

แบบแผนการประเมินผลทดลองวัดของการหาตำแหน่งโดยสัญญาณโทรทัศน์
ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลด้วยสภาวะแวดล้อมภายนอกอาคาร

EXPERIMENTAL EVALUATION SCHEME OF DTTV LOCALIZATION
WITH OUTDOOR ENVIRONMENT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2566
KMITL-2023-EN-D-018-098

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXPERIMENTAL EVALUATION SCHEME OF DTTV LOCALIZATION
WITH OUTDOOR ENVIRONMENT

NATTAPAN SUWANSUKHO

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2023

KMITL-2023-EN-D-018-098

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

แบบแผนการประเมินผลการทดลองวัดของการหาตำแหน่งโดยสัญญาณโทรศัพท์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลด้วยสภาวะแวดล้อมภายนอกอาคาร

นักศึกษา

นายณัฐพันธ์ สุวรรณสุขโข

รหัสประจำตัว

61601181

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ.

2566

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอแบบแผนการประเมินผลทดลองวัดการหาตำแหน่งโดยใช้สัญญาณโทรศัพท์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลสภาวะแวดล้อมภายนอกอาคาร โดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือและคลื่นอัลกอริทึม และประเมินผลความแม่นยำ สำหรับการศึกษาทดลองวัดได้ใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมในช่วงความถี่ 514 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 658 เมกะเฮิรตซ์ ในการวัดและบันทึกผลโดยสายอากาศส่งจากตึกใบหยกมายังตำแหน่งที่ทดลองวัด พื้นที่เขตลาดกระบัง จากนั้นนำผลที่ได้จากการทดลองวัดมาประเมินผลเปรียบเทียบกับเทคนิคเสมือนสแกนลายนิ้วมือ และคลื่นอัลกอริทึม จากการประเมินผลทำให้มีองค์ความรู้และการวิเคราะห์คุณลักษณะช่องสัญญาณโทรศัพท์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล โดยการแสดงผลพารามิเตอร์ สัญญาณที่ได้รับ การสูญเสียเชิงวิถี และความผิดพลาดของตำแหน่ง จากการศึกษาวิจัยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พบว่าสามารถนำสัญญาณโทรศัพท์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 มาใช้งานในการหาตำแหน่งได้ เมื่อใช้งานร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลื่น ทำให้ค่าความผิดพลาดของระยะทางลดลงจาก 3.94 เมตร เหลือ 2.72 เมตร คิดเป็น 30.96% และเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับงานวิจัยในอนาคตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Experimental Evaluation Scheme of DTTV Localization with Outdoor Environment
Student	Mr. Nattapan Suwansukho
Student ID.	61601181
Degree	Doctor of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2023
Thesis Advisor	Asst. Prof. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

This paper proposed an experimental and evaluation scheme of localization using DTTV for outdoor environment with fingerprinting technique and clean algorithm. An accuracy evaluation in this paper used DTTV spectrum measurement at 514 MHz to 658 MHz for measure and record. The transmitted antenna located at Baiyok tower the measured location is Ladkrabang. The recorded values have been evaluated and compared with fingerprinting technique including clean algorithm. From the result provided a knowledge and analyzed characteristic of DTTV channel by the measured parameter, received signal and distance error. From this study will be useful for analyses and evaluation of localization by using DTTV signal and also be used for based knowledge..

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำ ชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาและคอยควบคุมกำกับดูแลให้เป็นไปตามหลักการ และความถูกต้องตลอดระยะเวลาที่ทำวิทยานิพนธ์นี้ จาก อาจารย์ ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ มาโดยตลอด ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน โดยมี รศ.ดร. มนต์รี ศิริปรัชญา นันทน์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ รศ.ดร. บุญยั้ง ปลั่งกลาง จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี รศ.ดร. ชรินทร์ บุญลักษณานุสรณ์ และ รศ.ดร. นรเศรษฐ์ พัฒนเดช คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ ให้คำแนะนำและทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับข้าพเจ้า และข้าพเจ้าขอขอบคุณนักศึกษา ปริญญา ตรี โท และเอก ทุกท่านในห้องปฏิบัติการวิจัย UWB-RS Lab ทุกท่านที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้า ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ของข้าพเจ้า ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆด้านมาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่า และประโยชน์ที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแต่ประชาชนชาวไทย และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ณัฐพันธ์ สุวรรณสุขโข

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	
ภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อ	
ภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 วัตถุประสงค์.....	3
1.4 สมมติฐาน.....	3
1.5 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.6 ขอบเขตการศึกษา.....	4
1.7 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 กล่าวนำ.....	6
2.2 ประวัติความเป็นมา.....	6
2.3 ลักษณะโดยทั่วไปของโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2.....	8
2.3.1 ทฤษฎีความจุช่องสัญญาณสูงสุด.....	9
2.4 ภาพรวมของโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2.....	11
2.5 เบบแบนด์อินเตอร์เฟส.....	12
2.6 การแก้ไขข้อผิดพลาดแบบไปข้างหน้า.....	12
2.7 พารามิเตอร์ COFDM.....	14
2.7.1 โหมดคลื่นพาร์ปกติ.....	17
2.7.2 โหมดขยายคลื่นพาร์.....	18
2.8 รูปแบบการมอดูเลตและแถบป้องกัน.....	19
2.8.1 แผนภาพคอนสเทลเลชันแบบปกติ.....	20
2.8.2 คำนิยามของเซลล์.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8.3 แผนภาพคอนสเทลเลชันแบบหมุน	21
2.9 อัตราข้อมูล.....	23
2.10 อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน	26
2.10.1 กล่าวนำ.....	26
2.10.2 หลักการของการได้มาซึ่งค่าอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน.....	26
2.10.3 ช่องการรับสัญญาณทั่วไป.....	27
2.10.4 อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวนสำหรับ Gaussian channel.....	28
2.10.5 อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวนสำหรับ Ricean and Rayleigh Channel.....	34
2.11 โครงสร้างเฟรมข้อมูล.....	41
2.12 การรับสัญญาณโทรทัศนภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2	43
2.13 ข้อกำหนดในการออกอากาศของโทรทัศนภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2	
ในประเทศไทย.....	45
2.13.1 ข้อกำหนดทางด้านความถี่.....	45
2.13.2 ข้อกำหนดทางด้านระบบส่งออกอากาศ.....	45
2.13.3 ข้อกำหนดทางเทคนิค.....	45
2.14 เทคนิคการระบุตำแหน่ง	48
2.15 ขั้นตอนการฝึกฝน	49
2.16 ขั้นตอนการทดสอบ	50
2.17 การคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ.....	50
2.18 วิธีกำลังสองน้อยที่สุด	50
2.19 อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัว (k-Nearest Neighbor Algorithm.....	
k NN)	51
2.20 การวิเคราะห์ความแม่นยำของเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ.....	52
2.21 อัลกอริทึมแบบคลื่น.....	52
2.22 สรุป.....	55
บทที่ 3 การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง.....	56
3.1 กล่าวนำ.....	56
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	56
3.2.1 สายอากาศ.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณโทรศัพท์ศนภาคพื้นดินระบบดิจิทัลแบบพกพา.....	57
3.3 การออกแบบจำลองการหาตำแหน่งในพื้นที่จริงภายนอกอาคาร.....	58
3.4 การทดลองการหาตำแหน่งในพื้นที่จริงภายนอกอาคาร.....	59
3.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	64
3.6 กำลังส่งของเครื่องส่ง.....	65
3.7สรุป.....	65
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	66
4.1 กล่าวนำ.....	66
4.2 ระดับสัญญาณที่ได้รับ.....	66
4.3 คอนทิวรัลของตำแหน่งอ้างอิงบนพื้นฐานค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ.....	69
4.3.1 คอนทิวรัลของตำแหน่งอ้างอิงจาก MUX 1.....	69
4.3.2 คอนทิวรัลของตำแหน่งอ้างอิงจาก MUX 2.....	70
4.3.3 คอนทิวรัลของตำแหน่งอ้างอิงจาก MUX 3.....	72
4.3.4 คอนทิวรัลของตำแหน่งอ้างอิงจาก MUX 4.....	73
4.3.5 คอนทิวรัลของตำแหน่งอ้างอิงจาก MUX 5.....	75
4.4 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ.....	76
4.5 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function : CDF).....	78
4.6 การสูญเสียเชิงวิถี.....	79
4.7 ช่องสัญญาณโทรศัพท์ศนภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2.....	81
4.8 คอนทิวรัลของตำแหน่งอ้างอิงบนพื้นฐานค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับเมื่อผ่าน อัลกอริทึมแบบคลื่น.....	81
4.8.1 คอนทิวรัลของตำแหน่งอ้างอิงจาก MUX 1 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น.....	82
4.8.2 คอนทิวรัลของตำแหน่งอ้างอิงจาก MUX 2 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น.....	84
4.8.3 คอนทิวรัลของตำแหน่งอ้างอิงจาก MUX 3 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น.....	85
4.8.4 คอนทิวรัลของตำแหน่งอ้างอิงจาก MUX 4 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น.....	87
4.8.5 คอนทิวรัลของตำแหน่งอ้างอิงจาก MUX 5 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น.....	88
4.9 การหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ.....	90
4.9.1 การคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด.....	90
4.9.2 การคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว.....	93
4.10 การหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลื่น.....	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ให้ใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.10.1 การคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลีน..	95
4.10.2 การคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลีน.....	99
4.11 การเปรียบเทียบระหว่างการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือกรณีไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน.....	101
4.11.1 การเปรียบเทียบการคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีนและกรณีใช้อัลกอริทึมแบบคลีน.....	102
4.11.2 การเปรียบเทียบการคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดจำนวน k ตัวที่ไม่ใช้และใช้อัลกอริทึมแบบคลีน.....	103
4.11.3 การเปรียบเทียบการคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดและอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดจำนวน k ตัว กรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน และกรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน.....	105
4.12 สรุป.....	105
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	108
5.1 กล่าวนำ.....	108
5.2 จากผลการทดลองวิจัย.....	108
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	110
บรรณานุกรม.....	111
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่ได้นำเสนอในระหว่างศึกษาระดับปริญญาเอก.....	115
ประวัติผู้เขียน.....	153

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าความจุช่องสัญญาณสูงสุดที่ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) ที่แตกต่างกัน...10	
2.2 CHANNEL BANDWIDTHS FOR DVB-T AND DVB-T2.....	10
2.3 ความกว้างของช่องสัญญาณในโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2	14
2.4 ขนาดของช่วงป้องกันในโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 (8 MHZ CHANNEL).....	15
2.5 ระยะของแถบป้องกันสำหรับโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ใน 8 MHZ CHANNEL RASTER.....	20
2.6 ค่ามุมของการหมุน.....	22
2.7 อัตราบิต (BIT RATE) สูงสุด และการตั้งค่าที่แนะนำสำหรับ 8 MHZ, 32K 1/128, PP7 (จาก TS 102 831).....	24
2.8 ค่า RAW อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวนสำหรับ GAUSSIAN CHANNEL (AWGN CHANNEL) (จากตารางที่ 4 ใน TS 102 831).....	30
2.9 Correction factors: B (Pilot boots) และ C (Real channel estimation). ** B ถูกปัดทศนิยม 1 ตำแหน่ง.....	31
2.10 การลดลงของ ค่าอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวนที่เพิ่มเติม ค่าอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อ สัญญาณรบกวนสำหรับค่าอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวนจาก 15 ถึง 32....	31
2.11 อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน ความผิดพลาดที่วัดได้หลังรีดโซโลมอนสำหรับ DVB-T2 PP2 32k แบบดิววิซปกติ GI 1/8	33
2.12 ค่า DELTA ของ RICEAN และ STATIC RAYLEIGH CHANNEL ที่อ้างอิง GAUSSIAN CHANNEL.....	35
2.13 ค่า C/N QEF สำหรับ DVB-T2 PP2 32K NORMAL BW GI 1/8.....	37
2.14 ค่า RAW (C/N) ₀ ที่ต้องการให้บรรลุ BER = 1×10^{-7} หลังจาก LDPC DECODING LDPC BLOCK LENGTH: 64800 BITS (จาก [TS 102 831]).....	39
2.15 การลดลงของอัตราส่วนรหัสที่ขึ้นกับอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวนสำหรับ 0 dB echo โปรไฟล์.....	40
2.16 จำนวนของสัญลักษณ์ P2 ต่อเฟรมข้อมูล DVB-T2 ในฟังก์ชันโหมด FFT.....	42
3.1 คุณสมบัติของสายอากาศภาครับ.....	57
3.2 พารามิเตอร์ของการหาตำแหน่งในพื้นที่จริงภายนอกอาคาร.....	62
3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	64
3.4 กำลังส่งของเครื่องส่ง.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.1 ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยของแต่ละ MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร และ 6 เมตร โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด.....	92
4.2 ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร และ 6 เมตร โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด.....	92
4.3 ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยของแต่ละ MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร โดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว.....	94
4.4 ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยของแต่ละ MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร โดยใช้ อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว.....	94
4.5 ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร และ 6 เมตร โดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว.....	94
4.6 ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยของแต่ละ MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร และ 6 เมตร โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลีน.....	97
4.7 ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร และ 6 เมตร โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลีน.....	98
4.8 ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยของแต่ละ MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร โดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลีน.....	100
4.9 ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยของแต่ละ MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร โดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลีน.....	100
4.10 ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร และ 6 เมตร โดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลีน.....	101
4.11 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร และ 6 เมตรโดยการใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดที่ไม่ใช่และใช้อัลกอริทึมแบบคลีน.....	102
4.12 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดจำนวน k ตัวกรณีไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน และกรณีใช้อัลกอริทึมแบบคลีน.....	104
5.1 การเปรียบเทียบความแม่นยำของการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีนและกรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน.....	110

สารบัญรูป

ภาพที่	หน้า
2.1 ระบบโทรทัศน์ที่ใช้งานอยู่ทั่วโลก.....	7
2.2 โครงสร้างโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2.....	7
2.3 การป้องกันข้อผิดพลาดโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2.....	13
2.4 โครงสร้างการป้องกันข้อผิดพลาดโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2.....	13
2.5 ความกว้างของช่องสัญญาณในโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2.....	14
2.6 สัญลักษณ์และช่วงป้องกันในโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2.....	15
2.7 สเปกตรัมของแถบป้องกันของโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2.....	17
2.8 สเปกตรัมของ OFDM.....	17
2.9 การเปรียบเทียบขอบของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ในโหมด 32K และ 1K.....	18
2.10 การเปรียบเทียบขอบของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ในโหมด 32K โหมดขยายคลื่นพาห์ กับ โหมดคลื่นพาห์ปกติ.....	18
2.11 การเปรียบเทียบภาพรวมของขอบสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ในโหมด 32K โหมดขยายคลื่นพาห์ กับ โหมดคลื่นพาห์ปกติ.....	19
2.12 แบบรูปการมอดูเลชันที่สามารถใช้งานได้ในระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดิน ระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 (QPSK, 16QAM, 64QAM และ 256QAM ตามลำดับ).....	19
2.13 การแมปเซลล์.....	21
2.14 แผนภาพคอนสเทลเลชันที่ถูกหมุน.....	21
2.15 การแยกกันเป็นอิสระระหว่าง I channel และ Q channel ด้วยการหมุนแผนภาพ คอนสเทลเลชัน.....	22
2.16 การแมปบั้งของการหมุนแผนภาพคอนสเทลเลชันและการดีเลย์ Q channel.....	22
2.17 การดีเลย์ Q channel ระหว่างเซลล์.....	22
2.18 อัตราบิต (Bit Rate)สูงสุด และ บิตเรทสำหรับการตั้งค่าที่แนะนำ ด้วย 8 MHz แบนด์วิธ และ 32k PP7 (จาก TS 102 831)	23
2.19 การลดลงของอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน.....	34
2.20 โครงสร้างเฟรมข้อมูลของโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2.....	41
2.21 การเปลี่ยนแปลงการเข้ารหัสและการมอดูเลชัน.....	42
2.22 สายอากาศสำหรับโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ชนิดติดตั้งบนหลังคา.....	43
2.23 สายอากาศและเครื่องรับสำหรับโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ชนิดพกพา และเคลื่อนที่.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้เผยแพร่เป็นการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.24 ภาพเปรียบเทียบระหว่างความคมชัดแบบสูงและความคมชัดแบบมาตรฐาน.....	44
2.25 โครงสร้างของ MPEG-4/HE-AACv2.....	44
2.26 กระบวนการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคสแกนลายนิ้วมือ.....	49
2.27 ขั้นตอนการฝึกฝน.....	49
2.28 ขั้นตอนการทดสอบ.....	50
2.29 อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัว.....	51
2.30 การสแกนลายนิ้วมือบนพื้นฐานของเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล.....	52
2.31 การใช้อัลกอริทึมแบบคลื่นลดสัญญาณรบกวนแสดงให้เห็นสัญญาณที่ฝั่งรับ.....	53
2.32 ระบบเชิงเส้น.....	53
2.33 การปรับปรุงคลื่นอัลกอริทึม.....	54
2.34 บล็อกไดอะแกรมของการจำลองการส่งผ่านของโทรศัพท์เคลื่อนที่ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 สำหรับระบบการหาตำแหน่ง ในขั้นตอนการฝึกฝน.....	54
2.35 บล็อกไดอะแกรมของการจำลองการส่งผ่านของโทรศัพท์เคลื่อนที่ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 สำหรับระบบการหาตำแหน่ง ในขั้นตอนการทดสอบ.....	55
3.1 สายอากาศยี่ห้อ EMCO Model รุ่น 3121C.....	56
3.2 เครื่องวิเคราะห์แถบความถี่.....	57
3.3 แบบจำลองและการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง.....	58
3.4 ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับด้วยเว็บไซต์ระบบตรวจสอบพื้นที่ ครอบคลุมสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล.....	59
3.5 บล็อกไดอะแกรมของการทดลองหาตำแหน่ง.....	60
3.6 กำหนดตำแหน่งการวัด 121 ตำแหน่ง ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร.....	61
3.7 กำหนดตำแหน่งการวัด 121 ตำแหน่ง ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร.....	61
3.8 การตั้งค่าเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่และวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ.....	62
3.9 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองการส่งสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล ด้วยอัลกอริทึมแบบคลื่นสำหรับระบบการหาตำแหน่งในกระบวนการสร้างฐานข้อมูล.....	63
3.10 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองการส่งสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล ด้วยอัลกอริทึมแบบคลื่นสำหรับระบบการหาตำแหน่งในกระบวนการหาตำแหน่ง.....	64
4.1 บล็อกไดอะแกรมของการประเมินผลการทดลองวิจัย.....	66
4.2 การวัดความแรงสัญญาณที่ได้รับด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม.....	67
4.3 แสดงข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับในแต่ละตำแหน่ง.....	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.4 ความแรงของสัญญาณที่ได้รับทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร.....	68
4.5 ความแรงของสัญญาณที่ได้รับทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร.....	68
4.6 ความแรงของสัญญาณที่ได้รับของ MUX 1 ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร.....	69
4.7 ความแรงของสัญญาณที่ได้รับของ MUX 1 ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร.....	70
4.8 ความแรงของสัญญาณที่ได้รับของ MUX 2 ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร.....	71
4.9 ความแรงของสัญญาณที่ได้รับของ MUX 2 ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร.....	71
4.10 ความแรงของสัญญาณที่ได้รับของ MUX 3 ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร.....	72
4.11 ความแรงของสัญญาณที่ได้รับของ MUX 3 ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร.....	73
4.12 ความแรงของสัญญาณที่ได้รับของ MUX 4 ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร.....	74
4.13 ความแรงของสัญญาณที่ได้รับของ MUX 4 ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร.....	74
4.14 ความแรงของสัญญาณที่ได้รับของ MUX 5 ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร.....	75
4.15 ความแรงของสัญญาณที่ได้รับของ MUX 5 ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร.....	76
4.16 การเปรียบเทียบฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร.....	77
4.17 การเปรียบเทียบฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร.....	77
4.18 การเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร.....	78
4.19 การเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร.....	79
4.20 การสูญเสียเชิงวิถีทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร.....	80
4.21 การสูญเสียเชิงวิถีทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร.....	80
4.22 ช่องสัญญาณการตอบสนองอิมพัลส์ของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ที่ได้รับก่อนอัลกอริทึมแบบคลีนและหลังอัลกอริทึมแบบคลีน.....	81
4.23 ความแรงสัญญาณที่ได้รับของ MUX 1 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลีนที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร.....	83
4.24 ความแรงสัญญาณที่ได้รับของ MUX 1 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลีนที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร.....	83
4.25 ความแรงสัญญาณที่ได้รับของ MUX 2 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลีนที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร.....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาหรือการเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นาเปไซบระเขชนดานการคา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.26 ความแรงสัญญาณที่ได้รับของ MUX 2 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลิ่นที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร.....	85
4.27 ความแรงสัญญาณที่ได้รับของ MUX 3 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลิ่นที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร.....	86
4.28 ความแรงสัญญาณที่ได้รับของ MUX 3 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลิ่นที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร.....	86
4.29 ความแรงสัญญาณที่ได้รับของ MUX 4 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลิ่นที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร.....	87
4.30 ความแรงสัญญาณที่ได้รับของ MUX 4 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลิ่นที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร.....	88
4.31 ความแรงสัญญาณที่ได้รับของ MUX 5 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลิ่นที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร.....	89
4.32 ความแรงสัญญาณที่ได้รับของ MUX 5 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลิ่นที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร.....	89
4.33 การเปรียบเทียบความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร	92
4.34 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตรและ 6 เมตร	95
4.35 การเปรียบเทียบความผิดพลาดระยะทางโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลิ่นที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตรและ 6 เมตร	98
4.36 การเปรียบเทียบความผิดพลาดระยะทางโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว ร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลิ่นที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตรและ 6 เมตร.....	101
4.37 การเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดกรณีที่ใช้และไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลิ่น.....	103
4.38 การเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว กรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลิ่น และกรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลิ่น.....	104
4.39 การเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยโดยใช้เทคนิคสแกนลายนิ้วมือกรณีที่ไม่ใช้และใช้อัลกอริทึมแบบคลิ่น.....	105
5.1 แบบจำลองการทดลองหาตำแหน่งโดยปรับระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและพื้นที่.....	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยีการออกอากาศ และการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลนั้น ที่ถูกนำมาใช้งานในประเทศไทยคือ DVB-T2 (Digital Video Broadcasting Terrestrial – Second Generation) ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ETSI EN 302 755 [1] ได้ถูกนำมาใช้งานในการให้บริการแก่ประชาชน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัยที่สุด และมีประสิทธิภาพสูงที่สุด ณ ขณะนี้ โดยมีจุดเด่นคือ สัญญาณมีความคงทนต่ออุปสรรคต่าง ๆ และมีระบบการเข้ารหัสสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูง และมีความจุช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถส่งออกอากาศจำนวนช่องโทรทัศน์ได้มากขึ้น และมีระบบความคมชัดสูงเพิ่มเข้ามาทำให้สามารถรองรับระดับความคมชัดต่าง ๆ ได้ดังนี้โทรทัศน์ระดับความคมชัดมาตรฐาน (SDTV) โทรทัศน์ระบบความคมชัดสูง (HDTV) [2] และโทรทัศน์ระบบความคมชัดสูงพิเศษ (UHD) [3] โดยผู้ให้บริการแต่ละรายสามารถเพิ่มช่องโทรทัศน์เข้าไปได้หลากหลายช่อง และระดับความคมชัดที่หลากหลายเช่นกัน โดยแต่ละช่องโทรทัศน์นั้นสามารถตั้งค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันออกไปได้ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม และระดับของคุณภาพของสัญญาณและการให้บริการ รวมทั้งระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ยังสามารถให้บริการได้ทั้งการรับสัญญาณแบบประจำที่ พกพา และแบบเคลื่อนที่อีกด้วย

ข้อดีของระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 อีกอย่างหนึ่งคือ ที่ภาครับต้องการระดับของอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน (Carrier to Noise Ratio) ที่ไม่สูง [4] ส่งผลให้ที่ภาคส่งไม่ต้องใช้กำลังส่งสูงมากเกินไปจนความจำเป็นดังเช่นระบบแอนะล็อกเดิม

ในปัจจุบันโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลถูกพัฒนา และนำมาใช้งานเพื่อที่จะส่งออกอากาศช่องรายการโทรทัศน์ และมีหลายฟังก์ชันเพิ่มเติมการทำงานที่ได้รับการพัฒนาขึ้น ซึ่งหนึ่งในฟังก์ชันเพิ่มเติมนั้นก็คือการนำสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลมาใช้งานเป็นระบบระบุตำแหน่ง และข้อดีของการนำโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลมาใช้งานเป็นระบบระบุตำแหน่งมีหลายประการ ไม่ว่าจะเป็น การให้พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณที่กว้าง และครอบคลุมทั้งในพื้นที่นอกอาคารและภายในอาคาร เพื่อที่จะแก้ปัญหาคุณภาพสัญญาณของระบบระบุตำแหน่งด้วยสัญญาณดาวเทียม (Global Positioning System : GPS) ระบบระบุตำแหน่งโดยใช้สัญญาณดาวเทียม ได้ถูกพัฒนาเติบโตอย่างมีนัยสำคัญในช่วงตลอดหลายปีที่ผ่านมา แต่ยังมีบางพื้นที่เช่น ภายในเมืองที่มีความแออัด และหนาแน่นสูง หรือแม้กระทั่งภายในอาคาร ระบบนำทางโดยใช้สัญญาณดาวเทียมนั้นประสบปัญหาคุณภาพสัญญาณต่ำ หรือไม่สามารถรับสัญญาณได้ ซึ่งการใช้สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลนั้นเป็นหนึ่งในสัญญาณของโอกาส (Signal of Opportunity : SoOP) ซึ่งในปัจจุบันนี้สัญญาณของ

โอกาสมีหลากหลายสัญญาณ เช่น สัญญาณวิทยุ เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นเพื่อศึกษาความเป็นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ในการนำเอาสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล ซึ่งในประเทศไทยได้นำมาใช้งานทดแทนระบบแอนะล็อกเดิม ซึ่งในประเทศไทยได้เลือกใช้โทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลในมาตรฐาน DVB-T2 หรือ โทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2

การระบุตำแหน่งโดยใช้สัญญาณของโอกาส [5-28] คือ หนึ่งในการใช้งานระบบระบบตำแหน่งโดยการไม่ใช้สัญญาณดาวเทียม สัญญาณเหล่านี้สามารถที่จะเป็นสัญญาณวิทยุอะไรก็ได้ ที่ถูกออกแบบมาใช้งานสำหรับการสื่อสารหรือการกระจายภาพ และเสียงมากกว่าการนำมาใช้งานเป็นระบบระบุตำแหน่ง แต่เนื่องจากคุณภาพสัญญาณ และพื้นที่ให้บริการที่พอเพียง และกำลังของสัญญาณที่ค่อนข้างสูงจึงสามารถที่จะสอดแทรกเข้าไปในอาคารได้ และจุดเด่นประการหลักของการนำสัญญาณของโอกาสมาใช้งานเป็นระบบระบุตำแหน่งนั้นก็คือ ไม่จำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม ทั้งที่ภาครับ และภาคส่ง

การศึกษาเรื่องการระบุตำแหน่งโดยการไม่ใช้สัญญาณของโอกาสในการศึกษาครั้งนี้ โดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ ซึ่งมีกระบวนการการคิดคล้ายกับการสแกนลายนิ้วมือมนุษย์ โดยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ที่สนใจไว้ในฐานข้อมูลเพื่อเก็บไว้เป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่ง หลังจากนั้นในขั้นตอนที่สองจะทำการใช้ข้อมูลพารามิเตอร์ของตำแหน่งเป้าหมายหรือตำแหน่งที่ต้องการทราบเปรียบเทียบกับข้อมูลในฐานข้อมูลที่เก็บไว้ในขั้นตอนแรกเพื่อทำการคาดคะเนตำแหน่งเป้าหมาย อย่างไรก็ตามในการเปรียบเทียบข้อมูลนั้นจะใช้อัลกอริทึมในการตัดสินใจร่วมด้วย เช่น อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดจำนวน k ตัว เป็นต้น การระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือนั้นให้ความแม่นยำ และเที่ยงตรงสูงแต่ก็ยังมีข้อเสียคือใช้เวลาค่อนข้างมากในการคาดคะเนตำแหน่งเป้าหมาย

อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นวิธีการหนึ่งทำการแบ่งข้อมูลที่มีลักษณะใกล้เคียงกันไว้ด้วยกันเป็นกลุ่ม โดยจะแบ่งออกเป็นสองลักษณะคือการแบ่งกลุ่มแบบโครงสร้างลำดับชั้น และการแบ่งกลุ่มแบบแบ่งพวก การแบ่งกลุ่มแบบโครงสร้างลำดับชั้นเป็นอัลกอริทึมที่นิยมใช้ในการจัดกลุ่มสำหรับกรณีที่มีข้อมูลไม่มากนัก โดยไม่จำเป็นต้องกำหนดจำนวนกลุ่มที่ต้องการแบ่งก่อน โดยขั้นตอนในการแบ่งกลุ่มแบบลำดับชั้นนั้นต้องมีการพิจารณาความคล้ายคลึงกัน และหลักเกณฑ์ในการรวมกลุ่มด้วย สำหรับการแบ่งกลุ่มแบบแบ่งพวกนั้นเป็นที่นิยมอย่างมากสำหรับการแบ่งกลุ่มข้อมูลที่มีปริมาณมาก เนื่องจากสามารถประมวลผลได้เร็ว การแบ่งกลุ่มนี้จะเป็นการกระทำในขั้นตอนการฝึกฝนของการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ รวมถึงในขั้นตอนการทดสอบนั้นจะทำการเลือกกลุ่ม และคาดคะเนตำแหน่งโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลในกลุ่มที่ได้ทำการเลือกไว้เท่านั้น ทำให้เวลาที่ใช้ในกระบวนการคาดคะเนตำแหน่งทำได้เร็วขึ้น

การใช้งานในแต่ละประเภทสัญญาณของโอกาสที่ได้ศึกษามาครั้งนี้ การใช้สัญญาณ GSM [6-9] การใช้สัญญาณ FM [10-12] การใช้สัญญาณ Wi-Fi [8, 13-14] สัญญาณโทรทัศน์ระบบแอนะล็อกและดิจิทัล [15-21]

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษา และประเมินผลความแม่นยำของการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับคลื่นอัลกอริทึมบนพื้นฐานของสัญญาณโทรศัพท์ศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล ทั้งในส่วนของความแม่นยำ ความเพี้ยน ระดับของสัญญาณที่ภาครับ ทั้งในด้านของสถิติ ไม่ว่าจะ เป็นค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความแปรปรวน และผลของการใช้งานที่ได้ผ่านการทดสอบ ทางด้านสถิติอีกด้วย

1.3 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาเทคโนโลยีการหาตำแหน่งโดยใช้สัญญาณของโอกาส โดยนำเอาสัญญาณโทรศัพท์ศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่สอง มาทำการศึกษาทดลองวิจัย
- 2) เพื่อศึกษา และวิเคราะห์คุณลักษณะของช่องสัญญาณการส่งผ่านของโทรศัพท์ศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 โดยใช้ทฤษฎี และหลักการการส่งผ่านของฟรีส (FRIIS TRANSMISSION FORMULA)
- 3) เพื่อการออกแบบ และทำการวัดความแม่นยำในการหาตำแหน่งโดยใช้สัญญาณโทรศัพท์ศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สองร่วมกับคลื่นอัลกอริทึม
- 4) เพื่อทำการประเมินผล และเปรียบเทียบความแม่นยำของการหาตำแหน่งที่ได้ใช้สัญญาณโทรศัพท์ศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สองด้วยคลื่นอัลกอริทึม และเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้ว

1.4 สมมติฐาน

สมมติฐานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณา ประสิทธิภาพของการหาตำแหน่งโดยการนำเอาสัญญาณของโอกาส ซึ่งมีหลากหลายสัญญาณ เช่น สัญญาณวิทยุ สัญญาณโทรศัพท์ และสัญญาณโทรศัพท์ เป็นต้น โดยมุ่งเน้นการศึกษาวิจัยไปที่สัญญาณโทรศัพท์ศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 เพราะในปัจจุบันนั้น ระบบดิจิทัลได้เข้ามาทดแทนระบบการออกอากาศโทรศัพท์แบบเดิมซึ่งคือระบบแอนะล็อก ซึ่งมาการครอบคลุมของสัญญาณทั่วถึง และสามารถรับสัญญาณได้ทั้งภายนอกอาคาร และภายในอาคาร ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้เห็นถึงความสำคัญของการหาตำแหน่งโดยใช้สัญญาณโทรศัพท์ศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลมาตรฐานขั้นที่ 2 ที่กำลังให้บริการอยู่ในประเทศไทย โดยแบบแผนที่ทำการศึกษาทดลอง และนำเสนอทำให้ผู้วิจัยสามารถนำเอาคลื่นอัลกอริทึมมาใช้งานเพื่อลดสัญญาณลดทอน และเพิ่มความแม่นยำได้มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในแนวทางการศึกษาวิจัยของวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำเสนอวิธีการหาตำแหน่งโดยใช้สัญญาณแห่งโอกาส โดยเลือกสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง ที่กำลังให้บริการอยู่ในปัจจุบันร่วม การคลื่นอัลกอริทึมเพื่อลดสัญญาณรบกวน และเพื่อให้การระบบตำแหน่งมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยการศึกษาทดลอง ตรวจสอบ และบันทึกผลการทดลอง โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายโทรทัศน์ ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง จากนั้นนำผลการทดลองมาประเมินผล และทำการเปรียบเทียบ เพื่อทำการประเมินคุณภาพของการระบบตำแหน่งโดยใช้สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2

1.6 ขอบเขตการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้ ได้ทำการศึกษา และประเมินผลประสิทธิภาพของการระบุตำแหน่งโดยใช้ สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สองร่วมกับการลดสัญญาณรบกวนโดนครีคลื่นอัลกอริทึม ในพื้นที่เมืองที่มีตึกหนาแน่น และอยู่ในรูปของการแพร่กระจายคลื่นแบบ LOS (Line of Sight) โดย ทำการวัด และศึกษาทุกเครื่องส่งที่กำลังให้บริการอยู่ในปัจจุบัน

1.7 ขั้นตอนการศึกษา

จากแนวคิด และหลักการที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสรุปเป็นขั้นตอน การศึกษา โดยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีการหาตำแหน่ง และการประเมินผลความแม่นยำ และความ ผิดพลาดโดยใช้เทคนิคเสมือนสแกนลายนิ้วมือ จากนั้นจะกล่าวถึงหลักการกำจัดสัญญาณรบกวนโดย ใช้หลักการคลื่นอัลกอริทึม ในส่วนของการวัดสัญญาณเพื่อหาตำแหน่ง ได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย โทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่สอง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย และรูปแบบวิธีการวัดโดยยึด หลักตามแบบแผนที่ออกแบบไว้ ให้มีความเหมาะสม และใช้งานได้จริง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่ง เนื้อหาออกเป็น 5 บท คือ

