองของระยะทาง ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$U = r^2 W_{rad} \quad (2.14)$$

เมื่อ U = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W / หน่วยมุมตัน)

W_{rad} = ความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น (W / m^2)

ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น ถ้าจะเขียนแสดงความสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกลคือ

$$U(\theta, \phi) = \frac{r^2}{2\eta} [|E_\theta(\theta, \phi)|^2 + |E_\phi(\theta, \phi)|^2] \quad (2.15)$$

เมื่อ E_θ, E_ϕ = ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล

η = อินทริเนสิกอิมพีแดนซ์ (Intrinsic Impedance)

ดังนั้นแบบรูปของกำลังงานก็ใช้เพื่อแสดงถึงความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นได้เช่นกัน กำลังงานทั้งหมดนี้หาได้โดยการหาปริพันธ์ของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นตามสมการ(2.1) และ(2.2) ตลอดมุมตัน 4π ทั้งหมดซึ่งจะได้

$$P_{rad} = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.16)$$

2.2.4 ค่าการชี้ทิศทาง (Directivity)

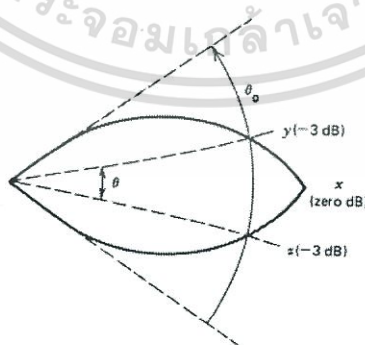
ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง คือ อัตราส่วนระหว่างความเข้มการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในทิศทางต่างๆเทียบกับสายอากาศไอโซโทรปิก ซึ่งวัดในหน่วยของ dBi เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$D_0 (dBi) = 10 \log \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (2.17)$$

เมื่อ U_{max} = ค่าสูงสุดของความเข้มการแพร่กระจายคลื่น
 P_{rad} = กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด

2.2.5 ลำคลื่น (Beamwidth)

การกำหนดความกว้างลำ (Beamwidth) ของสายอากาศ มีอยู่ 2 แบบคือ แบบแรกกำหนดจากมุมที่เกิดจากการลากเส้นที่จุดตัดของเส้นโค้ง กับเส้นขอบทั้งสองด้านของรูปแบบการแพร่กระจายมายัง



รูปที่ 2.6 ความกว้างลำ (Beamwidth)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 อัตราขยาย (Gain)

เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากอีกตัวหนึ่งของสายอากาศ อัตราขยายของสายอากาศจะขึ้นอยู่กับสภาพเจาะจงทิศทาง และค่าประสิทธิภาพของสายอากาศ แต่สภาพเจาะจงทิศทางเป็นค่าที่อธิบายถึงคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น และถ้าค่าประสิทธิภาพไม่ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ อัตราขยายจะน้อยกว่าสภาพเจาะจงทิศทางดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ที่สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$G = \eta D \quad (2.18)$$

เมื่อ $G =$ อัตราขยาย
 $\eta =$ ประสิทธิภาพของสายอากาศ
 $D =$ สภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ

2.2.7 ประสิทธิภาพของสายอากาศ

ประสิทธิภาพของสายอากาศบ่งประกอบด้วยอัตราส่วนระหว่างอัตราขยายของสายอากาศต่อค่าการชี้ทิศทาง จะได้ค่าประสิทธิภาพดังนี้คือ

$$\eta = \frac{G}{D} \times 100\% \quad (2.19)$$

2.2.8 ความกว้างของแถบความถี่ (Bandwidth : BW)

ความกว้างของแถบความถี่ของสายอากาศถูกกำหนดให้เป็นช่วงของความถี่ที่สายอากาศในมาตรฐานที่กำหนดให้อาจคิดว่าเป็นช่วงของความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพของการแพร่พลังงาน อัตราการขยาย อิมพีแดนซ์ แบบรูปการแพร่พลังงาน ความกว้างลำคลื่น การโพลาไรซ์เซชัน และระดับพวยย่อย เป็นต้น ให้อยู่ในค่าที่ใช้งานได้ในช่วงความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติที่ความถี่ที่ออกแบบไว้จนทำให้คุณสมบัติเหล่านั้น ผิดไปจากข้อกำหนดหรือมาตรฐาน สำหรับสายอากาศแบนด์กว้างมักจะคิดเป็นอัตราส่วนของความถี่ใช้งานได้ทางด้านสูงต่อความถี่ใช้งานได้ทางด้านต่ำ ความกว้างของแถบความถี่มักจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างของความถี่ (ความถี่ด้านสูงลบด้วยความถี่ด้านต่ำ) ทหารด้วยความถี่กลางของความถี่ของแถบความถี่นั้นดังสมการ

$$\%BW = \left(\frac{f_H - f_L}{f_T} \right) \times 100 \quad (2.20)$$

เมื่อ BW = แบนด์วิดท์ของสายอากาศ
 f_H = ความถี่ที่ใช้งานได้ทางด้านสูง
 f_L = ความถี่ที่ใช้งานได้ทางด้านต่ำ
 f_r = ความถี่กลางของแบนด์วิดท์

ข้อจำกัดเรื่องความกว้างของแถบความถี่ก็เป็นข้อเสียอย่างหนึ่งของสายอากาศบ่วง เพราะมีค่าประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ แต่ก็สามารถที่จะเพิ่มความกว้างของแถบความถี่ได้โดยเพิ่มความเป็นตัวนำให้กับสายอากาศ อาจจะทำเป็นช่องในตัวสายอากาศ หรือเพิ่มอุปกรณ์ที่เป็นตัวนำเข้าไปเพื่อให้การแมตช์ของตัวการแพร่กระจายคลื่นกับสายนำสัญญาณดีขึ้น

2.2.9 โพลาริเซชัน (Polarization)

การเรียกโพลาริเซชันของสายอากาศว่าเป็นแบบตั้ง [Vertical] หรือแบบนอน [Horizontal] โดยปกติจะกำหนดตามระนาบของสนามไฟฟ้า ซึ่งจะมีแนวขนานกับตัวสายอากาศ ดังนั้น polarization จึงสามารถสังเกตได้ตามลักษณะสายอากาศ สายอากาศความถี่ต่ำมักเลือกโพลาริเซชันแบบตั้ง เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับพื้นดิน ซึ่งจะกล่าวถึงในตอนหลัง ส่วนโพลาริเซชันแบบนอน สัญญาณจะถูกรบกวน น้อย ในทางปฏิบัติจะเลือกใช้กับสายอากาศความถี่สูง

2.2.10 อัตราส่วนหน้า-หลัง (Front to back Ratio)

สายอากาศชนิดทิศทางเดียว จะต้องมีการแพร่กระจายมากที่สุดทางเดียว ฉะนั้น ค่าอัตราส่วนหน้า-หลัง จึงมีความสำคัญ อัตราส่วนนี้หาได้จากค่าการแพร่กระจายในทิศทางที่สูงสุด ต่อค่าการแพร่กระจาย ในทิศทางตรงกันข้าม ในกรณีของสายอากาศเครื่องรับ การรับสัญญาณจากทิศทางตรงกันข้ามได้ด้วยจะทำให้ผลการรับไม่ดี เช่น ความแรงของสัญญาณจะลดลงหากสัญญาณจากอีกด้านมีเฟสตรงกันข้ามกัน หรือเกิด เงาน์ในกรณีเครื่องรับโทรทัศน์รับสัญญาณที่สะท้อนมาจากด้านหลังด้วย

สายอากาศบ่วงเป็นสายอากาศชนิดหนึ่งที่เป็นที่น่าสนใจและได้รับการพัฒนาจนมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบันนี้ ด้วยเหตุที่มีขนาดเล็ก แบน มีน้ำหนักเบา ง่ายต่อการประดิษฐ์ในลักษณะที่เป็นแผงสายอากาศและสามารถวางแนบกันพื้นผิวต่างๆได้ดี มีราคาถูกสามารถสร้างได้ง่าย โดยอาศัยกรรมวิธีทำแผ่นวงจรพิมพ์ ประสิทธิภาพของสายอากาศไมโครสตริปจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการไม่ว่าจะเป็นขนาด รูปร่างของแผ่นตัวนำ (Patch) ระบบการป้อนกำลังที่ใช้และการควบกำลังคลื่นร่วมระหว่างองค์ประกอบ (Mutual Coupling) ของสายอากาศเมื่อใช้ในลักษณะแผงสายอากาศ การวิเคราะห์ต้องคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีสมรรถนะสูงและสามารถ

นำไปใช้งานได้ต่อไป โดยทั่วไปสายอากาศบ่งจะใช้งานอยู่ในช่วงความถี่ 1 GHz ถึง 10 GHz และมีการนำมาประยุกต์ใช้งานในหลายๆด้าน ทั้งทางกิจการทหารและกิจการพลเรือนทั่วไป

2.2.11 การทำงานของสายอากาศ

เมื่อสายอากาศทำงานในภาครับนั้นกลไกการทำงานเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปพลังงานจากลักษณะของคลื่นในปริภูมิเสรีให้เป็นคลื่นบังคับวิถีสามารถเข้าใจได้ง่ายด้วยการพิจารณาว่าคลื่นในปริภูมิเสรีที่ตกกระทบบนสายอากาศเหนี่ยวนำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วของสายอากาศอันเป็นผลสืบเนื่องให้มีการไหลของกระแสสัญญาณเมื่อมีการต่อขั้วดังกล่าวเข้ากับอุปกรณ์รับสัญญาณในกรณีที่สายอากาศทำงานในภาคส่ง สิ่งที่เกิดขึ้นคือ พลังงานในลักษณะของคลื่นบังคับวิถีได้รับการแปลงรูปไปเป็นพลังงานในลักษณะของคลื่นในปริภูมิเสรี การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นในลักษณะที่มีการเคลื่อนย้ายของพลังงานจากสายอากาศเข้าสู่บริเวณปริภูมิเสรีโดยปราศจากการนำหรือการพา และไม่ใช้การแพร่เนื่องจากการเปลี่ยนรูปพลังงาน ดังนั้นจึงเรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวว่าการแผ่พลังงาน สิ่งที่น่าสนใจเกี่ยวกับการแผ่พลังงาน ก็คือกลไกการเกิดขึ้นของปรากฏการณ์ เมื่อพิจารณาการทำงานของสายอากาศเส้นลวด จะพบว่าเมื่อเริ่มต้นด้วยการป้อนกำลังงานคลื่นให้ที่ขั้วของสายอากาศในจังหวะนี้เท่ากับมีการกระตุ้นให้อนุภาคมีประจุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง เมื่ออนุภาคดังกล่าวเคลื่อนที่ไปถึงปลายของเส้นลวดก็จะถูกหน่วงให้หยุดและสะท้อนกลับ ในช่วงที่อนุภาคมีประจุถูกเร่งและหน่วงนี้เองจะมีการเปลี่ยนแปลงของระดับพลังงาน ซึ่งผลลัพธ์ก็คือการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การถูกเร่งนั้นเกิดขึ้นจากการกระตุ้นด้วยแหล่งพลังงานที่ต่ออยู่ที่ขั้วของสายอากาศ ส่วนการหน่วงเป็นผลจากแรงต้านภายในเนื่องจากการเสียดสีของประจุที่ปลายสายอากาศ ดังนั้นถ้าหากสามารถทำให้อนุภาคมีประจุถูกเร่งและหน่วง ไม่ว่าจะการทำให้มีอิมพีแดนซ์ที่ไม่ต่อเนื่องหรือการตัดหรือหักลวดให้โค้งงอ ก็จะมีผลให้เกิดการแผ่พลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

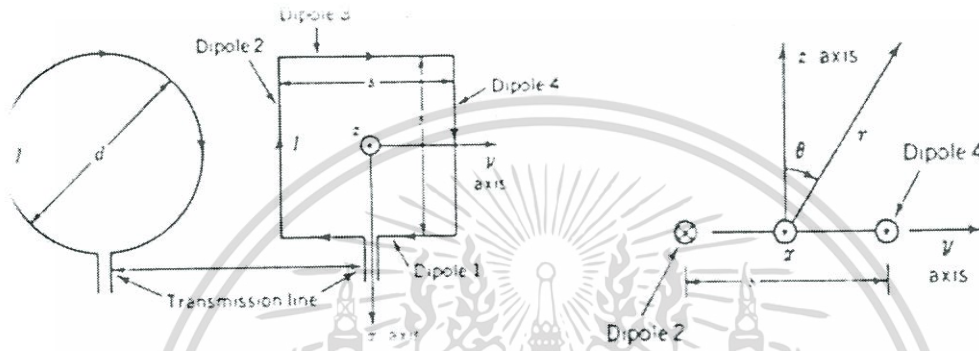
2.3 สายอากาศ

2.3.1 สายอากาศแบบบ่วง

สายอากาศแบบบ่วงมีลักษณะโค้งงอเป็นวงปิดซึ่งอาจจะเป็นวงแหวนหรือสี่เหลี่ยมก็ได้ ลักษณะโค้งงอเป็นวงปิดของสายอากาศแบบบ่วงจึงทำให้การจัดขั้วคลื่น (Polarization) เป็นแบบวงกลม เราสามารถแบ่งสายอากาศแบบบ่วงตามความยาวของเส้นรอบรูปสายอากาศได้ 2 ชนิดคือ

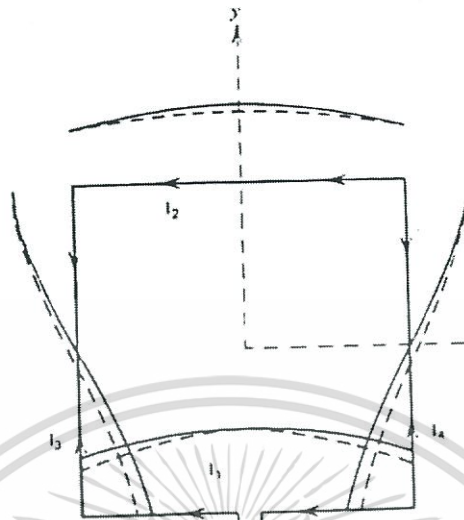
1. สายอากาศแบบบ่วงขนาดเล็ก (Small loop antenna) ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีความยาวเส้นรอบรูปน้อยมาก
2. สายอากาศแบบบ่วงขนาดใหญ่ (Larger loop antenna) ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีเส้นรอบรูปมีความยาวใกล้เคียงหรือมากกว่าความยาวคลื่น

สายอากาศแบบบ่วงขนาดเล็กมีความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยมากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น ($d \ll \lambda$) ดังนั้นกระแสที่กระจายอยู่บนสายอากาศจึงถือว่ามีความหนาแน่นและเฟสเท่ากัน การวิเคราะห์สายอากาศชนิดนี้มักจะอาศัยสายอากาศแบบบ่วงขนาดเล็กรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสดังรูปที่ 2.7 มาใช้ในการวิเคราะห์



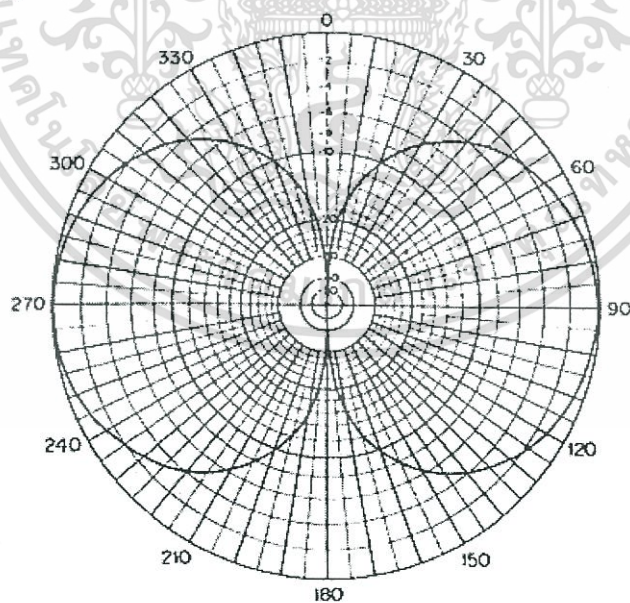
รูปที่ 2.7 ระบบแกนประสานของสายอากาศแบบบ่วงขนาดเล็กรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ซึ่งจากการวิเคราะห์สายอากาศแบบบ่วงขนาดเล็กจะได้รูปแบบการแผ่คลื่น (Radiation Pattern) ของสายอากาศแบบบ่วงขนาดเล็กจะมีรูปร่างเหมือนกับรูปแบบการแผ่คลื่นของสายอากาศไดโพลอุดมคติ รวมทั้งค่าไดเรกทิวิตี (Directivity) ของสายอากาศแบบบ่วงก็มีค่าเหมือนกับของสายอากาศแบบไดโพลอุดมคติ ส่วนค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Input Impedance) ของสายอากาศแบบนี้จะขึ้นอยู่กับรูปร่างของบ่วง สำหรับสายอากาศแบบบ่วงขนาดใหญ่เป็นสายอากาศที่มีความยาวเส้นรอบรูปใกล้เคียงหรือมากกว่าความยาวคลื่น ดังนั้นขนาดและเฟสของกระแสที่กระจายบนสายอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ จึงไม่เท่ากัน สำหรับการวิเคราะห์สายอากาศชนิดนี้เราจะใช้สายอากาศแบบบ่วงขนาดใหญ่ที่มีโครงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส และมีความยาวเส้นรอบรูปเท่ากับ 1 ความยาวคลื่นการกระจายของกระแสบนเส้นรอบรูปของสายอากาศมีรูปร่างเป็นคลื่นไซน์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



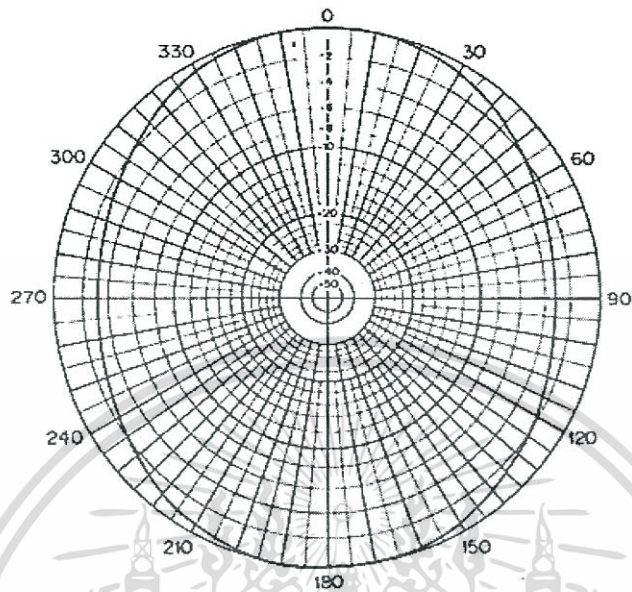
รูปที่ 2.8 การกระจายตัวของกระแสบนสายอากาศแบบวงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความยาวเส้นรอบรูปเท่ากับหนึ่ง

และรูปแบบการแพร่คลื่นจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.8 ซึ่งเป็นการแสดงการแพร่กระจายคลื่นตามระนาบ XYZ โดยจะพบว่าคลื่นส่วนใหญ่จะแพร่กระจายไปตามแกน Y และ Z จะมีการแพร่กระจายคลื่นไปตามแกน X น้อยมาก



รูปที่ 2.9 การแพร่กระจายคลื่นในแนวราบของสายอากาศรูป

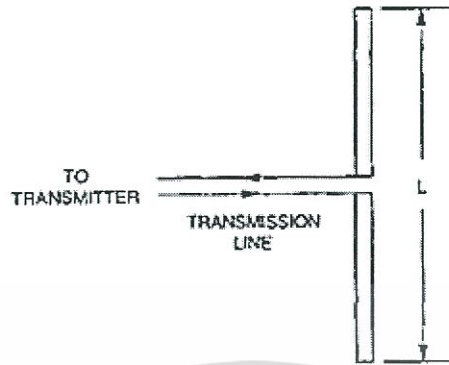
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การแพร่กระจายคลื่นในแนวตั้งของสายอากาศคู่

2.3.2 สายอากาศไดโพล (Dipole Antenna)

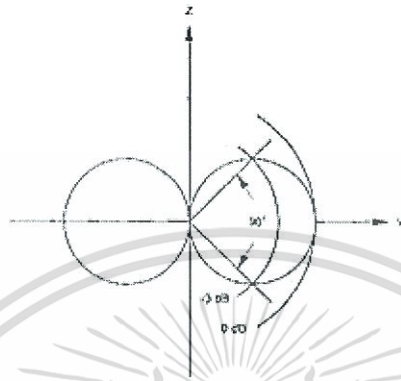
สายอากาศไดโพลและไดโพลอุดมคติ สายอากาศไดโพล (Dipole Antenna) เป็นสายอากาศอย่างง่าย ที่มีองค์ประกอบเป็นแท่งโลหะ 2 แท่งวางเป็นแนวเส้นตรงที่มีความยาว L ดังรูปที่ 2.11 โดยจุดกึ่งกลางของตัวไดโพลจะต่อเข้ากับเครื่องส่งโดยใช้อย่างเป็นศูนย์กลางในการเชื่อมต่อเครื่องส่งจะจ่ายสัญญาณเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไปยังสายอากาศ กระแสของสัญญาณนี้จะไหลไปยังหัวหนึ่งของไดโพลและไหลกลับมายังอีกหัวหนึ่งของไดโพล ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของกระแสที่ส่งไปยังหัวแรกของไดโพล การกระจายของกระแส (Current Distribution) จะแสดงให้เห็นขนาด (Magnitude) ของสัญญาณกระแสสลับที่เกิดขึ้นตลอดความยาวของสายอากาศไดโพลจะมีค่าไม่เท่ากัน โดยจะเป็นศูนย์ที่ปลายทั้งสอง แต่จะมีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางหรือที่จุดอื่นๆ บนตัวไดโพล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวของไดโพลและความถี่ของสัญญาณที่มาจากเครื่องส่ง



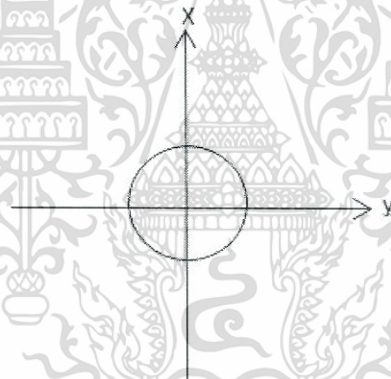
รูปที่ 2.11 สายอากาศไดโพล

ไดโพลอุดมคติ (Ideal Dipole) เป็นสายอากาศสมมติซึ่งใช้ประโยชน์ในการศึกษาสายอากาศชนิดอื่น ๆ สามารถพิจารณาให้เป็นองค์ประกอบเล็กๆ ของความยาวไดโพล (Infinitesimal Dipole) ที่มีการแจกแจงกระแสที่มีลักษณะที่เท่ากันตลอดคุณลักษณะทางทฤษฎีของไดโพลอุดมคติจะประมาณหาค่าทางไฟฟ้าเท่ากับสายอากาศไดโพลที่มีขนาดเล็ก ๆ 4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นการแสดงทางกราฟ 3 มิติของสนามระยะไกล คุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเป็นฟังก์ชันของพิกัดวาง (Space Coordinates) บริเวณของสนามระยะไกลคือ บริเวณที่ไกลเพียงพอสำหรับแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นซึ่งจะไม่ขึ้นอยู่กับระยะที่อยู่ห่างจากสายอากาศแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศใดๆ สามารถที่จะทราบได้ด้วยการวัดทดลองและจากการคำนวณ ถ้าเราทราบลักษณะการกระจายของกระแสบนตัวสายอากาศแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะเป็นตัวแสดงถึงการกระจายพลังงานออกไปตามฟังก์ชันของทิศทางของสัญญาณที่ส่งออกไปจากสายอากาศ ซึ่งแสดงถึงระดับความสัมพันธ์ของกำลังงานที่ส่งออกไปซึ่งเป็นฟังก์ชันของทิศทางถึงแม้ว่าเราจะใช้คำว่า “การแพร่กระจายคลื่น” กับแบบรูปที่ใช่กับสายอากาศสายส่งแต่ความจริงมันเป็นแบบรูปเดียวกันกับแบบรูป “การรับคลื่น” ในกรณีที่เป็นสายอากาศรับด้วยตามทฤษฎีบทภาวะย้อนกลับ (Reciprocity theorem) ถึงแม้ว่าแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่สมบูรณ์จะเป็นฟังก์ชันแบบ 3 มิติแต่ทั่วไปจะใช้งานกันเพียง 2 มิติก็เพียงพอที่จะบอกคุณลักษณะของสายอากาศที่มีทิศทางได้ การวัดในแต่ละมิติ จะวัดในแต่ละระนาบที่ตั้งฉากกันคือระนาบที่ขนานกับสนามไฟฟ้าและระนาบที่ขนานกับสนามแม่เหล็ก แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบหนึ่งๆ สามารถวัดได้โดยการหมุนสายอากาศในระนาบนั้นๆ ขณะที่ระดับของกำลังงานที่รับได้จะเป็นฟังก์ชันของการหมุนของสายอากาศ และเพื่อให้ได้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ถูกต้อง จึงต้องจัดสภาพแวดล้อมโดยรอบสายอากาศที่จะทำการวัดใหม่มีวัดใดๆ ที่จะทำให้เกิดการสะท้อนของสัญญาณและส่งกลับไปยังสายอากาศที่ทำการวัดอยู่ รูปที่ 2.12 ได้แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า

(E-Plane) ของไดโพลอุดมคติ ซึ่งได้แสดงให้เห็นว่าไดโพลอุดมคตินั้นมีทิศทางด้วยเหมือนกันเพราะว่าการแพร่กระจายคลื่นจะมีความแรงของสัญญาณ สูงในบางทิศทางเมื่อเทียบกับทิศทางอื่น ๆ



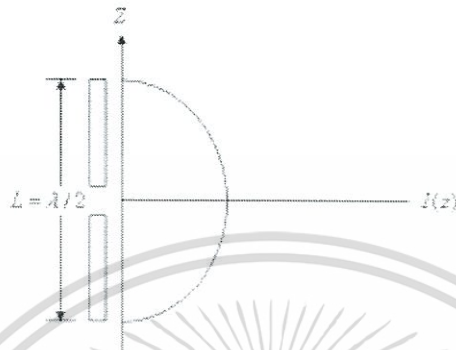
รูปที่ 2.12 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของไดโพลอุดมคติ ตามหลักทฤษฎีระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane)



รูปที่ 2.13 แบบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของไดโพลอุดมคติ

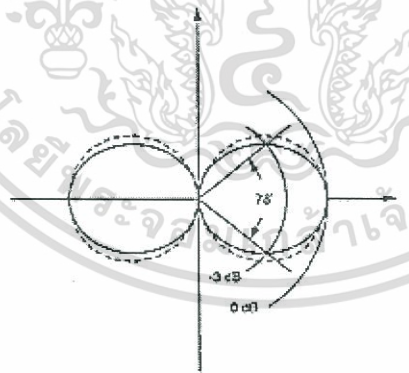
ตามหลักทฤษฎีระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) ความกว้างของลำคลื่นที่กำลังลดลงครึ่งหนึ่ง (Half-Power Beamwidth: HPBW) ของสายอากาศคือการแยกมุมต่างๆ ในลำคลื่นหลัก โดยคิดที่ กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง (-3dB) ของกำลังงานที่แพร่ออกในทิศทางของกำลังงานสูงสุด $HPBW = \theta_{HPBW, left} - \theta_{HPBW, right}$ ค่า HPBW ของไดโพลอุดมคติในระนาบสนามไฟฟ้า E-Plane จะเท่ากับ 90° ซึ่งดูได้จากรูป ที่ 2.12 สำหรับสายอากาศไดโพลในทางปฏิบัติที่มีความยาว L ซึ่งได้ไขกันทั่วไปจะมีขนาดความ ยาว $\lambda / 2$, λ และ $3\lambda / 2$ ค่า λ เป็นค่าความยาวคลื่นของสัญญาณ

กระแสที่กระจายบนไดโพล $6 \lambda / 2$ จะมีรูปร่างของสัญญาณเป็นรูปไซน์ครึ่งเดียว ดังแสดงในรูปที่ 2.14 โดยกระแสจะมี ค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางและมีค่าน้อยที่จุดปลายสุด



รูปที่ 2.14 การกระจายของกระแสในไดโพล $\lambda / 2$

รูปที่ 2.15 ได้แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทั้งจากสายอากาศไดโพลแบบ $\lambda / 2$ ในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) และในไดโพลอุดมคติโดยสายอากาศไดโพล $\lambda / 2$ มี HPBW 78 องศา ในระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) และให้ผลที่แคบและบางกว่าลักษณะของสายอากาศไดโพลอุดมคติส่วนการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane) ของสายอากาศไดโพล $\lambda / 2$ จะมีลักษณะเป็นวงกลมดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane) ของสายอากาศไดโพล $\lambda / 2$ (เส้นทึบ)และไดโพลอุดมคติ (เส้นประ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การโพลาไรซ์ของสายอากาศ (Antenna Polarization) การโพลาไรซ์ของสายอากาศจะอธิบายทิศทางของสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใน อากาศซึ่งถูกส่งออกไปโดยตัวสายอากาศในสนามระยะไกลจริงๆ แล้วยังคือใช้ในการอธิบาย ทิศทางซึ่งมีความเข้มของสนามสูงสุด สายอากาศส่วนใหญ่จะมีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น (Linear Polarization) นั่นคือในหนึ่งรอบ (Cycle) การขจัดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงในอากาศวาง สายอากาศดังกล่าวจะถูกแบ่งออกเป็น การโพลาไรซ์แนวตั้ง (Vertical Polarization) และ การโพลาไรซ์แนวนอน (Horizontal Polarization) นอกจากนี้ยังมีการโพลาไรซ์ แบบวงกลม (Circular) และแบบรูปวงรี (Elliptical) บ่อยครั้งที่การโพลาไรซ์ของสายอากาศ จะอ้างอิงจากรูปทรงของตัวมันเอง เช่น ในกรณี ของสายอากาศแบบเส้นลวด ซึ่งอาจจะประกอบด้วยองค์ประกอบเพียงตัวเดียว หรือหลายตัววาง ขนานกัน (เช่นสายอากาศไดโพลและยาگی) เราสามารถที่จะสมมติให้สนามไฟฟ้าซึ่งเป็นโพลาไรซ์ แบบเชิงเส้นให้ขนานไปกับองค์ประกอบของตัวสายอากาศ ซึ่งสายอากาศบางชนิดมีโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นเหมือนกัน แต่ไม่สามารถจะใช้รูปทรงของมันมาทำการทำนายถึงการโพลาไรซ์ของมันได้ ได้แก่สายอากาศปากแตร (Horn) แบบบวง (Loop) และแบบร่อง (Slit) เป็นต้น



รูปที่ 2.16 การโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล

เพื่อให้การรับสัญญาณทำได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ สิ่งสำคัญก็คือสายอากาศที่ทำ หน้าที่รับสัญญาณจะต้องมีการโพลาไรซ์แบบเดียวกันกับสัญญาณที่ส่งมา และเมื่อเกิดการสูญเสียสัญญาณอันเนื่องมาจากการจัดวางการโพลาไรซ์ไม่ถูกต้อง (เช่น สัญญาณที่รับได้เป็นของการโพลาไรซ์ทางแนวตั้ง แต่สายอากาศที่ใช้มีการจัดการโพลาไรซ์ทางแนวนอน) เราจะเรียกว่าการ แยกการโพลาไรซ์ไขว้ (Cross - Polarization Isolation)

2.4 สิ่งที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดของสัญญาณ

การประมาณค่าตำแหน่ง จากการวัดที่มีสัญญาณรบกวน สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ หากเราเข้าใจถึงพฤติกรรมของข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น ชนิดของข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับชนิดของสัญญาณและสิ่งแวดล้อมของระบบ

2.4.1 Multipath Fading and Shadowing (การจางหายและการบดบังของสัญญาณ)

ในการวัดความแรงของสัญญาณคลื่นวิทยุมีปัญหา Multipath Fading และ Shadowing เป็นสาเหตุให้เกิดความแปรปรวนได้ถึง 30-40dB ในช่วงครึ่งความยาวคลื่น การกระจัดกระจายใกล้เครื่องรับจะทำให้เกิดการแปรผันทางมุม (Angle of Arrival) ทำให้ค่าการวัดคลาดเคลื่อนไป ถ้าใช้วิธี Time-of-Arrival เมื่อเกิด Multipath Fading จะทำให้เกิดค่าหน่วงเวลา (Delay) การเปรียบเทียบค่าเวลาคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