บทที่ 1 กล่าวถึง บทนำ ซึ่งประกอบไปด้วย ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา ความ มุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐาน ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขต การศึกษา และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึง เทคนิคการระบุตำแหน่ง โดยใช้เทคนิคเสมือนสแกนลายนิ้วมือ ซึ่งประกอบ ไปด้วย ขั้นตอนการฝึกฝน ซึ่งเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลของสัญญาณซึ่งแสดงถึงเอกลักษณ์เฉพาะของ ตำแหน่งเพื่อนำมาสร้างฐานข้อมูลในการหาตำแหน่ง และขั้นตอนการทดสอบซึ่งเป็นขั้นตอนสำหรับใช้ ในการระบุตำแหน่ง หลังจากนั้นจะกล่าวถึงการวิเคราะห์ความแม่นยำของเทคนิคเสมือนสแกน ลายนิ้วมือ และการใช้คลื่นอัลกอริทึมเพื่อลดสัญญาณรบกวน

บทที่ 3 กล่าวถึงรูปแบบการตรวจวัด และขั้นตอนการวิจัย ประกอบด้วย กล่าวนำ รูปแบบใน การวัด สายอากาศที่ใช้ในการทดลอง เครื่องมือวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์สำหรับโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่สอง พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง พารามิเตอร์ที่ผู้ให้บริการใช้ตามข้อกำหนดของสำนักงาน กสทช. และสรุป

บทที่ 4 กล่าวถึง ผลการวิจัย และการวิเคราะห์คุณลักษณะ และประสิทธิภาพของการทำตำแหน่งโดยใช้สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่สอง ร่วมกับการใช้งานคลื่นอัลกอริทึมประกอบด้วย กล่าวนำ ผลการวิเคราะห์ และสรุป

บทที่ 5 บทสรุปงานวิจัย และแนวทางวิจัยในอนาคต ประกอบด้วย กล่าวนำ สรุปผลการศึกษาทดลองวิจัย และข้อเสนอแนะแนวทางการวิจัยในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

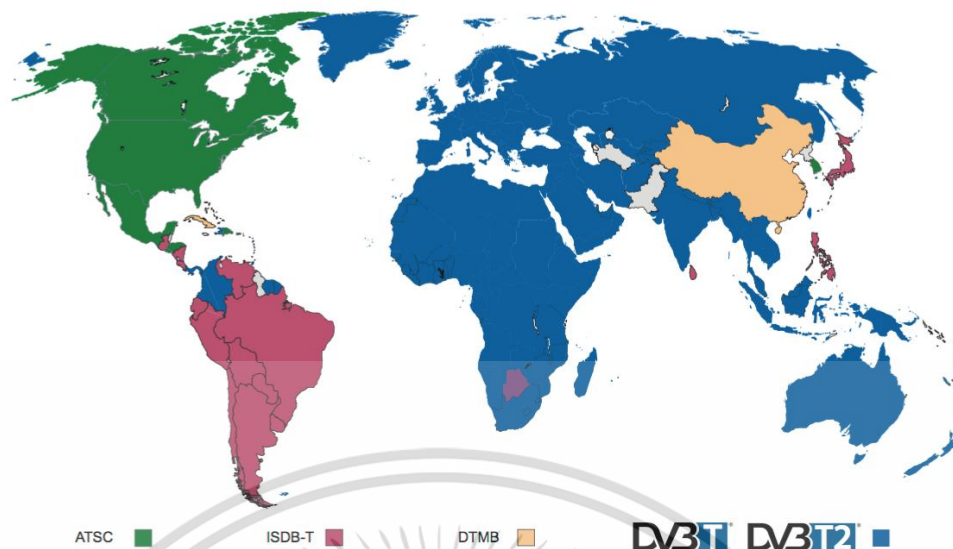
จากความเป็นมาและความสำคัญของของปัญหา รวมถึงความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษาดังที่ได้กล่าวไปในบทที่ 1 ในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการของระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 และทฤษฎีหลักการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนสแกนลายนิ้วมือ และอัลกอริทึมแบบคลื่น โดยได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของโทรทัศน์ภาคพื้นดิน ระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ทั้งในส่วนของความเป็นมา พารามิเตอร์ที่ให้บริการในปัจจุบัน ซึ่งถูกกำหนดโดย สำนักงาน กสทช. ซึ่งเป็นหน่วยงานกำหนด และควบคุมมาตรฐานการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ในประเทศไทย และจะได้กล่าวถึงหลักการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนสแกนลายนิ้วมือ และอัลกอริทึมแบบคลื่นจะอธิบายถึงหลักการ และกระบวนการทำงาน

2.2 ประวัติความเป็นมา

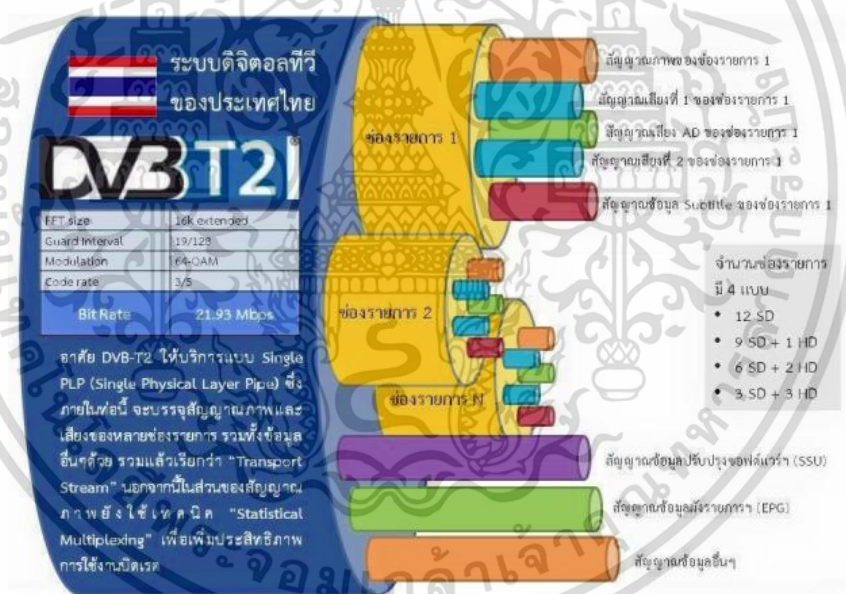
เทคโนโลยีการส่งออกอากาศระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 (DVB-T2) ที่ได้ถูกนำมาใช้ทดแทนระบบการออกอากาศโทรทัศน์ระบบแอนะล็อกเดิม ซึ่ง DVB-T เป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาโดย DVB Project ในปี 2006 จุดประสงค์หลักเพื่อที่จะเพิ่มความจุ (Capacity) และความยืดหยุ่น (Flexibility) ให้กับระบบ DVB-T ซึ่งในเวอร์ชันแรกของโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล (DVB-T) ถูกประกาศโดย ETSI ในชื่อ EN 302 755 ในปี 2009 [1]

ระบบการออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ที่ถูกพัฒนาต่อจาก DVB-T ซึ่งการกำเนิดขึ้นของระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 นั้นได้รับการผลักดันจาก Higher Spectral Efficiency เพื่อให้สามารถเปลี่ยนถ่ายจากระบบแอนะล็อกเดิมได้ เพื่อให้สามารถเปลี่ยนถ่ายจากระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 1 (DVB-T) เดิมได้ และประสิทธิภาพสเปกตรัมที่สูงขึ้น (Higher Spectral Efficiency) หมายถึง ด้วยจำนวนสเปกตรัม (Spectrum) ที่เท่ากัน สามารถที่จะส่งออกอากาศช่องโทรทัศน์ได้มากกว่า หรือ สามารถที่จะส่งออกอากาศจำนวนช่องเท่าเดิมได้ในคุณภาพของสัญญาณภาพและเสียงที่สูงกว่า และคุณภาพของพื้นที่ให้บริการที่ดีกว่า

ในเงื่อนไขของการพัฒนาการเข้ารหัสแหล่งที่มา (Source Coding : MPEG-4) ถูกนำมาใช้งาน อัตราขยายในการส่งออกอากาศนั้นเป็นที่น่าสังเกต ยกตัวอย่างเช่น สามารถที่จะส่งออกอากาศหลายโปรแกรม หรือ ช่องได้ภายใน 1 มัลติเพล็กซ์เซอร์ ในขณะที่ยังคงคุณภาพของสัญญาณเสียงและภาพอยู่เช่นเดิม หรือ สามารถที่จะส่งได้หลายช่องสัญญาณหรือโปรแกรมในคุณภาพแบบมาตรฐานความคมชัดสูง (HD : High Definition) [17]



รูปที่ 2.1 ระบบโทรทัศน์หลายมาตรฐานที่ใช้งานอยู่ทั่วโลก [9]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 [19]

และอีกประการหนึ่งคือ พื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณที่ถูกส่งออกจากเครื่องส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 สามารถที่จะเพิ่มขึ้นอย่างมาก ในขณะที่ยังคงคุณลักษณะของเครื่องส่ง เช่น รูปแบบการรับสัญญาณ คุณภาพของสัญญาณภาพ และ จำนวนของช่องสัญญาณ

ในปี ค.ศ. 2006 DVB ตัดสินใจที่จะศึกษาทางเลือกสำหรับการอัปเดตระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลมาตรฐานหรือขั้นที่ 1 โดยตั้งชื่อกลุ่มการศึกษานี้อย่างเป็นทางการว่า TM-T2 (Technical Module on Next Generation DVB-T) เพื่อที่จะพัฒนาโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดิจิทัลชั้นที่ 2 เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการในเชิงพาณิชย์และเทคโนโลยี ในเฟสแรกของโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ถูกสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 2007 เพื่อที่จะทำให้การรับสัญญาณแบบประจำที่และแบบพกพาได้ดีที่สุดโดยใช้ระบบสายอากาศเดิม เนื่องจากในเฟสที่ 2 และ 3 จะทำการศึกษาเรื่องการให้บริการข้อมูลที่มีคุณภาพสูง(ด้วยโครงสร้างสายอากาศใหม่) และ การรับสัญญาณแบบเคลื่อนที่ ระบบใหม่นี้จะให้ความจุช่องสัญญาณที่เพิ่มขึ้นอย่างน้อย 30% เมื่อเทียบกับระบบเดิม ภายใต้เงื่อนไขการใช้งานช่องสัญญาณที่โทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 1 ใช้งานอยู่

สถานีโทรทัศน์ BBC ITV Channel 4 และ Channel 5 ได้บรรลุข้อตกลงร่วมกับหน่วยงานที่ออกข้อกำหนดคือ OFCOM ประเทศอังกฤษเพื่อที่จะเปลี่ยนผู้ให้บริการ มัลติเพล็กซ์เซอร์ 1 รายในประเทศอังกฤษไปใช้งานระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 เพื่อที่จะเพิ่มความจุช่องสัญญาณสำหรับโทรทัศน์ความคมชัดสูงหรือ (High Definition Television : HDTV) ผ่านทางการออกอากาศภาคพื้นดิน โดยพวกเขาคาดหวังภูมิภาคแรกที่ให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ที่ Granada ในเดือน พ.ย. ปี ค.ศ. 2009 และ OFCOM ได้ประกาศใช้งานโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ในวันที่ 3 เม.ย. ค.ศ. 2008

2.3 ลักษณะโดยทั่วไปของโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2

ในระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 1 นั้นได้ใช้วิธีการมอดูเลตสัญญาณแบบ COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) แต่ด้วยแผนภาพคอนสเทลเลชัน (Constellation Diagram) ที่เปลี่ยนแปลงและขยายออกไป การป้องกันข้อผิดพลาดที่ถูกนำมาใช้งานคือ วิธีแก้ไขข้อผิดพลาดแบบไปข้างหน้า (forward Error Correction : FEC) ถูกกำหนดอยู่ใน DVB-S2 เช่น การเข้ารหัส BCH ที่ส่วนนอกของการป้องกันข้อผิดพลาด และการเข้ารหัส LDPC (Low Density Parity Check Codes) ที่ส่วนในของการป้องกันข้อผิดพลาดการด้วยการสับเปลี่ยนบิต (Bit Interleaving)

โครงสร้างของการแก้ไขข้อผิดพลาดแบบไปข้างหน้า ทั้งหมดสอดคล้องกับโครงสร้างเฟรมของโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมชั้นที่ 2 (DVB-S2) รหัส LDPC เป็นที่รู้จักตั้งแต่ปี ค.ศ.1960 แต่ต้องใช้กำลังในการประมวลผลในเครื่องรับสัญญาณมาก และสามารถใช้งานได้เมื่อเร็ว ๆ นี้ เนื่องจากเทคโนโลยีชิปประมวลผลที่พัฒนาขึ้นมา ตั้งแต่ช่วงฤดูใบไม้ผลิของปี ค.ศ. 2006 จนถึงเดือน มี.ค. ปี ค.ศ. 2008 มีการประชุมโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 จำนวน 7 ครั้ง นานหลายวัน การประชุมในเดือน มีนาคม ปี ค.ศ. 2008 ได้มีการนำเอกสารเบื้องต้นมาใช้ซึ่งได้รับการตีพิมพ์โดย ETSI เป็นฉบับร่างเมื่อเดือน พ.ค. ปี ค.ศ. 2008 และในฤดูใบไม้ร่วง ปี ค.ศ. 2008 ได้มีการนำแนวทางการดำเนินงานและ T2-MI (T2-Modulator Interface) มาใช้

โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 อาจจะมาช้าหรือเร็วเกินไปสำหรับหลาย ๆ ประเทศซึ่งขึ้นอยู่กับมุมมอง เนื่องจากโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 1 ได้รับการแนะนำในประเทศเหล่านั้นแล้ว และการเปลี่ยนแปลงไปโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 อาจจะไม่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะในช่วงเวลานั้นหรือไม่อาจยอมรับได้ โครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 1 ในประเทศอังกฤษเป็นโครงข่ายแรกที่ใช้งานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 การก้าวกระโดดของเทคโนโลยีจากโทรทัศน์มาตรฐานความคมชัดปกติ (Standard Definition Television : SDTV) [17] ไปสู่โทรทัศน์มาตรฐานความคมชัดสูง (HDTV) [13] อาจเป็นเหตุผลที่เหมาะสมในการนำเสนอคู่ขนานของโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ในประเทศนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อการออกอากาศภาคพื้นดินเป็นสิ่งสำคัญที่นี่

ในประเทศต่าง ๆ เช่น เยอรมนี ซึ่งพื้นที่ครอบคลุมของการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินไม่ได้เป็นเส้นทางหลักมานานหลายปีแล้วโทรทัศน์มาตรฐานความคมชัดสูง [13] ภาคพื้นดิน และด้วยเหตุผลนี้โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 จึงดูเหมือนจะไม่มีผลใด ๆ ในขณะนี้ โดยทางหลักการ สถานการณ์ที่เหมาะสมสำหรับการนำโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 มาใช้งานสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

- เป็นประเทศที่ใช้โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 1 อยู่แล้ว
- ประเทศที่ยังคงใช้งานระบบแอนะล็อกทั่วประเทศ
- ประเทศที่ต้องการใช้ระบบใหม่ที่ไม่สามารถใช้งานได้ในโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 1

2.3.1 ทฤษฎีความจุของสัญญาณสูงสุด

อย่างไรก็ตามก่อนที่จะกล่าวถึงโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ในรายละเอียดขอบเขตทางทฤษฎีของ ช่องการส่งสัญญาณภาคพื้นดิน จะถูกนำมาพิจารณาเป็นอย่างแรก บนพื้นฐานของช่องสัญญาณขนาด 8 MHz พิจารณาไปที่เงื่อนไขการรับสัญญาณในรูปแบบต่าง ๆ จากการรับสัญญาณแบบพหุภายในอาคารไปจนถึงการรับสัญญาณประจำที่ด้วยสายอากาศแบบภายนอกโดยมีลักษณะที่รู้จักกันในชื่อโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 1 อัตราข้อมูลสูงสุดที่เป็นไปได้ในทางทฤษฎี ถูกแสดงไว้อย่างประมาณการโดย Shannon-Limit ผ่านทางสมการดังต่อไปนี้ ถ้าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise Ratio) มีค่าประมาณหรือมากกว่า 10 dB

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right);$$

ซึ่ง C = ความจุของสัญญาณ (Channel capacity)

B = แบนด์วิดท์ (Bandwidth)

SNR = อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise Ratio) (dB)

อัตราข้อมูลในช่องสัญญาณ 8 MHz ของโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 1 ถูกออกแบบสำหรับการรับสัญญาณแบบพหุภายในอาคารมีค่าดังต่อไปนี้

$$13.27 \text{ Mbit/s (16QAM, CR} = 2/3, g=1/4, \text{SFN, limit SNR} = 12 \text{ dB)}$$

และสำหรับการออกแบบโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 1 (DVB-T) สำหรับการรับสัญญาณแบบติดตั้งสายอากาศบนหลังคามีค่าดังต่อไปนี้

22.39 Mbit/s (64QAM, CR = $\frac{3}{4}$, g=1/4, SFN, limit SNR = 18 dB)

เป้าหมายของโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ให้การเพิ่มอัตราข้อมูลให้สูงกว่าเดิม 30%-50% จึงสามารถคาดหวังว่าเมื่อได้รับเงื่อนไขที่เทียบเท่าอัตราข้อมูลต่อไปนี้สามารถที่จะทำได้

ตารางที่ 2.1 ค่าความจุช่องสัญญาณสูงสุดที่ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) ที่แตกต่างกัน

SNR (dB)	Max channel capacity (Mbit/s)	Comment
10	26.7	
12	32	Poor portable indoor reception
15	40	Portable indoor reception
18	48	Good portable indoor reception

ตารางที่ 2.2 Channel Bandwidths for DVB-T and DVB-T2 [14]

DVB-T	DVB-T2
-	1.7 MHz
-	5 MHz
6 MHz	6 MHz
7 MHz	7 MHz
8 MHz	8 MHz
-	10 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับสัญญาณแบบพหุพาภายในอาคาร (SFN, long guard interval) 17.3 ถึง 19.9 Mbit/s

การรับสัญญาณแบบติดตั้งสายอากาศบนหลังคา (SFN, long guard interval) 29.1 ถึง 33.6 Mbit/s

โดยในระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 นั้นมีแบนด์วิธเพิ่มเข้ามาใหม่เมื่อเปรียบเทียบกับโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 1 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

การป้องกันข้อผิดพลาดเพียงอย่างเดียวก็สามารถทำให้ได้ความจุช่องสัญญาณเพิ่ม 30% และความสามารถเพิ่มเติม เช่น

- 16K และ 32K โหมด
- Extended carrier mode
- 256QAM Modulation
- The rotated Q-delayed constellation diagrams

2.4 ภาพรวมของโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2

- สามารถรองรับสัญญาณเข้า MPEG-2 ได้หลายสัญญาณ หรือ สัญญาณเบสแบนด์ทั่วไปไม่เกิน 255

- อัตราข้อมูลสูงขึ้นอย่างน้อย 30% เนื่องจากการพัฒนาการป้องกันข้อผิดพลาด BCH และ LDPC ที่ถูกใช้งานในระบบโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมชั้นที่ 2

- ความเข้ากันได้กับแผนความถี่ Geneva ปี ค.ศ. 2007 (8, 7, 6 MHz bandwidths)

- แบนด์วิธเพิ่มเติม 1.7 MHz และ 10 MHz

- การรับสัญญาณแบบประจำที่แต่ยังคงใช้งานแบบเคลื่อนที่

- COFDM

- 1K, 2K, 4K, 16K และ 32K โหมด

- Guard interval 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 19/256 และ 1/128

- รูปแบบการมอดูเลต QPSK, 16QAM, 64QAM และ 256QAM

- Q-delayed, Rotated constellation diagram

- โครงสร้างเฟรม RF ด้วยสัญลักษณ์ P1 และ P2 ที่จุดเริ่มต้นของเฟรม

- ความยืดหยุ่นของโครงสร้างไพลอต (Pilot) ที่คงที่และกระจาย

- การลด PAPR (Peak to Average Power Ratio) เช่นการลดปัจจัยสูงสุด (2 วิธีที่แตกต่างกัน)

- รหัสตัวแปรและการมอดูเลต (พารามิเตอร์ในการส่งสามารถที่จะถูกเปลี่ยนแปลงในการดำเนินงาน)

- การสลับทางเวลา (Time Interleaving)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การแบ่งช่วงเวลา (Time Slicing)
- ทางเลือกสำหรับหลักการ MISO (Multiple Input, Single Output)
- Inbuilt FEFs (Future Extension Frame) สำหรับส่วนต่อขยายในภายหลัง
- ทางเลือกเสริมสำหรับการสตรีมข้อมูล
- การแบ่งความถี่เวลา TFS (Time Frequency Slicing)

2.5 เบสแบนด์อินเตอร์เฟซ

เบสแบนด์อินเตอร์เฟซ (Baseband interface) ของโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลให้สัญญาณขาเข้าได้มากกว่า 1 สัญญาณ ในโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลนั้นไม่ได้มุ่งเป้าไปที่สัญญาณขาเข้าแบบ MPEG-2 เท่านั้น แต่ยังคงรองรับการใช้งาน Generic-stream ตามที่สัญญาณขาเข้าสามารถที่จะส่งเข้ามาได้ สูงสุดได้ถึง 255 Input stream ในเบื้องต้นสัญญาณสตรีมเหล่านี้ที่จะถูก Multiplexed เข้าด้วยกันด้วยมาตรฐาน T2-MI ซึ่งเป็นตัวมอดูเลชันของโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล สัญญาณสตรีมจะถูกรวมเข้าด้วยกันใน Playout center และ DVB-T2 Modulator จะถูกจ่ายให้เพียงแค่อันหนึ่งสัญญาณสตรีมผ่านทาง DVB-T2-MI คล้ายกับ ETI สตรีมใน DAB ข้อมูลสตรีมนี้จะถูกป้อนด้วยข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดสำหรับตัวมอดูเลเตอร์ นอกจากนี้ยังมีการประทับเวลาสำหรับการชิงโครโนส์โครงข่ายความถี่เดียว มีสองโหมดในโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ได้แก่ โหมด A = Single PLP (Physical Layer Pipe) และโหมด B = หลาย PLPs เฉพาะในกรณี Mode A เท่านั้นที่ขั้นตอนการประมวลผลทั้งหมดเกิดขึ้นใน modulator เองในขณะที่ในกรณีของ Mode B อินเตอร์เฟซ T2-MI จะทำงานตามตารางเวลาที่

มีคุณสมบัติพิเศษอย่างหนึ่งของโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ที่มีผลต่อการประมวลผลสัญญาณอินพุต ในโหมด B คุณสามารถทำงานกับการเข้ารหัสและการมอดูเลตตัวแปร และสามารถทำได้แบบไดนามิก ตัวอย่างเช่น ในโครงสร้างโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ถัดไปพารามิเตอร์การส่งอาจเปลี่ยนแปลงและอาจต้องมีการส่งสัญญาณแบบไดนามิก นี้จะกระทำในช่อง padding ของส่วนหัวเบสแบนด์ และมีทางเลือกร่วมของ PLP ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลสำหรับ PLP ทั้งหมดหรือบาง PLP ในโหมด B ความโดดเด่นเพิ่มเติมถูกสร้างขึ้นระหว่าง

- HEM = High Efficiency Mode (สำหรับ MPEG-2 transport stream และ GSE) และ
- NM = Normal Mode (เข้ากันได้กับ DVB-S2)

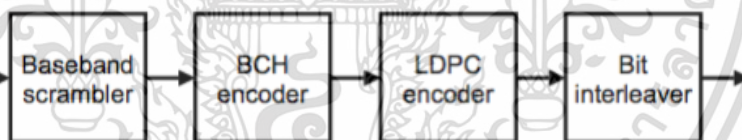
2.6 การแก้ไขข้อผิดพลาดแบบไปข้างหน้า

เช่นเดียวกันในโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมขั้นที่ 2 ในส่วนของการป้องกันข้อผิดพลาดที่ปรับเปลี่ยน ที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 ที่นำไปสู่อัตราขยายของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N) ที่มากขึ้นจนเข้าใกล้ Shannon-Limit โดยรวม อัตราการส่งข้อมูลสุทธิถูกเพิ่มขึ้นถึง 30%
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

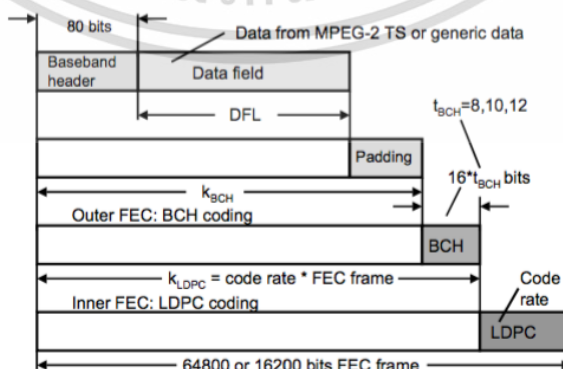
เช่นเดียวกับในโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมขั้นที่ 2 การป้องกันข้อผิดพลาดในโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ประกอบด้วย baseband scrambler, BCH-block encoder, LDPC-block encoder และตามด้วย Bit Interleaver ในส่วนของ มอดูเลเตอร์ของโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 โครงสร้างของเบสแบนด์ (baseband) ประกอบไปด้วย baseband header และ padding-block จะถูก scrambled แรก (baseband scrambler) และส่งไปยังการแก้ไขข้อผิดพลาดแบบไปข้างหน้า ซึ่งจะมีการเพิ่มรหัส BCH (Bose Chaudhuri Hoquenghem) ไว้ก่อน และส่งต่อไปยัง FEC บล็อก โดยจะมีการใส่ BCH เป็นอันดับแรก หลังจากนั้นการป้องกันข้อผิดพลาดเพิ่มเติม ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตรารหัส (Code rate) ที่สามารถเลือกได้จะถูกเพิ่มลงในตัวเข้ารหัส LDPC (Low Density Parity Check Code) อัตราอัตราที่เป็นไปได้คือ

- 1/2
- 3/5
- 2/3
- 3/4
- 4/5
- 5/6

โดยอัตรารหัส 1/2 หมายถึงการป้องกันข้อผิดพลาดสูงสุด และ อัตรารหัส 5/6 หมายถึงการป้องกันข้อผิดพลาดต่ำสุด



รูปที่ 2.3 การป้องกันข้อผิดพลาดโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 [14]



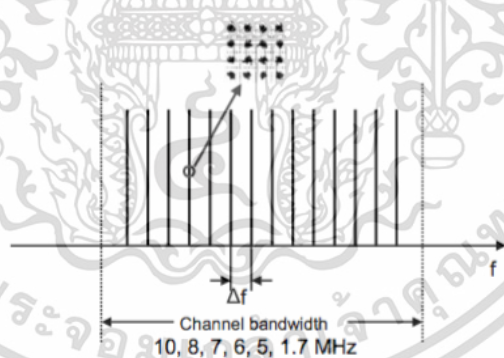
รูปที่ 2.4 โครงสร้างการป้องกันข้อผิดพลาดโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกับโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมชั้นที่ 2 คุณสามารถใช้โครงสร้างของการป้องกันข้อผิดพลาดแบบไปข้างหน้า (FEC) ตั้งแต่ระยะสั้น 16K จนถึงระยะ 64K ในโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ความแตกต่างของสมรรถนะการทำงานด้วย LDPC encoder Bit interleaver เกี่ยวข้องกับอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน (Carrier to Noise Ratio) ที่ต้องการอยู่ในระดับต่ำสุดและอยู่ในช่วงไม่กี่สิบ dB โครงสร้างของการป้องกันข้อผิดพลาดแบบไปข้างหน้า (FEC) แบบสั้นอาจเป็นประโยชน์สำหรับข้อมูลที่มีอัตราต่ำและแบบยาวจะดีกว่าสำหรับสตรีมข้อมูลที่มีอัตราสูงขึ้น อัตราข้อมูลที่เป็นไปได้ในโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 อยู่ระหว่าง 7.49 Mbit/s (QPSK, CR = 1/2) และ 50.32 Mbit/s (256QAM, CR = 5/6) [14]

2.7 พารามิเตอร์ COFDM

ในโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 นั้นสามารถรองรับแบนด์วิธของช่องสัญญาณที่ 1.7, 5, 6, 7, 8 และ 10 MHz ดังแสดงในรูปที่ 2.5 แบนด์วิธที่สัญญาณที่แท้จริงจะแคบลงเล็กน้อยเนื่องจากแถบป้องกันที่ด้านบนและด้านล่างของช่องโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ดังแสดงในตาราง 2.2 และที่นอกเหนือจากข้อยกเว้น (สัญลักษณ์ P1) ช่วงป้องกัน (Guard interval) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ยังเป็น cyclic prefix (CP) ในโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 นั่นคือการทำซ้ำของสัญลักษณ์ปลายในความยาวที่สอดคล้องกัน

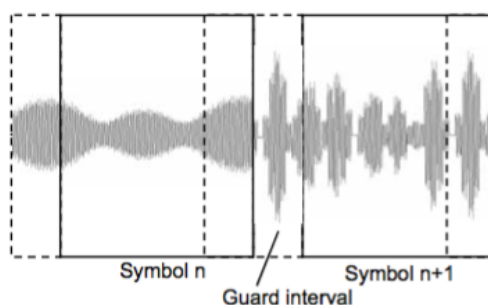


รูปที่ 2.5 ความกว้างของช่องสัญญาณในโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 [14]

ตารางที่ 2.3 ความกว้างของช่องสัญญาณในโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2

Bandwidth (MHz)	1.7	5	6	7	8	10
Elementary period [us]	71/131	7/40	7/48	1/8	7/64	7/80
Signal bandwidth [MHz]	1.54	4/76	5.71	6.66	7.61	9.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 สัญลักษณ์และช่วงป้องกันในโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 [14]

โหมด 16K และ 32K ถูกจัดเตรียมไว้เพื่อให้ได้ time overhead ที่น้อยลงและทำให้อัตราการรับส่งข้อมูลสูงขึ้น (Overhead 6% ในโหมด 32K, 25% ในโหมด 8K) โดยมีช่วงความปลอดภัย (Guard Interval) เท่ากัน ช่วงการป้องกันของโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 1 (DVB-T) ที่ยาวนานที่สุดอยู่ในช่วง 0.224 ms และมีค่าเท่ากับ 0.532 ms ในโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2, 32K, $g = 19/128$ ให้ระยะห่างของเครื่องส่งสัญญาณสูงสุด 160 กม ดังแสดงในตารางที่ 2.2 แบบด์วิทท์สัญญาณแคบ (7, 6, 5, 1.7 MHz) นำไปสู่สัญลักษณ์ที่มีความยาวมากยิ่งขึ้น และยังนำไปสู่ช่วงการป้องกันที่ยาวขึ้นอีกด้วย และด้วยความสามารถในการรักษาความปลอดภัยเหล่านี้ ทำให้โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 สามารถใช้โครงข่ายความถี่เดียว SFN (Single Frequency Network) ทั่วประเทศได้ โหมด 32K เป็นโหมดที่มีสัญลักษณ์ที่ยาวที่สุดและมี Overhead น้อยที่สุดในช่วงป้องกัน ในเวลาเดียวกันมันทำหน้าที่ในการใช้โครงข่ายความถี่เดียวที่ใหญ่ที่สุด อย่างไรก็ตามในโหมด 32K นั้นเนื่องจากระยะห่างของ Sub Carrier แคบมากดังนั้นโหมดที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานบนมือถือคือโหมด 1K ที่มีระยะห่างของคลื่นพาห่อย่อย (Sub Carrier) ที่กว้าง แต่ก็มีสัญลักษณ์ที่สั้นที่สุดด้วยดังนั้นจึงเป็นหนึ่งในที่เหมาะสมสำหรับการสร้างโครงข่ายความถี่เดียว (Single Frequency Network : SFN) ขนาดใหญ่

ตารางที่ 2.4 ขนาดของช่วงป้องกันในโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 (8 MHz Channel)

Mode with Symbol duration [ms]		$g=1/1$ 28	$g=1/$ 32	$g=1/$ 16	$g=19/2$ 56	$g=1$ /8	$g=19/1$ 28	$g=1$ /4
32K (3.584ms)	Duration [ms]	0.028	0.112	0.224	0.266	0.44 8	0.532	-
	Distance [km]	8.4	33.6	67.2	79.7	134. 3	159.5	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ขนาดของช่วงป้องกันในโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 (8 MHz Channel)

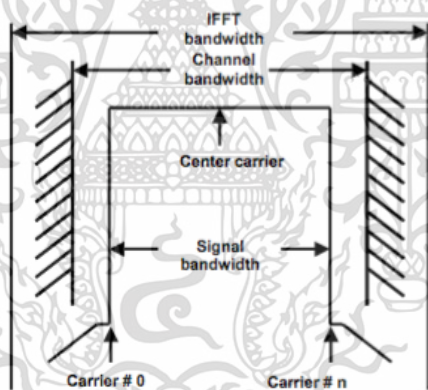
(ต่อ)

Mode with Symbol duration [ms]		$g=1/1$ 28	$g=1/$ 32	$g=1/$ 16	$g=19/2$ 56	$g=1$ /8	$g=19/1$ 28	$g=1$ /4
16K (1.792ms)	Duration [ms]	0.014	0.056	0.112	0.133	0.22 4	0.266	0.44 8
	Distance [km]	4.2	16.8	33.6	39.9	67.2	79.75	134. 3
8K (0.896ms)	Duration [ms]	0.007	0.028	0.061	0.067	0.11 2	0.133	0.22 4
	Distance [km]	2.1	8.4	16.8	19.8	33.6	39.89	67.2
4K (0.448ms)	Duration [ms]	-	0.014	0.031	-	0.05 6	-	0.11 2
	Distance [km]	-	4.2	8.4	-	16.8	-	33.6
2K (0.224ms)	Duration [ms]	-	0.07	0.016	-	0.02 8	-	0.05 6
	Distance [km]	-	2.1	4.2	-	8.4	-	16.8
1K (0.112ms)	Duration [ms]	-	-	-	-	0.01 4	-	0.02 8
	Distance [km]	-	-	-	-	4.2	-	8.4

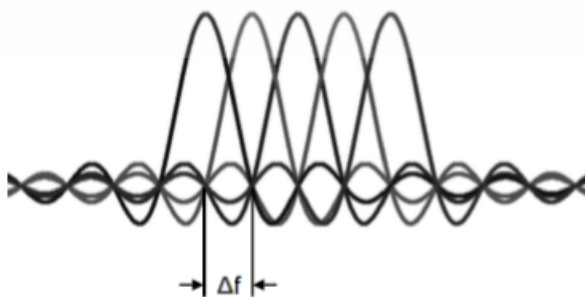
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 โหมดคลื่นพาห์ปกติ

ในโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 นั้นโหมดคลื่นพาห์ปกติ (Normal carrier mode) แบนด์วิดท์ของสัญญาณที่ถูกใช้งานจะสอดคล้องกับแบนด์วิดท์ของโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 1 ระหว่าง สเปกตรัมที่ใช้งาน และ จุดเริ่มต้นของช่องสัญญาณที่อยู่ติดกัน จะมีทั้งหน้าและหลังของช่องสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ซึ่งเรียกว่า แถบป้องกัน (Guard band) ซึ่งมีความกว้างประมาณ 200 kHz หน้าของแถบป้องกันนี้มีอยู่หลายหลายหน้าที่ ซึ่งหน้าที่ที่สำคัญที่สุดคือการป้องกันช่องสัญญาณที่อยู่ติดกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ขอบของสัญญาณ OFDM ต้องสลายตัวภายในแถบป้องกัน สาเหตุหนึ่งของขอบคือ การทับซ้อนกันของหางแต่ละสัญญาณพาหะที่ถูกมอดูเลตมา ในรูปที่ 2.8 สามารถแสดงให้เห็นว่าการใช้งานพาหะมากขึ้นก็จะมีผลของขอบที่ทับซ้อนมากขึ้น เช่น ในโหมด 1K จะมีขอบที่สูงกว่าโหมด 32K ขอบเหล่านี้ถูกทำให้ลดลงมากเท่าที่จะเป็นไปได้โดยการกรองแบบดิจิทัลในมอดูเลเตอร์ อย่างไรก็ตาม ยังสามารถแสดงให้เห็นได้ด้วยเครื่องส่งสัญญาณที่ดี ว่าในช่วงสั้น ๆ นั้นขอบของโหมด 32K จะต่ำกว่าในโหมด 1K ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2.9 มีเหตุผลทางคณิตศาสตร์ที่เรียบง่ายสำหรับเรื่องนี้ ยังมีการใช้งานพาหะมาก การทับซ้อนของขอบจะลดลง

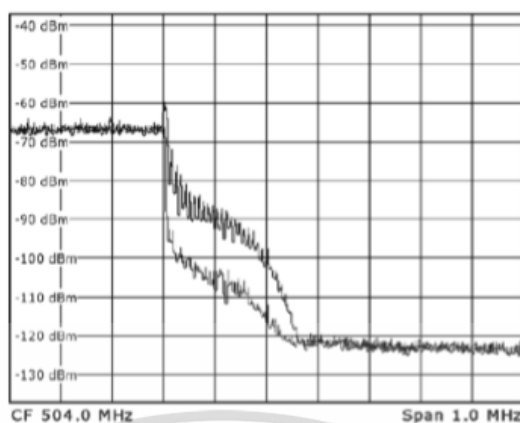


รูปที่ 2.7 สเปกตรัมด้วยแถบป้องกันของโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 [14]



รูปที่ 2.8 สเปกตรัมของ OFDM [14]

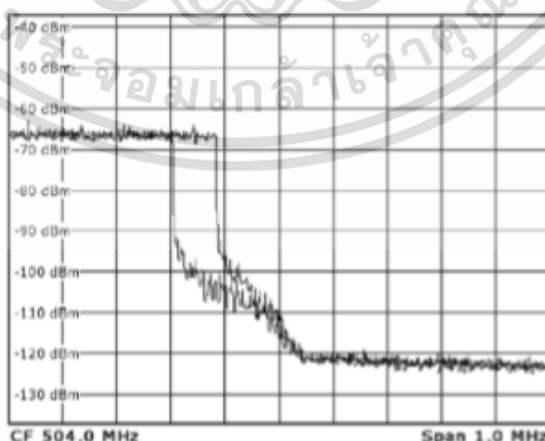
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 รูปการเปรียบเทียบขอบของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ในโหมด 32K และ 1K [14]

2.7.2 โหมดขยายคลื่นพาห้

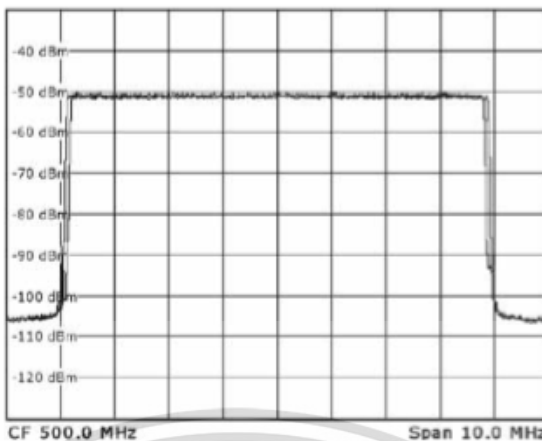
โหมดขยายคลื่นพาห้ (Extended carrier mode) เนื่องจากขอบได้ตกลงมาเรื่อย ๆ ที่ช่องสัญญาณข้างเคียง ในโหมดนี้จะมีพาห้เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถให้ได้โดยโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 เพื่อที่จะรองรับสเปกตรัมที่กว้างขึ้นมากกว่าโหมด 8K ในโหมดที่เรียกว่า โหมดขยายคลื่นพาห้ ข้อดีก็คือมันสามารถที่จะเพิ่มอัตราของข้อมูลภายในสัญญาณของโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ในรูปที่ 2.10 และ 2.11 แสดงให้เห็นว่าสเปกตรัมที่กว้างกว่าในโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ในโหมดคลื่นพาห้ปกติ เปรียบเทียบกับโหมดขยายคลื่นพาห้ โดยผลของการใช้งานโหมดขยายคลื่นพาห้ ส่งผลให้มีอัตราข้อมูลที่เพิ่มขึ้น 1 Mbit/s ซึ่ง 32K Normal Carrier Mode ให้ อัตราข้อมูลที่ 35.246 Mbit/s ส่วนใน 32K โหมดขยายคลื่นพาห้ ให้อัตราข้อมูลที่ 36.140 Mbit/s



รูปที่ 2.10 รูปการเปรียบเทียบขอบของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ในโหมด

32K โหมดขยายคลื่นพาห้ กับ โหมดคลื่นพาห้ปกติ [14]

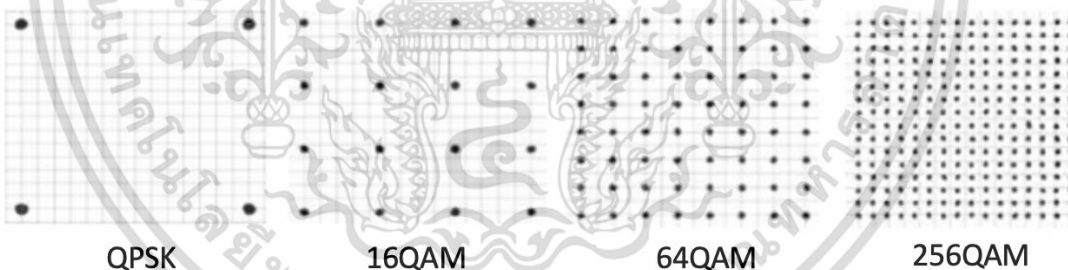
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 รูปการเปรียบเทียบภาพรวมของขอบสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ในโหมด 32K โหมดขยายคลื่นพาห์ กับ โหมดคลื่นพาห์ปกติ [14]

2.8 รูปแบบการมอดูเลตและแถบป้องกัน

รูปแบบการมอดูเลตที่ถูกนำมาใช้งานในโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.12 เป็นลำดับ QAM โดยตำแหน่งที่สามารถเป็นไปได้ในโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 มีดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.12 แสดงรูปแบบการมอดูเลตที่สามารถใช้งานได้ในระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลรุ่นที่ 2 (QPSK, 16QAM, 64QAM และ 256QAM ตามลำดับ)

รูปแบบการมอดูเลชันที่แตกต่างจากนี้ ไม่ได้ได้รับการรองรับการใช้งาน ในโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 การมอดูเลชัน QAM 3 ลำดับแรกนั้นสอดคล้องกับการใช้งานในระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 1 และในโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 จะมีความสามารถพิเศษคือ แผนภาพคอนสเทลเลชัน สามารถที่จะถูกกลับหรือหมุนได้ ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.14 เศษส่วนช่วงเวลาป้องกันที่เพิ่มเติมเข้ามาในโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 นั้นทำให้สะดวก

ในการใช้งานการรวมกันของ Symbol Length เช่น FFT Mode และ เศษส่วนช่วงเวลาป้องกันทำให้เกิดการลดลงของ Overhead โดย แถบป้องกัน

ตารางที่ 2.5 ระยะของแถบป้องกันสำหรับโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ใน 8 MHz channel raster

		GI-Fraction						
		1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	¼
FFT	T_u (ms)	GI(μ s)						
32k	3.584	28	112	224	266	448	532	n/a
16k	1.792	14	56	112	133	224	266	448
8k	0.869	7	28	56	66.5	112	133	224
4k	0.448	n/a	14	28	n/a	56	n/a	112
2k	0.224	n/a	7	14	n/a	28	n/a	56
1k	0.112	n/a	n/a	7	n/a	14	n/a	28

2.8.1 แผนภาพคอนสเทลเลชันแบบปกติ

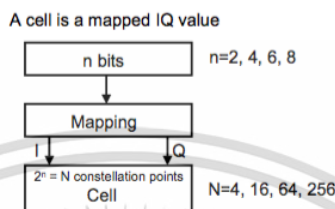
ในกรณีของ QPSK, 16QAM และ 64QAM นั้น กรณียกข้อยกเว้นที่แผนภาพคอนสเทลเลชัน (Constellation diagram) ไม่ถูกหมุนจะเหมือนกับกับรูปแบบของการมอดูเลตของระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 1 ในส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามาคือรูปแบบการมอดูเลตลำดับที่ 256QAM เนื่องจาก 256QAM ได้ให้การป้องกันข้อผิดพลาดที่ดีขึ้น

2.8.2 คำนิยามของเซลล์

คำว่า “เซลล์” รูปที่ 2.13 จะต้องถูกกำหนดขึ้นคำนี้มีการกล่าวถึงครั้งแล้วครั้งเล่าในมาตรฐานโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ดังนั้นจึงมีตัวอย่างเช่นเซลล์ที่เรียกว่า interleaver เซลล์ที่แทรก (Interleaver cell) และ เซลล์ เป็นเพียงผลของการทำแมปปิงเข้ากับคลื่นพาห์ ในทางตรงกันข้ามกับโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 1 นั้นการแมปปิงไม่ถูกนำออกมาหลังจากขั้นตอนการ แทรก แต่ค่อนข้างเร็วหลังจากการป้องกันข้อผิดพลาด และ หลังจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทรกสลับบิต (bit interleaver) อย่างไรก็ตาม ก็ยังคงถูกตามด้วย การแทรกสลับเซลล์ (cell interleaver), การแทรกสลับเวลา (time interleaver) และ การแทรกสลับความถี่ (frequency interleaver) ซึ่งเป็นสาเหตุว่าทำไมการทำแมปปิ้งไม่สามารถที่จะถูกจัดสรรไปที่พาหะ และ เป็นสาเหตุว่าทำไม เซลล์ถูกนำมาใช้งาน เซลล์จึงเป็นจำนวนเชิงซ้อนประกอบไปด้วย ส่วนประกอบ I และ Q หรือส่วนที่เป็นจริงและส่วนที่เป็นจินตนาการ

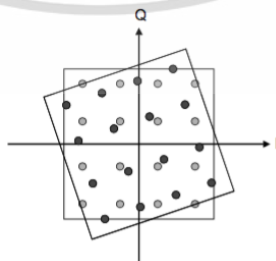


รูปที่ 2.13 การแมปเซลล์ [14]

2.8.3 แผนภาพคอนสเทลเลชันแบบหมุน

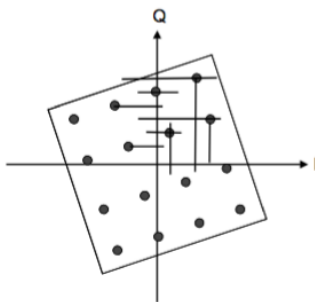
ถ้าการหมุนแผนภาพคอนสเทลเลชัน (Constellation diagram) ถูกนำมาใช้งาน ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของคอนสเทลเลชัน (Constellation) ประกอบไปด้วยองค์ประกอบ I และองค์ประกอบ Q ของสัญญาณ ในกรณีที่เกิดการรบกวนมันสามารถที่จะถูกนำมาใช้งานเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือ ของข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของคอนสเทลเลชัน และช่วยให้ถอดรหัสได้ดีขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามคอนสเทลเลชันที่ไม่ถูกหมุน ข้อมูลของตำแหน่ง I และ Q ที่ถูกแยกออกจากกัน สามารถที่จะใช้ในการตัดสินใจอย่างง่าย ถ้าจำเป็น ในทางปฏิบัติจะแสดงให้เห็นว่าประโยชน์ที่ได้รับมากเพียงใด

อย่างไรก็ตามในความเป็นจริง กระบวนการทั้งหมดนั้นมีความซับซ้อนกว่าเล็กน้อย ด้วยแผนภาพคอนสเทลเลชันที่ถูกหมุน (Rotated constellation diagram) องค์ประกอบ Q จะไม่ถูกส่งออกไปยังคลื่นพาหะเดียวกันหรือไม่ตรงเซลล์เดียวกัน แต่จะถูกหน่วงเวลาไปกับพาหะอื่น ดังแสดงในรูปที่ 2.16 และ 2.17



รูปที่ 2.14 แผนภาพคอนสเทลเลชันที่ถูกหมุน [14]

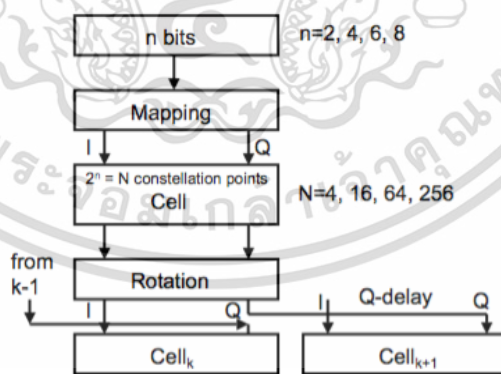
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



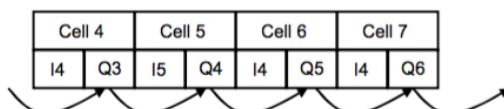
รูปที่ 2.15 รูปแสดงการแยกกันเป็นอิสระระหว่าง I channel และ Q channel ด้วยการหมุนแผนภาพคอนสเทลเลชัน [14]

ตารางที่ 2.6 มุมการหมุนของคอนสเทลเลชัน

Constellation	Rotation angle (degree)
QPSK	29.0
16-QAM	16.8
64-QAM	8.6
256-QAM	3.6



รูปที่ 2.16 การแมปปิ้งของการหมุนแผนภาพคอนสเทลเลชันและการดีเลย์ Q channel [14]



รูปที่ 2.17 การดีเลย์ Q channel ระหว่างเซลล์ [14]

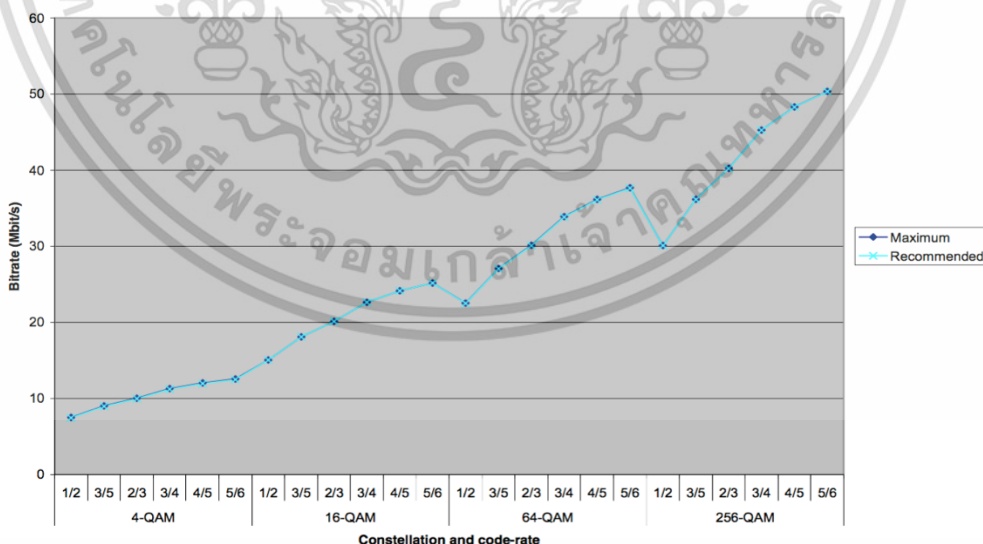
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 อัตราข้อมูล

ในตารางที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงตัวเลขจำนวนมากของอัตราข้อมูลที่สามารถใช้งานได้ ในโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ซึ่งส่งผลให้ Symbol Time มีประโยชน์มากขึ้น 2-4 เท่า เมื่อเทียบกับกรณี 8k ตัวอย่างเช่น ที่ 8 MHz channel raster 2 และ 4 เท่าของ 896 us คือ 1792 และ 3584 us ตามลำดับ

Symbol Time ที่ยาวขึ้นมากนั้นจะเป็นผลให้ประสิทธิภาพของ Doppler ลดลง เนื่องจาก ระยะ Inter Carrier ที่สั้น ในสัญญาณ OFDM นั้น 32k mode จึงมุ่งเน้นไปที่การรับสัญญาณแบบประจำที่บนหลังคา การทดสอบในห้องปฏิบัติการและภาคสนามแสดงให้เห็นว่า 32k mode ไม่เหมาะที่จะถูกนำมาใช้สำหรับการให้บริการเครื่องรับสัญญาณแบบเคลื่อนที่สำหรับย่าน UHF หรือ แม้แต่ ในเครื่องรับแบบพกพา (ภายในและภายนอกอาคาร) ที่มี Doppler Frequency ต่ำ ยังคงจำเป็นที่จะต้องได้รับการยืนยันว่า 32k mode เหมาะสมสำหรับการใช้งาน ประสิทธิภาพของ Doppler จะดีกว่าถึง 4 เท่าในการใช้งานย่าน VHF เมื่อเทียบกับ UHF Band V และ VHF Band III มีความน่าสนใจที่จะให้บริการเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 แบบเคลื่อนที่

ความแตกต่างอีกสิ่งหนึ่งระหว่างโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 1 และ โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 คือ จำนวนตัวเลขที่เพิ่มขึ้นของ สัดส่วนช่วงเวลาป้องกัน โดยใช้ 1/128, 19/256 และ 19/128 ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะให้นำความยาวของช่วงเวลาป้องกัน (Guard Interval) มาใช้ในขนาดของโครงข่ายความถี่เดียว ตัวอย่างเช่น ในตารางที่ 2.6 และรูปที่ 2.18 แสดงให้เห็นค่าสูงสุดของอัตราบิต (Bit Rate) และ การตั้งค่าที่แนะนำสำหรับ 8 MHz, 32K 1/128, PP7



รูปที่ 2.18 อัตราบิต (Bit Rate) สูงสุด และ บิตเรตสำหรับการตั้งค่าที่แนะนำ ด้วย 8 MHz แบนด์วิธ และ 32k PP7 (จาก TS 102 831) [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 อัตราบิต (Bit Rate) สูงสุด และ การตั้งค่าที่แนะนำสำหรับ 8 MHz, 32k 1/128, PP7
(จาก TS 102 831)

Modulation	Code rate	Absolute maximum bit-rate			Recommended configuration		
		Bit rate Mbit/s	Frame length, L_F	blocks/frame	Bit rate Mbit/s	Frame length, L_F	blocks/frame
QPSK	1/2	7.49225	62	52	7.4442731	60	50
	3/5	9.003747			8.9457325		
	2/3	10.01867			9.9541201		
	3/4	11.27054			11.197922		
	4/5	12.02614			11.948651		
	5/6	12.53733			12.456553		
16-QAM	1/2	15.03743	60	101	15.037432	60	101
	3/5	18.07038			18.07038		
	2/3	20.10732			20.107323		
	3/4	22.6198			22.619802		
	4/5	24.13628			24.136276		
	5/6	25.16224			25.162236		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 อัตราบิต (Bit Rate) สูงสุด และการตั้งค่าที่แนะนำสำหรับ 8 MHz, 32k 1/128, PP7
(จาก TS 102 831) (ต่อ)

Modulation	Code rate	Absolute maximum bit-rate			Recommended configuration		
		Bit rate Mbit/s	Frame length, L_F	blocks/frame	Bit rate Mbit/s	Frame length, L_F	blocks/frame
64-QAM	1/2	22.51994	46	116	22.48170	60	151
	3/5	27.06206			27.01611		
	2/3	30.11257			30.06144		
	3/4	33.87524			33.81772		
	4/5	36.1463			36.08492		
	5/6	37.68277			37.618789		
256-QAM	1/2	30.08728	68	229	30.074863	60	202
	3/5	36.15568			36.140759		
	2/3	40.23124			40.214645		
	3/4	45.25828			45.239604		
	4/5	48.29248			48.272552		
	5/6	50.34524			50.324472		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา 2 อย่าง ที่มีความสัมพันธ์กับขนาดของ FFT และ OFDM Modulation ที่สามารถมีอิทธิพลต่อการวางโครงข่ายโทรทัศนภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ได้ดังนี้

- ระยะห่างระหว่างคลื่นพาห์ (Inter-Carrier Spacing)
- สัญลักษณ์ช่วงเวลา (Symbol Duration)

2.10 อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน

2.10.1 กล่าวนำ

ค่าอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน แสดงถึง ความทนทานของระบบส่งออกอากาศที่เกี่ยวกับการรบกวนจาก สัญญาณรบกวน และการรบกวน (Interference) อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน (carrier to noise ratio : C/N) ถูกใช้เพื่อกำหนดระดับของสัญญาณที่มีการรบกวน ไม่ว่าจะเป็นสัญญาณรบกวน และการรบกวนภาครับ และในขั้นตอนต่อมา การกำหนดอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวนมีความสำคัญในขั้นพื้นฐานสำหรับงานวางแผนโครงข่ายโทรทัศนภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2

2.10.2 หลักการของการได้มาซึ่งค่าอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน

ขั้นตอนดังต่อไปนี้มักจำเป็นที่จะถูกใช้งานเมื่อต้องการวางแผนกำหนดค่าอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน ที่จะต้องใช้งาน

- ขั้นตอนที่ 1 ระบุพื้นที่และสภาพแวดล้อมที่เป้าหมายที่ต้องการให้สามารถรับสัญญาณ เพื่อที่จะกำหนดช่องทางการรับสัญญาณ ซึ่งหมายถึงทั้งการรับสัญญาณแบบประจำที่บนหลังคา, แบบพกพาภายในอาคาร, แบบพกพาภายนอกอาคาร และ แบบเคลื่อนที่ และ สำหรับตัวอย่าง ซึ่งจะนำไปสู่การกำหนด ไม่ว่าจะเป็นอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน สำหรับช่องสัญญาณ Ricean หรือ Rayleigh ที่มีความเหมาะสม
- ขั้นตอนที่ 2 เลือกโหมดการส่งสัญญาณของโทรทัศนภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ขั้นตอนนี้มักจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการซ้ำซ้อน ที่ความต้องการของความจุ, พื้นที่ให้บริการ, ต้นทุน ถูกแลกเปลี่ยนหรือปรับให้เหมาะสม และเมื่อโทรทัศนภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 โหมดถูกเลือก การจำลองค่าอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน ขั้นพื้นฐานสำหรับ Gaussian Channel ($C/N_{Gauss-raw}$) สามารถที่จะพบได้ในตารางที่ 2.9 และ ถูกใช้แทนค่าพื้นฐานสำหรับวิธีที่นำเสนอ
- ขั้นตอนที่ 3 ใช้วิธีการดังต่อไปนี้ เพื่อที่จะปรับค่า ($C/N_{Gauss-raw}$) ที่ระบุให้ถูกต้อง สำหรับปัจจัยการสร้างภาครับจริง และ เพื่อที่จะจับคู่ระหว่างช่องสัญญาณภาคส่งและสภาพแวดล้อมของภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.3 ช่องการรับสัญญาณทั่วไป

ช่องสัญญาณหลักที่พบได้ในการออกอากาศภาคพื้นดินแต่ละแบบจะต้องมีค่า อัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวนที่แตกต่างกัน การได้มาซึ่งค่าอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวน ได้อธิบายไว้ดังต่อไปนี้

- Gaussian Chanel (AWGN) ช่องสัญญาณนี้ถูกกำหนดคุณลักษณะโดย สัญญาณที่ต้องการที่ภาครับแบบเดี่ยว และ ไม่มีการรบกวน มีเพียงแค่ Gaussian Noise ช่องสัญญาณนี้เป็นช่องสัญญาณที่ต้องการน้อยที่สุด และมักถูกนำมาใช้เพื่ออ้างอิงเท่านั้นไม่ได้นำมาใช้ในทางปฏิบัติ
- Ricean Channel ใช้สำหรับวางแผนการรับสัญญาณประจำที่บนหลังคา ที่มีสัญญาณส่วนมากเป็นแบบเดี่ยว และ สัญญาณสะท้อนเล็กน้อยเท่านั้น
- Rayleigh Channel
- Rayleigh static channel ถูกใช้งานหลักในการออกแบบการรับสัญญาณชนิดพหุภาคภายในอาคารและภายนอกอาคาร การช่องการรับสัญญาณชนิดนี้ สัญญาณที่รับได้นั้นประกอบด้วยสัญญาณที่สะท้อนเท่านั้น ไม่มีสัญญาณที่ได้รับโดยตรงปรากฏ ในการจำลองในคู่มือการใช้งานโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 DVB-T2 ETSI Implementation Guideline [TS 102 831, Table 39] ใช้ Rayleigh Channel ด้วย 20 สัญญาณสะท้อน เนื่องจากรูปแบบที่คงที่ของ Channel Model นี้ควรที่จะถูกถือว่าเป็น “กรณีที่ดีที่สุด” เมื่อทำการออกแบบสำหรับการรับสัญญาณแบบพหุภาค และควรจะถูกใช้งานเมื่อเครื่องรับเป็นแบบประจำที่
- Rayleigh – slowly time varying, low Doppler frequency: channel model ประเภทนี้ควรจะถูกนำมาใช้งานเป็นปกติสำหรับการออกแบบการรับสัญญาณแบบพหุภาคภายนอกอาคารและแบบพหุภาคภายในอาคาร ในกรณีที่ slow channel ไม่สามารถที่จะเสี่ยงได้ แม้แต่ถ้าตัวเครื่องรับเองประจำที่ก็ตาม ก็มักจะมีวัตถุอื่น ๆ ซึ่งอยู่ใกล้ ๆ เครื่องรับนั้นเคลื่อนที่ เช่น รถ, ต้นไม้, ผู้คน และเมื่อ Doppler Frequency ต่ำนั้นค่าการสลับทางเวลา (time interleaving) ในโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 มีผลน้อยลง เช่น เมื่อ ความถี่ดอปเปลอร์ (Doppler Frequency) น้อยกว่า $1/(\text{interleaving time})$ จะทำให้ค่าอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวน (C/N) สูงขึ้นเมื่อเทียบกับการรับสัญญาณแบบเคลื่อนที่ที่ความถี่ดอปเปลอร์ (Doppler frequency) ที่สูงกว่ารูปแบบช่องสัญญาณ (Channel model) นี้มักถูกนำมาพิจารณาในกรณีเลวร้ายที่สุดสำหรับภาครับโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2
- Rayleigh – mobile, high Doppler frequency: ถูกใช้งานสำหรับการออกแบบการรับสัญญาณแบบเคลื่อนที่โดยใช้สายอากาศแบบภายนอก หรือ อุปกรณ์ชนิดพหุภาค ควรสังเกตว่าบางโหมดของโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ไม่เหมาะสำหรับการรับสัญญาณแบบเคลื่อนที่ เช่น การมอดูเลตแบบ 256-QAM และ 32k เป็นโปรไฟล์ที่ได้รับการออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับการรับสัญญาณของ โทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 แบบ Lite (DVB-T2-Lite)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.4 อัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวนสำหรับ Gaussian channel

วิธีการต่อไปนี้จะได้รับการนำเสนอสำหรับการปรับปรุงที่กำลังมาถึงของ IEC 62216 และสอดคล้องกับข้อกำหนดการรับของ Nordig2010

จุดเริ่มต้นสำหรับการได้รับมาของค่าอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวน สุดท้าย เพื่อที่จะสามารถกำหนดช่องสัญญาณการส่งผ่าน (transmission channel) และโหมต คือ การกำหนดอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวน สุดท้ายสำหรับ Gaussian channel (C/N_{Gauss}) ขึ้นตอนแรกให้ดูตารางที่ 2.9 ซึ่งถูกนำมาจากคู่มือการปฏิบัติของ ETSI [TS 102 831] [10] เพื่อที่จะหาค่าของ $C/N_{Gauss-raw}$ ตารางที่ 2.7 นี้ได้รับมาจากการจำลองของเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งต้องได้รับการแก้ไข

บันทึก 1 – ผลของ AWGN channel อยู่ที่อัตราความผิดพลาดบิต (Bit error rate : BER) = 10^{-6} (หลังจาก BCH) BCH ถูกจำลองเพียงแค่ค่าขั้นต่ำของ 50 ความผิดพลาดของบล็อกวิธีแก้ไขความผิดพลาดแบบไปข้างหน้า ที่ต้องการให้บรรลุเป้าหมาย อัตราความผิดพลาดบิต ซึ่งที่ค่าอัตราความผิดพลาดบิตเท่ากับ 10^{-6} ซึ่งถูกนำมาใช้เพื่อให้เวลาในการจำลองเหมาะสม ในส่วนของช่องสัญญาณ Rayleigh นั้นค่าของอัตราความผิดพลาดบิต เท่ากับ 10^{-4} (หลังจาก LDPC ที่ไม่มี BCH) มันถูกต้องคาดหวังว่าอัตราผิดพลาดของชุดข้อมูล (packet error rate) ของโทรศัพท์ศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 จะมีค่าเท่ากับ 10^{-7}

บันทึก 2 – การหมุนแผนภาพคอนสเทลเลชัน (Rotated constellations) ถูกปิด, CSI ที่สมบูรณ์ถูกสมมติ, การ demapping แบบเดิม (not Genie-aided) ถูกใช้งาน

เพื่อที่จะได้รับค่าอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวนของ Gaussian channel

C/N_{Gauss} จำเป็นต้องมีการแก้ไข 4 อย่างเพื่อให้ได้ค่า $C/N_{Gauss-raw}$ ดังต่อไปนี้

- A = 0.1 dB ประมาณค่าเพิ่มเติมของอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวน เพื่อให้บรรลุอัตราความผิดพลาดบิต = 10^{-7} (ตามปกติคือจุด QEF ที่เหมาะสมในโทรศัพท์ศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2) ตารางที่ 2.7 ถูกคำนวณไปสู่ อัตราความผิดพลาดบิต ที่สูงขึ้น ปัจจุบันนี้ได้แก้ไขการคำนวณ

- B = การแก้ไขสำหรับ Pilot boosting เพื่อให้สอดคล้องกับตาราง 2.8 การแก้ไขเป็นไปตามคู่มือการใช้งานโทรศัพท์ศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ของ ETSI แต่ได้รับการปิดเศษทศนิยม 1 ตำแหน่ง ค่า Pilot ในโทรศัพท์ศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ถูกเพิ่มขึ้น หมายความว่าค่าอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวน สำหรับพาหะข้อมูล (Data Carrier) ถูกลดลง อย่างไรก็ตามในโทรศัพท์ศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ค่าแบบรูปสัญญาณไพลอต (pilot pattern) หลาย ๆ ค่ามิให้ใช้งาน และการแก้ไขที่แตกต่างกัน จำเป็นต้องใช้สำหรับแบบรูปสัญญาณไพลอต (pilot pattern) ที่แตกต่างกัน

- C = สมมติว่าค่าอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวน สูญเสียเนื่องจากการประเมินช่องสัญญาณจริง การถอดรหัส LDPC ที่ไม่สมบูรณ์และการไม่สมบูรณ์อื่น ๆ ไม่ใช่ส่วนของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาของ back-stop noise ค่าที่จะใช้นี้ถูกแสดงในตารางที่ 2.10 ค่าเหล่านี้ได้มาจากคู่มือการใช้งานโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 และรวมถึงค่า Implement Margin (IM) ที่แนะนำจากโรงงานด้วยเช่นกัน

- D = ค่าอัตราส่วนคลื่นพาร์ตต่อสัญญาณรบกวนที่เพิ่มเติม สอดคล้องกับระดับของ back-stop noise ที่ -33dBc การสนับสนุนหลักไปสู่ back-stop คือ tuner phase noise และ quantization noise ในตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกสู่ดิจิทัล ตัว back-stop noise นี้ได้รับมาจากการคำนวณแรก ในส่วนของ A, B, C และจากนั้นทำการตรวจสอบจำนวนที่ลดลงของค่าอัตราส่วนคลื่นพาร์ตต่อสัญญาณรบกวนที่เป็นสาเหตุมาจากค่า -33 dBc back-stop noise ของเครื่องรับ เทอม D เหมือนกับการลดลงนี้ ควรสังเกตว่าการเปลี่ยนแปลง ของแบบรูปสัญญาณไหลอด (Pilot Pattern) เช่นจาก PP4 ไปสู่ PP2 ทำให้ C เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น จาก 1.5 ไปที่ 2.0 dB และจะทำให้ D เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

สรุปขั้นตอนการหาค่า $C/N_{\text{Gauss-dvb}}$ ค่าสุดท้ายของ C/N_{Gauss} คือ

$$C/N_{\text{Gauss-dvb}} = C/N' + D(\text{dB})$$

$$C/N'_{\text{dvb}} = C/N_{\text{Gauss-raw}} + A + B + C(\text{dB})$$

เครื่องรับบางเครื่องอาจทำงานได้ดีกว่าหรือแย่กว่าตัวที่นำเสนอ ณ.ที่น้อยอยู่เล็กน้อย กับเครื่องรับที่ดีที่สุดบางครั้งอาจจะดีกว่า 0.5-1 dB แต่จะแตกต่างกันไปเมื่อใช้งานเครื่องรับและโหมดโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ถ้าคิดว่าเครื่องรับที่มีอยู่ในท้องตลาดดีกว่าที่แสดงข้างต้น แล้วการแก้ไข factor C ก็จะถูกลดลงอย่างสอดคล้องกัน การลดลงเช่นนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ D เล็กน้อย ซึ่งควรจะถูกราคำนวณใหม่

PP8 คือ กรณีพิเศษและควรจะถูกพิจารณาด้วยความระมัดระวัง****

จากรูปที่ 2.19 แสดงค่า D ปริมาณการลดลงของอัตราส่วนคลื่นพาร์ตต่อสัญญาณรบกวน สำหรับ back-stop noise ระดับ -33 dBc เป็นที่ชัดเจนว่าระดับที่สูงขึ้นของอัตราส่วนคลื่นพาร์ตต่อสัญญาณรบกวน เช่นระดับการมอดูเลตที่สูง และ อัตราการเข้ารหัส (Code Rate) ที่สูง D จะมีความสำคัญและควรคำนึงถึง

ตารางที่ 2.8 ค่า Raw อัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวนสำหรับ Gaussian Channel (AWGN channel) (จากตารางที่ 4 ใน TS 102 831) [10]