2.4.2 Non line-of-Sight (NLOS)

สำหรับวิธีวัดมุม (AoA) เมื่อใช้กับระยะทางไกลๆ จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูง สำหรับวิธีวัดความต่างของเวลา (ToA) ถ้าเส้นทางไปยังเครื่องรับที่ใกล้ที่สุดถูกกีดขวางจะทำให้ผลของการวัดระยะทางไกลกว่าที่เป็นจริง

2.4.3 Multiple-Access Interference

ปัญหานี้มักเกิดกับระบบ CDMA โดยเครื่องที่มีกำลังสูงไปรบกวนเครื่องที่มีกำลังต่ำกว่า สามารถเกิดกับระบบคลื่นเสียงและระบบคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic) ในระบบที่ใช้การวัดความแรงของสัญญาณที่ได้ (Received Signal Strength Indicator (RSSI)) จากคลื่นวิทยุราคาถูก เมื่อระบบไม่ใช่อุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูง ค่าความแปรปรวนจะเกิดจากความคลาดเคลื่อนเมื่อใช้เครื่องแปลงกำลัง

2.4.4 Fluctuations In Signal Propagation Speeds

เกิดกับคลื่นเสียงที่การแพร่กระจายรบกวนจากปัจจัยภายนอก เช่น แรงแม่เหล็กหรืออุณหภูมิ และค่าความชื้นในอากาศ ปัจจัยเหล่านี้ จะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นเมื่อระยะทางมากขึ้น

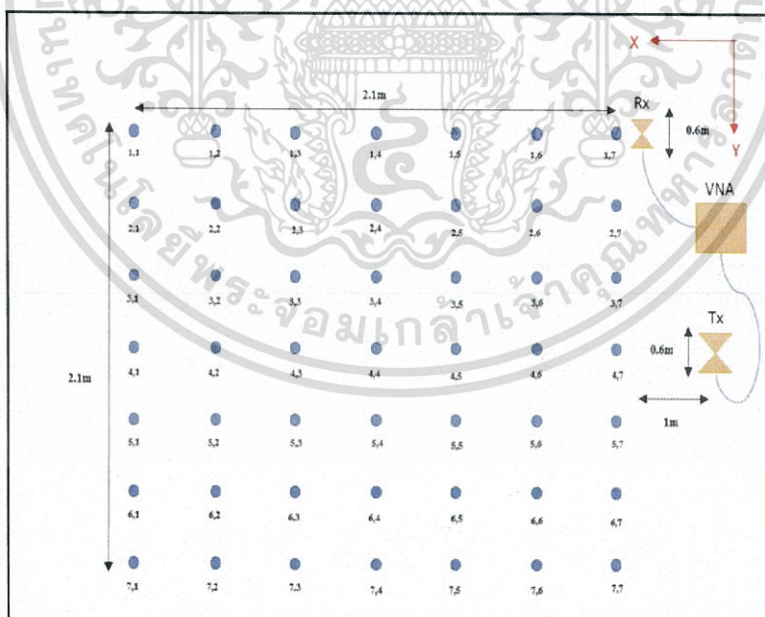
บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญาบัตร

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและแบบจำลองพื้นที่สำหรับวัดค่าหาตำแหน่งของสายอากาศซึ่งในการทดลองได้ใช้สายอากาศตัวส่ง คือ สายอากาศไดโพลที่มีความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ และสายอากาศตัวรับคือ สายอากาศลูบที่มีความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ การวิเคราะห์หาสัญญาณโดยใช้เครื่องวิเคราะห์แอมพลิจูด ทำได้ที่สุดเป็นการวิเคราะห์หาความเที่ยงตรง

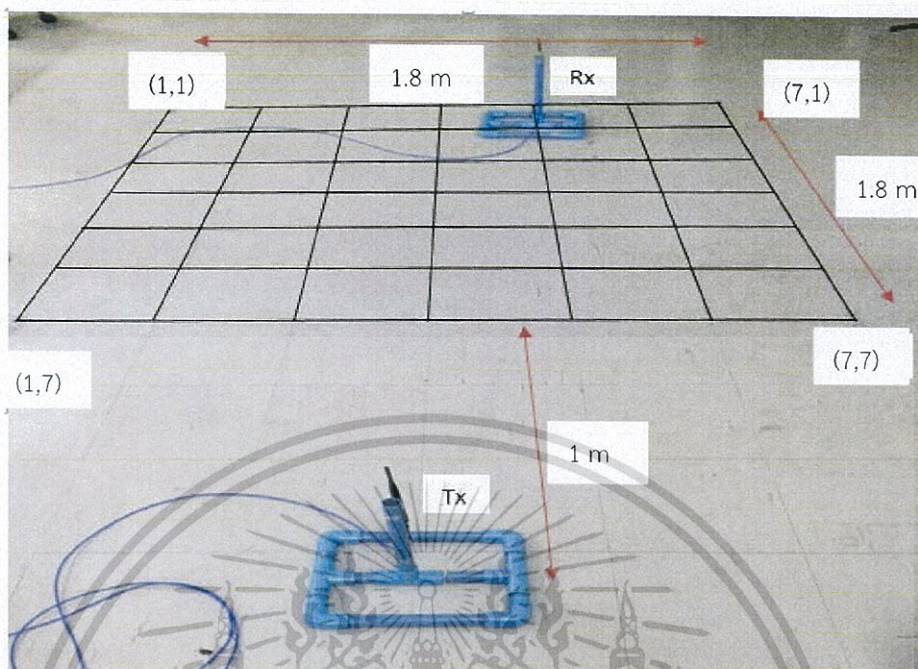
3.1 การออกแบบ

ในการออกแบบแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการจัดเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องวิเคราะห์แอมพลิจูดจะเก็บค่ากำลังของสัญญาณที่วัดได้เพื่อนำไปใช้ในการทดลองหาตำแหน่งต่อไปโดยจะใช้สายอากาศตัวส่งส่งทั้งหมด 4 ตำแหน่งด้วยกัน โดยทำการวัดทั้งหมด 49 จุด แต่ละจุดห่างกัน 0.15 เมตร และในส่วนที่สองคือทดลองสุ่มตำแหน่งเพื่อมาใช้ทดสอบหาตำแหน่งโดยใช้ฐานข้อมูลที่เก็บจากในส่วนแรกมาคำนวณสูตรเพื่อหาระยะทางของสายอากาศรับ



รูป 3.1 แบบจำลองพื้นที่สำหรับการวัดช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 พื้นที่จริงสำหรับการวัดช่องสัญญาณ

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย



รูปที่ 3.3 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศ อาทิเช่น S-parameter (s_{11} , s_{12} , s_{21} , s_{22}) รวมถึงบอกค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ โดยใช้ connector เชื่อมต่อระหว่างสายอากาศกับเครื่อง ซึ่งสายนำสัญญาณของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ต้องผ่านการ calibrate ก่อน โดยหัว calibrate มี 3 ประเภท คือ open , short และ load เป็นการทำให้ระดับของสัญญาณคงที่ก่อนวัดค่าจริงของสายอากาศ โดยได้กำหนดทำการวัดในช่วงความถี่ 2 GHz ถึง 3GHz ซึ่งครอบคลุมแถบความถี่ 2.45 GHz ใช้ความถี่ 801 จุด ใช้สายอากาศแบบลูปเป็นสายอากาศรับและสายอากาศ log periodic antenna (LPDA) เป็นสายอากาศส่งโดยที่ทั้งสายอากาศรับและส่งจะอยู่ที่ความสูง 0.6 เมตร จากพื้นกราวนพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดแสดงไว้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัด

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ทดสอบ
ความถี่ของสายอากาศ	2.4 GHz
จำนวนจุดความถี่	801 จุด
ชนิดของสายอากาศ	ลูป
การโพลาไรซ์	เส้นตรง
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง-รับ	0.6 เมตร
ระยะห่างแต่ละจุดการวัด	0.15 เมตร
จำนวนจุดของการวัด	49 จุด

3.2.2 เครื่องวิเคราะห์แอมพลิจูด (Spectrum Analyzer)



รูปที่ 3.4 เครื่องวิเคราะห์แอมพลิจูด

เครื่องวิเคราะห์แอมพลิจูดเหมือนกับออสซิลโลสโคปตรงที่ใช้ในการวัดรูปคลื่นที่แสดงรูปคลื่นในเชิงเวลา แต่เครื่องวิเคราะห์แอมพลิจูดจะแสดงรูปคลื่นในเชิงความถี่ เครื่องวิเคราะห์แอมพลิจูดจึงเป็นเครื่องมือในการตรวจวัดและแสดงให้เห็นถึงสัญญาณต่างๆที่ปรากฏอยู่ในแถบส่วนต่างๆของย่านความถี่(Band) ในรูปแอมพลิจูด ซึ่งในการทดลองนี้ได้ใช้เครื่อง Spectrum Analyzer ในการหาค่ากำลังของสายอากาศส่งไปยังสายอากาศรับในช่วงความถี่ที่กำหนด

3.2.3 เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (RF Signal Generator)



รูปที่ 3.5 เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเครื่องมือที่ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (RF frequency) ใช้ทดสอบวงจรที่ใช้ความถี่ในย่านวิทยุ

3.2.4 สายอากาศลูป (Loop antenna)



รูปที่ 3.6 สายอากาศลูป

สายอากาศลูปที่ใช้วัดแสดงดังรูปที่ 3.6 ซึ่งสายอากาศลูปที่ใช้มีความถี่อยู่ที่ 2.4 GHz เป็นแถบความถี่แคบโดยตัวโครงสร้างสายอากาศสร้างจากลวดทองแดง

3.2.4.1 ขั้นตอนการออกแบบและคำนวณสายอากาศลูป

สายอากาศลูปที่จะทำการออกแบบนี้เป็นสายอากาศลูปแบบวงกลม ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$L_{\text{meters}} = \frac{306.4}{F_{\text{MHz}}} \text{ meters}$$

$$L_{\text{meters}} = \frac{306.4}{2400} = 0.1276 \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $\lambda_0 = \frac{c}{f}$

เมื่อ λ_0 คือความยาวคลื่นในอากาศ (มีหน่วยเป็นเมตร)
 c คือความเร็วแสงในอากาศ (มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที)
 f คือความถี่ของคลื่น (มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์)

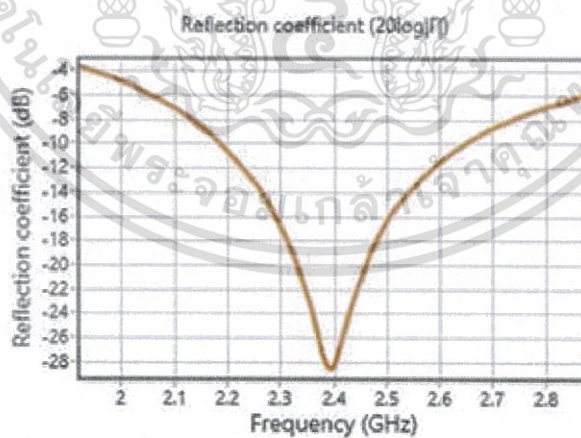
โดย $\lambda_0 = \frac{c}{f}$

$$\lambda_0 = \frac{3 \times 10^8}{2.4 \times 10^9} = 0.125m$$

จากข้างต้นได้ λ_0 แล้วในส่วนของบาลันของสายอากาศสามารถคำนวณได้ดังนี้

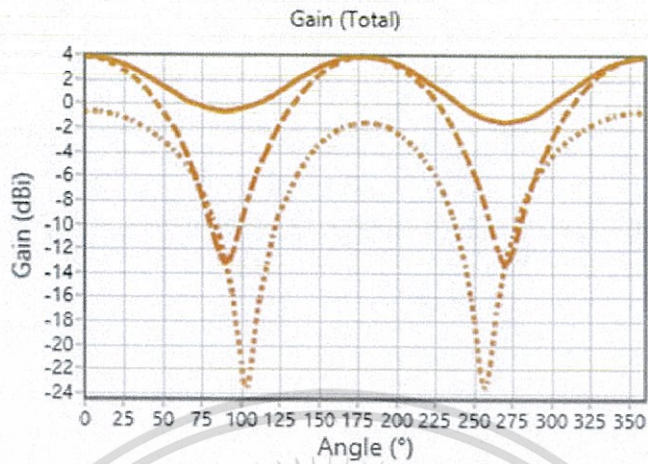
$$\frac{\lambda_0}{4} = \frac{0.125}{4} = 0.03125m$$

ผลที่ได้จากการออกแบบโดยใช้โปรแกรม Antenna Magus ผลที่ออกมาได้ดังนี้



รูปที่ 3.7 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ค่าแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น

จากรูปที่ 3.2.5 และ 3.2.6 แสดงถึงที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนต่ำกว่า -10 คือมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ -29 dB และมีการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง

3.2.5 สายอากาศไดโพล 2.4 กิกะเฮิรตซ์

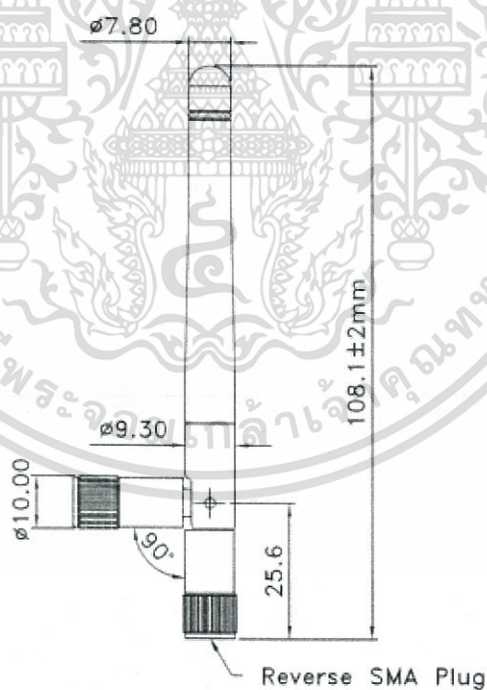


รูปที่ 3.9 สายอากาศไดโพล 2.4 กิกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติและค่าที่วัดของสายอากาศไดโพล

คุณสมบัติ	ค่าที่วัดได้
เกนของสายอากาศ	+2 dBi
ค่าอิมพีแดนซ์	50 โอห์ม
ชนิด	ไดโพล
พาราไรซ์	เส้นตรง แนวตั้ง
อัตราส่วนแรงดันสูงสุดต่อต่ำสุดบนสายอากาศ	$\leq 2.5 : 1$, ค่าสูงสุด
ความถี่	2400 ถึง 2500 เมกะเฮิรตซ์
น้ำหนัก	13 กรัม
ขนาด	105 x 10 มิลลิเมตร
สีของสายอากาศ	ดำ
อุณหภูมิที่ใช้งาน	-20 ถึง +65 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.10 สัดส่วนของสายอากาศไดโพล (มิลลิเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

ในโครงการนี้ได้ทำการศึกษาวัดระดับความเข้มของช่องสัญญาณเพื่อใช้ในการหาตำแหน่งของสายอากาศรับ โดยได้ทำการวัดที่ห้องแลป ณ ตึกภาคโทรคมนาคม โดยจะเก็บข้อมูลกำลังของตัวส่งที่ส่งไปยังตัวรับ เพื่อนำมาเปรียบเทียบทดสอบหาพิกัดตำแหน่ง หาค่าความผิดพลาดในการหาตำแหน่งของแต่ละวิธี

โดยในการวัดเริ่มแรกทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศที่ได้สร้างขึ้น โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ในช่วงความถี่ 2 GHz ถึง 3 GHz ซึ่งเครื่องได้แบ่งระยะห่างระหว่างจุดออกเป็น 801 จุดจากนั้นในการวัดหาตำแหน่ง ได้ใช้เครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ (Spectrum Analyzer) ต่อกับสายอากาศรับ โดยเซตค่าเริ่มต้นความถี่ที่ 2 GHz ถึง 3 GHz โดยจะดูค่ากำลังที่ความถี่ 2.45 GHz สเปกตรัมค่าที่ 1 GHz ระดับอ้างอิงของ ที่ 0 dBm และสายอากาศส่ง ใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ (RF Signal Generator) เซตค่าความถี่ที่ส่งอยู่ที่ 2.45 GHz ค่าขนาดสัญญาณ -10 dB โดยจะทำการวัดทั้งหมด 49 จุด เพื่อความแม่นยำและความละเอียดของผลที่ออกมา แต่ละจุดห่างกันในแนว x และ y เป็น 0.15 เมตร สายอากาศรับและสายอากาศส่งตั้งสูงจากพื้นปกติ 60 เซนติเมตร สายอากาศส่งตั้งห่างจากจุดที่ตั้งที่ใกล้ที่สุดของสายอากาศรับ 1 เมตร โดยในการทดลองจะเคลื่อนย้ายสายอากาศส่งไปทั้งหมด 4 ตำแหน่ง และสายอากาศรับทั้งหมด 49 ตำแหน่ง จากนั้นทำการทดลองส่วนที่สองคือทดสอบหาตำแหน่งจริงโดยการสุ่มตำแหน่งที่ต้องการจะวัดแล้วนำค่ากำลังใหม่ไปเข้าสู่สูตรเพื่อหาตำแหน่ง โดยจะเปรียบเทียบวิธีหาตำแหน่งทั้งหมด 3 วิธี คือ Min-Max Method , Weight Centroid Method , Trilateration Method ว่าวิธีใดได้ตำแหน่งที่แม่นยำที่สุด ในการจัดเก็บผลการทดลองของสายอากาศคู่และสายอากาศโพลสำหรับวัดช่องสัญญาณแบบแถบแคบ การวัดค่าสูญเสียย้อนกลับ ค่าความถี่เรโซแนนซ์ อิมพีแดนซ์ สมิทชาร์ท

- 1.ทำการสอบเทียบเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ด้วยชุดสอบเทียบ
- 2.เลือกความถี่เริ่มต้น 2 GHz และความถี่สุดท้าย 3 GHz
- 3.ทำการต่อสายอากาศคู่เข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายสายอากาศโพลเช่นกัน
- 4.กดปุ่ม Format และกดที่ปุ่มต่างๆที่ต้องการดูค่า เช่น Return loss , Smith Chart เป็นต้น

3.3.1 การวัดแบบรูปการแผ่คลื่น

แบบรูปการแผ่คลื่นของสายอากาศคือ การวัดหาสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กโดยส่วนใหญ่แบบรูปการแผ่คลื่นมักพิจารณาในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far Field) ซึ่งสามารถคำนวณหาระยะทางของสนามระยะไกลได้จาก

$$R = \frac{2 \times (D_1 + D_2)^2}{\lambda}$$

โดยที่

R = ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ (เมตร)

D = มิติด้านที่กว้างที่สุดของสายอากาศ (เมตร)

$$R = \frac{2 \times (0.13)^2}{0.125}$$

$$R = 0.2704$$

ค่า Far field นี้สามารถอธิบายได้ว่าสายอากาศนี้มีระยะทางการกระจายคลื่นที่ใกล้ที่สุดเป็นระยะทาง เมตร ก็คือสายอากาศนี้สามารถใช้งานได้ดีที่สุดที่ระยะทางมากกว่า 0.2704 เมตร

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดลองในโครงการนี้เป็นการทำงานหาตำแหน่งภายในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารโดยใช้เทคนิค Min - max และเทคนิค Weight centroid ซึ่งได้ใช้สัญญาณแถบแคบ กำหนดให้ส่งสัญญาณที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ แอมพลิจูด 0 dBm การหาตำแหน่งในโครงการนี้ได้ทดลองวัดคุณสมบัติของสายอากาศ คำนวณหาพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ จากนั้นจึงนำไปคำนวณหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการหาตำแหน่งทั้งสองแบบที่ได้ใช้วิเคราะห์

ในบทนี้จะแสดงผลการทดลองของการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้สัญญาณแถบแคบที่ได้ทดลองวัดตามแบบจำลองการวัด ในส่วนแรกจะแสดงค่าพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ซึ่งจะนำมาใช้ในการหาตำแหน่ง ที่ได้จากการทดลองวัดช่องสัญญาณของสายอากาศส่งที่ 1, 2, 3 และ 4 จากนั้นจะแสดงผลความแม่นยำในการหาตำแหน่งในรูปของค่าความผิดพลาดของระยะทางตามแกน x และแกน y ตามแบบจำลองการวัด และค่าความผิดพลาดของระยะทางในรูปแบบของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม ซึ่งฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความผิดพลาดของระยะทางจะบอกถึงความน่าจะเป็นที่ค่าความผิดพลาดของระยะทางค่าหนึ่งจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความผิดพลาดของระยะทางค่านั้น ดังนั้นจะแบ่งตามเทคนิคและพารามิเตอร์ได้เป็นเทคนิคการหาตำแหน่งแบบ Min - Max โดยใช้พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ เทคนิคการหาตำแหน่งแบบ Weight centroid โดยใช้พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้

4.1 ผลการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ระยะอ้างอิง

ตารางที่ 4.1 การหาค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณที่ระยะอ้างอิง (ในที่นี้กำหนดเป็น 1 เมตร)

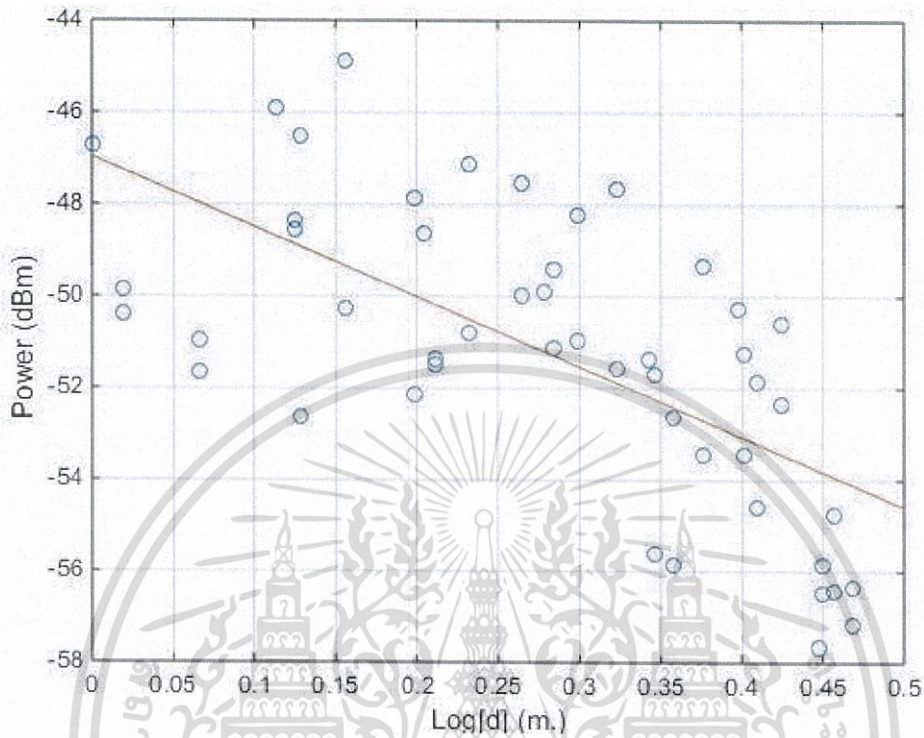
ตัวส่งที่	ค่าเฉลี่ยของค่าความแรงของสัญญาณที่ระยะอ้างอิง
1	-46.73 dBm
2	-53.31 dBm
3	-49.63 dBm
4	-49.23 dBm

4.2 การทดลองเก็บค่าความแรงสัญญาณตัวรับในแต่ละพิกัดตามโมเดลในการทดลอง

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเก็บค่าความแรงสัญญาณในแต่ละพิกัดของตัวส่งที่ 1

พิกัด	ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ	พิกัด	ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ
(1,1)	-52.63	(5,4)	-49.42
(2,1)	-51.64	(6,4)	-48.23
(3,1)	-49.86	(7,4)	-51.57
(4,1)	-46.73	(1,5)	-49.34
(5,1)	-50.37	(2,5)	-52.65
(6,1)	-50.94	(3,5)	-55.62
(7,1)	-46.51	(4,5)	-51.35
(1,2)	-52.14	(5,5)	-51.68
(2,2)	-44.87	(6,5)	-55.84
(3,2)	-48.34	(7,5)	-53.46
(4,2)	-45.89	(1,6)	-52.33
(5,2)	-48.57	(2,6)	-54.61
(6,2)	-50.26	(3,6)	-53.43
(7,2)	-47.86	(4,6)	-50.27
(1,3)	-47.55	(5,6)	-51.25
(2,3)	-50.81	(6,6)	-51.86
(3,3)	-51.36	(7,6)	-50.61
(4,3)	-48.62	(1,7)	-56.34
(5,3)	-51.47	(2,7)	-56.44
(6,3)	-47.12	(3,7)	-56.48
(7,3)	-50	(4,7)	-57.65
(1,4)	-47.65	(5,7)	-55.87
(2,4)	-50.97	(6,7)	-54.74
(3,4)	-51.13	(7,7)	-57.15
(4,4)	-49.88		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟค่าความแรงสัญญาณในแต่ละพิกัดของตัวส่งที่ 1

$$A (4.754243) + B (13.78396) = -719.841$$

$$A (13.78396) + B (49) = -2511.36$$

แก้สมการ จะได้ค่า

$$A = -15.2634$$

$$B = -46.9585$$

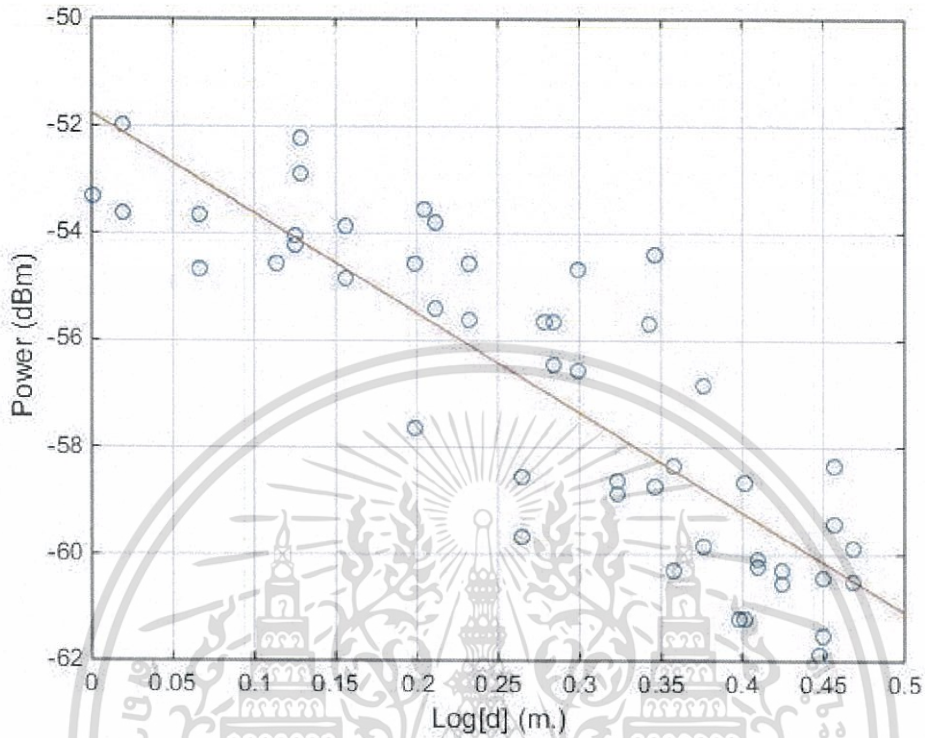
นำค่า A และ B เข้าสมการ Linear regression

$$Pr (dB) = -10(1.52634)\log(d) + (-46.9585)$$

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองเก็บค่าความแรงสัญญาณในแต่ละพิกัดของตัวส่งที่ 2

พิกัด	ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้	พิกัด	ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้
(1,1)	-52.21	(5,4)	-55.68
(2,1)	-57.65	(6,4)	-61.23
(3,1)	-58.55	(7,4)	-61.88
(4,1)	-58.87	(1,5)	-51.97
(5,1)	-59.84	(2,5)	-54.02
(6,1)	-60.54	(3,5)	-55.41
(7,1)	-59.87	(4,5)	-56.47
(1,2)	-54.68	(5,5)	-54.38
(2,2)	-54.86	(6,5)	-58.65
(3,2)	-55.6	(7,5)	-60.44
(4,2)	-56.55	(1,6)	-53.64
(5,2)	-60.3	(2,6)	-53.88
(6,2)	-61.11	(3,6)	-54.56
(7,2)	-59.44	(4,6)	-54.66
(1,3)	-53.63	(5,6)	-58.35
(2,3)	-54.23	(6,6)	-60.22
(3,3)	-53.78	(7,6)	-58.33
(4,3)	-55.64	(1,7)	-52.89
(5,3)	-58.74	(2,7)	-54.55
(6,3)	-61.23	(3,7)	-59.68
(7,3)	-61.54	(4,7)	-58.64
(1,4)	-53.31	(5,7)	-56.84
(2,4)	-54.55	(6,7)	-60.31
(3,4)	-53.55	(7,7)	-60.52
(4,4)	-55.66		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟค่าความแรงสัญญาณในแต่ละพิกัดของตัวส่งที่ 2

$$A(4.754243) + B(13.78396) = -802.07$$

$$A(13.78396) + B(49) = -2793.13$$

แก้สมการ จะได้ค่า

$$A = -18.6459$$

$$B = -51.7574$$

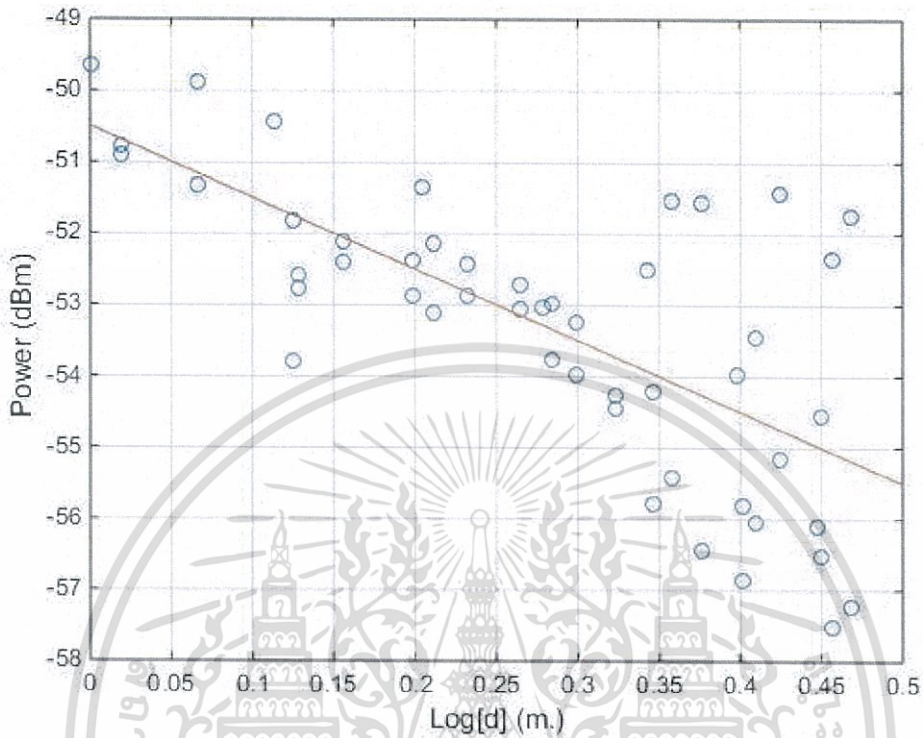
นำค่า A และ B เข้าสมการ Linear regression

$$Pr(dB) = -10(1.86459)\log(d) - 51.7574$$

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองเก็บค่าความแรงสัญญาณในแต่ละพิกัดของตัวส่งที่ 3