Constellation	Code rate	Gaussian Channel ($C/N_{Gauss-raw}$)
QPSK	1/2	1.0
QPSK	3/5	2.2
QPSK	2/3	3.1
QPSK	3/4	4.1
QPSK	4/5	4.7
QPSK	5/6	5.2
16QAM	1/2	6.2
16QAM	3/5	7.6
16QAM	2/3	8.9
16QAM	3/4	10.0
16QAM	4/5	10.8
16QAM	5/6	11.3
64QAM	1/2	10.5
64QAM	3/5	12.3
64QAM	2/3	13.6
64QAM	3/4	15.1
64QAM	4/5	16.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ค่า Raw อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวนสำหรับ Gaussian Channel (AWGN channel) (จากตารางที่ 4 ใน TS 102 831) [10] (ต่อ)

Constellation	Code rate	Gaussian Channel ($C/N_{Gauss-raw}$)
64QAM	5/6	16.7
256QAM	1/2	14.4
256QAM	3/5	16.7
256QAM	2/3	18.1
256QAM	3/4	20.0
256QAM	4/5	21.3
256QAM	5/6	22.0

ตารางที่ 2.9 Correction factors: B (Pilot Boost) และ C (Real channel estimation). ** B ถูกปัดทศนิยม 1 ตำแหน่ง

Pilot Pattern	PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	PP6	PP7	PP8
A = BER 10^{-7} Correction	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
B = Pilot Boost Correction	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.4
C = Real Channel Estimation	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0

ตารางที่ 2.10 การลดลงของ ค่าอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวนที่เพิ่มเติม ค่าอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวนสำหรับค่าอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวนจาก 15 ถึง 32

C/N (dB)	D(dB)
15	0.07
16	0.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 การลดลงของ ค่าอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวนที่เพิ่มเติม ค่าอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวนสำหรับค่าอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวนจาก 15 ถึง 32 (ต่อ)

C/N (dB)	D(dB)
17	0.11
18	0.14
19	0.18
20	0.22
21	0.28
22	0.36
23	0.46
24	0.58
25	0.75
26	0.97
27	1.26
28	1.65
29	2.20
30	3.02
31	4.33
32	6.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับตัวอย่างในตารางที่ 2.10 แสดงประสิทธิภาพของค่าอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน โดยประมาณสำหรับ Gaussian channel สำหรับ DVB-T2 256-QAM, 32k, GI=1/8 ใช้แบบด์วิธท์ปกติ และ PP2

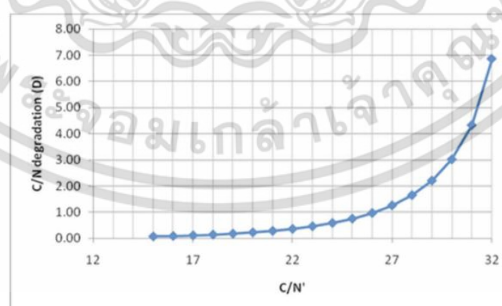
ตารางที่ 2.11 อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน ความผิดพลาดที่วัดได้หลังรีดโซโลมอนสำหรับ DVB-T2 PP2 32k แบบด์วิธปกติ GI 1/8

Constellation	Code rate	Gaussian raw value (ตาราง 2.9)	C/N_{Gauss}
QPSK	1/2	1.0	3.5
QPSK	3/5	2.2	4.7
QPSK	2/3	3.1	5.6
QPSK	3/4	4.1	6.6
QPSK	4/5	4.7	7.2
QPSK	5/6	5.2	7.7
16-QAM	1/2	6.2	8.7
16-QAM	3/5	7.6	10.1
16-QAM	2/3	8.9	11.4
16-QAM	3/4	10.0	12.5
16-QAM	4/5	10.8	13.3
16-QAM	5/6	11.3	13.9
64-QAM	1/2	10.5	13.0
64-QAM	3/5	12.3	14.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.11 อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน ความผิดพลาดที่วัดได้หลังรีตโโลมอนสำหรับ DVB-T2 PP2 32k แบบวีธีรปกติ GI 1/8 (ต่อ)

Constellation	Code rate	Gaussian raw value (ตาราง 2.9)	C/N_{Gauss}
64-QAM	2/3	13.6	16.2
64-QAM	3/4	15.1	17.7
64-QAM	4/5	16.1	18.8
64-QAM	5/6	16.7	19.4
256-QAM	1/2	14.4	17.0
256-QAM	3/5	16.7	19.4
256-QAM	2/3	18.1	20.9
256-QAM	3/4	20.0	22.9
256-QAM	4/5	21.3	24.4
256-QAM	5/6	22.0	25.2



รูปที่ 2.19 การลดลงของอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน [10]

2.10.5 อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน สำหรับ Ricean and Rayleigh channel

ตารางที่ 2.7 ได้แสดงข้อมูลของ Gaussian channel เท่านั้น ซึ่งไม่ได้กล่าวถึง Ricean หรือ Rayleigh channel ความแตกต่างของค่าอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวนที่ต้องการนั้นอยู่ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.2 ถึง 0.5 dB เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง Gaussian channel กับ Ricean channel และ 1.0 ถึง 3.4 เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง Gaussian channel กับ Rayleigh channel การเพิ่มขึ้นนี้จะพบได้ในโหมดที่มีความคงทนของสัญญาณน้อยหรือโหมดที่ใช้ระดับของการมอดูเลชันที่สูง หรือ อัตราการเข้ารหัสที่สูง ค่าอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวนสำหรับ Ricean channel และ Rayleigh channel สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$C / N'_{Rice-dvb} = C / N_{Gauss-raw} + DELTA_{Rice} + A + B + C \quad (2.1)$$

$$C / N_{Rice-dvb} = C / N'_{Rice} + D \quad (2.2)$$

$$C / N'_{Rayleigh-dvb} = C / N_{Gauss-raw} + DELTA_{Rayleigh} + A + B + C \quad (2.3)$$

$$C / N_{Rayleigh-dvb} = C / N'_{Rayleigh} + D \quad (2.4)$$

ซึ่ง DELTA ได้แสดงอยู่ในตารางที่ 2.11

เพื่อที่จะแสดงตัวอย่างของส่วนที่ผ่านมา ในตารางที่ 2.12 แสดงประสิทธิภาพของอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวนของ Ricean และ Rayleigh channel โดยประมาณ สำหรับโทรศัพท์ศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล ที่ใช้ 256QAM, 32k, GI=1/8, Normal bandwidth และ PP2

ตารางที่ 2.12 ค่า DELTA ของ Ricean และ Static Rayleigh channel ที่อ้างอิง Gaussian channel

Constellation	Code rate	DELTA C / N'_{Rice} (dB)	DELTA $C / N'_{Rayleigh}$ (dB)
QPSK	1/2	0.2	1.0
QPSK	3/5	0.2	1.3
QPSK	2/3	0.3	1.8
QPSK	3/4	0.3	2.1
QPSK	4/5	0.3	2.4
QPSK	5/6	0.4	2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.12 ค่า DELTA ของ Ricean และ Static Rayleigh channel ที่อ้างอิง Gaussian Channel (ต่อ)

Constellation	Code rate	DELTA C/N_{Rice} (dB)	DELTA $C/N_{Rayleigh}$ (dB)
16QAM	1/2	0.2	1.5
16QAM	3/5	0.2	1.7
16QAM	2/3	0.2	1.9
16QAM	3/4	0.4	2.4
16QAM	4/5	0.4	2.8
16QAM	5/6	0.4	3.1
64QAM	1/2	0.3	2.0
64QAM	3/5	0.3	2.0
64QAM	2/3	0.3	2.1
64QAM	3/4	0.3	2.6
64QAM	4/5	0.5	3.1
64QAM	5/6	0.4	3.4
256QAM	1/2	0.4	2.4
256QAM	3/5	0.2	2.2
256QAM	2/3	0.3	2.3
256QAM	3/4	0.3	2.6
256QAM	4/5	0.4	3.0
256QAM	5/6	0.4	3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.13 ค่าอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวน ความผิดพลาดที่วัดได้หลังรีซีโสมอน
สำหรับ DVB-T2 PP2 32k normal BW GI 1/8

Constel lation	Code rate	Gaussian raw values (จาก ตาราง 2.9)	C/N_{Gauss}	C/N_{Rice}	$C/N_{Rayleigh}$ (Static)	0 dB echo channel @ 90% GI
QPSK	1/2	1.0	3.5	3.7	4.5	5.2
QPSK	3/5	2.2	4.7	4.9	6.0	6.8
QPSK	2/3	3.1	5.6	5.9	7.4	8.4
QPSK	3/4	4.1	6.6	6.9	8.7	9.8
QPSK	4/5	4.7	7.2	7.5	9.6	10.9
QPSK	5/6	5.2	7.7	8.1	10.4	12.0
16QAM	1/2	6.2	8.7	8.9	10.2	10.9
16QAM	3/5	7.6	10.1	10.3	11.8	12.7
16QAM	2/3	8.9	11.4	11.6	13.3	14.4
16QAM	3/4	10.0	12.5	12.9	15.0	16.3
16QAM	4/5	10.8	13.3	13.8	16.2	17.8
16QAM	5/6	11.3	13.9	14.4	17.0	19.0
64QAM	1/2	10.5	13.0	13.3	15.1	16.0
64QAM	3/5	12.3	14.9	15.2	16.9	18.0
64QAM	2/3	13.6	16.2	16.5	18.3	9.7
64QAM	3/4	15.1	17.7	18.0	20.4	22.0
64QAM	4/5	16.1	18.8	19.3	22.0	24.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.13 ค่าอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวน ความผิดพลาดที่วัดได้หลังรีดโซโลมอน สำหรับ DVB-T2 PP2 32k normal BW GI 1/8 (ต่อ)

Constel lation	Code rate	Gaussian raw values (จาก ตาราง 2.9)	C/N_{Gauss}	C/N_{Rice}	$C/N_{Rayleigh}$ (Static)	0 dB echo channel @ 90% GI
64QAM	5/6	16.7	1.4	19.8	3.0	25.5
256QA M	1/2	14.4	17.0	17.4	19.5	20.6
256QA M	3/5	16.7	19.4	19.6	21.7	23.1
256QA M	2/3	18.1	20.9	21.2	23.3	25.2
256QA M	3/4	20.0	22.9	23.2	25.8	28.0
256QA M	4/5	21.3	24.5	24.8	27.8	30.9
256QA M	5/6	22.0	25.2	25.6	29.3	33.6

จากข้อมูลในตารางที่ 2.12 ยังคงคาดหวังค่าประสิทธิภาพ echo 0 dB ที่ 90% ของช่วงกว้างของช่วงเวลาป้องกัน (Guard Interval) ค่าเหล่านี้ถูกคำนวณโดยใช้หลักการเดียวกันกับที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้ โดยการเพิ่มความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวน Gaussian และค่าจำลองของอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวน (C/N) ที่ 0 dB จากตารางที่ 2.13 ไปที่ค่าอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวน สำหรับ Gaussian channel ที่ได้รับก่อนหน้านี้

อย่างไรก็ตาม อัตราการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการเข้ารหัส (Code rate) ที่ขึ้นอยู่กับ การเสื่อมลง จำเป็นที่จะต้องถูกเพิ่มลงในกรณีของ 0 dB echo. ปัจจัยการเสื่อมลงนี้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2.14

โปรไฟล์ 0 dB echo ถูกใช้เป็นหลักสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรับ เนื่องจากถือว่า 0 dB echo นั้นเป็นกรณีที่เลวร้ายที่สุด อย่างไรก็ตาม echo ที่รุนแรง หรือที่มีระดับเท่ากับที่ต้องการ (0 dB echo) ในทางปฏิบัติส่วนมากสามารถเกิดขึ้นได้ในโครงข่ายความถี่เดียว (SFNS)

ตารางที่ 2.14 ค่า raw $(C/N)_0$ ที่ต้องการให้บรรลุ BER = 1×10^{-7} หลังจาก LDPC

decoding LDPC block length: 64800 bits (จาก [TS 102 831]) [10]

Constellation	Code rate	Spectral efficiency	Required $(C/N)_0$ (dB) for BER = 1×10^{-7} หลัง LDPC decoding			
			Gaussian channel (AWGN)	Ricean channel (F_1)	Rayleigh channel (P_1)	0 dB echo channel @ 90% GI
QPSK	1/2	0.99	1.0	1.2	2.0	1.7
QPSK	3/5	1.19	2.3	2.5	3.6	3.2
QPSK	2/3	1.33	3.1	3.4	4.9	4.5
QPSK	3/4	1.49	4.1	4.4	6.2	5.7
QPSK	4/5	1.59	4.7	5.1	7.1	6.6
QPSK	5/6	1.66	5.2	5.6	7.9	7.5
16QAM	1/2	1.99	6.0	6.2	7.5	7.2
16QAM	3/5	2.39	7.6	7.8	9.3	9.0
16QAM	2/3	2.66	8.9	9.1	10.8	10.4
16QAM	3/4	2.99	10.0	10.4	12.4	12.1
16QAM	4/5	3.19	10.8	11.2	13.6	13.4
16QAM	5/6	3.32	11.4	11.8	14.5	14.4
64QAM	1/2	2.98	9.9	10.2	11.9	11.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.14 ค่า raw $(C/N)_0$ ที่ต้องการให้บรรลุ BER = 1×10^{-7} หลังจาก LDPC

decoding LDPC block length: 64800 bits (จาก [TS 102 831]) [10] (ต่อ)

Constellation	Code rate	Spectral efficiency	Required $(C/N)_0$ (dB) for BER = 1×10^{-7} หลัง LDPC decoding			
			Gaussian channel (AWGN)	Ricean channel (F_1)	Rayleigh channel (P_1)	0 dB echo channel @ 90% GI
64QAM	3/5	3.58	12.0	12.3	14.0	13.9
64QAM	2/3	3.99	13.5	13.8	15.6	15.5
64QAM	3/4	4.48	15.1	15.4	17.7	17.6
64QAM	4/5	4.78	16.1	16.6	19.2	19.2
64QAM	5/6	4.99	16.8	17.2	20.2	20.4
256QAM	1/2	3.98	13.2	13.6	15.6	15.7
256QAM	3/5	4.78	16.1	16.3	18.3	18.4
256QAM	2/3	5.31	17.8	18.1	20.1	20.3
256QAM	3/4	5.98	20.0	20.3	22.6	22.7
256QAM	4/5	6.38	21.3	21.7	24.3	24.5
256QAM	5/6	6.65	22.0	22.4	25.4	25.8

ตารางที่ 2.15 การลดลงของอัตราส่วนรหัสที่ขึ้นกับอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวนสำหรับ 0 dB echo โปรไฟล์

Code rate	1/2	3/5	2/3	3/4	4/5	5/6
Additional degradation (dB)	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0

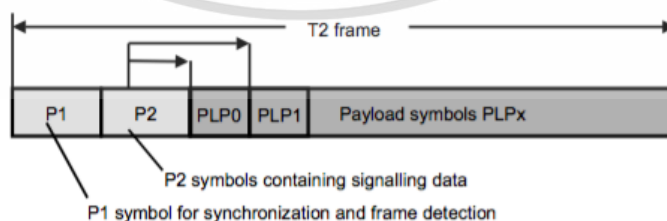
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีดังกล่าว เครื่องรับจะต้องการระดับของสัญญาณที่มากขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับขีดจำกัดที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.14 และขึ้นอยู่กับความล่าช้าและขนาดของ echo เงื่อนไขที่เลวร้ายที่สุดเกิดขึ้นเมื่อ 2 สัญญาณ จาก 2 เครื่องส่งมาถึงที่แอมพลิจูดเดียวกันที่เครื่องรับ ในกรณีนี้การตอบสนองความถี่ของสัญญาณของสัญญาณที่ได้รับ แสดงรูปแบบการเสื่อมลงเป็นระยะขึ้นอยู่กับความผกผันของความล่าช้าที่สัมพันธ์กันระหว่าง echo ผลกระทบต่อเครื่องรับ จะขึ้นอยู่กับแบบรูปสัญญาณไพลอต (Pilot Pattern) และ อัลกอริทึมประมาณค่าช่องสัญญาณ

สามารถกล่าวได้ว่าอัตราส่วนคลื่นพาห่ต่อสัญญาณรบกวนของโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ใน Time-Variant Rayleigh Channel จะมีค่าสูงกว่า Static Rayleigh แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณ รูปแบบต่าง ๆ สามารถคาดหวังได้ สำหรับความถี่ดอปเปลอร์ (Doppler Frequency) ที่ต่ำ ค่าอัตราส่วนคลื่นพาห่ต่อสัญญาณรบกวนนั้นจะมีค่าสูงกว่า สามารถคาดหวังได้เนื่องจากการสลับตำแหน่ง (Interleaving) ในโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ไม่ได้ผลที่ความถี่ดอปเปลอร์ (Doppler Frequency) ที่ต่ำ $< 1/\text{Interleaving time}$

2.11 โครงสร้างเฟรมข้อมูล

โครงสร้างข้อมูลทางกายภาพ แสดงในรูปที่ 2.20 ในระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 จะเริ่มต้นด้วยสัญลักษณ์ P1 ที่ใช้สำหรับการซิงโครไนซ์และการค้นหาเฟรมตามด้วยสัญลักษณ์ P2 อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ประกอบด้วยเลเยอร์ 1 (L1) สำหรับเครื่องรับ ตามด้วยสัญลักษณ์ที่มีข้อมูลที่แท้จริง ในทางทฤษฎีถึง 255 อินพุตสตรีมถูกส่งผ่านทางกายภาพที่เรียกว่า Physical Layer Pipes (PLPs) ซึ่งสามารถส่งข้อมูลที่แตกต่างกันไปด้วยอัตราข้อมูลที่สูงขึ้นหรือต่ำลงและมีประสิทธิภาพมากขึ้นหรือน้อยลง (การป้องกันข้อผิดพลาดและการมอดูเลชัน) ส่วนนี้ถูกเรียกว่า Variable Coding and Modulation (VCM) นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนพารามิเตอร์การส่งผ่านของ PLP ได้แบบไดนามิกจากกรอบ T2 ไปจนถึงกรอบ T2 พารามิเตอร์การส่งข้อมูลปัจจุบันของ PLP ทั้งหมดจะถูกส่งสัญญาณในสัญลักษณ์ P2; การส่งสัญญาณแบบไดนามิก L1 สำหรับเครื่องรับส่งสัญญาณจะเกิดขึ้นในช่อง padding ของเฟรมเบสแบนด์



รูปที่ 2.20 โครงสร้างเฟรมข้อมูลของโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 [14]

นอกเหนือจากโหมด FFT พารามิเตอร์การส่งผ่านเกือบทั้งหมดสามารถเปลี่ยนได้จาก Physical Layer Pipe (PLP) ไปจนถึง Physical Layer Pipe ตามที่ได้รับไว้แล้วสัญญาณและที่อยู่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่เอกสารนี้โดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ PLP (Start, Length ฯลฯ) จะถูกจัดการผ่านทางสัญลักษณ์ P2 ซึ่งถูกเรียกว่าสัญญาณ L1 จำนวนสัญลักษณ์ P2 ขึ้นอยู่กับโหมด FFT ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2.3 เหตุผลก็คือความจุของข้อมูลที่แตกต่างกันของสัญลักษณ์ขึ้นอยู่กับโหมด FFT โหมด 1K มีสัญลักษณ์ที่สั้นที่สุดและทำให้ความจุข้อมูลต่ำสุดต่อสัญลักษณ์ ในโหมด 32K สามารถส่งข้อมูลได้มากขึ้นต่อสัญลักษณ์เนื่องจากมีสัญลักษณ์ยาวนานกว่ามาก นี่เป็นไปได้ในขอบเขตที่การส่งข้อมูลสามารถเริ่มต้นด้วยสัญลักษณ์ P2 เนื่องจากความจุที่ไม่ได้ใช้งาน ตารางที่ 2.3 แสดงจำนวนของ P2-Symbols ต่อ เฟรมของโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ดังนั้นกรอบโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 จึงประกอบด้วย

- สัญลักษณ์ P1
- สัญลักษณ์ P2 ตั้งแต่ 1 ถึง 16 (ขึ้นอยู่กับโหมด FFT)
- สัญลักษณ์ข้อมูลจำนวน N (ข้อมูล PLP, FEF, Auxiliary, Dummy cells)

เฟรมสามารถมีความยาวสูงสุดได้ 250ms ทำให้มีจำนวนข้อมูลมากที่สุดซึ่งขึ้นอยู่กับโหมด FFT และช่วงป้องกัน อัตราข้อมูลสุทธิต่อ PLP อาจแปรผันเนื่องจากพารามิเตอร์การส่งข้อมูลที่แตกต่างกัน สตรีมข้อมูลที่ให้บริการ HDTV [13] จะต้องมีอัตราข้อมูลที่สูงกว่าสตรีมข้อมูลที่ส่งผ่านบริการโทรทัศน์มาตรฐานความคมชัดปกติ (SDTV) [13] หรือสตรีมข้อมูลที่ส่งบริการการแพร่เสียงเพียงอย่างเดียว แสดงให้เห็นรูป 2.21



รูปที่ 2.21 การเปลี่ยนแปลงการเข้ารหัสและการมอดูเลชัน [14]

ตารางที่ 2.16 จำนวนของสัญลักษณ์ P2 ต่อเฟรมข้อมูล DVB-T2 ในฟังก์ชันโหมด FFT

FFT mode	Number of P2 symbols/DVB-T2 frame
1K	16
2K	8
4K	4
8K	2

ตารางที่ 2.16 จำนวนของสัญลักษณ์ P2 ต่อเฟรมข้อมูล DVB-T2 ในฟังก์ชันโหมด FFT (ต่อ)

FFT mode	Number of P2 symbols/DVB-T2 frame
16K	1
32K	1

2.12 การรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2

โทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 สามารถสามารถใช้สายอากาศแบบเดิมที่ใช้กับช่อง 3 5 7 9 11 NBT และ TPBS ได้หากสายอากาศนั้นรองรับย่านความถี่ขึ้นสูงยิ่งได้ สายอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 สามารถใช้งานทั้งแบบภายในบ้านหรือภายนอกบ้าน



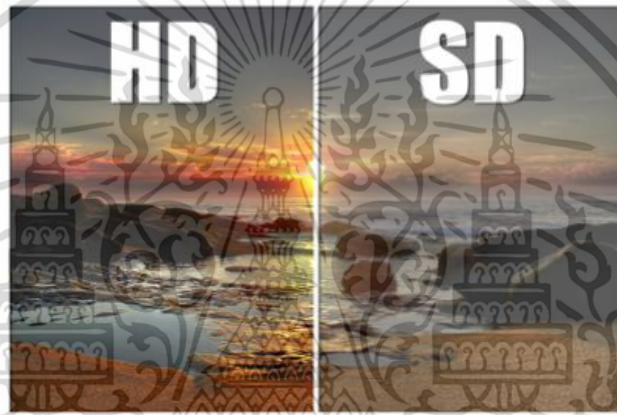
รูปที่ 2.22 สายอากาศสำหรับโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ชนิดติดตั้งบนหลังคา



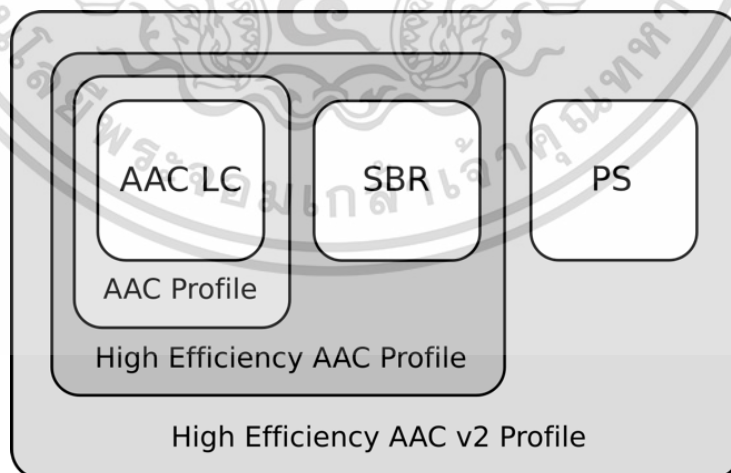
รูปที่ 2.23 สายอากาศและเครื่องรับสำหรับโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ชนิดพกพาและเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ที่ใช้ในประเทศไทยนั้น เป็นระบบ MPEG-4 ซึ่งที่โทรทัศน์ทุกระบบสามารถรับสัญญาณได้โดยใช้ร่วมกับกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 และหากโทรทัศน์ที่ใช้มีช่องรับสัญญาณ HDMI ภาพที่ได้จะมีความคมชัดสูง ซึ่งสูงกว่าการใช้ช่องรับสัญญาณชนิด AV อย่างที่ใช้กันในอดีต และ มาตรฐานการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ MPEG-4/H.264 AVC ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการบีบอัดที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยสามารถให้คุณภาพสูงสุดระดับ 4K UHD [18] และมาตรฐานการบีบอัดสัญญาณเสียงแบบ MPEG-4/HE-AACv2 [20] ที่ได้รับการพัฒนามาจาก AAC Profile และ HE-AACv1 ตามลำดับซึ่งประกอบไปด้วยคุณสมบัติที่หลากหลายในการเข้ารหัสสัญญาณเสียง ทั้งในแบบ โมโน, สเตอริโอ และ multichannel ที่ให้ช่องสัญญาณได้สูงถึง 48 ช่องสัญญาณ ที่คุณภาพสูง



รูปที่ 2.24 ภาพเปรียบเทียบระหว่างความคมชัดแบบสูงและความคมชัดแบบมาตรฐาน



รูปที่ 2.25 โครงสร้างของ MPEG-4/HE-AACv2 [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 ข้อกำหนดในการออกอากาศของโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ในประเทศไทย

เนื่องจากการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ในประเทศไทยนั้น อยู่ภายใต้การกำกับดูแลของ สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ หรือ ที่รู้จักกันในนาม สำนักงาน กสทช. ซึ่งได้ทำการกำหนดมาตรฐานทางด้านเทคนิคสำหรับการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 เพื่อให้ประชาชนได้รับบริการโทรทัศน์ที่ได้มาตรฐาน มีคุณภาพ มีความหลากหลาย โดยอาศัยเทคโนโลยีที่ทันสมัยและใช้คลื่นความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในมาตรฐานทางด้านเทคนิคนี้ ได้ระบุข้อกำหนดทางด้านเทคนิคขั้นต่ำของอุปกรณ์สำหรับการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ที่ใช้ระบบการส่งสัญญาณด้วยคลื่นความถี่ซึ่งให้บริการเป็นการทั่วไป (Free to Air) ซึ่งได้ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 129 ตอนพิเศษ 189ง เมื่อวันที่ 18 ธันวาคม 2555 โดยมีรายละเอียดตามมาตรฐานเลขที่ กสทช. มส. 4001 – 2555

2.13.1 ข้อกำหนดทางด้านความถี่

การให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ในประเทศไทยนั้น สำนักงาน กสทช. ได้กำหนดช่วงความถี่ใช้งานให้อยู่ระหว่าง 510 – 790 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยมีความกว้างช่องสัญญาณ 8 เมกะเฮิร์ตซ์

2.13.2 ข้อกำหนดทางด้านระบบส่งออกอากาศ

เครื่องส่งวิทยุโทรทัศน์และระบบสายอากาศสำหรับการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ในประเทศไทยนั้น ต้องมีกำลังส่งออกอากาศ (Effective Radiated Power : ERP) และข้อกำหนดอื่น ๆ ตามที่กำหนดไว้ในแผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2

2.13.3 ข้อกำหนดทางเทคนิค

มาตรฐานทางเทคนิคสำหรับการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

2.13.3.1 สัญญาณเบสแบนด์และการบีบอัดสัญญาณ (Baseband Signal and Compression)

2.13.3.1.1 การเข้ารหัสสัญญาณภาพ (Video Coding) ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO/IEC 14496-10:2012 : Information technology – coding of audio – visual objects – Part 10 : Advanced Video Coding (MPEG 4 AVC/H.264) [29]

ทั้งนี้กำหนดให้มีสัญญาณภาพ 2 มาตรฐาน ดังนี้

1.) มาตรฐานความคมชัดปกติ (Standard Definition – SD) สำนักงาน กสทช. ได้กำหนดให้คุณภาพของภาพมีความละเอียดที่ 720x576 แบบ interlace (576i) ที่มีอัตราเฟรม (frame rate) 25 ภาพต่อวินาที และ อัตราส่วนภาพ (aspect ratio) 16:9 และ 4:3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) มาตรฐานความคมชัดสูง (High Definition – HD) ทางสำนักงาน กสทช. ได้กำหนดให้คุณภาพของภาพมีความละเอียด 1920x1080 แบบ interlace (1080i) ที่มีอัตราเฟรม (frame rate) 25 ภาพต่อวินาที และ อัตราส่วนภาพ (aspect ratio) 16:9 หรือมีความละเอียด 1280x720 แบบ Progressive (720p) ที่มีอัตราเฟรม (frame rate) 50 ภาพต่อวินาที และ อัตราส่วนภาพ (aspect ratio) 16:9

3.) การเข้ารหัสสัญญาณเสียง (Audio Coding) แบบสองช่องเสียง (Stereo) ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO/IEC 14496-3:2009 : Information technology – Coding of audio – visual object – Part 3: Audio (MPEG 4 HE AACv2) [30]

2.13.3.2 การส่งสัญญาณ (Transmission)

2.13.3.2.1 โครงสร้างเฟรม (Framing Structure), การเข้ารหัสช่องสัญญาณ (Channel Coding) และ การมอดูเลตสัญญาณ (Modulation) ทางสำนักงาน กสทช. ได้ระบุให้เป็นไปตามที่ถูกระบุไว้ในมาตรฐาน ETSI EN 302 755 V1.3.1 (2012-04): Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2) [31]

2.13.3.2.2 ในส่วนของการใช้งานเมกะเฟรมสำหรับการชิงโครโนซีโครงข่ายแบบความถี่เดียว (Single Frequency Network: SFN) ทางสำนักงาน กสทช. ได้ระบุให้เป็นไปตามที่ถูกระบุไว้ในมาตรฐาน ETSI TS 101 191 V1.4.1 (2004-06): Digital Video Broadcasting (DVB); DVB mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization [32]

2.13.3.2.3 ในส่วนของการประยุกต์ใช้ระบบส่งสัญญาณภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลตามมาตรฐานในข้อที่ 2.13.3.2.1 และ ข้อที่ 2.13.3.2.2 ซึ่งสามารถที่จะอ้างอิงได้ตามเอกสาร ETSI TS 102 831 V1.2.1 (2012-08): Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guideline for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2) [10]

2.13.3.3 การมัลติเพล็กซ์สัญญาณ (Multiplexing)

2.13.3.3.1 ในข้อกำหนดสำหรับข้อมูลข่าวสารการให้บริการ (Service Information: SI) สำนักงาน กสทช. นั้นได้ระบุให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ETSI EN 300 478 V1.13.1 (2012-08): Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems [33]

2.13.3.3.2 การประยุกต์ใช้งานในส่วนของข้อกำหนดสำหรับข้อมูลข่าวสารการให้บริการตามข้อที่ 2.13.3.3.1 สามารถอ้างอิงได้ตามเอกสาร ETSI TS 101 211 V1.11.1 (2012-04): Digital Video Broadcasting (DVB): Guidelines on implementation and usage of Service Information (SI) [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.3.3.3 ข้อกำหนดการกระจายข้อมูล (Data Broadcasting) ทางสำนักงาน กสทช. นั้นได้ประกาศให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ETSI EN 301 192 V1.4.2 (2008-04): Digital Video Broadcasting (DVB); DVB specification for data broadcasting [23]

2.13.3.3.4 การประยุกต์ใช้งานข้อกำหนดสำหรับการกระจายข้อมูลตามข้อ 2.13.3.3.3 สามารถอ้างอิงได้ตามเอกสาร ETSI TR 101 202 V1.2.1 (2003-01): Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for Data Broadcasting [24]

2.13.3.3.5 ระบบการเข้ารหัสสัญญาณสำหรับกระแสนิ่ง MPEG-2 (MPEG-2 Transport Stream) สำนักงาน กสทช. ประกาศให้เป็นไปตามที่ถูกระบุไว้ในมาตรฐาน ETSI TS 101 154 V1.10.1 (2011-06): Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for the use of Video and Audio Coding in Broadcasting Applications based on the MPEG-2 Transport Stream [26] รวมทั้งสามารถอ้างอิงได้ตามมาตรฐาน ISO/IEC 13818-1:2007 : Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: System [26]

2.13.3.3.6 ในกรณีการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลแบบโครงข่ายความถี่เดี่ยว หรือ กรณีการให้บริการแบบ Multiple PLP (Multiple Physical Layer Pipe) การต่อร่วมกับอุปกรณ์มอดูเลตสัญญาณ (Modulator Interface T2-IM) สำนักงาน กสทช. ได้ระบุให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ETSI TS 102 773 V1.3.1 (2012-01): Digital Video Broadcasting (DVB); Modulator Interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2) [27]

2.13.3.4 การปรับปรุงซอฟต์แวร์ให้เป็นปัจจุบัน (System Software Update: SSU)

ข้อกำหนดสำหรับการปรับปรุงซอฟต์แวร์ให้เป็นปัจจุบัน สำนักงาน กสทช. ได้ประกาศให้เป็นไปตามที่ ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐาน ETSI 102 006 V1.3.2 (2008-07): Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for System Software Update in DVB Systems [28]

2.13.3.5 คำบรรยายใต้ภาพ (Subtitling)

ในส่วนของข้อกำหนดสำหรับระบบคำบรรยายใต้ภาพนั้น ทางสำนักงาน กสทช. ได้ประกาศให้เป็นไปตามที่ ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐาน ETSI EN 300 743 V1.4.1 (2011-10): Digital Video Broadcasting (DVB); Subtitling systems [34]

2.13.3.6 วิธีการวัด

วิธีการวัดสัญญาณหรือการทดสอบค่าของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 หรือพารามิเตอร์อื่น ๆ ของการให้บริการสามารถอ้างอิงได้ตามเอกสาร ETSI TR 101 290 V1.2.1 (2001-05): Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement Guidelines for DVB system และ เอกสาร DVB Document A14-2 (July 2012): Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems; Amendment for DVB-T2 System [9]

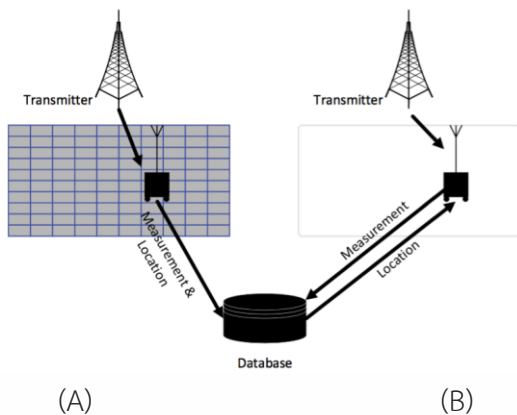
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 เทคนิคการระบุตำแหน่ง