พิกัด	ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้	พิกัด	ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้
(1,1)	-51.73	(5,4)	-52.98
(2,1)	-52.35	(6,4)	-53.25
(3,1)	-56.51	(7,4)	-54.45
(4,1)	-56.11	(1,5)	-53.06
(5,1)	-54.54	(2,5)	-52.87
(6,1)	-57.52	(3,5)	-52.14
(7,1)	-57.23	(4,5)	-51.35
(1,2)	-51.42	(5,5)	-53.1
(2,2)	-53.45	(6,5)	-52.42
(3,2)	-55.81	(7,5)	-52.7
(4,2)	-53.98	(1,6)	-52.37
(5,2)	-56.86	(2,6)	-52.12
(6,2)	-56.04	(3,6)	-51.82
(7,2)	-55.14	(4,6)	-50.43
(1,3)	-51.57	(5,6)	-53.79
(2,3)	-51.54	(6,6)	-52.41
(3,3)	-55.78	(7,6)	-52.88
(4,3)	-52.51	(1,7)	-52.77
(5,3)	-54.21	(2,7)	-49.88
(6,3)	-55.41	(3,7)	-50.89
(7,3)	-56.43	(4,7)	-49.63
(1,4)	-54.25	(5,7)	-50.78
(2,4)	-53.97	(6,7)	-51.33
(3,4)	-53.77	(7,7)	-52.57
(4,4)	-53.02		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟค่าความแรงสัญญาณในแต่ละพิกัดของตัวส่งที่ 3

$$A (4.754243) + B (13.78396) = -743.93$$

$$A (13.78396) + B (49) = -2613.14$$

แก้สมการ จะได้ค่า

$$A = -10.0826$$

$$B = -50.493$$

นำค่า A และ B เข้าสมการ Linear regression

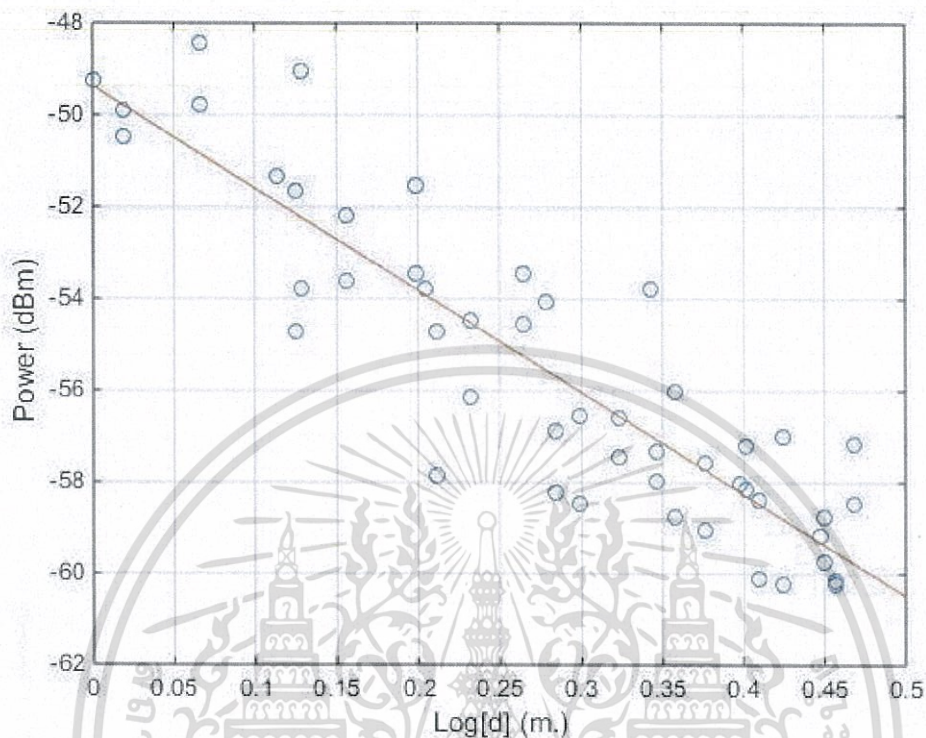
$$Pr(\text{dB}) = -10(1.00826)\log d - 50.493$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองเก็บค่าความแรงสัญญาณในแต่ละพิกัดของตัวส่งที่ 4

พิกัด	ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ	พิกัด	ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ
(1,1)	-57.18	(5,4)	-53.78
(2,1)	-60.21	(6,4)	-51.34
(3,1)	-59.04	(7,4)	-49.23
(4,1)	-56.58	(1,5)	-59.75
(5,1)	-54.55	(2,5)	-58.15
(6,1)	-53.44	(3,5)	-57.32
(7,1)	-49.05	(4,5)	-56.87
(1,2)	-60.14	(5,5)	-54.72
(2,2)	-60.12	(6,5)	-51.66
(3,2)	-58.74	(7,5)	-49.88
(4,2)	-58.47	(1,6)	-60.24
(5,2)	-54.45	(2,6)	-58.38
(6,2)	-53.62	(3,6)	-56.04
(7,2)	-49.77	(4,6)	-56.54
(1,3)	-58.74	(5,6)	-56.13
(2,3)	-57.21	(6,6)	-52.17
(3,3)	-57.98	(7,6)	-48.43
(4,3)	-58.21	(1,7)	-58.46
(5,3)	-57.86	(2,7)	-57.02
(6,3)	-54.73	(3,7)	-57.56
(7,3)	-50.45	(4,7)	-57.43
(1,4)	-59.16	(5,7)	-53.44
(2,4)	-58.02	(6,7)	-51.52
(3,4)	-53.78	(7,7)	-53.76
(4,4)	-54.05		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟค่าความแรงสัญญาณในแต่ละพิกัดของตัวส่งที่ 4

$$A(4.754243) + B(13.78396) = -745.976$$

$$A(13.78396) + B(49) = -2609.41$$

แก้สมการ จะได้ค่า

$$A = -13.613$$

$$B = -49.4238$$

นำค่า A และ B เข้าสมการ Linear regression

$$Pr(dB) = -10(1.3613)logd - 49.4238$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลองของเทคนิคการหาตำแหน่งแบบ Min-Max โดยใช้พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ

ตารางที่ 4.6 พิกัดของการระบุตำแหน่งแบบ Min – Max

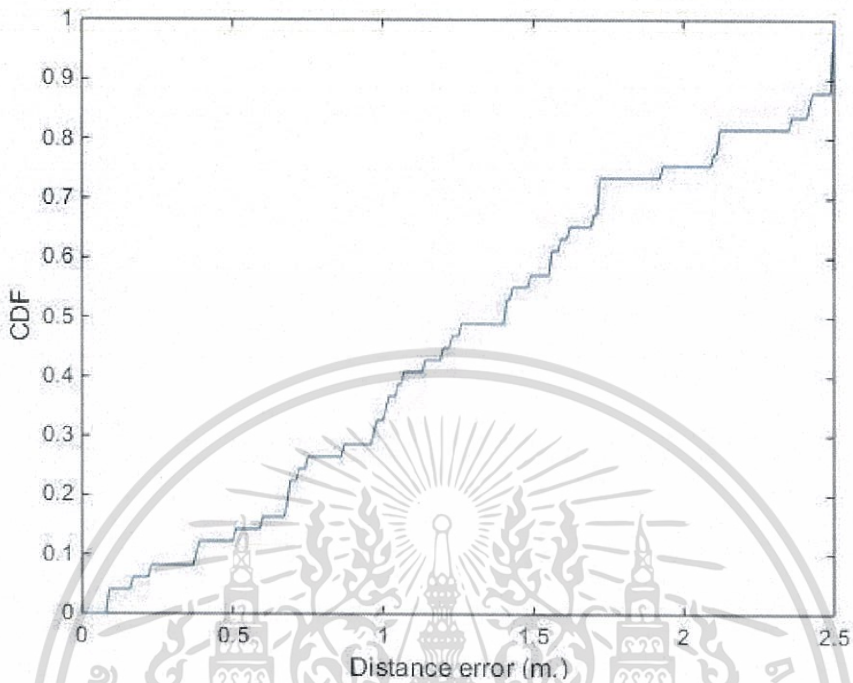
พิกัด	พิกัดที่คำนวณ	ค่าระยะทางผิดพลาด (m)
(1,1)	(1.0184,4.7105)	1.44579
(2,1)	(1.3258,3.8302)	1.1532
(3,1)	(2.3164,-1.0040)	0.31581
(4,1)	(3.4930,-1.4008)	0.4455
(5,1)	(4.6708,1.5886)	0.51732
(6,1)	(5.3887,0.3323)	0.15342
(7,1)	(5.9259,-0.2202)	0.06969
(1,2)	(0.3140,4.5822)	1.07877
(2,2)	(1.0635,0.9419)	0.02583
(3,2)	(1.2779,-0.5601)	0.51573
(4,2)	(2.7321,0.7229)	0.11562
(5,2)	(4.9645,-0.8615)	0.62895
(6,2)	(5.7005,-0.0118)	0.36918
(7,2)	(5.5663,0.0928)	0.30165
(1,3)	(0.6995,2.6908)	0.29493
(2,3)	(1.5061,3.8630)	0.57915
(3,3)	(1.0720,0.9330)	0.42423
(4,3)	(1.5263,2.4996)	0.46683
(5,3)	(2.9302,2.3968)	0.3423
(6,3)	(4.9679, -0.4152)	0.72462
(7,3)	(6.7137,0.6075)	0.46941
(1,4)	(0.4224,0.9192)	0.63696
(2,4)	(1.2685,2.3653)	0.20676

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 พิกัดของการระบุตำแหน่งแบบ Min – Max (ต่อ)

พิกัด	พิกัดที่คำนวณ	ค่าระยะทางผิดพลาด (เมตร)
(3,4)	(2.4470,2.6045)	0.17904
(4,4)	(2.9914,2.6216)	0.11355
(5,4)	(3.0728,2.4750)	0.31965
(6,4)	(6.1395,1.8909)	0.47703
(7,4)	(7.1743,2.2274)	0.42171
(1,5)	(-0.1751,2.3918)	0.48531
(2,5)	(1.0640,4.0649)	0.02733
(3,5)	(1.8179,6.3539)	0.70827
(4,5)	(2.3568,4.2058)	0.20259
(5,5)	(2.4023,3.3748)	0.51471
(6,5)	(4.7904,5.6905)	0.51102
(7,5)	(6.1121,4.6853)	0.20832
(1,6)	(1.3552,2.8285)	0.76791
(2,6)	(0.9265,5.8696)	0.26181
(3,6)	(2.0289,5.1676)	0.05103
(4,6)	(1.8813,4.1038)	0.43002
(5,6)	(3.4038,2.6456)	0.72861
(6,6)	(5.5110,3.9091)	0.36141
(7,6)	(5.2402,3.0165)	0.6372
(1,7)	(0.6419,5.2785)	0.28971
(2,7)	(1.6705,7.0691)	0.3786
(3,7)	(3.5391,8.1843)	0.80163
(4,7)	(3.0568,8.6388)	0.79182
(5,7)	(3.5805,6.9269)	0.30522
(6,7)	(5.7091,6.2303)	0.22371
(7,7)	(5.2910,6.1139)	0.21543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ค่าระยะทางผิดพลาด โดยแสดงในรูปความน่าจะเป็นแจกแจงสะสม

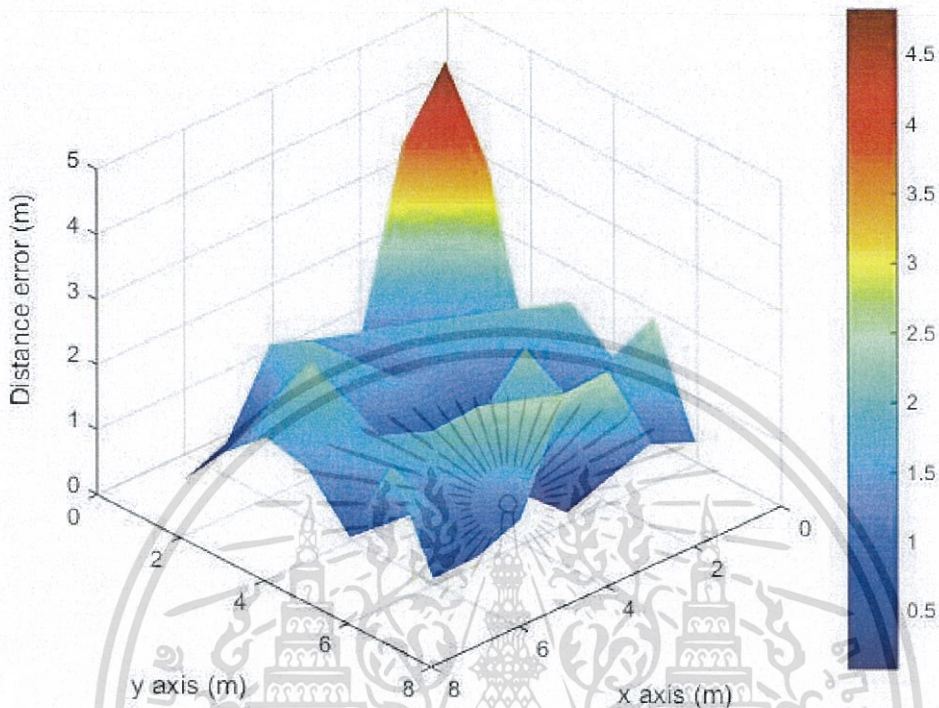
จากรูปที่ 4.5 แสดงถึงค่าระยะทางผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งจากตำแหน่งกราฟที่ 0.5 ในแกน y หมายถึง ค่ามัธยฐานนั่นเอง โดยแกน x นั้นคือค่าระยะทางผิดพลาดจากกราฟสามารถแสดงได้ว่า

ค่ามัธยฐานของระยะทางที่ผิดพลาดของกรณีดังกล่าวได้ค่า 1.4057 เมตร

ค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ผิดพลาดของกรณีดังกล่าวได้ค่า 1.4758 เมตร

ค่าระยะทางผิดพลาดมากที่สุดคือ 4.8193 เมตร

ค่าระยะทางผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.08 เมตร



รูปที่ 4.6 ค่าระยะทางผิดพลาด ในรูปแบบกราฟพื้นผิว

จากรูปที่ 4.6 แสดงถึงค่าระยะทางผิดพลาดในแต่ละตำแหน่งในโมเดลว่า แต่ละตำแหน่งนั้นทำให้เกิดค่าระยะทางผิดพลาดเป็นเท่าใด โดยแสดงในรูปแบบของกราฟพื้นผิว

4.5 ผลการทดลองของเทคนิคการหาตำแหน่งแบบ Weight centroid โดยใช้พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ

ในตารางที่ 4.7 ถึงตารางที่ 4.9 ใช้ค่าคงที่การแพร่กระจาย ทำการทดลองโดยนำผลค่าความแรงที่ได้ในตารางที่ 4.2 ถึงตารางที่ 4.5 มาคำนวณหาค่าระยะทางผิดพลาดเมื่อเทียบกับพิกัดจริงโดยใช้ค่าคงที่การแพร่กระจายสัญญาณในสภาวะแวดล้อมต่างๆ

ตารางที่ 4.7 พิกัดของการระบุตำแหน่งแบบการถ่วงน้ำหนักโดยค่าตัวถ่วงน้ำหนักหรือค่า k นั้นมีค่า 1 และ 1.5

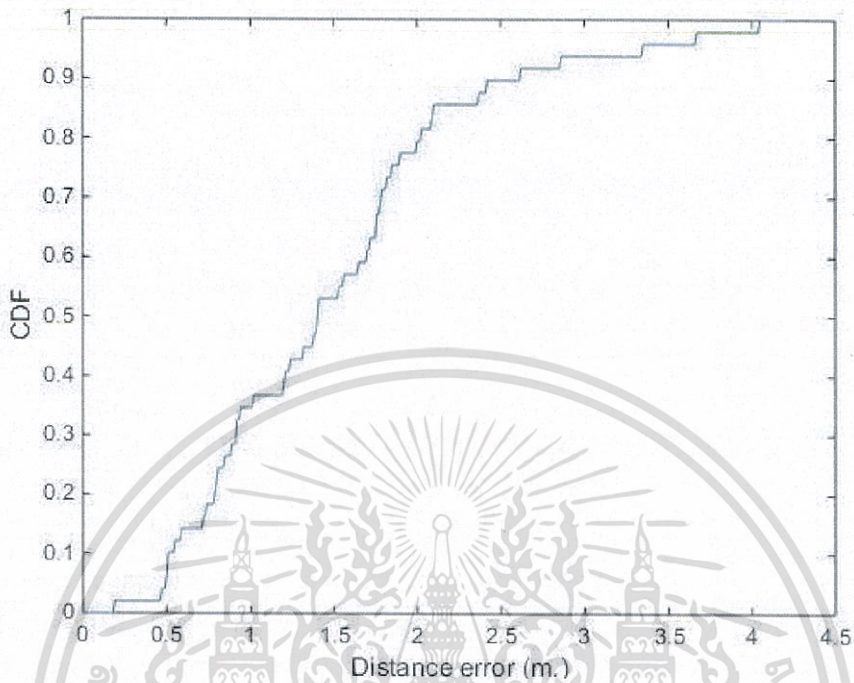
พิกัด	k=1	ค่าระยะทางผิดพลาด(เมตร)	k=1.5	ค่าระยะทางผิดพลาด(เมตร)
(1,1)	(1.21,3.86)	1.21356	(0.52,4.19)	1.26663
(2,1)	(1.86,3.57)	1.10163	(1.65,3.91)	1.18911
(3,1)	(2.02,1.38)	0.41403	(1.77,0.57)	0.18441
(4,1)	(2.63,0.64)	0.22179	(2.59,-0.52)	0.19866
(5,1)	(3.18,2.28)	0.7269	(3.25,1.89)	0.61002
(6,1)	(3.67,1.62)	0.6288	(3.99,1.10)	0.44802
(7,1)	(4.62,1.00)	0.51126	(5.19,0.47)	0.28095
(1,2)	(1.40,4.04)	1.00407	(1.05,4.57)	1.11636
(2,2)	(1.80,1.00)	0.24	(1.79,-0.03)	0.38943
(3,2)	(1.65,1.31)	0.14025	(1.31,0.55)	0.24714
(4,2)	(2.11,1.08)	0.26808	(2.06,0.05)	0.40095
(5,2)	(3.28,1.07)	0.21702	(3.36,0.16)	0.3168
(6,2)	(3.66,1.79)	0.46665	(3.93,1.22)	0.32772
(7,2)	(4.38,1.70)	0.52944	(4.97,1.23)	0.31662
(1,3)	(1.62,2.68)	0.52707	(1.36,2.49)	0.43368
(2,3)	(1.74,3.62)	0.5343	(1.35,3.95)	0.59436
(3,3)	(1.11,2.25)	0.27732	(0.28,2.03)	0.51609
(4,3)	(1.90,2.57)	0.37167	(1.66,2.32)	0.41331
(5,3)	(2.28,2.69)	0.55596	(2.04,2.51)	0.60759
(6,3)	(3.30,0.95)	0.59943	(3.35,-0.12)	0.80592
(7,3)	(4.69,1.83)	0.3963	(5.45,1.50)	0.22299
(1,4)	(1.29,1.71)	0.54729	(0.85,1.14)	0.6135
(2,4)	(1.45,2.69)	0.16392	(0.84,2.55)	0.14328
(3,4)	(2.11,2.84)	0.05826	(1.62,2.78)	0.13173
(4,4)	(2.55,2.77)	0.15162	(2.36,2.65)	0.21885

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 พิกัดของการระบุตำแหน่งแบบการถ่วงน้ำหนักโดยค่าตัวถ่วงน้ำหนักหรือค่า k นั้นมีค่า 1 และ 1.5 (ต่อ)

พิกัด	k=1	ค่าระยะทางผิดพลาด(เมตร)	k=1.5	ค่าระยะทางผิดพลาด(เมตร)
(5,4)	(2.63,2.67)	0.42276	(2.46,2.49)	0.48669
(6,4)	(4.09,2.22)	0.35955	(4.46,1.80)	0.39477
(7,4)	(5.12,2.74)	0.27528	(6.13,2.67)	0.11484
(1,5)	(0.90,2.62)	0.49425	(0.24,2.47)	0.46461
(2,5)	(1.32,3.50)	0.17808	(0.66,3.71)	0.13407
(3,5)	(1.72,4.41)	0.14895	(1.25,4.99)	0.3726
(4,5)	(2.20,3.88)	0.23676	(2.00,4.40)	0.3231
(5,5)	(2.08,3.18)	0.62634	(1.62,3.26)	0.74772
(6,5)	(3.81,4.20)	0.36201	(4.21,4.62)	0.30126
(7,5)	(4.64,3.64)	0.42204	(5.44,3.85)	0.17391
(1,6)	(1.04,3.63)	0.516	(0.44,3.90)	0.35541
(2,6)	(1.25,4.19)	0.25431	(0.63,4.64)	0.15486
(3,6)	(1.88,4.07)	0.28131	(1.43,4.55)	0.21786
(4,6)	(2.04,3.98)	0.42021	(1.81,4.54)	0.38274
(5,6)	(2.56,2.81)	0.7863	(2.40,2.71)	0.83808
(6,6)	(3.83,3.50)	0.57069	(4.18,3.76)	0.44598
(7,6)	(4.67,3.01)	0.71058	(5.53,3.01)	0.61341
(1,7)	(0.85,4.16)	0.60804	(-0.02,4.44)	0.46803
(2,7)	(1.85,5.43)	0.30702	(1.63,6.37)	0.28476
(3,7)	(2.56,5.41)	0.24402	(2.52,6.57)	0.23148
(4,7)	(2.49,6.07)	0.15444	(2.49,7.31)	0.42174
(5,7)	(2.92,4.91)	0.46032	(2.89,5.72)	0.34344
(6,7)	(4.02,4.50)	0.53754	(4.40,5.14)	0.31458
(7,7)	(3.54,4.55)	0.85665	(3.77,5.20)	0.71076

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ค่าระยะทางผิดพลาด โดยแสดงในรูปความน่าจะเป็นแจกแจงสะสม

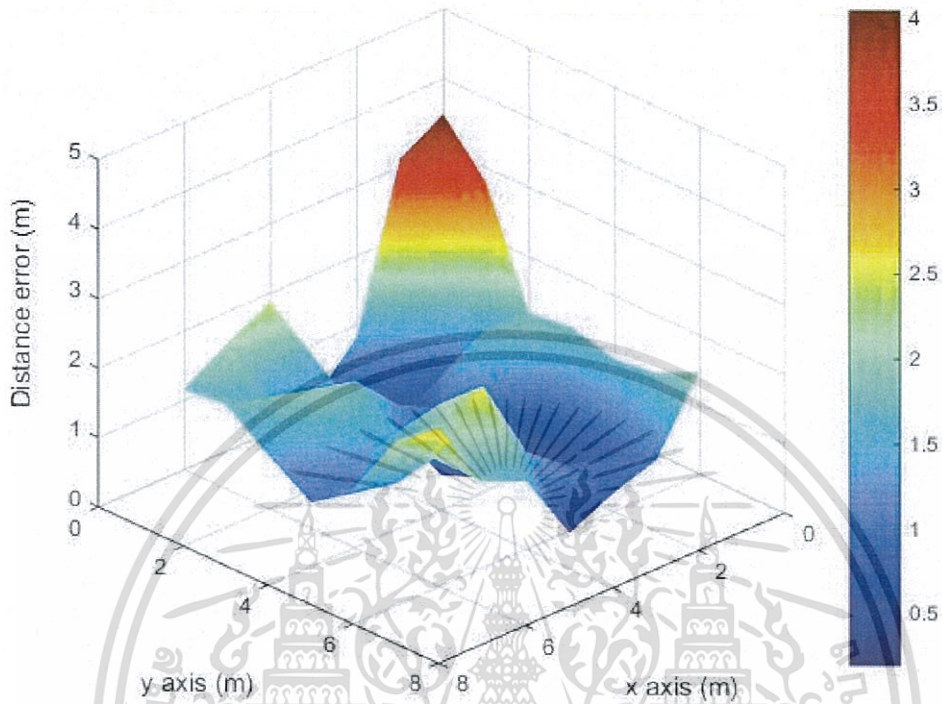
จากรูปที่ 4.7 แสดงถึงค่าระยะทางผิดพลาดน้อยที่สุดเมื่อใช้ค่า $k=1$ ซึ่งจากตำแหน่งกราฟที่ 0.5 ในแกน y หมายถึง ค่ามัธยฐานนั่นเอง โดยแกน x นั้นคือค่าระยะทางผิดพลาดจากกราฟสามารถแสดงได้ว่า

ค่ามัธยฐานของระยะทางที่ผิดพลาดของกรณีดังกล่าวได้ค่า 1.4068 เมตร

ค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ผิดพลาดของกรณีดังกล่าวได้ค่า 1.5034 เมตร

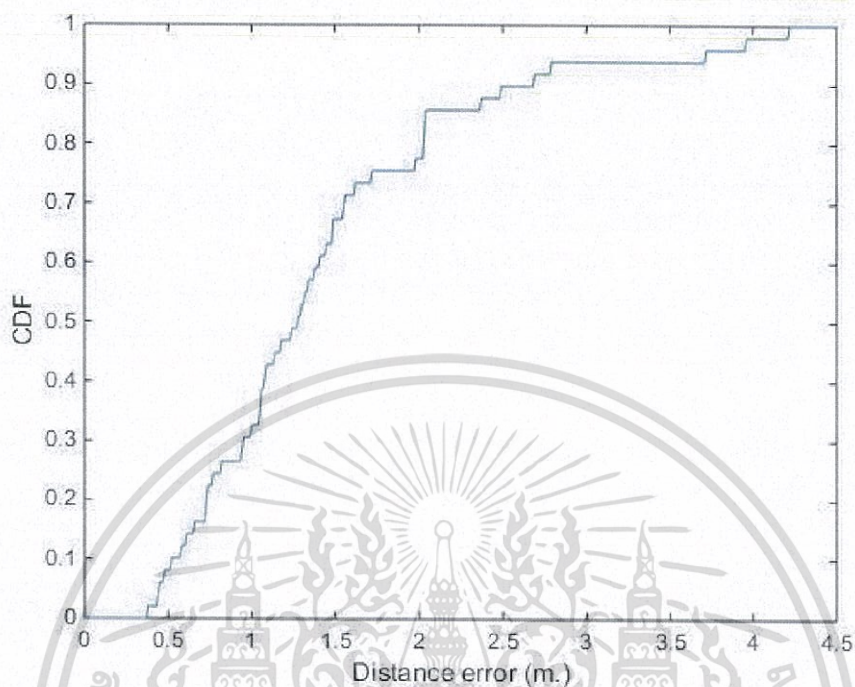
ค่าระยะทางผิดพลาดมากที่สุดคือ 4.0452 เมตร

ค่าระยะทางผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.1942 เมตร



รูปที่ 4.8 ค่าระยะทางผิดพลาด ในรูปแบบกราฟพื้นผิว

จากรูปที่ 4.8 แสดงถึงค่าระยะทางผิดพลาดในแต่ละตำแหน่งในโมเดลว่า แต่ละตำแหน่งนั้นทำให้เกิดค่าระยะทางผิดพลาดเป็นเท่าใด โดยแสดงในรูปแบบของกราฟพื้นผิว



รูปที่ 4.9 ค่าระยะทางผิดพลาด โดยแสดงในรูปความน่าจะเป็นแจกแจงสะสม

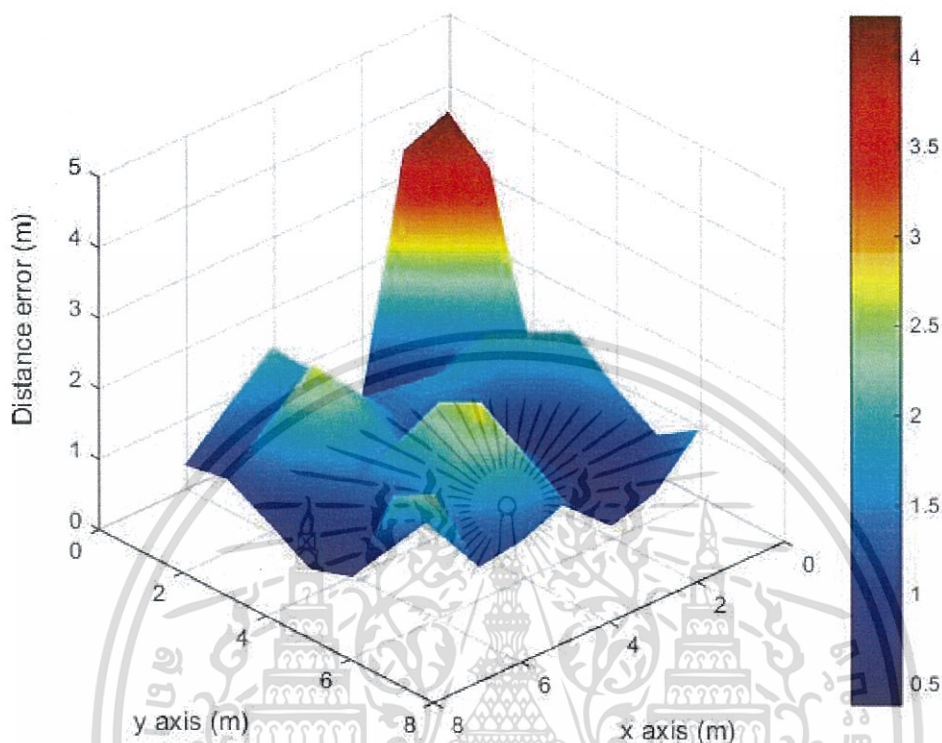
จากรูปที่ 4.9 แสดงถึงค่าระยะทางผิดพลาดน้อยที่สุดเมื่อใช้ค่า $k=1.5$ ซึ่งจากตำแหน่งกราฟที่ 0.5 ในแกน y หมายถึง ค่ามัธยฐานนั่นเอง โดยแกน x นั่นคือค่าระยะทางผิดพลาดจากกราฟสามารถแสดงได้ว่า

ค่ามัธยฐานของระยะทางที่ผิดพลาดของกรณีดังกล่าวได้ค่า 1.2758 เมตร

ค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ผิดพลาดของกรณีดังกล่าวได้ค่า 1.4484 เมตร

ค่าระยะทางผิดพลาดมากที่สุดคือ 4.2221 เมตร

ค่าระยะทางผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.1942 เมตร



รูปที่ 4.10 ค่าระยะทางผิดพลาด ในรูปแบบกราฟพื้นผิว

จากรูปที่ 4.10 แสดงถึงค่าระยะทางผิดพลาดในแต่ละตำแหน่งในโมเดลว่า แต่ละตำแหน่งนั้นทำให้เกิดค่าระยะทางผิดพลาดเป็นเท่าใด โดยแสดงในรูปแบบของกราฟพื้นผิว

ตารางที่ 4.8 พิกัดของการระบุตำแหน่งแบบการถ่วงน้ำหนักโดยค่าตัวถ่วงน้ำหนักหรือค่า k นั้นมีค่า 2 และ 2.5

พิกัด	$k=2$	ค่าระยะทางผิดพลาด(เมตร)	$k=2.5$	ค่าระยะทางผิดพลาด(เมตร)
(1,1)	(-0.03,4.42)	1.32603	(-0.47,4.56)	1.37526
(2,1)	(1.59,4.26)	1.29021	(1.60,4.61)	1.39467
(3,1)	(1.67,-0.15)	0.10875	(1.67,-0.77)	0.25131
(4,1)	(2.62,-1.46)	0.1932	(2.69,-2.14)	0.64869
(5,1)	(3.31,1.47)	0.6036	(3.35,1.04)	0.36792

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 พิกัดของการระบุตำแหน่งแบบการถ่วงน้ำหนักโดยค่าตัวถ่วงน้ำหนักหรือค่า k นั้นมีค่า 2 และ 2.5 (ต่อ)