เทคนิคที่ใช้ในการระบุตำแหน่งจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะด้วยกันคือ เทคนิคการจับคู่หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเทคนิคเสมือนสแกนลายนิ้วมือ (Mapping Technique or Fingerprinting Technique) และ เทคนิคทางเรขาคณิต (Geometric Techniques) โดยเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือนั้นจะใช้ฐานข้อมูล (Database) ซึ่งได้จากการเก็บรวบรวมพารามิเตอร์ของสัญญาณที่ต้องการพิจารณาในขั้นตอนออฟไลน์หรือเรียกว่าขั้นตอนการฝึกฝน (Offline Phase or Training Phase) ก่อนที่จะเริ่มกระบวนการในการระบุตำแหน่งในขั้นตอนออนไลน์หรือเรียกว่าขั้นตอนทดสอบ (Online Phase or Testing Phase) ในขณะที่เทคนิคทางเรขาคณิตไม่จำเป็นต้องใช้ฐานข้อมูลในการประมวลผล โดยตำแหน่งจะถูกระบุโดยใช้พารามิเตอร์ของสัญญาณที่วัดได้จริงในขณะนั้น

เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือจะใช้ฐานข้อมูลเพื่อระบุตำแหน่ง โดยมีแนวความคิดคล้ายกับวิธีการสแกนลายนิ้วมือของมนุษย์ ในขั้นตอนแรกนั้นจะเก็บค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณที่ต้องการนำมาพิจารณาไว้ในฐานข้อมูล จากนั้นทำการระบุตำแหน่งเป้าหมายโดยนำค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณมาเปรียบเทียบกับความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่งที่ได้ทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณนั้นไว้ในฐานข้อมูลก่อนหน้าแล้ว ตำแหน่งเป้าหมายที่ได้คือตำแหน่งที่เมื่อทำเปรียบเทียบแล้วมีความใกล้เคียงกันที่สุด [36] วิธีการนี้สามารถใช้อุปกรณ์ภาคส่งอย่างน้อย 1 ตัวก็สามารถหาตำแหน่งได้ อย่างไรก็ตาม ข้อด้อยของการใช้วิธีนี้ในการระบุตำแหน่งคือต้องใช้เวลามากในการเก็บค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการพิจารณาไว้ในฐานข้อมูลสำหรับกรณีที่บริเวณที่ต้องการหาตำแหน่งมีขนาดใหญ่ รวมไปถึงต้องมีอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลที่สามารถรองรับข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณได้ สำหรับกระบวนการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนสแกนลายนิ้วมือ แสดงได้ดังรูปที่ 2.26

เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือนั้นได้นำเอาหลักการของการสแกนลายนิ้วมือมนุษย์มาใช้ โดยเทคนิคนี้จะมีการเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณที่ต้องการนำมาพิจารณาไว้ในฐานข้อมูลก่อน ซึ่งจะเรียกขั้นตอนนี้ว่าขั้นตอนการฝึกฝนหรือขั้นตอนออฟไลน์ (Training process or Offline process) หลังจากนั้นในกระบวนการหาตำแหน่งพารามิเตอร์ของสัญญาณจะถูกเก็บแล้วนำมาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่ทำการเก็บไว้ก่อนหน้า หลังจากนั้นจะทำการแสดงตำแหน่งที่มีค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณแตกต่างกันน้อยที่สุด ซึ่งจะเรียกขั้นตอนนี้ว่า ขั้นตอนการทดสอบหรือขั้นตอนออนไลน์ (Testing process or Online process) อย่างไรก็ตามในส่วน of ขั้นตอนการเรียนรู้ นั้น สามารถใช้กระบวนการในการประมวลผลข้อมูลเพิ่มเติม เช่น การประมาณค่าในช่วง (Interpolation) และการแบ่งกลุ่มข้อมูล (Data Clustering) เพื่อให้ได้ผลในการหาตำแหน่งที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่นเดียวกันกับขั้นตอนเรียลไทม์ สามารถใช้อัลกอริทึมการเปรียบเทียบรูปแบบ (Pattern Matching Algorithm) ในการประมวลผลความแตกต่างของข้อมูลพารามิเตอร์ของสัญญาณกับข้อมูลที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล



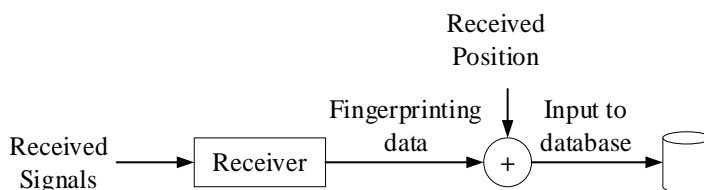
รูปที่ 2.26 กระบวนการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคสแกนลายนิ้วมือ [35]
 (a) ขั้นตอนการฝึกฝน (b) ขั้นตอนออนไลน์

2.15 ขั้นตอนการฝึกฝน

สำหรับในขั้นตอนการฝึกฝนนั้น เป็นการเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณซึ่งแสดงถึงเอกลักษณ์เฉพาะของตำแหน่งซึ่งเรียกว่าชุดข้อมูลฝึกฝน (S) โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังนี้

$$S = \{(m_1, p_1), (m_2, p_2), \dots, (m_n, p_n)\} \tag{2.1}$$

เมื่อ m_i คือพารามิเตอร์ของสัญญาณในตำแหน่งที่ i_{th} , $p_i = (x_i, y_i)$ คือ ตำแหน่งสำหรับในปริภูมิ 2 มิติของพิกัดในแนวแกน x และแกน y , n คือจำนวนข้อมูลฝึกฝนทั้งหมด หลังจากนั้นชุดข้อมูลนั้นจะถูกนำไปประมวลผลก่อนที่จะเก็บลงฐานข้อมูล โดยในงานวิจัยฉบับนี้จะใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มข้อมูล การแบ่งกลุ่มข้อมูล (Data Clustering) นั้น เป็นการแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็นกลุ่มโดยมีหลักเกณฑ์ในการแบ่งคือ ข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายกัน (Similarity) จะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยการแบ่งกลุ่มข้อมูลนี้เป็นการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Classification) คือไม่อาศัยการจัดกลุ่มไว้ล่วงหน้าและไม่ใช้ตัวอย่างในการแบ่งกลุ่ม ลักษณะข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มนั้นจะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับจำนวนกลุ่ม

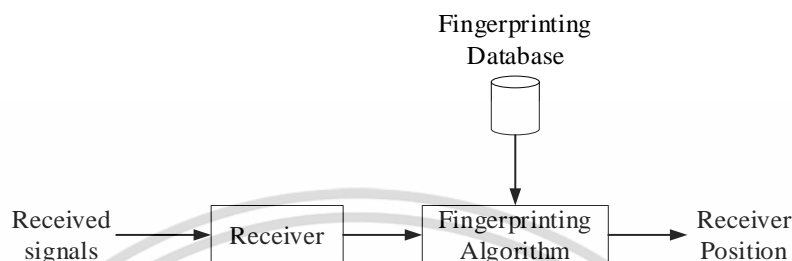


รูปที่ 2.27 ขั้นตอนการฝึกฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16 ขั้นตอนการทดสอบ

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการเก็บพารามิเตอร์ของสัญญาณชนิดเดียวกันกับที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล และทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูล ซึ่งการเปรียบเทียบนี้นอกจากการใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square: LS) แล้วยังสามารถใช้อัลกอริทึมอื่น ๆ ได้



รูปที่ 2.28 ขั้นตอนการทดสอบ

2.17 การคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเหมือนการสแกนลายนิ้วมือ

สำหรับเทคนิคเหมือนการสแกนลายนิ้วมือนั้น หลังจากทำการสร้างคอนทัวร์ต้นแบบแล้ว ก็ จะคาดคะเนตำแหน่งโดยนำพารามิเตอร์ของคอนทัวร์ทดสอบไปเปรียบเทียบกับพารามิเตอร์ของคอน ทัวร์ต้นแบบในทุกตำแหน่ง โดยคำนวณหาความแตกต่างของพารามิเตอร์ระหว่างคอนทัวร์ต้นแบบ และคอนทัวร์ทดสอบในแต่ละตำแหน่ง ขั้นตอนในการคาดคะเนตำแหน่งสำหรับงานวิจัยนี้จะใช้วิธี กำลังสองน้อยที่สุดและอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัว

2.18 วิธีกำลังสองน้อยที่สุด

ในการคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดนั้น เมื่อกำหนดให้คอนทัวร์ต้นแบบ (S_i) ซึ่งมีจำนวน m จุด และคอนทัวร์ทดสอบเป็น (s) สามารถคำนวณค่าความแตกต่างของคอน ทัวร์ (d_i) โดยใช้ระยะทางยุคลิดแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$d_i = \sqrt{\sum_{i=1}^m (S_i - s)^2} \quad (2.7)$$

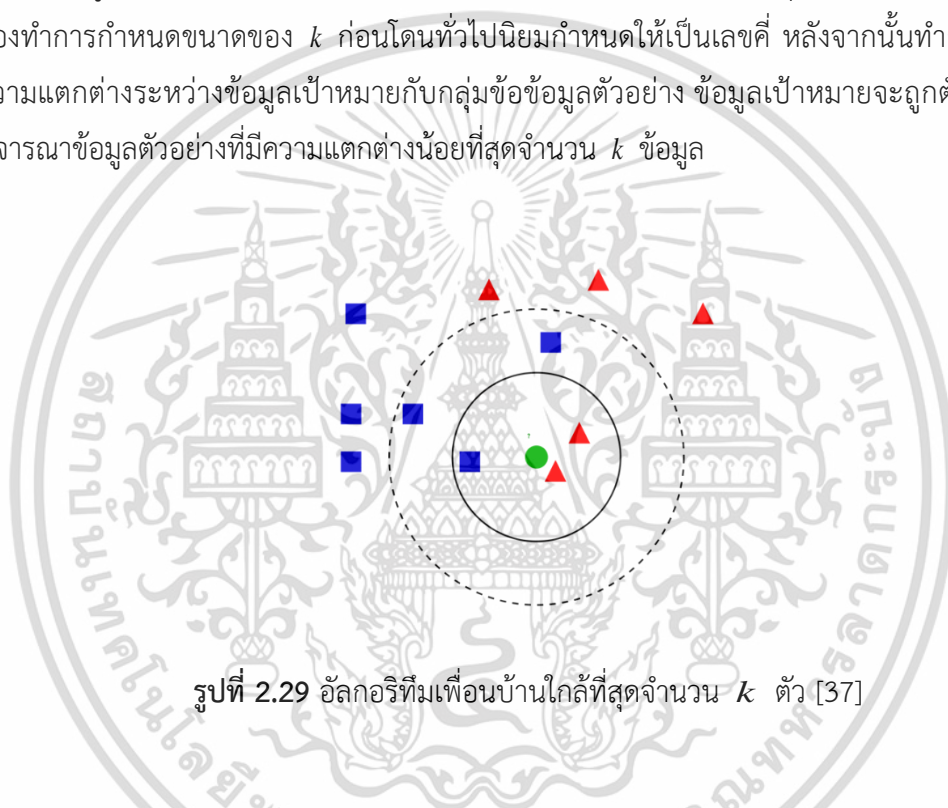
พิกัดตำแหน่งที่คาดคะเนได้จากเทคนิคเหมือนการสแกนลายนิ้วมือ (x_c, y_c) สามารถนิยาม ได้จากพิกัดตำแหน่งที่มีค่าความแตกต่างของคอนทัวร์ที่น้อยที่สุด ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$(x_c, y_c) = \arg \min_{x,y} d_i(x, y) \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.19 อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัว (k-Nearest Neighbor Algorithm k NN) [36]

เป็นวิธีในการตัดสินใจวิธีหนึ่งที่ต่างจากวิธีรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแล้ว ที่สามารถขยายขอบเขตของการตัดสินใจให้มากขึ้น โดยการตรวจสอบ k จำนวนที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k เทคนิคนี้จะเป็นการหาผลรวม (Count Up) ของจำนวนเงื่อนไข หรือกรณีต่าง ๆ สำหรับแต่ละการตัดสินใจ การนำอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัวไปใช้นั้น เป็นการหาระยะห่างระหว่างแต่ละตัวแปร (Attribute) ในข้อมูล ซึ่งเหมาะสำหรับข้อมูลเชิงปริมาณ สำหรับขั้นตอนวิธีของอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัว นั้นเริ่มต้นต้องทำการกำหนดขนาดของ k ก่อนโดยทั่วไปนิยมกำหนดให้เป็นเลขคี่ หลังจากนั้นทำการคำนวณความแตกต่างระหว่างข้อมูลเป้าหมายกับกลุ่มข้อมูลตัวอย่าง ข้อมูลเป้าหมายจะถูกตัดสินใจโดยพิจารณาข้อมูลตัวอย่างที่มีความแตกต่างน้อยที่สุดจำนวน k ข้อมูล



รูปที่ 2.29 อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัว [37]

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่า k ที่ต้องการพิจารณา สิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงคือในการกำหนดค่า k ควรกำหนดให้เป็นเลขคี่สำหรับกรณีข้อมูลเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ เนื่องจากหากกำหนดเป็นเลขคู่ อาจจะทำให้ตัดสินใจไม่ได้ว่าข้อมูลนั้นควรจะเป็นข้อมูลใด

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าความแตกต่างของคอนทิวรั (d_i) โดยส่วนใหญ่แล้วนิยมใช้การคำนวณความแตกต่างโดยใช้ระยะทางยูคลิเดียนดังสมการที่ 2.7

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาความแตกต่างของข้อมูลที่มีค่าน้อยที่สุดจำนวน k ตัวตามที่ได้กำหนดไว้ เพื่อวิเคราะห์ถึงความน่าจะเป็นของข้อมูลที่สนใจโดยในที่นี้สำหรับการหาตำแหน่ง เมื่อพิจารณาข้อมูลแล้วผลลัพธ์ของข้อมูลจะอยู่ในรูปพิกัดของตำแหน่ง (x, y) ซึ่งเกิดจากการหาค่าเฉลี่ยจากผลลัพธ์ที่ได้จำนวน k ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

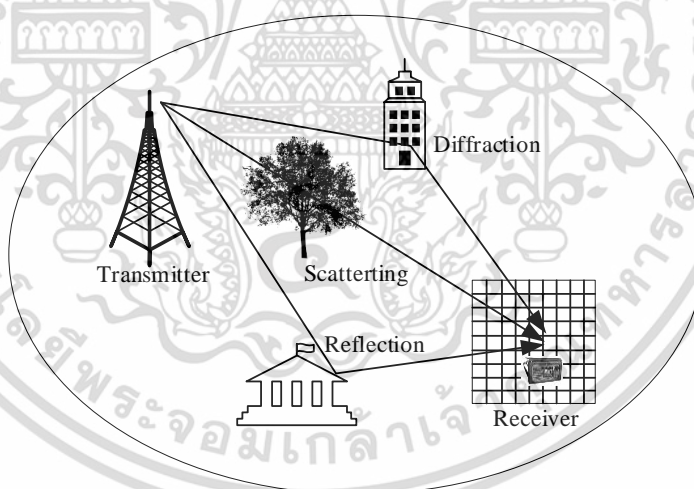
$$(x_c, y_c) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (x_i, y_i) \quad (2.9)$$

2.20 การวิเคราะห์ความแม่นยำของเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ

ในการวิเคราะห์หาความแม่นยำของเทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือบนพื้นฐานโครงข่ายพื้นที่ที่ท้องถิ่นไร้สายนั้นจะพิจารณาในเทอมของค่าความผิดพลาดระยะทาง โดยกำหนดให้พิกัดตำแหน่ง (x_c, y_c) เป็นพิกัดตำแหน่งที่ได้จากเทคนิคเสมือนสแกนลายนิ้วมือ และกำหนดให้พิกัดตำแหน่ง (x_e, y_e) เป็นพิกัดที่ถูกต้อง ค่าความผิดพลาดของระยะทาง e_d จะสามารถคำนวณได้จาก

$$e_d = \sqrt{(x_c - x_e)^2 + (y_c - y_e)^2} \quad (2.10)$$

ค่าความผิดพลาดของระยะทางนี้จะเป็พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ถึงความแม่นยำของการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการเสมือนการสแกนลายนิ้วมือบนพื้นฐานโครงข่ายพื้นที่ที่ท้องถิ่นไร้สาย ซึ่งจะมีความแม่นยำมากเมื่อมีค่าความผิดพลาดของระยะทางน้อย

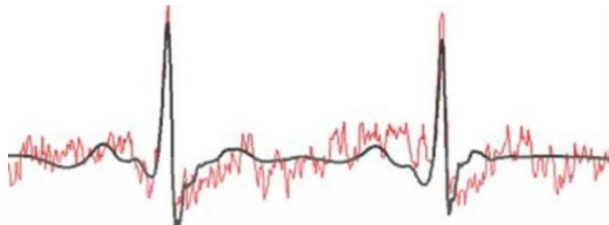


รูปที่ 2.30 การสแกนลายนิ้วมือบนพื้นฐานของเทคโนโลยีโทรศัพท์ศันภาคพื้นดินระบบดิจิทัล

2.21 อัลกอริทึมแบบคลื่น

เนื่องจากค่าสัญญาณที่รับได้ประกอบด้วยสัญญาณรบกวนและค่าหน่วงเวลาอันเกิดมาจากช่องสัญญาณ การคลื่นช่องสัญญาณเพื่อลดสัญญาณรบกวนจึงได้นำมาศึกษาในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ด้วย การทำความเข้าใจผลตอบสนองของอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ หรือ (channel impulse response : CIR) โดยมีวิธีการคือ หาค่าผลตอบสนองของอิมพัลส์ของช่องสัญญาณโดยการประมาณ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า โดยใช้เทคนิคคิโคนโวลูชัน ดังสมการที่ 2.15 โดยที่ผล cross correlation ระหว่าง $y(t)$ และ $x(t)$ คือการคอนโวลูชันระหว่างผลตอบสนองของอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ และ autocorrelation ของ $x(t)$ สามารถที่จะกำหนดให้เป็นผลตอบสนองของอิมพัลส์ของช่องสัญญาณได้ [37-38]



รูปที่ 2.31 การใช้อัลกอริทึมแบบคลื่นลัดสัญญาณรบกวนแสดงให้เห็นสัญญาณที่ฝั่งรับ [39]



รูปที่ 2.32 ระบบเชิงเส้น

$$y(t) = x(t) * h(t, d) \quad (2.11)$$

$$Y(f) = X(f) \cdot H(f, d) \quad (2.12)$$

$$y(t) = F^{-1} \{Y(f)\} \quad (2.13)$$

$$\frac{Y(f)}{X(f)} = H(f) \quad (2.14)$$

$$R_{yx}(\tau) = h(\tau) * R_{xx}(\tau) \quad (2.15)$$

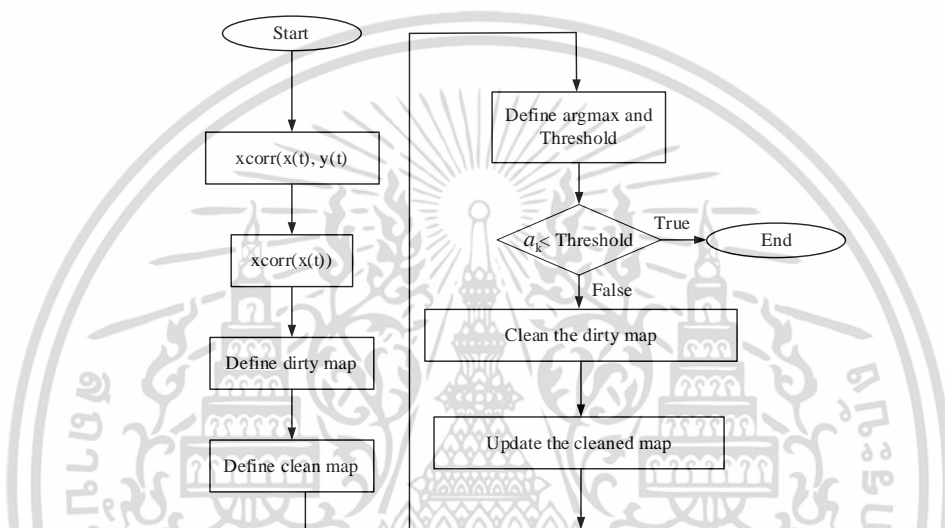
$$R_{yx}(\tau) = h(\tau) \quad (2.16)$$

กระบวนการคลื่นประกอบด้วย 10 ขั้นตอนหลักดังนี้

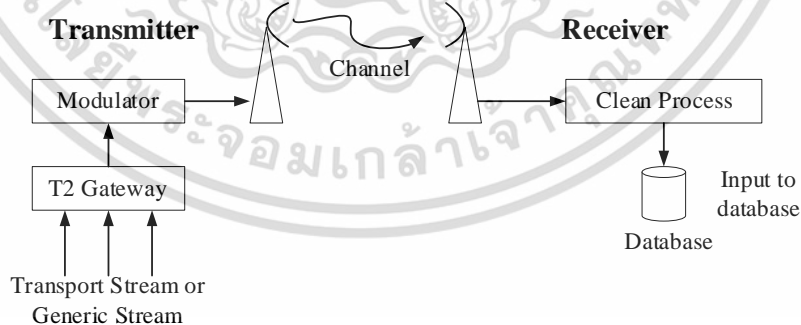
1. ทำการ Cross Correlation ระหว่าง $y(t)$ และ $x(t)$ จะได้ $c_{cc}(\tau)$
2. หาค่า autocorrelation ของ $x(t)$ จะได้ $c_{au}(\tau)$
3. กำหนดค่า Dirty map เป็น $d_0(\tau) = c_{cc}(\tau)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กำหนดค่า Clean map เป็น $c_0(\tau) = 0$
5. ทำการหาค่า $\hat{\tau}_n = \arg \max_{\tau} |c_{cc}(\tau)|$ และ $a_k = C_{cc}(\hat{\tau}_n)$
6. ถ้าค่า a_k มากกว่า threshold ให้ไปที่ขั้นตอนที่ 9
7. คลื่นช่องสัญญาณโดย $d_t = d_{t-1} - (a_k \times c_{au}(\tau - \hat{\tau}_n))$
8. อัปเดตช่องสัญญาณโดย $c_t = c_{t-1} + (a_k \times \delta t_0)$
9. กลับไปขั้นตอนที่ 4
10. ช่องสัญญาณที่คลื่นเท่ากับ $c_t = h_{clean}(t)$

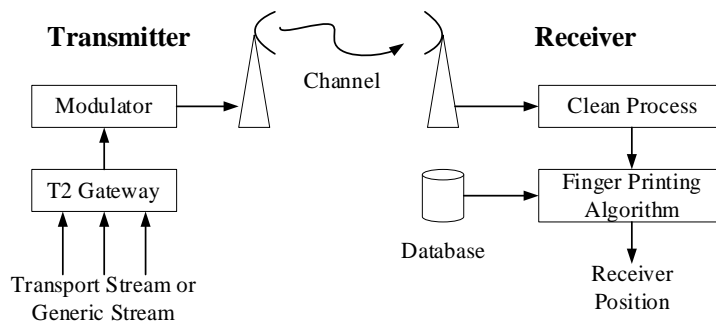


รูปที่ 2.33 การปรับปรุงคลื่นอัลกอริทึม



รูปที่ 2.34 บล็อกไดอะแกรมของการจำลองการส่งผ่านของโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 สำหรับระบบการหาดำแหน่ง ในขั้นตอนการฝึกฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 บล็อกไดอะแกรมของการจำลองการส่งผ่านของโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 สำหรับระบบการหาตำแหน่ง ในขั้นตอนการทดสอบ

2.22 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน คุณสมบัติและการกำหนดการใช้งาน คุณสมบัติเด่นของโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ในการถ่ายทอดสัญญาณภาพและเสียงโดยกระบวนการดิจิทัลซึ่งใช้การแบ่งช่องสัญญาณหลายช่อง ทำให้สามารถรองรับรายการโทรทัศน์ได้มากกว่า 1 รายการภายใน 1 ช่องสัญญาณ ทำให้มีช่องรายการที่เพิ่มขึ้นมากและหลากหลาย ทำให้ประชาชนได้รับข้อมูลข่าวสารที่มีสารประโยชน์มากขึ้น และนอกจากภาพและเสียงที่มีคุณภาพสูงแล้ว การออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ยังสามารถส่งข้อมูลอื่น ๆ เช่น ฟังรายการ, คำบรรยาย มาในเวลาเดียวกันได้อีกด้วย ถือเป็นเทคโนโลยีที่เพิ่มศักยภาพและคุณภาพในการให้บริการอย่างแท้จริง และยังสามารถรับสัญญาณได้ทั้งในรูปแบบการรับสัญญาณประจำที่บนหลังคา การรับสัญญาณแบบพกพา และการรับสัญญาณแบบเคลื่อนที่ในขณะที่อยู่บนรถที่กำลังเคลื่อนที่ได้อีกด้วย เนื่องจากสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 มีความคงทนต่อสิ่งรบกวนมาก ทั้งหมดนี้เป็นองค์ความรู้เบื้องต้นของระบบโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 รวมทั้งข้อกำหนดต่าง ๆ ของ กสทช. รวมถึงทฤษฎีและหลักการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนสแกนลายนิ้วมือ ร่วมกับอัลกอริทึมแบบเคลื่อนที่เพื่อลดสัญญาณรบกวนและทำให้ได้ตำแหน่งของวัตถุที่ค้นหาแม่นยำมากขึ้น จากที่ได้กล่าวมาในบทนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์และประเมินผลตามแบบแผนที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 3

บทที่ 3

การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดและขั้นตอนการทดลองวิเคราะห์และเปรียบเทียบในส่วนเทคโนโลยีและข้อกำหนดต่าง ๆ ตลอดถึงการประยุกต์ใช้งานได้กล่าวอย่างคร่าว ๆ ในบทที่ 2 แล้ว สำหรับระบบการหาตำแหน่งภายนอกอาคารโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและแบบจำลองการวัดสำหรับการทดลอง สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนั้น อุปกรณ์ภาครับใช้สายอากาศรับ ไดโพลแบบครึ่งความยาวคลื่น ยี่ห้อ EMCO Model รุ่น 3121C และเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ อุปกรณ์ภาคส่งสัญญาณใช้สถานีส่งไปหยก สำหรับแบบจำลองการวัดสำหรับการทดลองนั้นได้ทำการทดลองบริเวณวัดปลูกศรัทธา กรุงเทพมหานคร โดยทดสอบเก็บคอนทัวร์ต้นแบบทั้งหมด 121 ตำแหน่ง เช่นเดียวกับกับคอนทัวร์ทดสอบ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 100 ตารางเมตร โดยวิธีการวัดเป็นไปตามแนวทางการวัดกำหนดโดยสำนักงาน กสทช. ตามที่ได้ระบุในหัวข้อที่ 2.13.3.6

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

3.2.1 สายอากาศ

สายอากาศที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัย เป็นสายอากาศที่ใช้สำหรับการรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ที่ให้บริการอยู่ในประเทศไทย โดยสายอากาศที่ใช้ในการศึกษาวิจัย ยี่ห้อ EMCO รุ่น 3121C ซึ่งเป็นสายอากาศชนิดไดโพลแบบครึ่งความยาวคลื่น รองรับความถี่ในช่วง 28 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 1,000 เมกะเฮิร์ตซ์ เป็นช่วงความถี่ที่ใช้ส่งออกอากาศโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ในประเทศไทย ซึ่งตัวสายอากาศมาพร้อมกับสายนำสัญญาณที่มีความยาวสาย 10 เมตร และถูกนำมาติดตั้งเข้ากับขาตั้ง 3 ขาที่สามารถปรับระดับความสูงได้ ตัวสายอากาศมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 สายอากาศยี่ห้อ EMCO Model รุ่น 3121C [39]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของสายอากาศภาครับ [39]

คุณสมบัติของสายอากาศภาครับ	
ชนิดของสายอากาศ	สายอากาศไดโพลแบบครึ่งความยาวคลื่น
รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น	รอบทิศทาง
ความกว้างแถบจากค่าอิมพีแดนซ์	แคบ
โพลาริเซชัน	เชิงเส้น (แนวนอน)
ช่วงความถี่	28 – 1000 เมกะเฮิร์ตซ์
อิมพีแดนซ์	50 โอห์ม
ความยาวสายอากาศสูงสุด	17 ฟุต (518.16 เซนติเมตร)
Maximum Power Handling Capability	50 วัตต์

3.2.2 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลแบบพกพา

ในการศึกษาทดลองในครั้งนี้ได้พิจารณาใช้เครื่องวิเคราะห์สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลแบบพกพา ยี่ห้อ Rover รุ่น HD Protab ดังรูปที่ 3.2

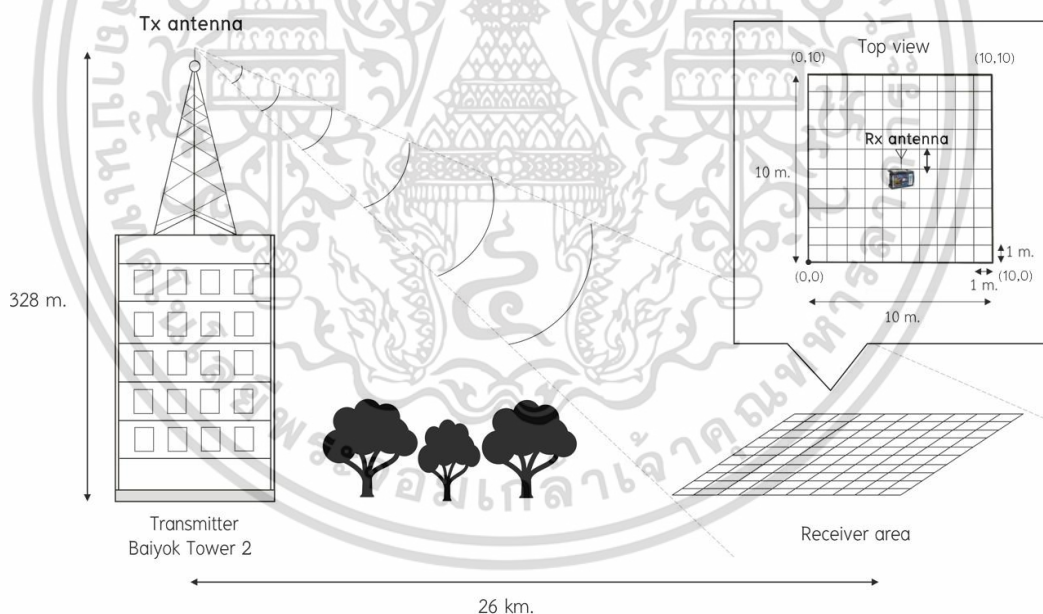


รูปที่ 3.2 เครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ [40]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

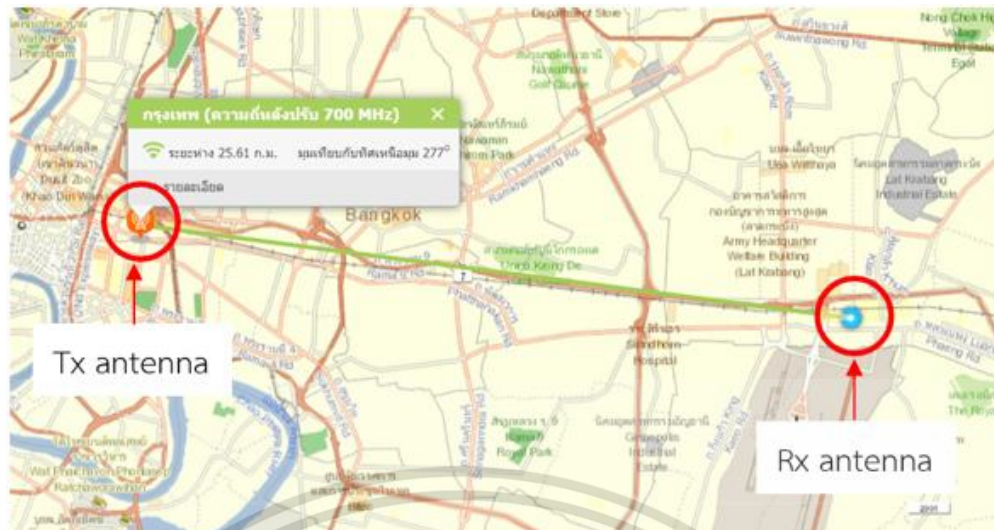
3.3 การออกแบบจำลองการหาตำแหน่งในพื้นที่จริงภายนอกอาคาร

สำหรับแบบจำลองการวัดในการทดลองนั้นได้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการฝึกฝนและขั้นตอนการทดสอบ ในขั้นตอนการฝึกฝนนั้น อุปกรณ์ภาครับได้ทำการสำรวจเพื่อเก็บค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ทั้ง 5 MUX ตามตำแหน่งอ้างอิงทั้งหมด 121 ตำแหน่ง ซึ่งมีระยะห่างตำแหน่งละ 1 เมตร แต่ละตำแหน่งจะเก็บค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จำนวน 10 ครั้ง สำหรับในขั้นตอนการทดสอบนั้น อุปกรณ์ภาครับได้ทำการทดสอบทั้งหมด 121 ตำแหน่งเช่นเดียวกันเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของระบบการหาตำแหน่งโดยใช้วิธีการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลินบนพื้นฐานเทคโนโลยีโทรทัศนภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 แบบจำลองและการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 3.3 ทำการทดลองที่วัดปลุกศรัทธา กรุงเทพมหานคร ชุดเครื่องมือวัดประกอบด้วยเครื่องวิเคราะห์โทรทัศนภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 กับสายอากาศไดโพลและขาตั้งที่ใช้ติดตั้งสายอากาศไดโพล โดยการติดตั้งสายอากาศรับสูงจากระดับพื้นดิน 1 เมตร และ 6 เมตร โดยที่รูปแบบการรับสัญญาณเป็นการรับแบบประจำที่ภายนอกอาคาร ไม่มีการเคลื่อนที่ โดยวัดสัญญาณในทิศทาง Line of Sight ระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ ซึ่งปราศจากสิ่งกีดขวาง ซึ่งมีระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งกับพื้นที่ทดลองเป็นระยะทางประมาณ 26 กิโลเมตร ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 แบบจำลองและการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับด้วยเว็บไซต์ระบบตรวจสอบพื้นที่
ครอบคลุมสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล

3.4 การทดลองการหาตำแหน่งในพื้นที่จริงภายนอกอาคาร

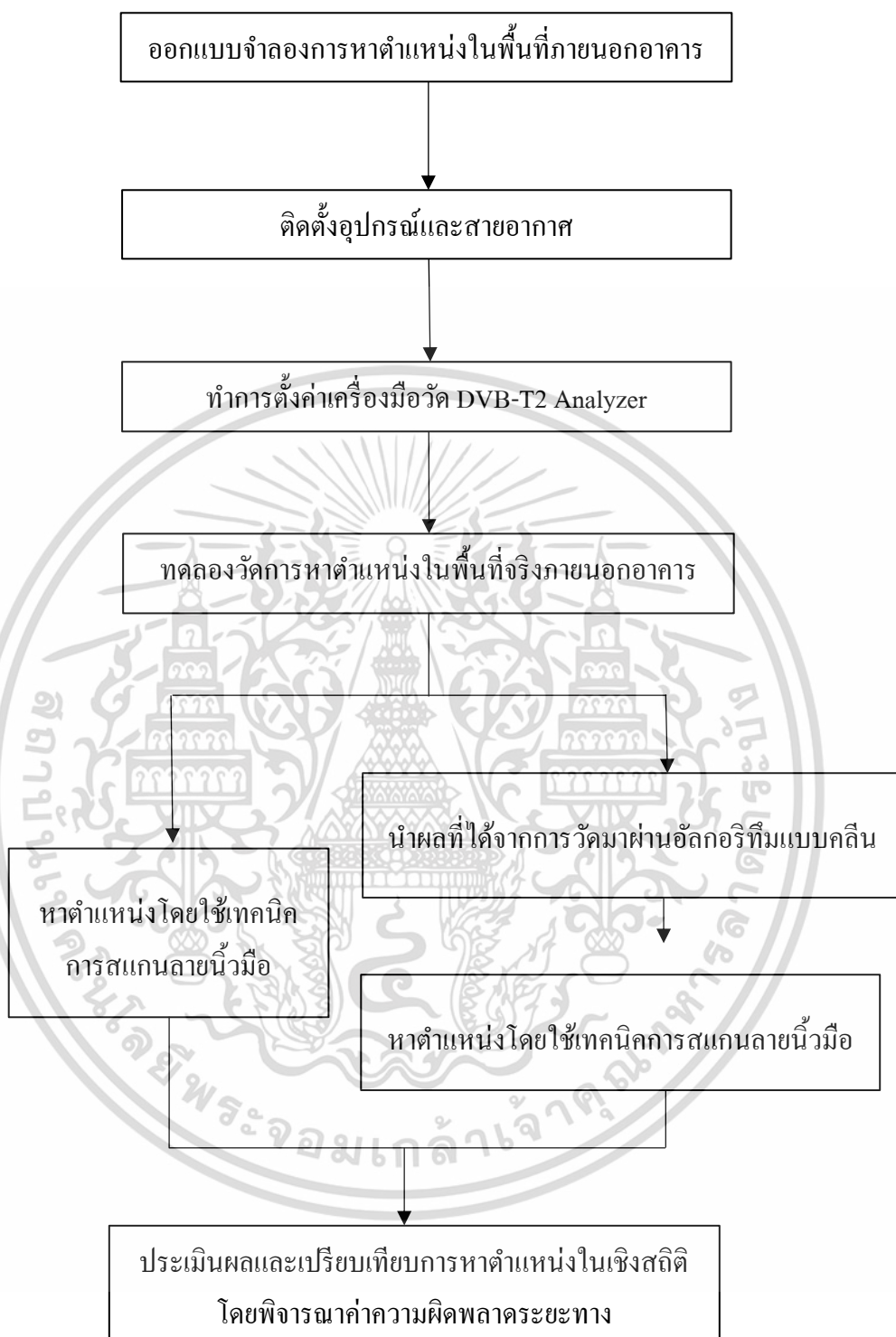
ขั้นตอนในการทดลองหาตำแหน่ง แสดงได้ดังบล็อกไดอะแกรมของการทดลองหาตำแหน่งรูป

ที่ 3.5

วิธีการทดลอง

1. ออกแบบจำลองการหาตำแหน่ง

2. ติดตั้งสายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 เข้ากับขาตั้งและทำการเชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่างขั้วของสายอากาศรับเข้ากับเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ ในการทดลองได้ติดตั้งสายอากาศรับที่ความสูง 1 เมตร และ 6 เมตร ดังรูปที่ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ

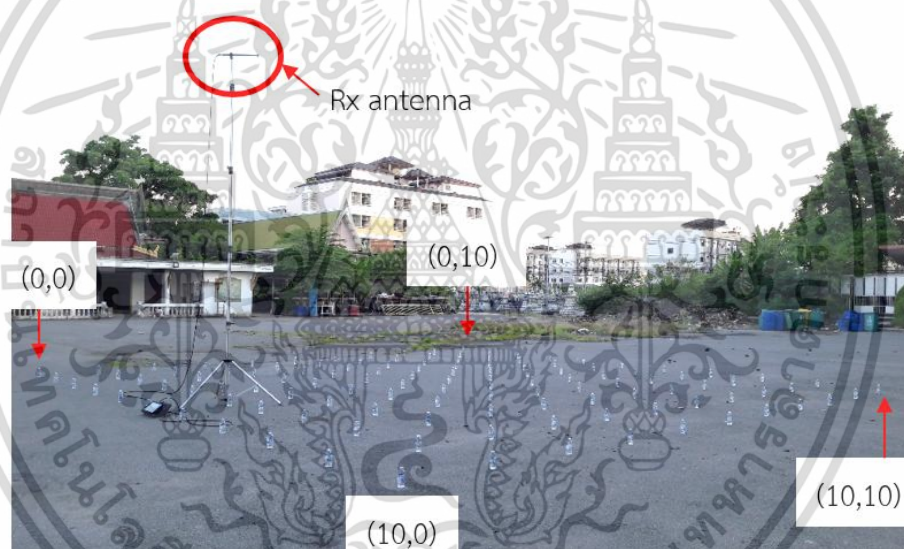


รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของขั้นตอนการทดลองหาตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 กำหนดตำแหน่งการวัด 121 ตำแหน่ง ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร



รูปที่ 3.7 กำหนดตำแหน่งการวัด 121 ตำแหน่ง ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร

3. ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ตามตารางพารามิเตอร์สำหรับโครงข่ายโทรทัศนภาคพื้นดินในระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 และพารามิเตอร์ของการทดลองหาตำแหน่งได้ดังตารางที่ 3.2 หน้าจอบันทึกผลของเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ที่ทำการตั้งค่าแล้วสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ของการหาตำแหน่งในพื้นที่จริงภายนอกอาคาร [41]

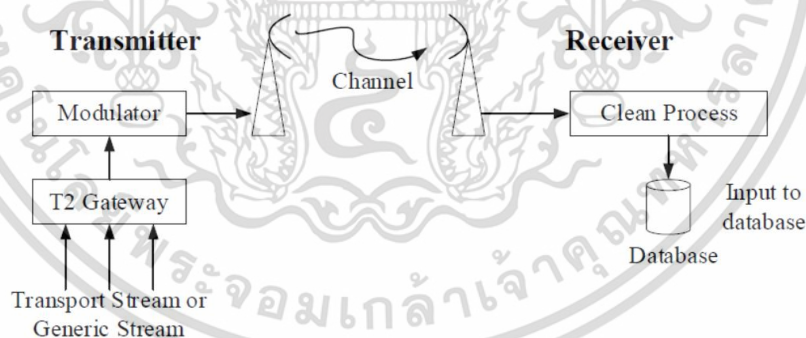
พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
ขนาดของ FFT (FFT Size)	16k extended
สัดส่วนช่วงเวลาป้องกัน (Guard Interval Fraction)	19/128
การมอดูเลตสัญญาณ (Modulation)	64QAM
อัตราการเข้ารหัส (Code Rate)	3/5
แบบรูปสัญญาณไพลอต (Pilot Pattern)	PP2
Physical Layer Pipe (PLP)	Single
L1 Post Constellation	BPSK
ช่องความถี่	470 – 694 เมกะเฮิร์ตซ์
จำนวนตำแหน่งวัดสัญญาณที่ได้รับ	121 ตำแหน่ง
ระยะห่างระหว่างตำแหน่ง	1 เมตร
ความสูงสายอากาศด้านส่ง	328 เมตร
ความสูงสายอากาศด้านรับ	1 เมตรและ 6 เมตร
ทิศทางการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศด้านส่งและด้านรับ	รอบทิศทาง



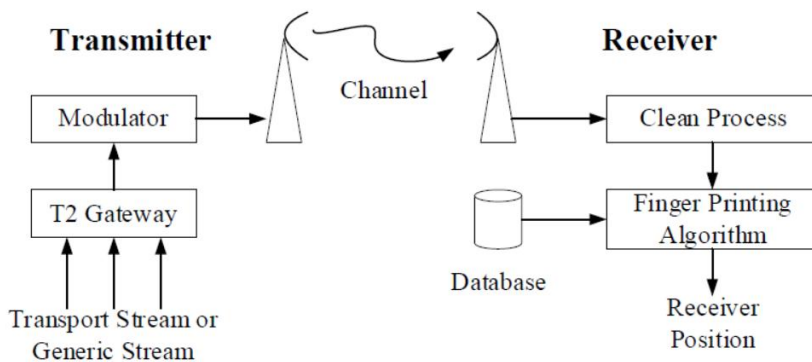
รูปที่ 3.8 การกำหนดพารามิเตอร์เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เชื่อมต่ออุปกรณ์บันทึกข้อมูลเข้ากับเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่
5. ปรับทิศทางของสายอากาศรับในแนวแกนที่ต้องการทดสอบ
6. ทำการทดลองวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ ได้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการฝึกฝนและขั้นตอนการทดสอบ ในขั้นตอนการฝึกฝน อุปกรณ์ภาครับได้ทำการสำรวจเพื่อเก็บค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ทั้ง 5 MUX ตามตำแหน่งในแบบจำลองทั้งหมด 121 ตำแหน่ง โดยแต่ละตำแหน่งได้เก็บค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จำนวน 10 ครั้ง สำหรับในขั้นตอนการทดสอบนั้น อุปกรณ์ภาครับได้ทำการทดสอบทั้งหมด 121 ตำแหน่งเช่นเดียวกันเพื่อใช้การหาตำแหน่งโดยวิธีการสแกนลายนิ้วมือ ซึ่งในการทดลองนี้ อุปกรณ์ภาครับได้ทำการทดลองทั้ง 2 ความสูงของสายอากาศรับคือ 1 เมตร และ 6 เมตร
7. บันทึกผลการทดลองที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่
8. คำนวณหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ
9. ใช้โปรแกรม MATLAB ในกระบวนการอัลกอริทึมแบบคลิ่น เพื่อคลิ่นพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ
10. คำนวณหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลิ่น โดยจะคลิ่นค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับในขั้นตอนฝึกฝนแสดงได้ดังรูปที่ 3.9 และคลิ่นจะคลิ่นค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับในขั้นตอนทดสอบและหาตำแหน่งใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือแสดงได้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองการส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลด้วยอัลกอริทึมแบบคลิ่นสำหรับระบบการหาตำแหน่งในกระบวนการสร้างฐานข้อมูล [42]



รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองการส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลด้วย อัลกอริทึมแบบคลื่นสำหรับระบบการหาตำแหน่งในกระบวนการหาตำแหน่ง [42]

11. ประเมินผลและเปรียบเทียบการหาตำแหน่งในเชิงสถิติโดยพิจารณาจากค่าความผิดพลาดระยะทางในกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลื่นและใช้อัลกอริทึมแบบคลื่น

3.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการทดลองซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดวิธีการวัดของสำนักงาน กสทช. ที่ได้กำหนดพารามิเตอร์สำหรับการวัดสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ในประเทศไทยไว้ดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยกำหนดให้ความสูงสายอากาศส่งอยู่ที่ระดับความสูง 328 เมตร และความสูงสายอากาศรับอยู่ที่ระดับความสูง 6 เมตร ที่ความถี่ 514 594 626 658 และ 562 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นของโครงข่าย กรมประชามสัมพันธ์, ททบ. 5 เครื่องส่งที่ 1 อสมท ไทยพีบีเอส และ ททบ. 5 เครื่องส่งที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ของการทดลองวัด [43]

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
ความสูงสายอากาศส่ง	328 เมตร
ความสูงสายอากาศรับ	6 เมตร
ความถี่	514 594 626 658 และ 562 เมกะเฮิร์ตซ์

3.6 กำลังงานส่งของเครื่องส่ง

เนื่องจากในประเทศไทยผู้ให้บริการโครงข่ายโทรทัศนภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 มีอยู่ 5 เครื่องส่ง โดยกำลังงานส่งของเครื่องส่งสำหรับการตรวจวัดสัญญาณในครั้งนี้จะแตกต่างกัน ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 กำลังงานส่งของเครื่องส่ง [43]

หมายเลขมัลติเพล็กซ์	ช่องสัญญาณ	ความถี่ในการส่งสัญญาณ (MHz)	กำลังงานส่ง (kW)
1	26	514	4.00
2	36	594	4.30
3	40	626	4.00
4	44	658	3.91
5	32	562	4.30

3.7 สรุป

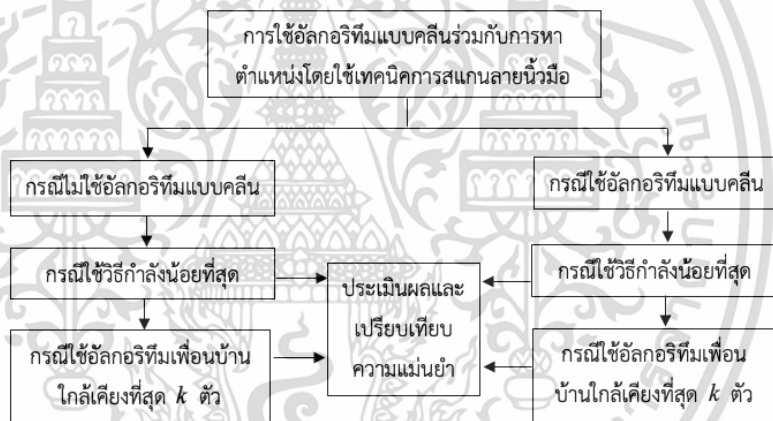
ในบทนี้ได้นำเสนอแบบแผน ขั้นตอนการทดลอง และหลักการวิเคราะห์สำหรับการหาตำแหน่งภายนอกอาคารโดยใช้เทคนิคสแกนลายนิ้วมือด้วยสัญญาณโทรทัศนภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 สภาวะแวดล้อมภายนอกอาคาร ร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลิน ผลการทดลองวิจัย และผลการวิเคราะห์การผิดพลาดทางระยะของการหาตำแหน่ง ทั้งก่อนและหลังจากการใช้งานอัลกอริทึมแบบคลินได้แสดงไว้ในบทที่ 4

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

บทนี้ได้กล่าวถึงผลการทดลอง โดยทำการทดลองเป็นไปตามการออกแบบจำลองการหาตำแหน่งในพื้นที่จริงภายนอกอาคารตามหัวข้อที่ 3.3 ในบทที่ 3 ประกอบด้วยระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับ ค่าการสูญเสียเชิงวิถี ช่องสัญญาณโทรทัศนภาคพื้นดินระบบดิจิทัล ชั้นที่ 2 ระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับเมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลีน และได้พิจารณาทางด้านสถิติ เช่น ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม หลังจากนั้นจะแสดงผลของการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนสแกนลายนิ้วมือ และทำการเปรียบเทียบระหว่างการใช้งานการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคเสมือนสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลีน และแบบไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน และทำการประเมินผลเปรียบเทียบความแม่นยำ ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของการประเมินผลการทดลองวิจัย

4.2 ระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับ

ในการศึกษาวิจัยได้ทำการวัดค่าความแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดปลุกศรัทธาลาดกระบัง ตามแบบจำลองการวัดหาตำแหน่งทั้งหมดจำนวน 121 ตำแหน่ง และทำการวัดค่าระดับสัญญาณทั้ง 5 MUX ของแต่ละความสูงของสายอากาศรับที่สามารถอ่านได้จากเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่สำหรับโครงข่ายโทรทัศนระบบดิจิทัล ดังรูปที่ 4.2 สำหรับแต่ละ MUX ในการสร้างฐานข้อมูลในขั้นตอนฝึกฝนของเทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ ได้ทำการบันทึกค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับของความถี่กลางของแต่ละ MUX ลงในฐานข้อมูล แสดงดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การวัดความแรงของสัญญาณที่ได้รับด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

STANDARD = DVBT2	FREQUENCY = 514.000MHz	BW = 8MHz	DC@RF = OFF	MEAS_TYPE = FULL	Column1	1	2
Field strength (dBuV/m)	MER (dB)	Noise Margin (dB)	bBER	aBER	ITU Quality	Cell ID	Network Name
31.0	14.7	1.7	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.0	14.3	1.3	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.0	15.0	2.0	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.0	13.8	0.8	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.0	13.7	0.7	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.0	14.3	1.3	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.0	14.1	1.1	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.0	14.2	1.2	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.0	13.9	0.9	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.0	14.6	1.6	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.7	13.6	0.6	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.2	14.6	1.6	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.1	13.8	0.8	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.4	13.6	0.6	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.1	14.5	1.5	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.1	13.3	0.3	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.1	14.1	1.1	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.1	13.8	0.8	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.1	13.6	0.6	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.1	14.2	1.2	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.1	14.4	1.4	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--
31.1	13.8	0.8	1.0E-02	2.0E-09	--	10100	--

รูปที่ 4.3 แสดงข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับในแต่ละตำแหน่ง

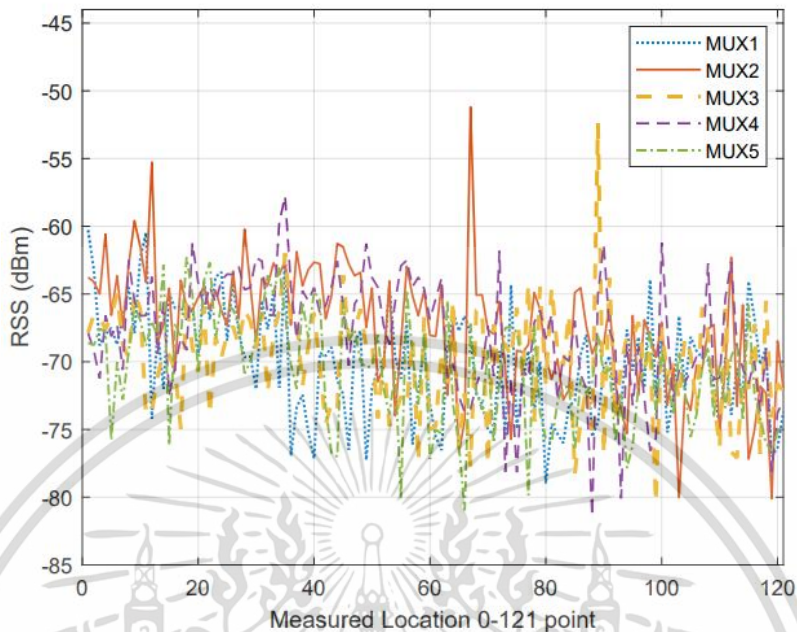
จากรูปที่ 4.3 ค่าความแรงของสนามไฟฟ้าในแต่ละตำแหน่งที่บันทึกได้จากเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่สำหรับโครงข่ายโทรทัศน์ระบบดิจิทัลมีหน่วยเป็น $dB\mu V/m$ สามารถแปลงเป็นค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับหน่วย dBm ดังสมการที่ 4.1 เพื่อนำพารามิเตอร์ความแรงของสัญญาณที่ได้รับมาวิเคราะห์ในการหาตำแหน่ง

$$P_{(dBm)} = E_{(dB\mu V/m)} - 95.2 \quad (4.1)$$

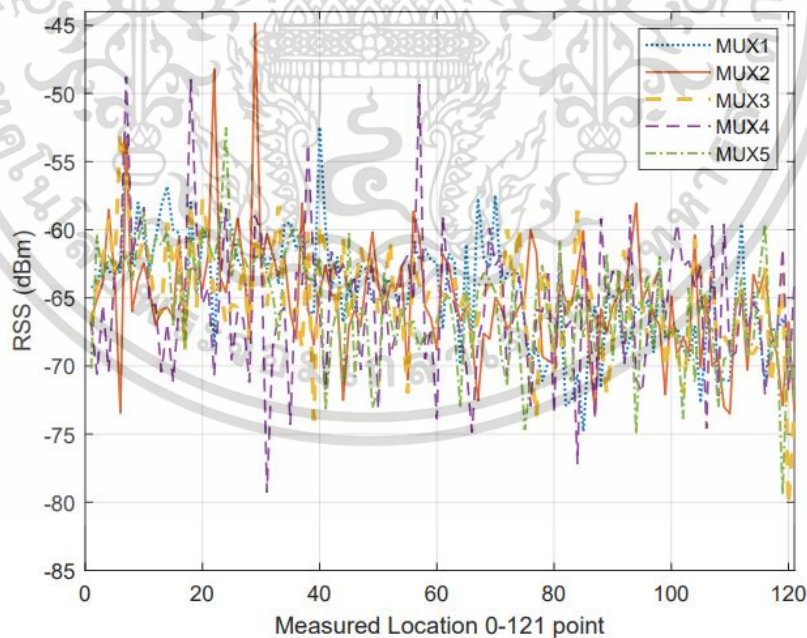
จะได้ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ของสายอากาศรับที่ความสูง 1 เมตร อยู่ระหว่าง -51.19 dBm ถึง -81.40 dBm แสดงดังรูปที่ 4.4 และที่สายอากาศรับที่ความสูง 6 เมตร ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้อยู่ระหว่าง -44.86 dBm ถึง -79.30 dBm แสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งระดับความแรงของสัญญาณของสายอากาศรับที่ความสูง 6 เมตรจะมีค่าระดับความแรงของสัญญาณที่สูงกว่าสายอากาศรับที่ความสูง 1 เมตร



รูปที่ 4.4 ระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร



รูปที่ 4.5 ระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร

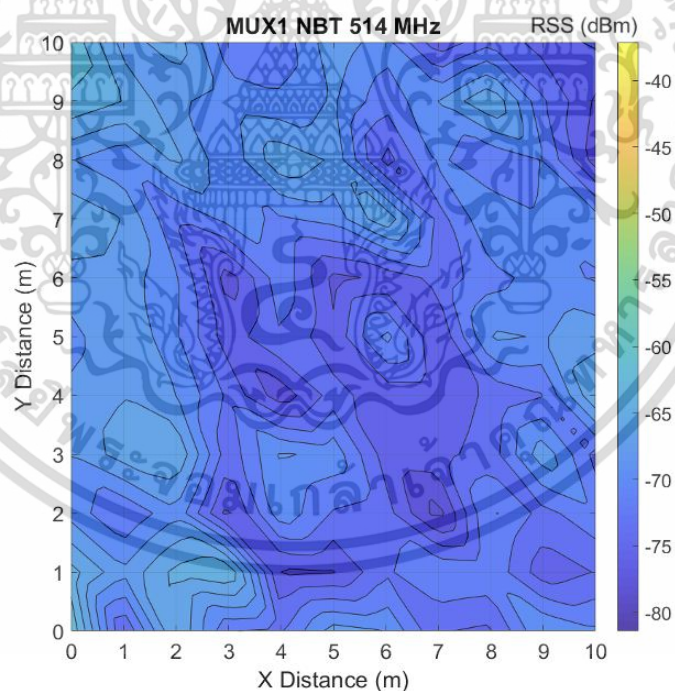
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 คอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงบนพื้นฐานค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ

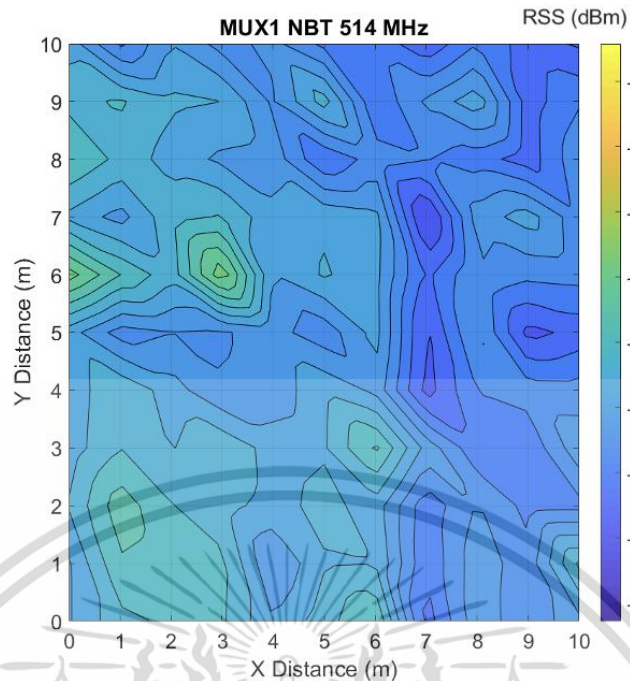
การสร้างคอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงจะใช้ข้อมูลค่าระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ ค่าเฉลี่ยของการวัดในแต่ละตำแหน่งจำนวน 10 ครั้งจะถูกนำมาใช้ในการสร้างคอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงของทั้ง 5 MUX ระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับจะถูกพล็อตในรูป 2 มิติ แสดงผลระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ในรูปหน่วย dBm ระยะทางของแบบจำลองการวัดแสดงอยู่ในแนวแกน x และแกน y ตาม โดยแบ่งระดับความแรงของสัญญาณออกเป็นช่วงสีจากอ่อนไปจนถึงแรง โดยใช้สีเหลืองไปจนถึงสีน้ำเงินตามลำดับ ผลค่าระดับสัญญาณของทั้ง 5 MUX แสดงในรูปที่ 4.6 ถึง 4.10

4.3.1 คอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงจาก MUX 1

คอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงที่ใช้ข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับจาก MUX 1 ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร ดังรูปที่ 4.6 ความแรงของสัญญาณที่ได้รับจะมีค่าอยู่ในช่วง -60.28 dBm ถึง -78.99 dBm ตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้สูงสุดคือ ตำแหน่ง (0, 0) ส่วนตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับต่ำสุดคือ ตำแหน่ง (7, 2)



รูปที่ 4.6 ระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับของ MUX 1 ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร

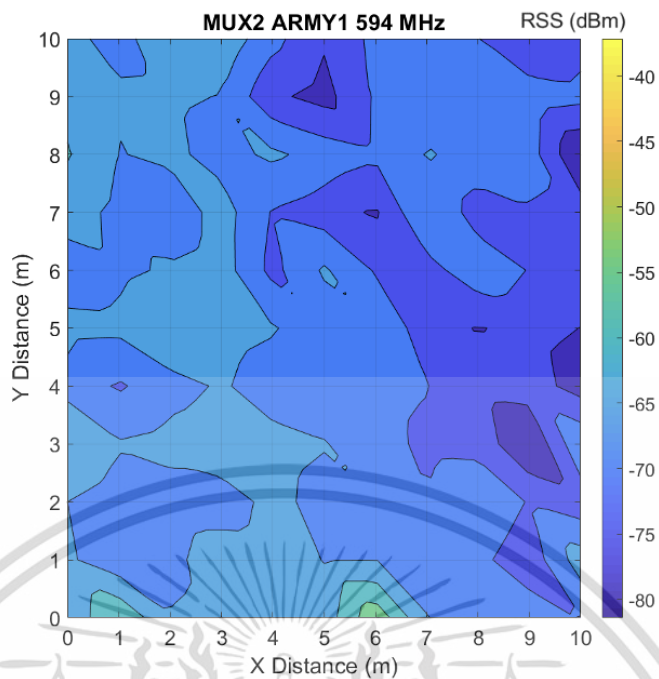


รูปที่ 4.7 ระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับของ MUX 1 ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร

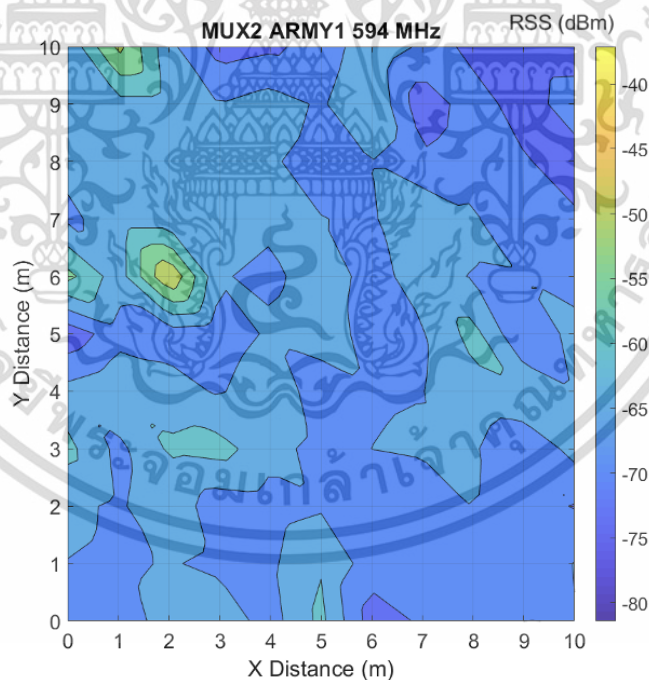
และที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร ดังรูปที่ 4.7 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จะมีค่าอยู่ในช่วง -52.45 dBm ถึง -74.8 dBm ตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้สูงสุดคือ ตำแหน่ง (3, 6) ส่วนตำแหน่งที่วัด ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำสุดคือ ตำแหน่ง (7, 7) เมื่อระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับเพิ่มขึ้น ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จะลดลง

4.3.2 คอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงจาก MUX 2

คอนทัวร์ ของตำแหน่งอ้างอิงที่ใช้ข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จาก MUX 2 ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร ดังรูปที่ 4.8 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จะมีค่าอยู่ในช่วง -51.19 dBm ถึง -80.10 dBm ตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้สูงสุดคือ (6, 0) ส่วนตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำที่สุดคือตำแหน่ง (10, 8) และที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร ดังรูปที่ 4.9 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จะมีค่าอยู่ในช่วง -44.86 dBm ถึง -73.50 dBm ตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำที่สุดคือ (7, 9)



รูปที่ 4.8 ระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับของ MUX 2 ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร

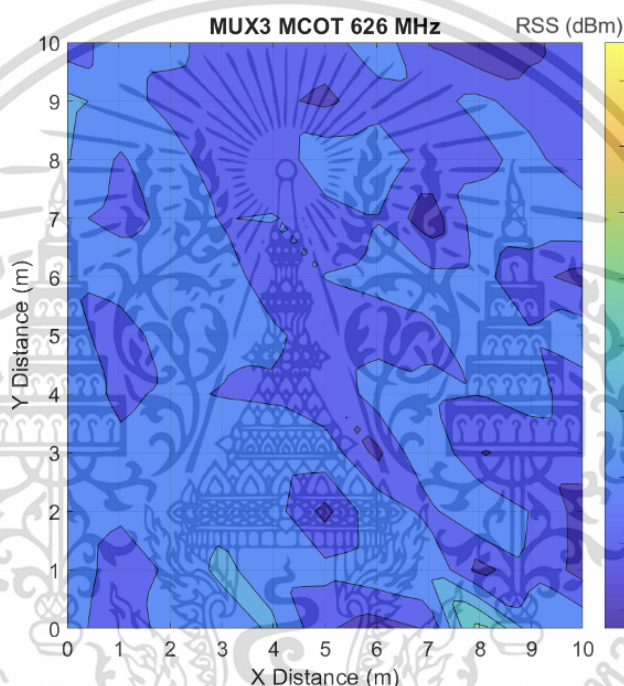


รูปที่ 4.9 ระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับของ MUX 2 ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร

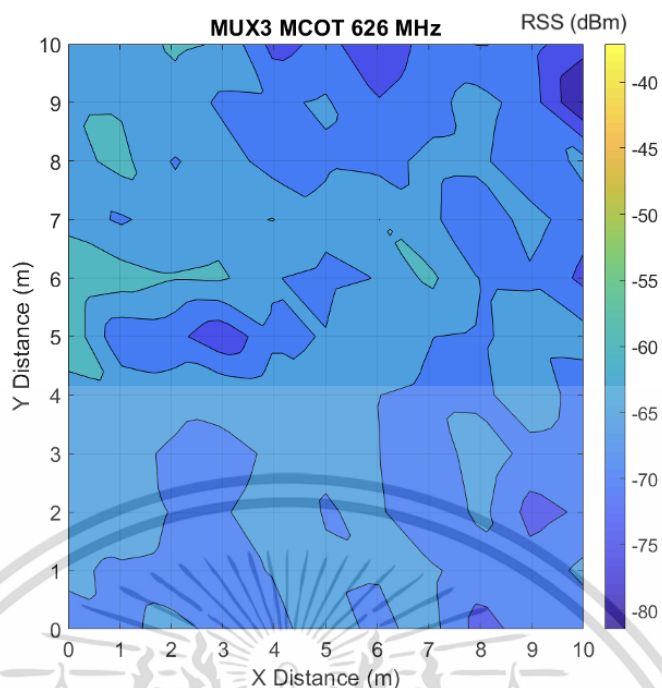
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 คอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงจาก MUX 3

คอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงที่ใช้ข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จาก MUX 3 ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร ดังรูปที่ 4.10 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จะมีค่าอยู่ในช่วง -52.25 dBm ถึง -80.20 dBm ตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้สูงสุดคือตำแหน่ง (8, 0) ส่วนตำแหน่งที่วัดค่าความแรง สามารถรับได้ต่ำสุดคือตำแหน่ง (8, 10) และที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร ดังรูปที่ 4.11 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จะมีค่าอยู่ในช่วง -55.58 dBm ถึง -80.30 dBm ตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้สูงสุดคือตำแหน่ง (0, 6) ส่วนตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำสุดคือตำแหน่ง (10, 9)



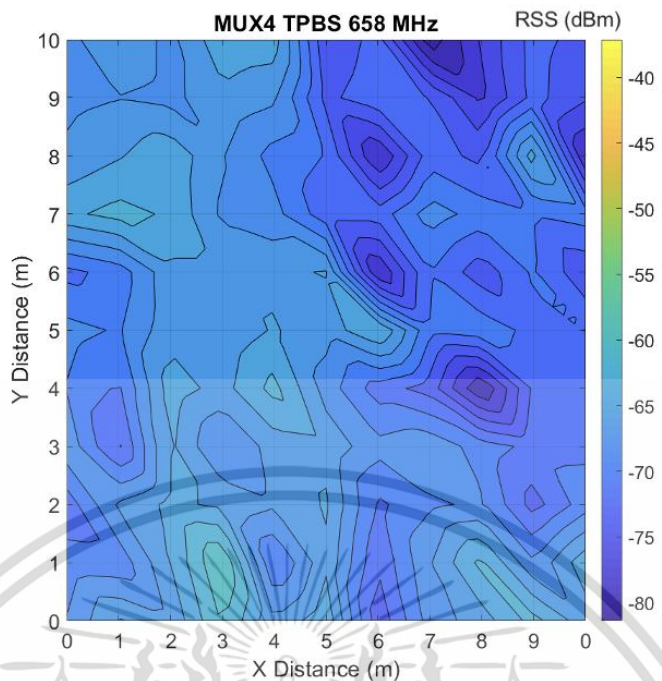
รูปที่ 4.10 ระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับของ MUX 3 ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร



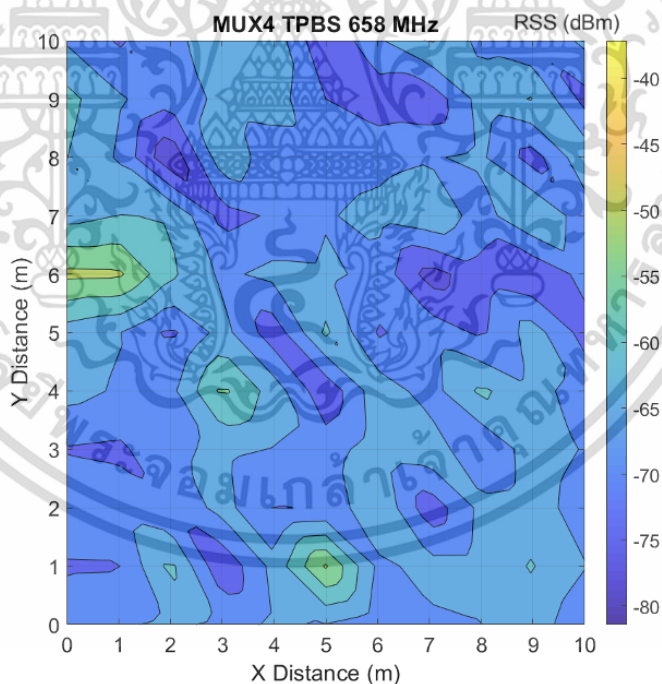
รูปที่ 4.11 ระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับของ MUX 3 ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร