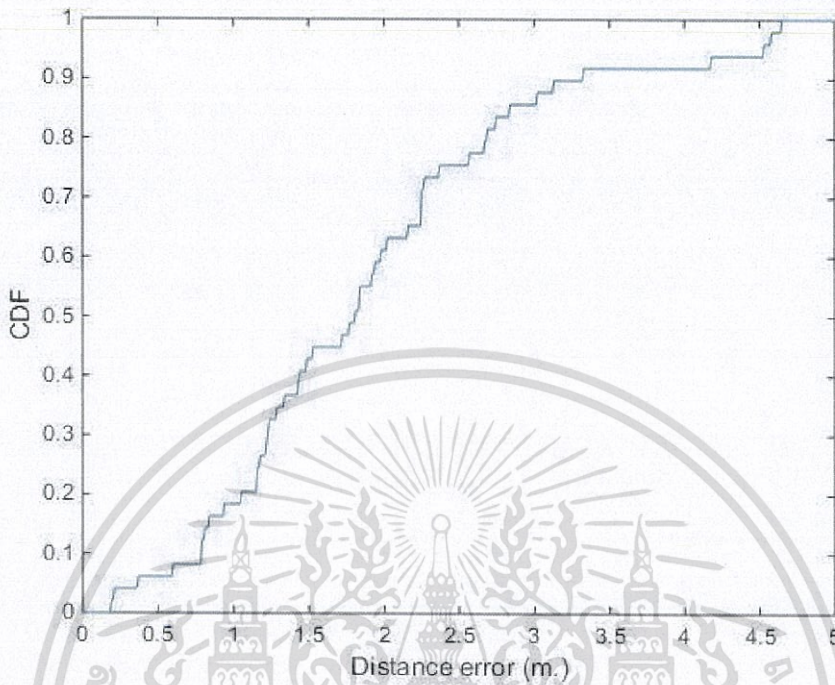
พิกัด	k=2	ค่าระยะทางผิดพลาด(เมตร)	k=2.5	ค่าระยะทางผิดพลาด(เมตร)
(6,1)	(4.27,0.68)	0.39606	(4.51,0.35)	0.18066
(7,1)	(5.56,0.16)	0.14046	(5.79,-0.01)	0.06306
(1,2)	(0.87,4.04)	1.23978	(0.80,5.46)	1.35936
(2,2)	(1.95,-0.90)	0.63729	(2.16,-1.59)	0.85137
(3,2)	(1.16,-0.08)	0.41046	(1.14,-0.59)	0.54231
(4,2)	(2.16,-0.86)	0.61227	(2.31,-1.58)	0.80121
(5,2)	(3.40,-0.63)	0.52107	(3.40,-1.29)	0.71019
(6,2)	(4.15,0.69)	0.27144	(4.31,0.21)	0.31467
(7,2)	(5.45,0.90)	0.1677	(5.82,0.68)	0.11016
(1,3)	(1.25,2.30)	0.38565	(6.10,0.56)	0.36747
(2,3)	(1.08,4.27)	0.68142	(0.90,4.57)	0.77157
(3,3)	(-0.44,1.91)	0.72051	(-1.02,1.89)	0.9066
(4,3)	(1.55,2.06)	0.43536	(1.52,1.79)	0.44844
(5,3)	(1.87,2.32)	0.64617	(1.75,2.12)	0.67596
(6,3)	(3.33,-1.07)	1.04844	(3.28,-1.81)	1.25409
(7,3)	(6.09,1.32)	0.20577	(6.61,1.28)	0.28311
(1,4)	(0.61,0.66)	0.72546	(0.49,0.29)	0.82617
(2,4)	(0.32,2.44)	0.26427	(-0.11,2.35)	0.38589
(3,4)	(1.11,2.73)	0.27903	(0.60,2.70)	0.42954
(4,4)	(2.17,2.52)	0.28764	(2.01,2.39)	0.34884
(5,4)	(2.32,2.31)	0.54372	(2.18,2.12)	0.60648
(6,4)	(4.71,1.40)	0.4863	(4.87,1.02)	0.59529
(7,4)	(6.99,2.66)	0.31404	(7.68,2.68)	0.51483
(1,5)	(-0.27,2.36)	0.49863	(-0.67,2.29)	0.55098
(2,5)	(0.11,3.88)	0.26943	(-0.34,4.00)	0.402

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 พิกัดของการระบุตำแหน่งแบบการถ่วงน้ำหนักโดยค่าตัวถ่วงน้ำหนักหรือค่า k นั้นมีค่า 2 และ 2.5 (ต่อ)

พิกัด	k=2	ค่าระยะทางผิดพลาด(เมตร)	k=2.5	ค่าระยะทางผิดพลาด(เมตร)
(3,5)	(0.90,5.46)	0.5484	(0.67,5.81)	0.67383
(4,5)	(1.90,4.93)	0.43215	(1.88,5.46)	0.55203
(5,5)	(1.17,3.33)	0.87246	(0.73,3.39)	0.99792
(6,5)	(4.59,4.94)	0.30765	(4.94,5.16)	0.34848
(7,5)	(6.17,3.96)	0.05238	(6.79,3.94)	0.23709
(1,6)	(0.00,4.12)	0.264	(-0.34,4.27)	0.24159
(2,6)	(0.17,4.96)	0.2493	(-0.17,5.16)	0.35427
(3,6)	(1.07,4.98)	0.27906	(0.80,5.33)	0.37335
(4,6)	(1.72,5.10)	0.38517	(1.72,5.65)	0.43068
(5,6)	(2.26,2.59)	0.89175	(2.16,2.47)	0.93849
(6,6)	(4.48,4.02)	0.33282	(4.73,4.26)	0.23631
(7,6)	(6.34,3.01)	0.60564	(7.05,3.01)	0.675
(1,7)	(-0.69,4.54)	0.48444	(-1.20,4.50)	0.57627
(2,7)	(1.62,7.09)	0.3762	(1.73,7.61)	0.53034
(3,7)	(2.56,7.51)	0.48315	(2.64,8.18)	0.6816
(4,7)	(2.59,8.16)	0.65958	(2.70,8.67)	0.80604
(5,7)	(2.88,6.43)	0.35991	(2.87,7.03)	0.4587
(6,7)	(4.68,5.68)	0.13575	(4.85,6.12)	0.05763
(7,7)	(3.95,5.76)	0.6192	(4.07,6.23)	0.58311

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ค่าระยะทางผิดพลาด โดยแสดงในรูปความน่าจะเป็นแจกแจงสะสม

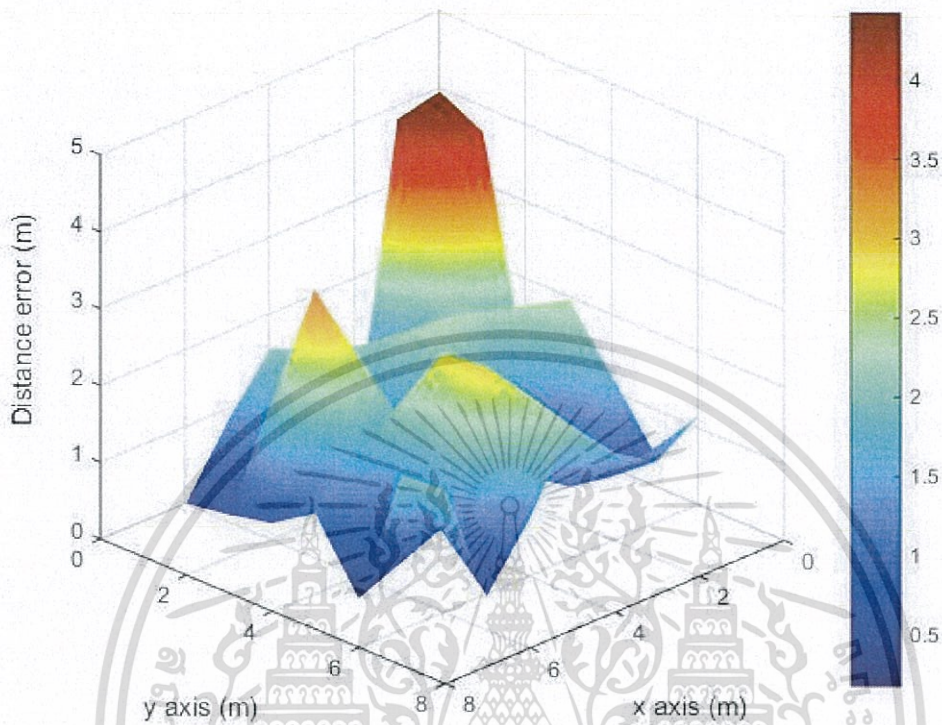
จากรูปที่ 4.11 แสดงถึงค่าระยะทางผิดพลาดน้อยที่สุดเมื่อใช้ค่า $k=2$ ซึ่งจากตำแหน่งกราฟที่ 0.5 ในแกน y หมายถึง ค่ามัธยฐานนั่นเอง โดยแกน x นั่นคือค่าระยะทางผิดพลาดจากกราฟสามารถแสดงได้ว่า

ค่ามัธยฐานของระยะทางที่ผิดพลาดของกรณีดังกล่าวได้ค่า 1.4405 เมตร

ค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ผิดพลาดของกรณีดังกล่าวได้ค่า 1.6360 เมตร

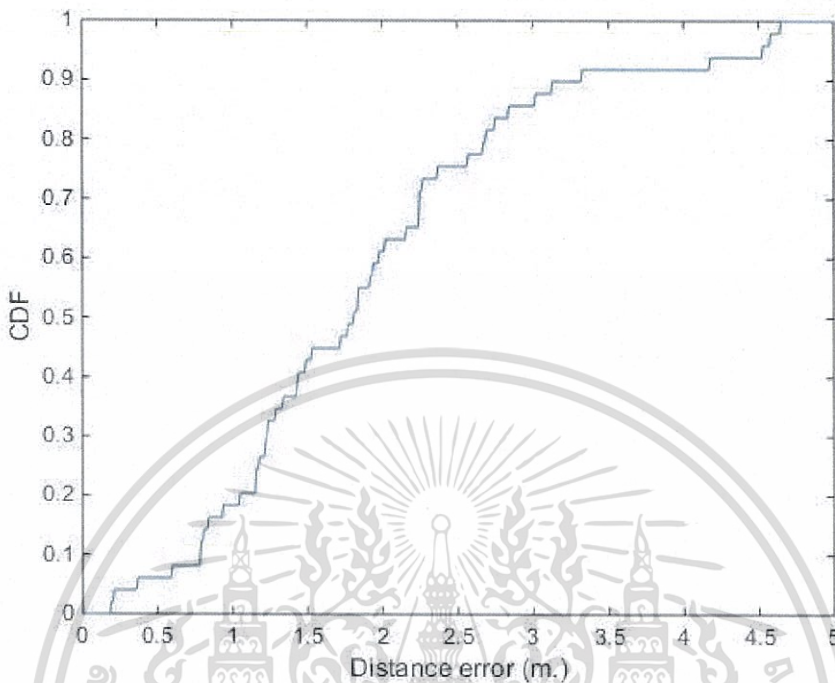
ค่าระยะทางผิดพลาดมากที่สุดคือ 4.4201 เมตร

ค่าระยะทางผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.1746 เมตร



รูปที่ 4.12 ค่าระยะทางผิดพลาด ในรูปแบบกราฟพื้นผิว

จากรูปที่ 4.12 แสดงถึงค่าระยะทางผิดพลาดในแต่ละตำแหน่งในโมเดลว่า แต่ละตำแหน่งนั้นทำให้เกิดค่าระยะทางผิดพลาดเป็นเท่าใด โดยแสดงในรูปของกราฟพื้นผิว



รูปที่ 4.13 ค่าระยะทางผิดพลาด โดยแสดงในรูปความน่าจะเป็นแจกแจงสะสม

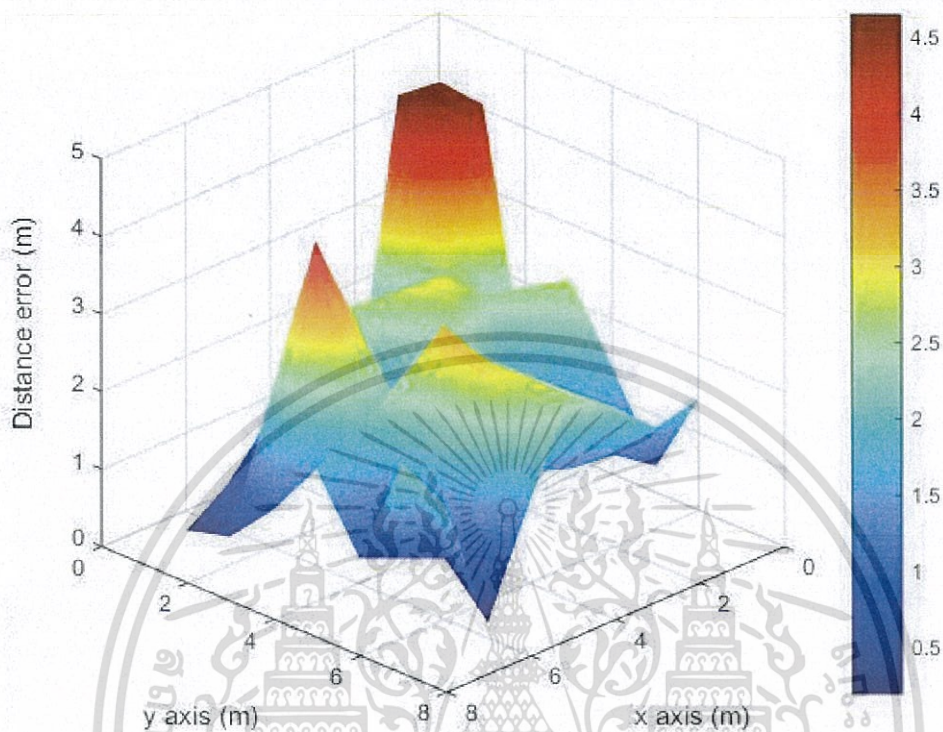
จากรูปที่ 4.13 แสดงถึงค่าระยะทางผิดพลาดน้อยที่สุดเมื่อใช้ค่า $k=2.5$ ซึ่งจากตำแหน่งกราฟที่ 0.5 ในแกน y หมายถึง ค่ามัธยฐานนั่นเอง โดยแกน x นั่นคือค่าระยะทางผิดพลาด จากกราฟสามารถแสดงได้ว่า

ค่ามัธยฐานของระยะทางที่ผิดพลาดของกรณีดังกล่าวได้ค่า 1.8077 เมตร

ค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ผิดพลาดของกรณีดังกล่าวได้ค่า 1.9109 เมตร

ค่าระยะทางผิดพลาดมากที่สุดคือ 4.6489 เมตร

ค่าระยะทางผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.1921 เมตร



รูปที่ 4.14 ค่าระยะทางผิดพลาด ในรูปแบบกราฟพื้นผิว

จากรูปที่ แสดงถึงค่าระยะทางผิดพลาดในแต่ละตำแหน่งในโมเดลว่า แต่ละตำแหน่งนั้นทำให้เกิดค่าระยะทางผิดพลาดเป็นเท่าใด โดยแสดงในรูปของกราฟพื้นผิว

ตารางที่ 4.9 พิกัดการระบุตำแหน่งแบบการถ่วงน้ำหนักโดยค่าตัวถ่วงน้ำหนักหรือค่า k นั้นมีค่า 3

พิกัด	$k=3$	ค่าระยะทางผิดพลาด(เมตร)
(1,1)	(-0.81,4.62)	1.40715
(2,1)	(1.67,4.96)	1.5015
(3,1)	(1.75,-1.27)	0.38832
(4,1)	(2.77,-2.60)	0.78306
(5,1)	(3.38,0.61)	0.26094
(6,1)	(4.70,0.09)	0.09396

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 พิกัดการระบุตำแหน่งแบบการถ่วงน้ำหนักโดยค่าตัวถ่วงน้ำหนักหรือค่า k นั้นมีค่า 3 (ต่อ)

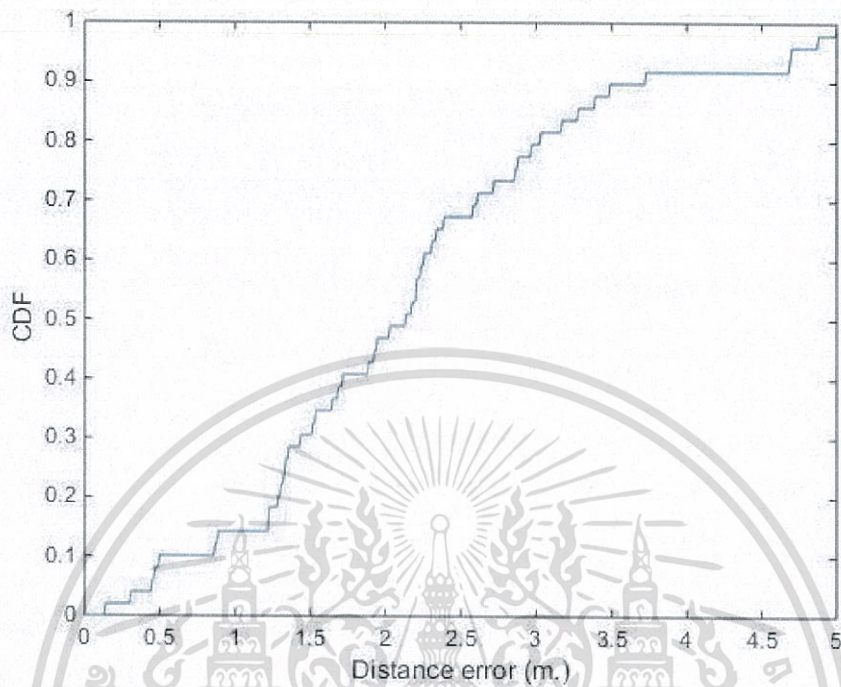
พิกัด	$k=3$	ค่าระยะทางผิดพลาด(เมตร)
(7,1)	(5.92,-0.11)	0.0408
(1,2)	(0.79,5.82)	1.46529
(2,2)	(2.35,-2.11)	1.01712
(3,2)	(1.20,-0.99)	0.64344
(4,2)	(2.47,-2.13)	0.95238
(5,2)	(3.37,-1.81)	0.86394
(6,2)	(4.41,-0.20)	0.40116
(7,2)	(6.10,0.56)	0.13536
(1,3)	(1.23,1.93)	0.3696
(2,3)	(0.78,4.85)	0.85755
(3,3)	(-1.49,1.93)	1.04721
(4,3)	(1.54,1.52)	0.46107
(5,3)	(1.69,1.91)	0.69354
(6,3)	(3.22,-2.35)	1.41003
(7,3)	(7.03,1.32)	0.37026
(1,4)	(0.44,0.00)	0.90963
(2,4)	(-0.48,2.28)	0.49374
(3,4)	(0.10,2.68)	0.57804
(4,4)	(1.86,2.26)	0.40773
(5,4)	(2.07,1.92)	0.66348
(6,4)	(4.97,0.66)	0.70206
(7,4)	(8.19,2.73)	0.66198
(1,5)	(-1.02,2.25)	0.60768
(2,5)	(-0.72,4.06)	0.5163
(3,5)	(0.53,6.08)	0.71595

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 พิกัดการระบุตำแหน่งแบบการถ่วงน้ำหนักโดยค่าตัวถ่วงน้ำหนักหรือค่า k นั้นมีค่า 3 (ต่อ)

พิกัด	$k=3$	ค่าระยะทางผิดพลาด (เมตร)
(4,5)	(1.92,5.96)	0.67137
(5,5)	(0.31,3.44)	1.11969
(6,5)	(5.24,5.31)	0.39954
(7,5)	(7.31,3.95)	0.3933
(1,6)	(-0.62,4.36)	0.26733
(2,6)	(-0.41,5.28)	0.43125
(3,6)	(0.61,5.62)	0.4566
(4,6)	(1.77,6.15)	0.50721
(5,6)	(2.08,2.34)	0.98415
(6,6)	(4.94,4.50)	0.15108
(7,6)	(7.64,3.01)	0.77361
(1,7)	(-1.59,4.39)	0.67884
(2,7)	(1.89,7.99)	0.654
(3,7)	(2.73,8.62)	0.81594
(4,7)	(2.80,8.96)	0.89001
(5,7)	(2.87,7.52)	0.5682
(6,7)	(4.94,6.47)	0.14214
(7,7)	(4.15,6.63)	0.58629

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ค่าระยะทางผิดพลาด โดยแสดงในรูปความน่าจะเป็นแจกแจงสะสม

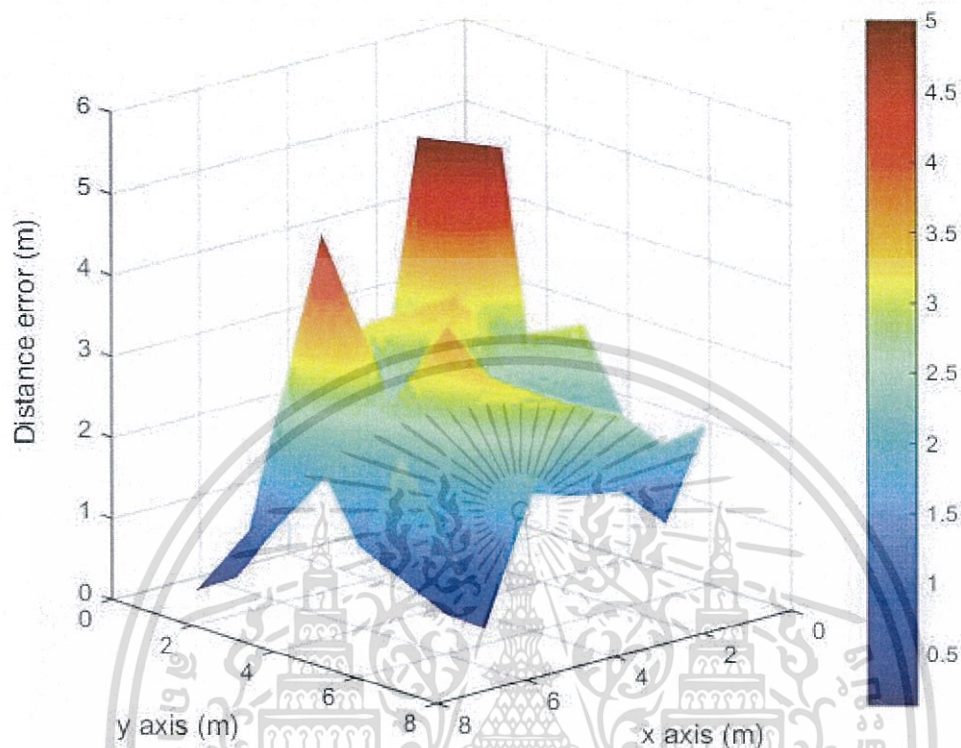
จากรูปที่ 4.15 แสดงถึงค่าระยะทางผิดพลาดน้อยที่สุดเมื่อใช้ค่า $k=3$ ซึ่งจากตำแหน่งกราฟที่ 0.5 ในแกน y หมายถึง ค่ามัธยฐานนั่นเอง โดยแกน x นั่นคือค่าระยะทางผิดพลาดจากกราฟสามารถแสดงได้ว่า

ค่ามัธยฐานของระยะทางที่ผิดพลาดของกรณีดังกล่าวได้ค่า 2.1448 เมตร

ค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ผิดพลาดของกรณีดังกล่าวได้ค่า 2.1708 เมตร

ค่าระยะทางผิดพลาดมากที่สุดคือ 5.0050 เมตร

ค่าระยะทางผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.1360 เมตร



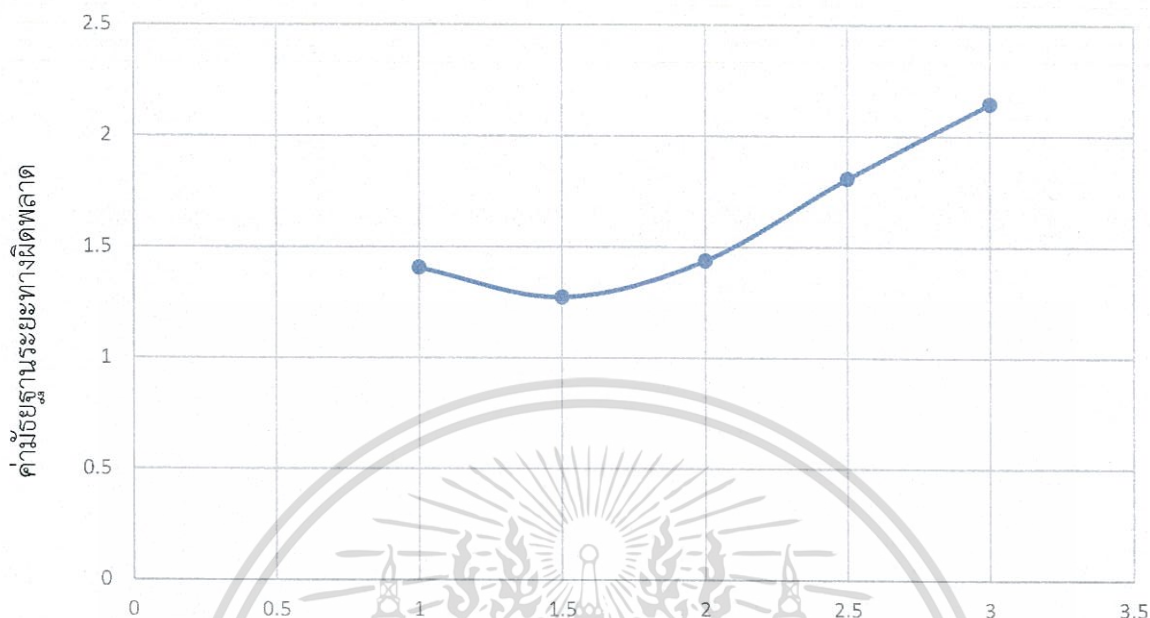
รูปที่ 4.16 ค่าระยะทางผิดพลาด ในรูปแบบกราฟพื้นผิว

จากรูปที่ 4.16 แสดงถึงค่าระยะทางผิดพลาดในแต่ละตำแหน่งในโมเดลว่า แต่ละตำแหน่งนั้นทำให้เกิดค่าระยะทางผิดพลาดเป็นเท่าใด โดยแสดงในรูปแบบของกราฟพื้นผิว

ตารางที่ 4.10 ค่ามัธยฐานความผิดพลาดของระยะทางของค่าตัวถ่วงน้ำหนักในกรณีค่าดัชนีการแพร่กระจายสัญญาณในสภาวะแวดล้อมต่างๆ

ค่าตัวถ่วงน้ำหนัก (k)	ค่ามัธยฐานของระยะทางผิดพลาด
1	1.4068
1.5	1.2758
2	1.4405
2.5	1.8077
3	2.1448

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ค่ามัธยฐานความผิดพลาดของระยะทางของค่าตัวถ่วงน้ำหนัก

รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามัธยฐานระยะทางผิดพลาดกับค่าตัวถ่วงน้ำหนักของดัชนีการแพร่กระจายสัญญาณในสภาวะแวดล้อมต่างๆ

4.6 สรุปผลจากตารางและกราฟ

จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.17 ได้แสดงถึงค่ามัธยฐานความผิดพลาดของระยะทางผิดพลาดของค่าตัวถ่วงน้ำหนักค่าต่างๆ จากกราฟแสดงถึงเมื่อค่าของค่าตัวถ่วงน้ำหนักเป็น 1.5 พบว่าให้ค่ามัธยฐานระยะทางความผิดพลาดน้อยที่สุด และแนวโน้มค่าตัวถ่วงน้ำหนักเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่ามัธยฐานระยะทางความผิดพลาดมากขึ้นตาม

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

โครงการนี้ได้ศึกษาการหาตำแหน่งภายในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารโดยใช้สัญญาณแถบแคบในช่วงความถี่ 2.4 GHz ได้นำเสนอการประเมินผลของการหาตำแหน่งภายในอาคารในสภาวะที่มองเห็นด้วยระดับสายตาโดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำในการหาตำแหน่งโดยวิเคราะห้ด้วยเทคนิค Min - Max และเทคนิค Weight centroid ซึ่งพิจารณาจากพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับมาใช้ในการคำนวณหาตำแหน่ง ในโครงการนี้ได้ทำการออกแบบจำลองการวัด และทำการทดลองวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณ ด้วยเครื่องกำเนิดความถี่วิทยุ และเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ โดยใช้สายอากาศไดโพลด้านส่ง และสายอากาศแบบบ่วงด้านรับ ซึ่งได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำในการหาตำแหน่งระหว่างเทคนิคการหาตำแหน่งแบบ Min-Max และ Weight centroid

5.1 สรุปผล

จากผลการทดลองเมื่อนำสัญญาณมาใช้ในการหาตำแหน่งภายในอาคาร ซึ่งจะพิจารณาค่ามัธยฐาน ค่าเฉลี่ย ค่ามากที่สุด และค่าน้อยที่สุด ของค่าความผิดพลาดของระยะทาง ซึ่งจะแสดงได้ดังตารางที่ 5.1 เมื่อพิจารณาตามแบบจำลองที่ได้ทำการทดลองวัด พบว่าตำแหน่งช่วงกลางตามแบบจำลองการวัดให้ประสิทธิภาพความแม่นยำในการตำแหน่งมากกว่าตำแหน่งช่วงขอบตามแบบจำลองการวัดเพราะว่าช่วงกลางตามแบบจำลองการวัดสามารถรับสัญญาณได้ดีที่สุดจากสายอากาศส่งทั้งสองอัน โดยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบ Weight centroid ค่าถ่วงน้ำหนัก = 1.5 ให้ประสิทธิภาพความแม่นยำในการหาตำแหน่งมากกว่าเทคนิคการหาตำแหน่งแบบ Min-Max

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของระยะทาง

ค่าความผิดพลาดของระยะทาง	ค่ามัธยฐาน (เมตร)	ค่าเฉลี่ย (เมตร)	ค่ามากที่สุด (เมตร)	ค่าน้อยที่สุด (เมตร)
เทคนิค Min-Max	1.4057	1.4758	4.8193	0.0861
เทคนิค Weight centroid ค่าถ่วงน้ำหนัก = 1	1.4068	1.5034	4.0542	0.1942
เทคนิค Weight centroid ค่าถ่วงน้ำหนัก = 1.5	1.2758	1.4484	4.2221	0.1942

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของระยะทาง (ต่อ)

ค่าความผิดพลาดของ ระยะทาง	ค่ามัธยฐาน (เมตร)	ค่าเฉลี่ย (เมตร)	ค่ามากที่สุด (เมตร)	ค่าน้อยที่สุด (เมตร)
เทคนิค Weight centroid ค่า ถ่วงน้ำหนัก = 2	1.4405	1.636	4.4201	0.1746
เทคนิค Weight centroid ค่า ถ่วงน้ำหนัก = 2.5	1.8077	1.9109	4.6489	0.1921
เทคนิค Weight centroid ค่า ถ่วงน้ำหนัก = 3	2.1448	2.1708	5.005	0.136

5.2 ข้อเสนอแนะ

โครงการนี้ได้ประเมินผลการหาตำแหน่งภายในอาคารในสภาวะแวดล้อมจริง ในพื้นที่
ที่ทำการทดลอง เนื่องจากมีสิ่งกีดขวาง มีกำแพง โตะ เก้าอี้ ทำให้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมาก
ที่สุด ซึ่งจะมีปัญหาสัญญาณย่านความถี่ข้างเคียงที่ก่อให้เกิดการรบกวน ปัญหาการจางหายและการ
เปลี่ยนแปลงของสภาวะภายในอาคาร รวมทั้งการเกิดการรบกวนของสัญญาณจากระบบความถี่
เดียวกัน ซึ่งจะเป็นแนวทางในการวิจัยที่จะทำการทดลองประเมินผลประสิทธิภาพความแม่นยำของ
การหาตำแหน่งภายในอาคารในสภาวะแวดล้อมที่มีวัตถุหรือสิ่งของอยู่ในพื้นที่ที่ทำการทดลอง

โครงการนี้เป็นการนำเสนอการประเมินผลของการหาตำแหน่งภายในอาคาร
เปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการหาตำแหน่งเพียงสองเทคนิคเท่านั้น ซึ่งยังมีเทคนิคการหาตำแหน่ง
อื่นๆอีกหลายแบบที่สามารถนำมาเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพความแม่นยำในการหาตำแหน่งได้
ซึ่งเทคนิคการหาตำแหน่งแบบอื่นๆอาจจะให้ประสิทธิภาพความแม่นยำในการหาตำแหน่งที่ดีกว่า
ซึ่งจะเป็นแนวทางในการศึกษาทดลองเปรียบเทียบกันในอนาคต

บรรณานุกรม

- [1] Zhijun Jang. Antenna Design for Mobile Devices. John Wiley & Sons, 2011
- [2] R. L. Li, V. F. Fusco, "Circularly Polarized Twisted Loop Antenna," IEEE Transaction on Antennas and Propagation, vol. 50, pp. 1377-1381, October 2002
- [3] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, Antenna Theory and Design, Second Edition, NY: John Wiley and Sons, 1998
- [4] Handbook of Antenna Design Vol 2, Rudge A.W., Milne K., Olver A.D. & Knight, P. pp688
- [5] Graf, Rudolf F. (1999), *Modern Dictionary of Electronics*, Newnes, p. 278
- [6] Constantine A. Balanis, Antenna Theory. Analysis and Design, Wiley, 1997
- [7] R. Szumny, K. Kurek, S. Kozłowski, J. Modelski, "Measurements and analysis of the propagation channel for different indoor environments", IEEE EUROCON 2007, Warsaw, Poland, 2007
- [8] S. Kozłowski, K. Kurek, R. Szumny, J. Modelski, "Computer Simulations of The Propagation Channel for Various Indoor Environments", IEEE EUROCON 2007, Warsaw, Poland, 2007
- [9] R. Szumny, K. Kurek, J. Modelski, „Attenuation of Multipath Components Using Directional Antennas and Circular Polarization for Indoor Wireless Positioning Systems”, European Microwave Conference EuMC 2007, Munich, Germany, 2007
- [10] R. Szumny, K.Kurek, J. Modelski, Antenna Diversity Impact to Indoor Wireless TOAbased Positioning Systems Accuracy, accepted to IEEE Radio and Wireless Symposium, Orlando, USA, 2008