4.3.4 คอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงจาก MUX 4

คอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงที่ใช้ข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จาก MUX4 ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร ดังรูปที่ 4.12 ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จะมีค่าอยู่ในช่วง -57.78 dBm ถึง -81.40 dBm ตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณได้สูงสุดคือตำแหน่ง (3, 1) ส่วนตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำสุดคือตำแหน่ง (7, 10) และที่สายอากาศสูง 6 เมตร ดังรูปที่ 4.13 ความแรงของสัญญาณที่รับได้ จะมีค่าอยู่ในช่วง -48.78 dBm ถึง -79.30 dBm ตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้สูงสุดคือตำแหน่ง (0, 6) ส่วนตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำสุดคือตำแหน่ง (2, 8)



รูปที่ 4.12 ระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับของ MUX 4 ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร

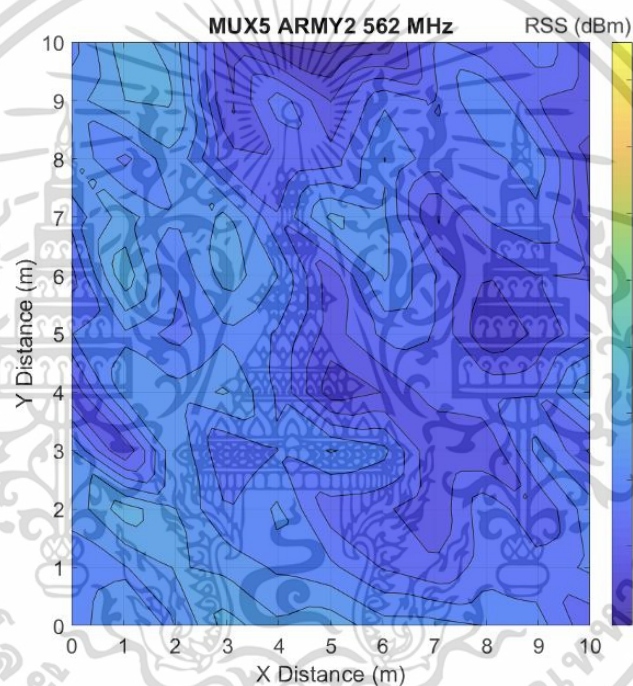


รูปที่ 4.13 ระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับของ MUX 4 ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร

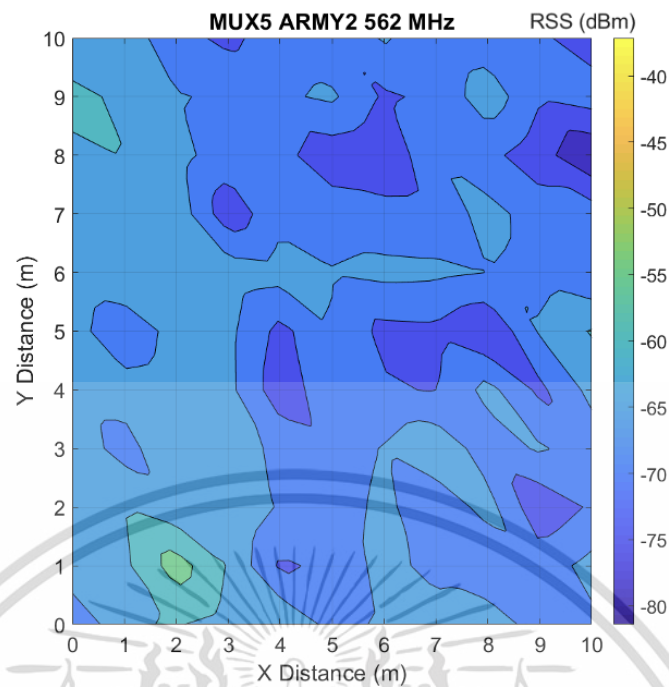
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 คอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงจาก MUX 5

คอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงที่ใช้ข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จาก MUX 5 ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร ดังรูปที่ 4.14 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จะมีค่าอยู่ในช่วง -62.30 dBm ถึง -80.96 dBm ตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้สูงสุดคือตำแหน่ง (1, 6) ส่วนตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำสุดคือตำแหน่ง (5, 10) และที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร ดังรูปที่ 4.15 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จะมีค่าอยู่ในช่วง -52.20 dBm ถึง -79.40 dBm ตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้สูงสุดคือตำแหน่ง (2, 1) ส่วนตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำสุดคือตำแหน่ง (10, 8)



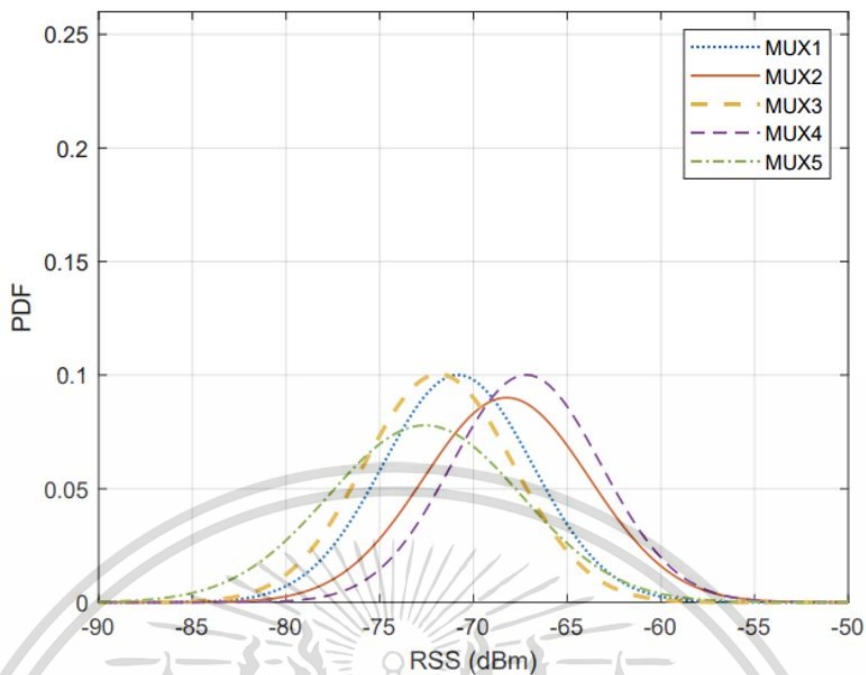
รูปที่ 4.14 ระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับของ MUX 5 ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร



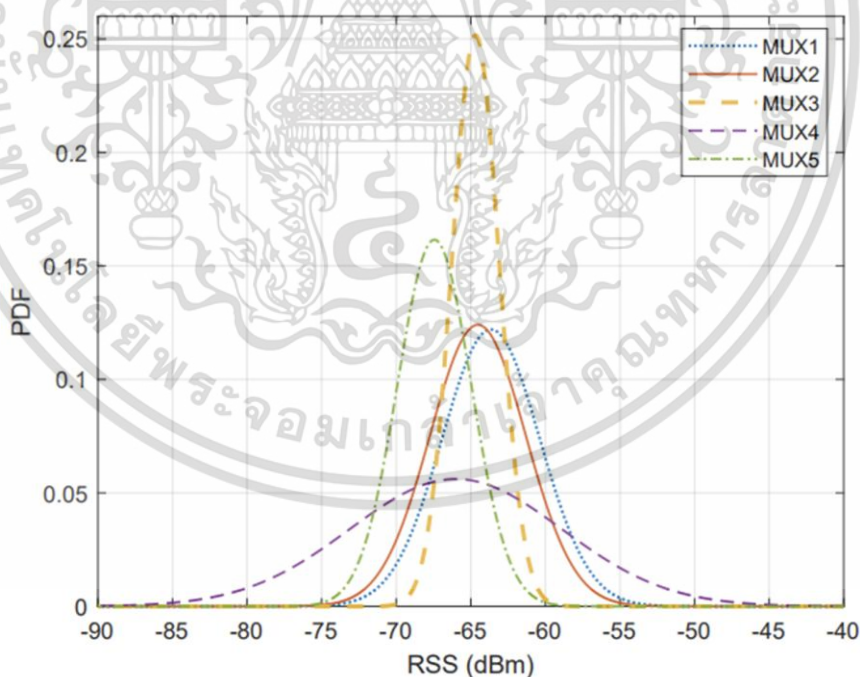
รูปที่ 4.15 ระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับของ MUX 5 ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร

4.4 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ

จากการเปรียบเทียบระดับความแรงของสัญญาณที่รับได้ทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศรับความสูง 1 เมตร ดังรูปที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณที่รับได้ของแต่ละเครื่องส่งคือ -70.84 dBm - 68.23 dBm -71.86 dBm และ -72.58 dBm สำหรับ MUX 1 MUX 2 MUX 3 MUX 4 และ MUX 5 ตามลำดับ พบว่าความแรงของสัญญาณที่รับได้สูงสุดคือ MUX 4 และความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำสุดคือ MUX 5 ที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร ความแรงของสัญญาณที่รับได้สำหรับเครื่องส่ง 5 เครื่อง ดังรูปที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณที่รับได้ของแต่ละเครื่องส่งคือ -63.75 dBm -64.53 dBm -64.69 dBm -66.01 dBm และ -67.44 dBm สำหรับ MUX 1 MUX 2 MUX 3 MUX 4 และ MUX 5 ตามลำดับ พบว่าความแรงของสัญญาณที่รับได้สูงสุดคือ MUX 1 และความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำสุดคือ MUX 5



รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศด้านรับ สูง 1 เมตร

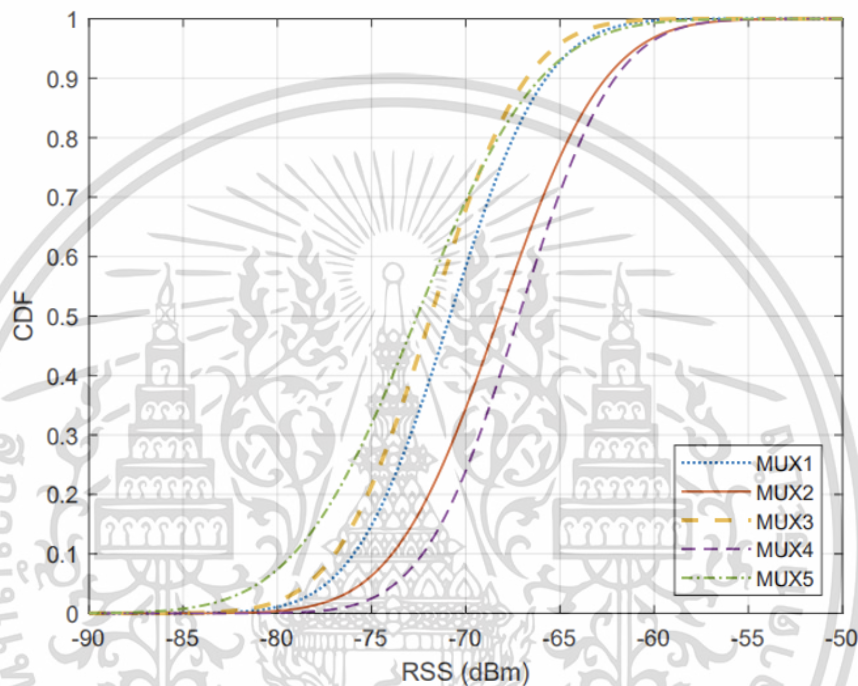


รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศด้านรับ สูง 6 เมตร

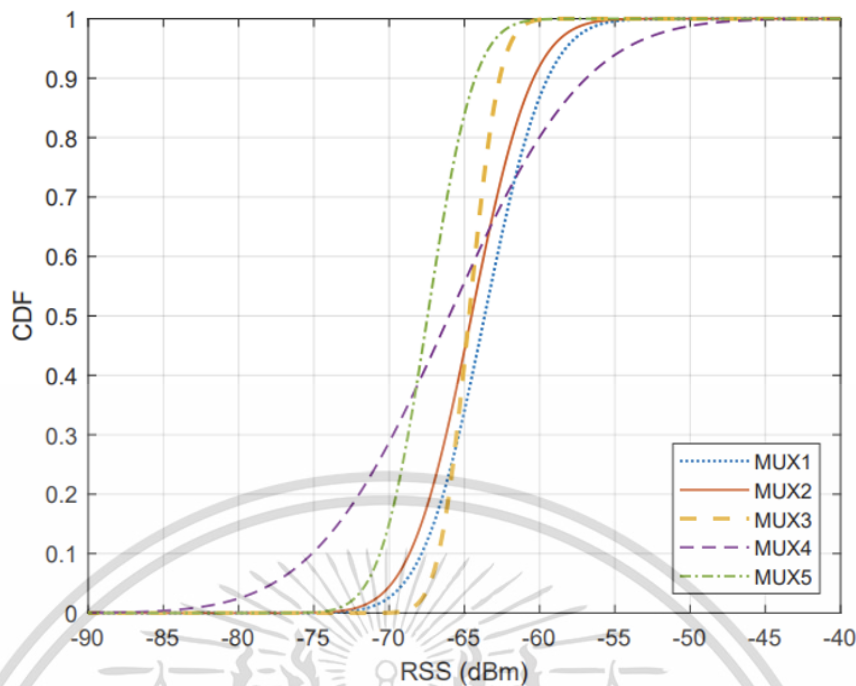
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม

ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative distribution function : CDF) ทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร ดังรูปที่ 4.18 พบว่าความน่าจะเป็นสะสมสูงสุดของความแรงสัญญาณที่รับได้ คือ MUX 3 MUX 1 MUX 5 MUX 2 และ MUX 4 ตามลำดับ ที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร ดังรูปที่ 4.19 พบว่าความน่าจะเป็นสะสมสูงสุด ของความแรงสัญญาณที่รับได้คือ MUX 5 MUX 3 MUX 2 MUX 1 และ MUX 4 ตามลำดับ



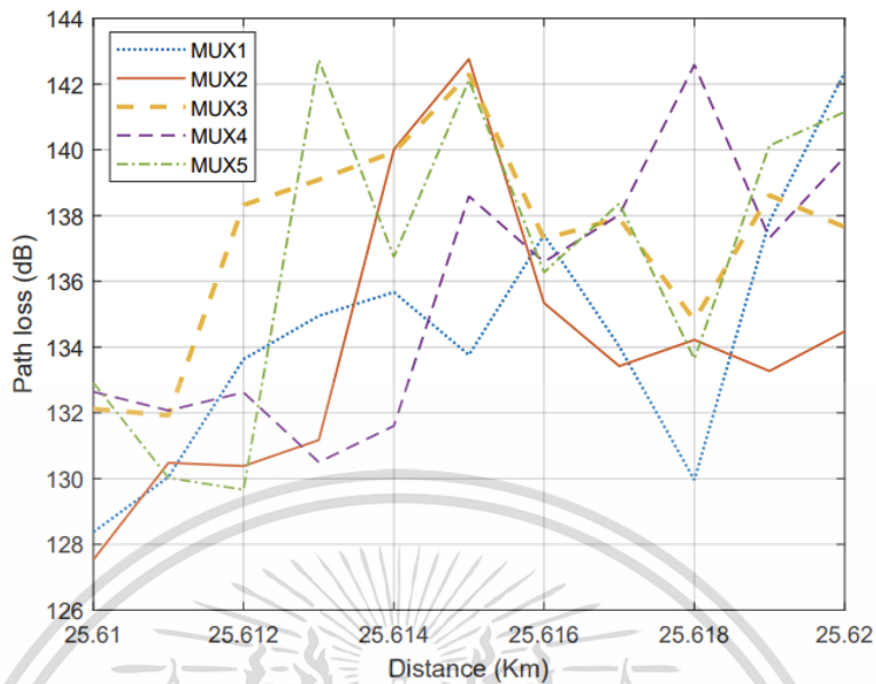
รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร



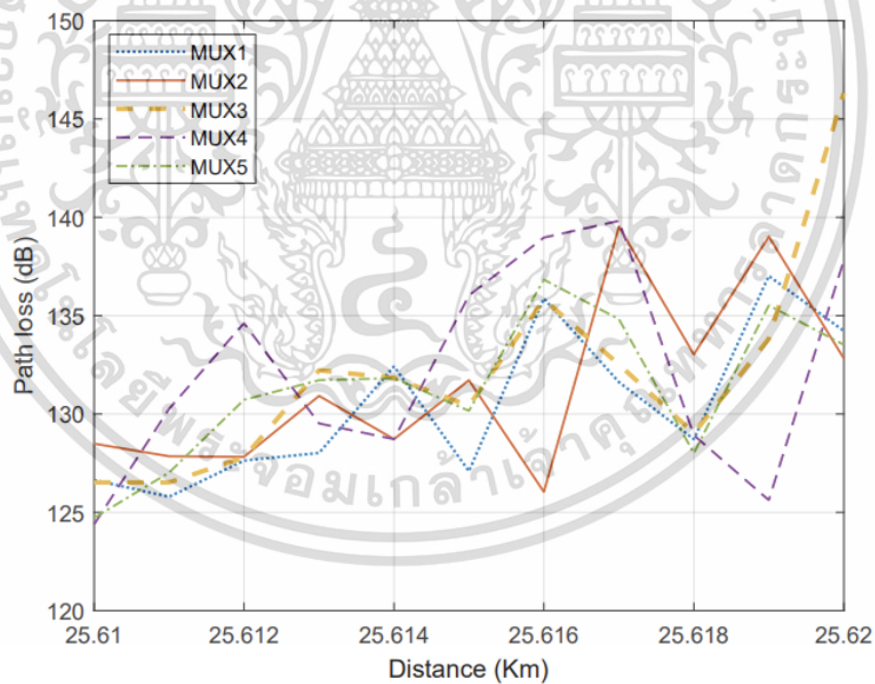
รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร

4.6 การสูญเสียเชิงวิถี

การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณ การสูญเสียเชิงวิถีทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร และสายอากาศรับสูง 6 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.20 และ 4.21 ตามลำดับ พบว่าที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร การสูญเสียเชิงวิถีเป็นไปตามทฤษฎีคือการสูญเสียเชิงวิถีจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับที่เพิ่มขึ้น แต่ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร การสูญเสียเชิงวิถีมีความแปรปรวนมาก เกิดคลื่นสะท้อนพื้นเพราะสายอากาศรับสูง 1 เมตร อยู่ใกล้พื้นดินที่เกิดการสะท้อน มีความเป็นไปได้สูงที่ทำให้สัญญาณเกิดการผิดเพี้ยนสูง



รูปที่ 4.20 การสูญเสียเชิงวิถีทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร

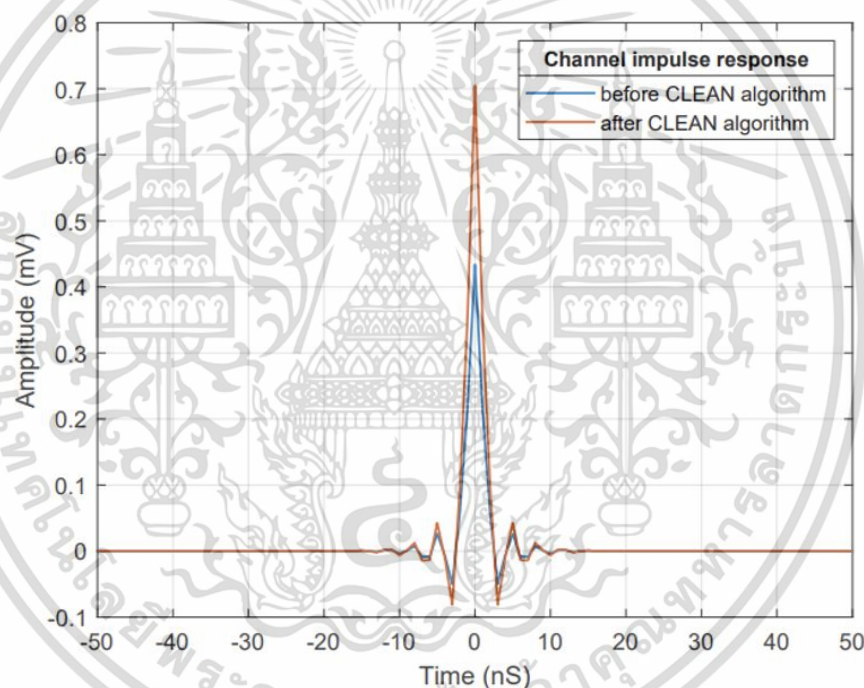


รูปที่ 4.21 การสูญเสียเชิงวิถีทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ช่องสัญญาณโทรทัศนภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2

วิทยานิพนธ์นี้อยู่บนพื้นฐานของการวัดสัญญาณจริงภาคสนาม ซึ่งได้ดำเนินการศึกษาทดลอง วัดที่บริเวณวัดปลูกศรัทธา ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร โดยใช้ซอฟต์แวร์ MATLAB เพื่อเพิ่ม อัลกอริทึมแบบคลื่นและคลื่นสัญญาณที่ได้รับ เพื่อตรวจสอบว่าอัลกอริทึมแบบคลื่นนี้สามารถใช้คลื่น สัญญาณได้ กระบวนการแรกของอัลกอริทึมคลื่น ซึ่งเป็นกระบวนการสหสัมพันธ์ข้าม กำหนดโดย $c_{cc}(\tau)$ ระหว่างสัญญาณส่ง $v_t(t)$ และสัญญาณรับ $v_r(t)$ และผลลัพธ์จะถือว่าเป็นช่องสัญญาณ การตอบสนองอิมพัลส์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.22 ผลการเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังอัลกอริทึมแบบ คลื่นของช่องสัญญาณพบว่าแอมพลิจูดเพิ่มขึ้นจากประมาณ 0.4 เป็น 0.7 เนื่องจากอัลกอริทึมแบบคลี นเป็นกระบวนการคลื่นสัญญาณรบกวน ความล่าช้าจึงถูกลบออกไปโดยจะทำให้ช่องสัญญาณการ ตอบสนองอิมพัลส์เพิ่มขึ้น พบว่าการเพิ่มขึ้นของแอมพลิจูดเป็นข้อได้เปรียบของอัลกอริทึมแบบคลื่น



รูปที่ 4.22 ช่องสัญญาณการตอบสนองอิมพัลส์ของสัญญาณโทรทัศนภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ที่ได้รับก่อนอัลกอริทึมแบบคลื่นและหลังอัลกอริทึมแบบคลื่น

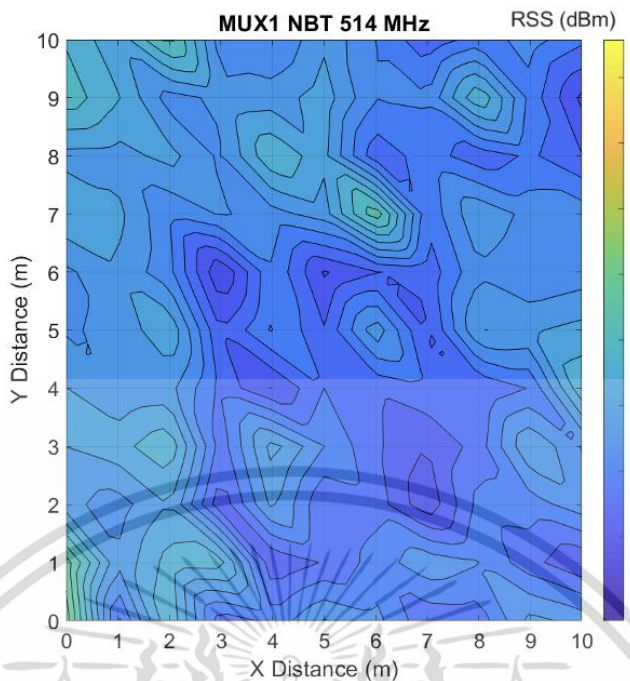
4.8 คอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงบนพื้นฐานค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้เมื่อผ่าน อัลกอริทึมแบบคลื่น

วิทยานิพนธ์นี้ใช้สัญญาณโทรทัศนภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ในการตำแหน่งร่วมกับ อัลกอริทึมแบบคลื่น จะใช้ข้อมูลดิบที่วัดได้ เพื่อคำนวณกระบวนการคลื่นในซอฟต์แวร์ MATLAB โดยใช้เทคนิคสหสัมพันธ์ที่ใช้ในการประมาณช่องสัญญาณการตอบสนองอิมพัลส์และคลื่นช่องสัญญาณ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

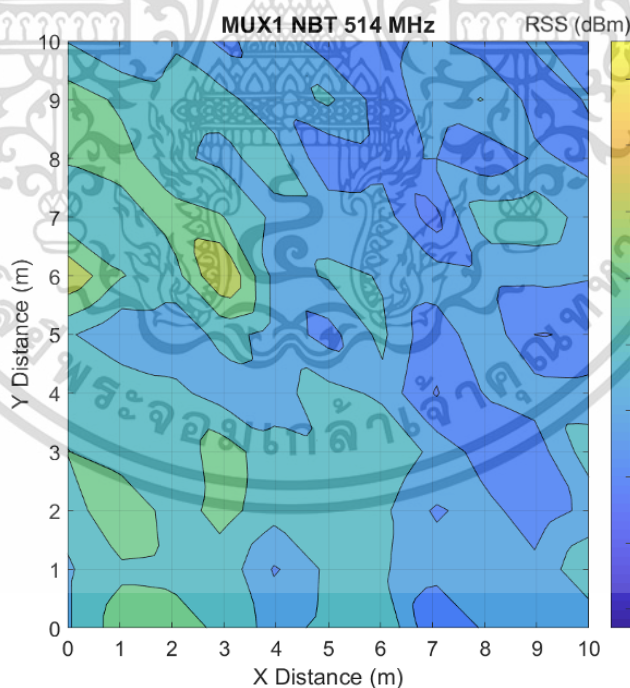
การตอบสนองอิมพัลส์ ซึ่งดำเนินการโดยสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างสัญญาณส่งและสัญญาณรับ ช่องสัญญาณการตอบสนองอิมพัลส์ที่ถูกคลีนซึ่งเวลาหน่วงได้ถูกลบออกไป สามารถใช้คอนโวลูชันกับสัญญาณส่ง เพื่อให้ได้สัญญาณรับที่ถูกคลีน เมื่อคำนวณค่าสูงสุดของสหสัมพันธ์ข้ามของ x_t และสัญญาณรับ y_t หลังจากนั้นเปรียบเทียบค่าทั้งหมดของ a_k กับระดับเกณฑ์ ซึ่งในการศึกษาทดลองนี้ กำหนดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ของค่า a_k หากค่า a_k ยังมีค่าสูงกว่าค่าเกณฑ์ ให้ทำซ้ำอัลกอริทึมใหม่อีกครั้งจนกว่าค่า a_k จะมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ ซึ่งระดับความแรงของสัญญาณที่ผ่านกระบวนการคลีนสามารถแสดงในรูปของค่าพลังงานของระดับสัญญาณที่รับได้ในหน่วย dBm ซึ่งแสดงในแนวแกน x และแกน y ตามระยะทางในแบบจำลองการวัดหาตำแหน่งที่ได้ออกแบบไว้ สำหรับเครื่องส่งสัญญาณแต่ละเครื่อง ได้แก่ NBT ARMY1 MCOT TPBS และ ARMY2 ตามลำดับ ซึ่งค่าความแรงของสัญญาณที่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลีนที่สายอากาศรับความสูง 1 เมตร และ 6 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.23 รูปที่ 4.32 โดยมีแถบสีแสดงระดับความแรงของสัญญาณที่รับได้ สีเหลืองอ่อนจนถึงสีน้ำเงินเข้ม สีเหลืองอ่อนแสดงถึงค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้มีค่ามากที่สุด จนถึงสีน้ำเงินเข้มแสดงค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้มีค่าน้อยที่สุด

4.8.1 คอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงจาก MUX 1 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลีน

คอนทัวร์ของตำแหน่งที่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลีนที่ใช้ข้อมูลความแรงของสัญญาณที่รับได้จาก MUX 1 ที่สายอากาศรับความสูง 1 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.32 ความแรงของสัญญาณที่รับได้ จะมีค่าอยู่ในช่วง -52.90 dBm ถึง -76.04 dBm ตำแหน่งที่ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับสูงสุดคือตำแหน่ง (0, 0) ส่วนตำแหน่งที่มีค่าความแรงของสัญญาณต่ำสุดคือตำแหน่ง (3, 6) และที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.24 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลีนจะมีค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ อยู่ในช่วง -44.21 dBm ถึง -72.53 dBm ตำแหน่งที่มีค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้สูงที่สุดคือตำแหน่ง (3, 6) และตำแหน่งที่มีค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำสุดคือตำแหน่ง (7, 7)



รูปที่ 4.23 ความแรงสัญญาณที่ได้รับของ MUX 1 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นที่สายอากาศด้านรับ สูง 1 เมตร

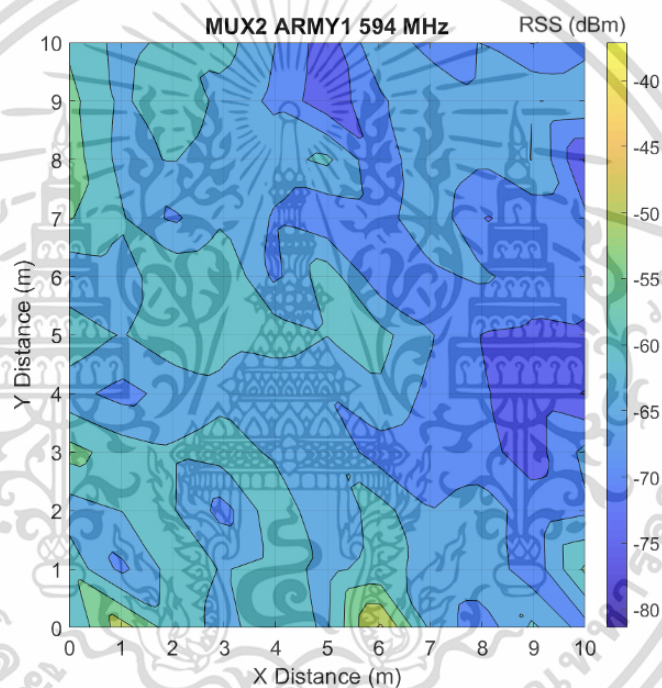


รูปที่ 4.24 ความแรงสัญญาณที่ได้รับของ MUX 1 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นที่สายอากาศด้านรับ สูง 6 เมตร

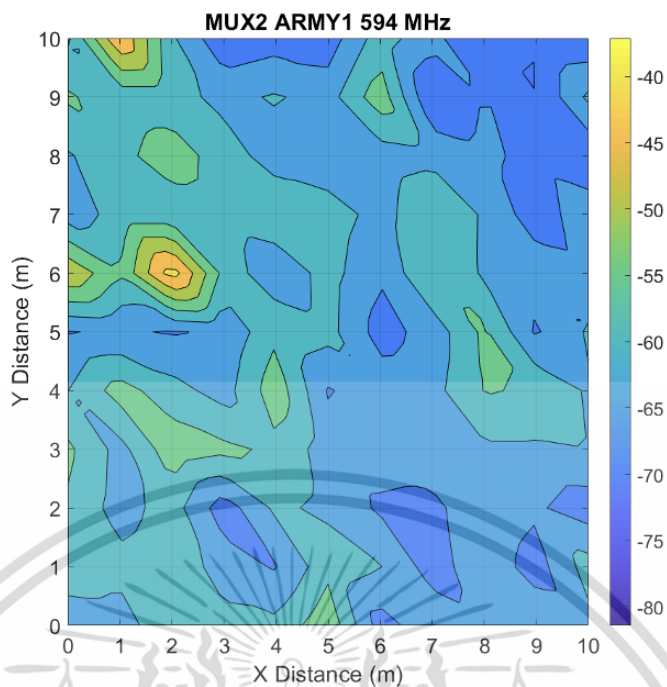
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.2 คอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงจาก MUX 2 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น

สัญญาณที่ผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นสามารถแสดงในรูปแบบคอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงที่ใช้ ข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จาก MUX 2 ที่สายอากาศรับความสูง 1 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.25 ความแรงของสัญญาณที่รับได้มีค่าอยู่ในช่วง -43.34 dBm ถึง -75.52 dBm ตำแหน่งที่มีค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้สูงสุดคือตำแหน่ง (6, 0) ส่วนตำแหน่งที่มีค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำสุดคือตำแหน่ง (10, 8) และที่สายอากาศรับความสูง 6 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.26 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นจะมีค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้อยู่ในช่วง -37.13 dBm ถึง -70.09 dBm ตำแหน่งที่มีค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้สูงสุดคือตำแหน่ง (2, 6) ส่วนตำแหน่งที่มีค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำสุดคือตำแหน่ง (9, 9)



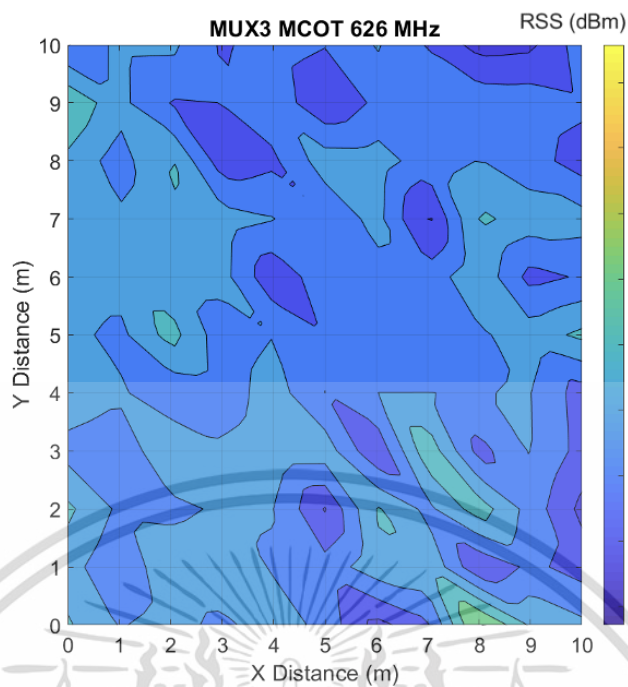
รูปที่ 4.25 ความแรงสัญญาณที่ได้รับของ MUX 2 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร



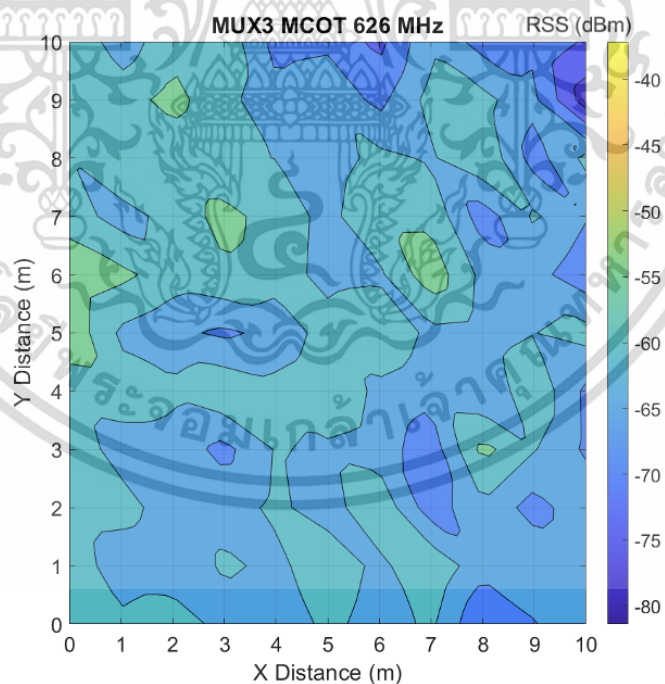
รูปที่ 4.26 ความแรงสัญญาณที่ได้รับของ MUX 2 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นที่สายอากาศด้านรับ สูง 6 เมตร

4.8.3 คอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงจาก MUX 3 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น

หลังจากอัลกอริทึมแบบคลื่น คอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงที่ใช้ข้อมูลค่าระดับความแรงของสัญญาณที่รับได้จาก MUX 3 ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร แสดงได้ดังรูปที่ 4.27 ความแรงของสัญญาณที่รับได้มีค่าอยู่ระหว่าง -48.32 dBm ถึง -77.00 dBm ตำแหน่งที่ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้สูงสุดคือตำแหน่ง (8, 0) ส่วนตำแหน่งที่ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำสุดคือตำแหน่ง (8, 10) และที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.38 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นจะมีค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้อยู่ในช่วง -51.00 dBm ถึง -70.00 dBm ตำแหน่งที่มีค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้สูงสุดคือตำแหน่ง (0, 6) ส่วนตำแหน่งที่ค่าความแรงของสัญญาณต่ำสุดคือตำแหน่ง (10, 9)



รูปที่ 4.27 ความแรงสัญญาณที่ได้รับของ MUX 3 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นที่สายอากาศด้านรับ สูง 1 เมตร

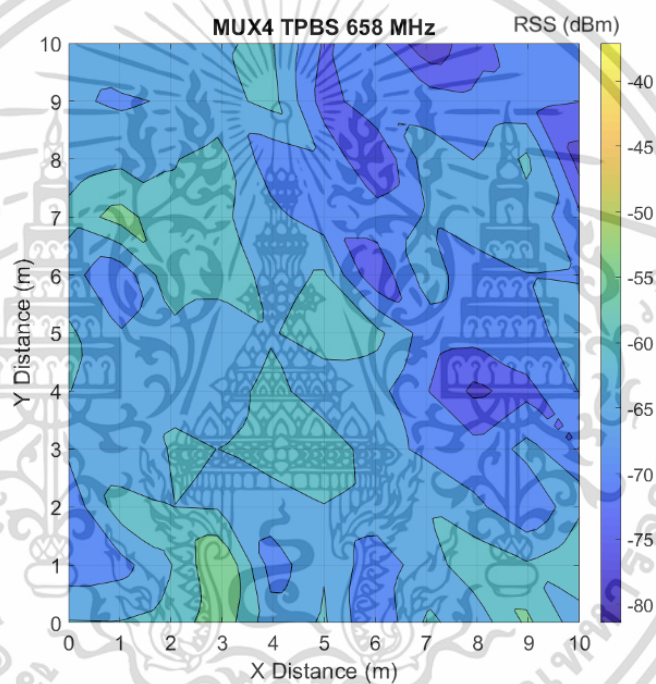


รูปที่ 4.28 ความแรงสัญญาณที่ได้รับของ MUX 3 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นที่สายอากาศด้านรับ สูง 6 เมตร

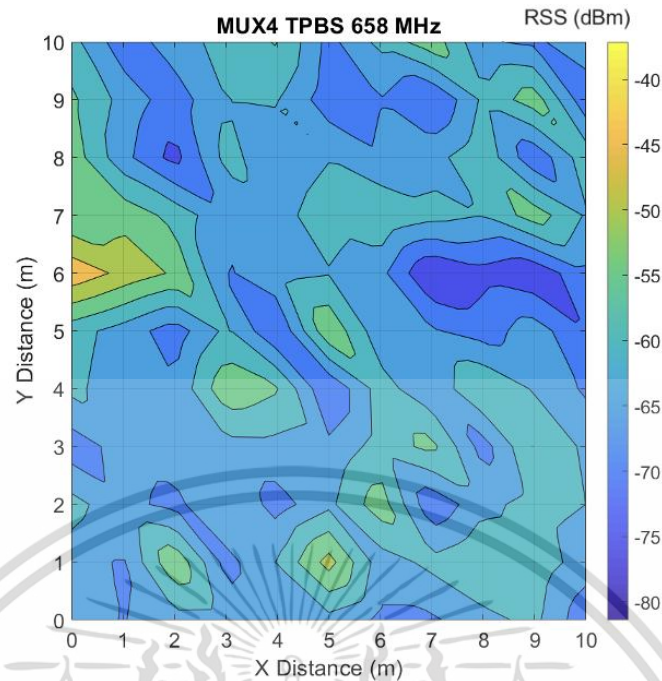
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.4 คอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงจาก MUX 4 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น

หลังจากอัลกอริทึมแบบคลื่นคอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงที่ใช้ข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้จาก MUX 4 ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.29 ความแรงของสัญญาณที่ได้รับจะมีค่าอยู่ระหว่าง -49.54 dBm ถึง -79.11 dBm ตำแหน่งที่มีค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้สูงสุดคือตำแหน่ง (3, 1) ส่วนตำแหน่งที่มีค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับต่ำสุดคือตำแหน่ง (7, 10) และที่สายอากาศรับความสูง 6 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.30 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นจะมีค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับอยู่ระหว่าง -41.33 dBm ถึง -75.28 dBm ตำแหน่งที่มีค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้สูงสุดคือตำแหน่ง (0, 6) ส่วนตำแหน่งที่มีค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับต่ำสุดคือตำแหน่ง (7, 6)



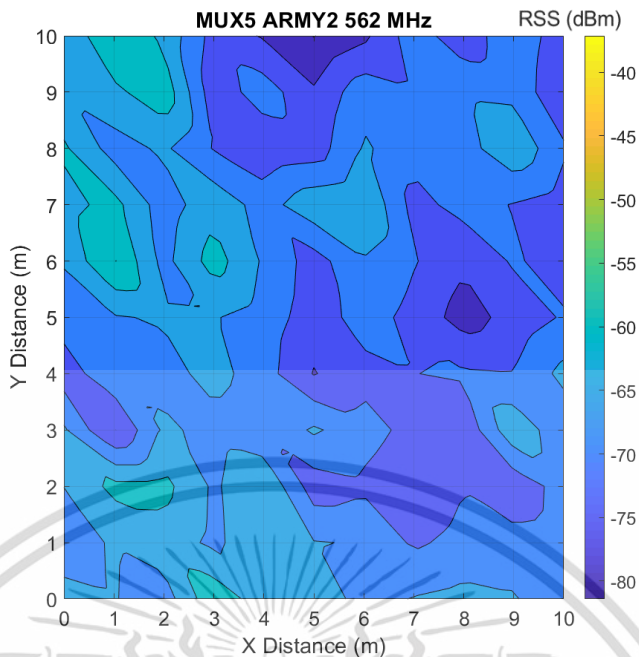
รูปที่ 4.29 ความแรงสัญญาณที่ได้รับของ MUX 4 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร



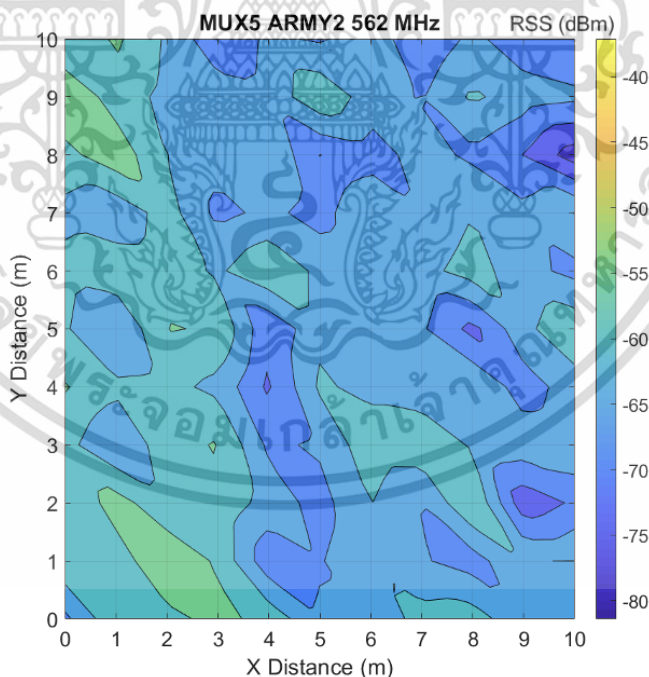
รูปที่ 4.30 ความแรงสัญญาณที่ได้รับของ MUX 4 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตร

4.8.5 คอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงจาก MUX 5 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่น

หลังการคลื่นคอนทัวร์ของตำแหน่งอ้างอิงที่ใช้ข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จาก MUX 5 ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร แสดงได้ดังรูปที่ 4.31 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จะมีค่าอยู่ระหว่าง -54.45 dBm ถึง -80.16 dBm ตำแหน่งที่มีค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้สูงสุดคือ (1, 6) ส่วนตำแหน่งที่ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำสุดคือตำแหน่ง (5, 10) และที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.32 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นจะมีค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้อยู่ในช่วง -50.46 dBm ถึง -77.56 dBm ตำแหน่งที่ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้สูงสุดคือตำแหน่ง (0, 9) ส่วนตำแหน่งที่ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำสุดคือตำแหน่ง (10, 8)



รูปที่ 4.31 ความแรงสัญญาณที่ได้รับของ MUX 5 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นที่สายอากาศด้านรับ สูง 1 เมตร



รูปที่ 4.32 ความแรงสัญญาณที่ได้รับของ MUX 5 เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลื่นที่สายอากาศด้านรับ สูง 6 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ผ่านกระบวนการคลีนจะเห็นได้ว่าค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นหรือสัญญาณที่รับได้มีความแรงขึ้น เนื่องจากอัลกอริทึมแบบคลีนเป็นกระบวนการลดสัญญาณรบกวนในโดเมนเวลา ทำให้เมื่อผ่านอัลกอริทึมแบบคลีนแล้ว สัญญาณที่รับได้จะมีค่าแอมพลิจูดที่สูงขึ้น

4.9 การหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ

สำหรับการศึกษาทดลองนี้ใช้อัลกอริทึมในการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ ทำให้การวิเคราะห์ประกอบ 2 กรณีคือ กรณีการใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด และกรณีที่ใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดจำนวน k ตัว

4.9.1 การคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด

สำหรับ การคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดจากทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร และที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร ค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยทั้งหมดสามารถแสดงในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมรูปที่ 4.33 หลังจากทำการคาดคะเนตำแหน่งแล้วสามารถสรุปได้ดังนี้

MUX 1 ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 เมตร กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมีทั้งสิ้น 14 ตำแหน่ง จาก 121 ตำแหน่ง คิดเป็น 11.57% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร พบว่ามี 6 ตำแหน่ง คิดเป็น 4.96% ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (10, 7) มีค่าเป็น 11.18 เมตร ที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.68 เมตร กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมี 14 ตำแหน่ง จาก 121 ตำแหน่ง คิดเป็น 11.57% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่ามี 4 ตำแหน่ง คิดเป็น 3.31% ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (0, 4) ที่ค่าเป็น 10.05 เมตร

MUX 2 ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 4.02 เมตร กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาด 15 ตำแหน่งจาก 121 ตำแหน่ง คิดเป็น 12.40% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรมี 7ตำแหน่ง คิดเป็น 5.79% ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (0, 4) มีค่าเป็น 10.05 เมตร ที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ย 3.41 เมตร กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมี 20 ตำแหน่ง จาก 121 ตำแหน่ง คิดเป็น 16.53% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่ามี 4 ตำแหน่ง คิดเป็น 3.31% ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (1, 0) มีค่าเป็น 10.82 เมตร

MUX 3 ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 4.48 เมตร กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมี 15 ตำแหน่งจาก 121 ตำแหน่ง คิดเป็น 12.40% เมื่อพิจารณากรณีที่

เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร มี 5 ตำแหน่ง คิดเป็น 4.13% ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่เป็นการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (0, 9) มีค่า 13.45 เมตร ที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.58 เมตร กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาด 31 ตำแหน่งจาก 121 ตำแหน่ง คิดเป็น 25.62% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร พบว่ามี 3 ตำแหน่ง คิดเป็น 2.48% ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (1, 3) มีค่าเป็น 9.22 เมตร

MUX 4 ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ย 4.40 เมตร กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมี 12 ตำแหน่งจาก 121 ตำแหน่ง คิดเป็น 9.92% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่ามี 8 ตำแหน่ง คิดเป็น 6.61% ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุด เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (2, 8) มีค่าเท่ากับ 10.63 เมตร ที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.94 เมตร กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมี 16 ตำแหน่ง จาก 121 ตำแหน่ง คิดเป็น 13.22% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร พบว่ามี 3 ตำแหน่ง คิดเป็น 2.48% ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (2, 9) มีค่าเป็น 12.04 เมตร

MUX 5 ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.77 เมตร กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมี 26 ตำแหน่งจาก 121 ตำแหน่ง คิดเป็น 21.49% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่ามี 6 ตำแหน่ง คิดเป็น 4.96% ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (3, 0) มีค่าเป็น 10.20 เมตร ที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.12 เมตร กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมี 28 ตำแหน่ง จาก 121 ตำแหน่ง คิดเป็น 23.14% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่ามีทั้งสิ้น 2 ตำแหน่ง คิดเป็น 1.65% ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (1, 3) มีค่าเป็น 9.85 เมตร

จากตารางที่ 4.1 พบว่ากรณีที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่ดีที่สุดเท่ากับ 3.77 เมตร ที่ MUX 5 กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาด 26 ตำแหน่งจาก 121 ตำแหน่ง คิดเป็น 21.49% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรมีทั้งสิ้น 6 ตำแหน่ง คิดเป็น 4.96% ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (3, 0) มีค่าเป็น 10.20 เมตร และพบว่ากรณีที่ให้ผลการศึกษาดทดลองที่ดีที่สุดที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่ดีที่สุดเท่ากับ 3.12 เมตร ที่ MUX 5 กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมี 28 ตำแหน่งจาก 121 ตำแหน่ง คิดเป็น 23.14% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร พบว่ามี 2 ตำแหน่ง คิดเป็น 1.65% ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (1, 3) มีค่าเป็น 9.85 เมตร

จากตารางที่ 4.2 พบว่าที่สายอากาศรับสูง 1 เมตรโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 เมตร และที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.55 เมตร ซึ่งดีกว่าสายอากาศรับสูง 1 เมตร เนื่องจากที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร คลื่นมีการสะท้อนพื้นจึงทำให้เกิดความผิดพลาดระยะทางมากกว่าที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

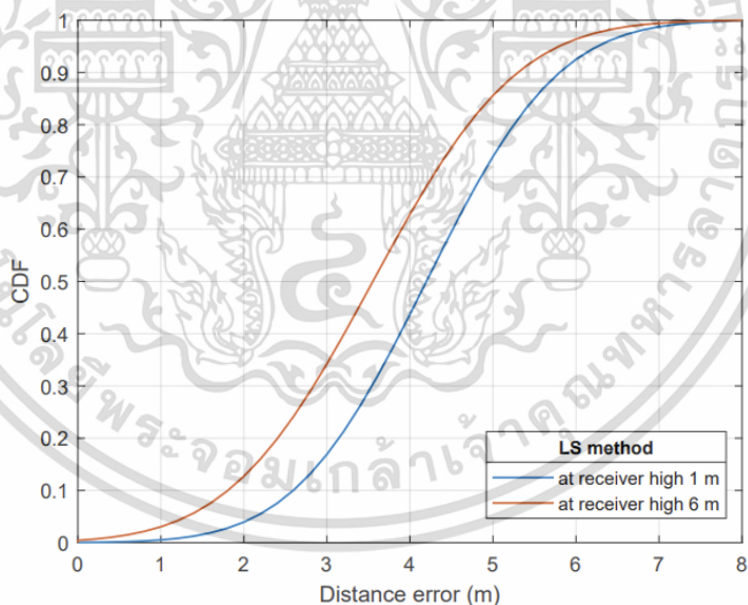
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยของแต่ละ MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตรและ 6 เมตร โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด

ความสูงสายอากาศรับ	ค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ย (เมตร)				
	MUX 1	MUX 2	MUX 3	MUX 4	MUX 5
1 เมตร	4.33	4.02	4.48	4.40	3.77
6 เมตร	3.68	3.41	3.58	3.94	3.12

ตารางที่ 4.2 ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตรและ 6 เมตรโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด

ความสูงสายอากาศรับ (เมตร)	ค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ย (เมตร)
1	4.20
6	3.55



รูปที่ 4.33 การเปรียบเทียบความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตรและ 6 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยของแต่ละ MUX ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตรโดยใช้ อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว

จำนวน k	ค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ย (เมตร)				
	MUX 1	MUX 2	MUX 3	MUX 4	MUX 5
3	4.34	4.13	4.33	4.42	4.04
5	4.25	3.98	4.22	4.21	4.05
7	4.18	3.95	4.23	4.13	4.00
9	4.20	4.02	4.30	4.06	4.07

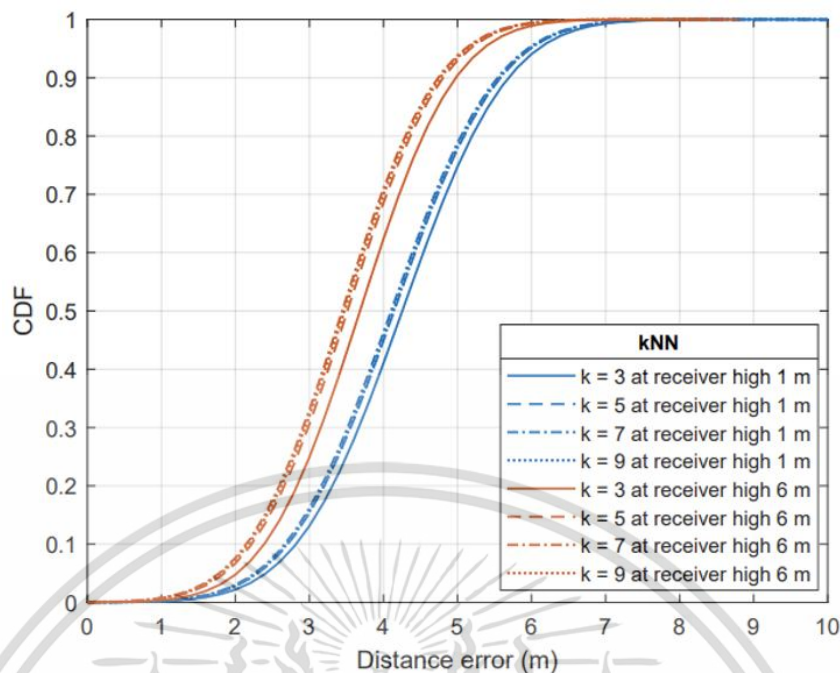
ตารางที่ 4.4 ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยของแต่ละ MUX ที่สายอากาศรับสูง 6 เมตรโดยใช้ อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว

จำนวน k	ค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ย (เมตร)				
	MUX 1	MUX 2	MUX 3	MUX 4	MUX 5
3	3.40	3.64	3.47	4.08	3.81
5	3.31	3.48	3.47	3.72	3.57
7	3.28	3.45	3.41	3.63	3.41
9	3.27	3.55	3.47	3.64	3.43

ตารางที่ 4.5 ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยที่สายอากาศรับสูง 1 เมตรและ 6 เมตรโดยใช้ อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว

จำนวน k	ค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ย (เมตร)	
	สายอากาศรับสูง 1 เมตร	สายอากาศรับสูง 6 เมตร
3	4.25	3.68
5	4.14	3.51
7	4.10	3.44
9	4.13	3.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 การเปรียบเทียบความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตรและ 6 เมตร

4.10 การหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลัส

สำหรับการศึกษาการใช้อัลกอริทึมในการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลัส นั้น จะทำการวิเคราะห์ใน 2 กรณีด้วยกันคือ กรณีที่ใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดและกรณีใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว

4.10.1 การคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลัส

สำหรับการคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลัสของทั้ง 5 MUX ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตรและที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร ค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยทั้งหมดสามารถแสดงอยู่ในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมดังรูปที่ 4.35 หลังจากทำการคาดคะเนตำแหน่งดังตารางที่ 4.6 สามารถอธิบายได้ดังนี้

MUX 1 ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.44 เมตร กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมีทั้งสิ้น 17 ตำแหน่ง จาก 121 ตำแหน่ง คิดเป็น 14.05% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่ามีทั้งสิ้น 5 ตำแหน่ง คิดเป็น 4.13% ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (10, 7) มีค่าเป็น 11.18 เมตร ที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 2.96 เมตร กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมีทั้งสิ้น 17 ตำแหน่ง จาก 121 ตำแหน่ง คิดเป็น 14.05% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

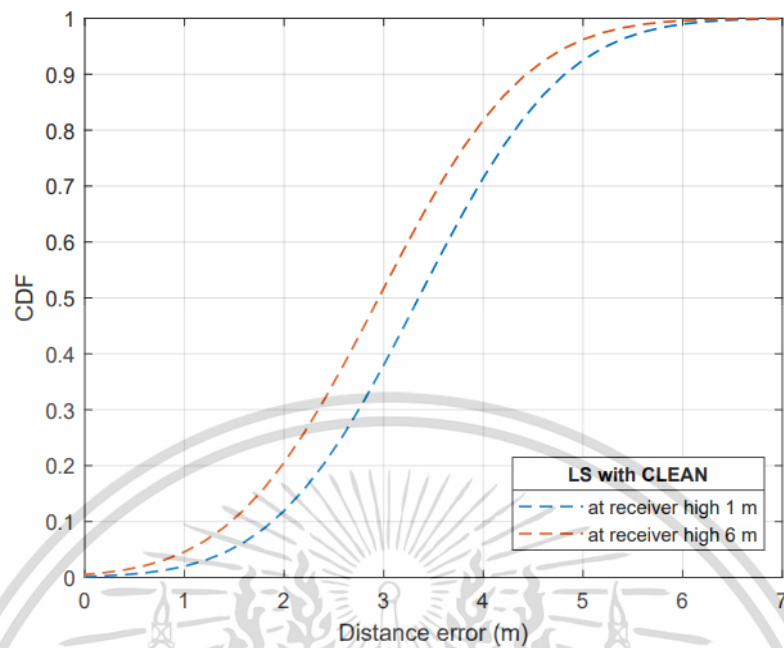
ทั้งสิ้น 4 ตำแหน่ง คิดเป็น 3.31% ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (6, 1) มีค่าเป็น 9.22 เมตร

จากตารางที่ 4.6 การคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดร่วมกับคลินอัลกอริทึม พบว่าที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร กรณีที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่ดีที่สุดเท่ากับ 3.02 เมตร ที่ MUX5 กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมีทั้งสิ้น 31 ตำแหน่ง จาก 121 ตำแหน่ง คิดเป็น 25.62% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่ามีทั้งสิ้น 6 ตำแหน่ง คิดเป็น 4.96% ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (1, 9) มีค่าเป็น 9.85 เมตร และพบว่าที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร กรณีที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่ดีที่สุดเท่ากับ 2.77 เมตร ที่ MUX5 กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมีทั้งสิ้น 28 ตำแหน่ง จาก 121 ตำแหน่ง คิดเป็น 23.14% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่ามีทั้งสิ้น 4 ตำแหน่ง คิดเป็น 3.31% ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (6, 1) มีค่าเป็น 9.22 เมตร

จากตารางที่ 4.7 การหาตำแหน่งใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลินพบว่าสายอากาศรับสูง 1 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.35 เมตร และที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 2.95 เมตร ที่สายอากาศรับสูง 6 เมตรมีความแม่นยำของระยะทางดีกว่าที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร เนื่องจากที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร คลื่นมีการสะท้อนพื้นจึงทำให้เกิดความผิดพลาดระยะทางมากกว่าที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร

ตารางที่ 4.6 ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยของแต่ละ MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร และ 6 เมตรโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลิน

ค ว า ม ส ู ง สายอากาศรับ	ค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ย (เมตร)				
	MUX 1	MUX 2	MUX 3	MUX 4	MUX 5
1 เมตร	3.44	3.18	3.61	3.50	3.02
6 เมตร	2.96	2.92	2.99	3.12	2.77



รูปที่ 4.35 การเปรียบเทียบความผิดพลาดระยะทางโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลีน ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตรและ 6 เมตร

ตารางที่ 4.7 ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยที่สายอากาศรับสูง 1 เมตรและ 6 เมตรโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลีน

ความสูงสายอากาศรับ (เมตร)	ค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ย (เมตร)
1	3.35
6	2.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10.2 การคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลีน

ทำการวิเคราะห์กรณีที่ใช้ค่า k เป็นเลขคี่ตั้งแต่ 3 ถึง 9 หลังจากทำการคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลีนพบว่าค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร และที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร สามารถอธิบายได้ดังตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9 ตามลำดับ

MUX 1 กรณีที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดเกิดขึ้นที่ k มีค่าเท่ากับ 9 คือมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.45 เมตร เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร พบว่ามีทั้งสิ้น 6 ตำแหน่ง คิดเป็น 4.96% ที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยกรณีที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดเกิดขึ้นที่ k มีค่าเท่ากับ 9 คือมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 2.72 เมตร เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร พบว่ามีทั้งสิ้น 8 ตำแหน่ง คิดเป็น 6.61%

MUX 2 กรณีที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดเกิดขึ้นที่ k มีค่าเท่ากับ 5 คือมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.21 เมตร เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร พบว่ามีทั้งสิ้น 4 ตำแหน่ง คิดเป็น 3.31% ที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยกรณีที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดเกิดขึ้นที่ k มีค่าเท่ากับ 7 คือมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 2.92 เมตร เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร พบว่ามีทั้งสิ้น 13 ตำแหน่ง คิดเป็น 10.74%

MUX 3 กรณีที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดเกิดขึ้นที่ k มีค่าเท่ากับ 9 คือมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.35 เมตร เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร พบว่ามีทั้งสิ้น 6 ตำแหน่ง คิดเป็น 4.96% ที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยกรณีที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดเกิดขึ้นที่ k มีค่าเท่ากับ 9 คือมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 2.88 เมตร เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร พบว่ามีทั้งสิ้น 10 ตำแหน่ง คิดเป็น 8.26%

MUX 4 กรณีที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดเกิดขึ้นที่ k มีค่าเท่ากับ 9 คือมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.27 เมตร เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร พบว่ามีทั้งสิ้น 5 ตำแหน่ง คิดเป็น 4.13% ที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยกรณีที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดเกิดขึ้นที่ k มีค่าเท่ากับ 9 คือมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.02 เมตร เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร พบว่ามีทั้งสิ้น 7 ตำแหน่ง คิดเป็น 5.79%

MUX 5 กรณีที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดเกิดขึ้นที่ k มีค่าเท่ากับ 9 คือมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.17 เมตร เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร พบว่ามีทั้งสิ้น 8 ตำแหน่ง คิดเป็น 6.61% ที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยกรณีที่ให้ผล

การทดลองที่ดีที่สุดเกิดขึ้นที่ k มีค่าเท่ากับ 9 คือมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 2.85 เมตร เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร พบว่ามีทั้งสิ้น 8 ตำแหน่ง คิดเป็น 6.61% จากตารางที่ 4.10 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.36 พบว่าที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร และ 6 เมตรโดยใช้วิธีอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลื่น พบว่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยจะลดลงเมื่อค่า k เพิ่มขึ้น กรณีที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดเกิดขึ้นที่ k มีค่าเท่ากับ 9 ที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร คือมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 2.88 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยดีกว่าค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.30 เมตร ซึ่งมีความแม่นยำของระยะทางที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร ดีกว่าเมื่อเทียบกับความแม่นยำของระยะทางที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร

ตารางที่ 4.8 ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยของแต่ละ MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตรโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลื่น

จำนวน k	ค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ย (เมตร)				
	MUX 1	MUX 2	MUX 3	MUX 4	MUX 5
3	3.49	3.25	3.44	3.45	3.20
5	3.51	3.21	3.41	3.42	3.27
7	3.51	3.25	3.37	3.39	3.19
9	3.45	3.23	3.35	3.27	3.17

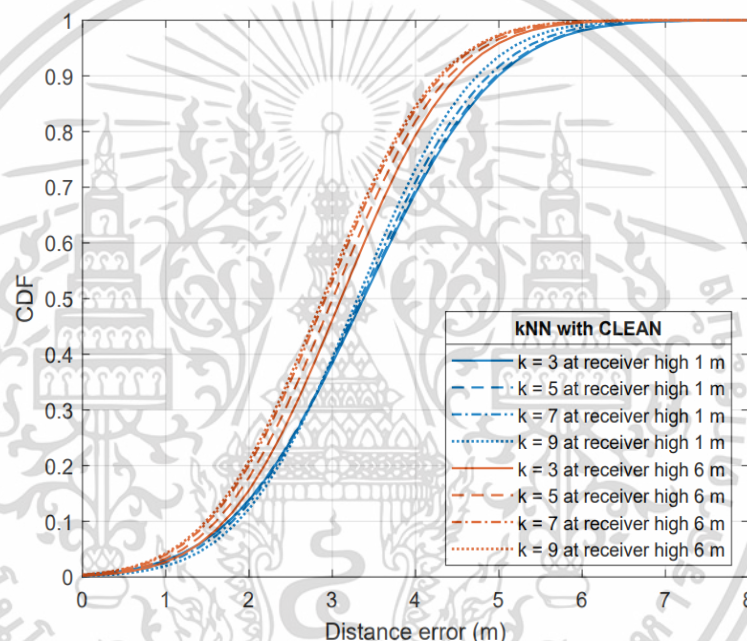
ตารางที่ 4.9 ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยของแต่ละ MUX ที่สายอากาศด้านรับสูง 6 เมตรโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลื่น

จำนวน k	ค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ย (เมตร)				
	MUX 1	MUX 2	MUX 3	MUX 4	MUX 5
3	2.86	3.07	2.92	3.44	3.21
5	2.83	2.98	2.97	3.18	3.05
7	2.78	2.92	2.89	3.08	2.89
9	2.72	2.95	2.88	3.02	2.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตรและ 6 เมตรโดยใช้ อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลีน

จำนวน k	ค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ย (เมตร)	
	สายอากาศรับสูง 1 เมตร	สายอากาศรับสูง 6 เมตร
3	3.37	3.10
5	3.36	3.00
7	3.34	2.91
9	3.30	2.88



รูปที่ 4.36 การเปรียบเทียบความผิดพลาดระยะทางโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว ร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลีนที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตรและ 6 เมตร

4.11 การเปรียบเทียบระหว่างการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือกรณี ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน

ในการทดลองการหาตำแหน่งโดยใช้สัญญาณโทรศัพท์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ได้พิจารณาพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับมา เพื่อใช้ในการหาตำแหน่งและประเมินผล เปรียบเทียบความแม่นยำในการหาตำแหน่งของกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน และกรณีใช้อัลกอริทึมแบบคลีน โดยใช้ซอฟต์แวร์ MATLAB ในกระบวนการอัลกอริทึมแบบคลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11.1 การเปรียบเทียบการคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลินและกรณีใช้อัลกอริทึมแบบคลิน

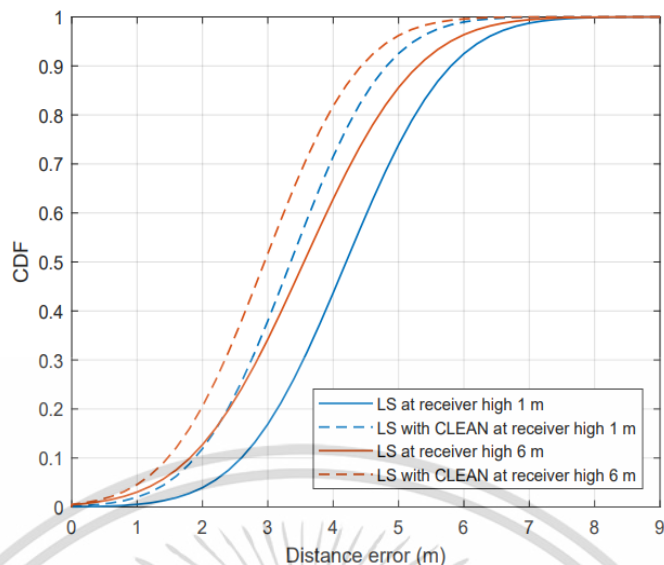
เมื่อทำการคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด ค่าความผิดพลาดระยะทางทั้งหมดของกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลิน และกรณีใช้อัลกอริทึมแบบคลิน สามารถอธิบายในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมรูปที่ 4.37 และตารางที่ 4.11 สำหรับกรณีไม่ใช่คลินอัลกอริทึมที่สายอากาศความสูง 1 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 เมตร ในขณะที่ความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (0,10) มีค่าเป็น 7.96 เมตร ที่สายอากาศสูง 6 เมตร มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.55 เมตร ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางที่มากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (9,0) มีค่าเป็น 7.94 เมตร สำหรับกรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลินที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร มีค่าความผิดพลาดทางระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.35 เมตร ในขณะที่ค่าความผิดพลาดทางระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (9,0) มีค่าเท่ากับ 7.42 เมตร ที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร มีค่าความผิดพลาดทางระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 2.95 เมตร ในขณะที่ค่าความผิดพลาดทางระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (0,10) มีค่าเป็น 6.58 เมตร

จากตารางที่ 4.11 พบว่าการหาตำแหน่งโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดที่สายอากาศรับความสูง 1 เมตร การใช้อัลกอริทึมแบบคลินจะทำให้ค่าความผิดพลาดทางระยะทางลดลงและมีความแม่นยำมากขึ้นเป็น 20.24% และที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร การใช้อัลกอริทึมแบบคลินทำให้ค่าความผิดพลาดทางระยะทางลดลง และมีความความแม่นยำมากขึ้นเป็น 16.90% ในกรณีที่ให้ผลการทดลองได้ดีที่สุด คือการใช้อัลกอริทึมแบบคลินที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร จะมีค่าความผิดพลาดทางระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 2.95 เมตร

ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยที่สายอากาศด้านรับสูง 1 เมตร และ 6 เมตร โดยการใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดที่ไม่ใช่ และใช้อัลกอริทึมแบบคลิน

ความสูงสายอากาศรับ (เมตร)	ค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ย (เมตร)	
	กรณีไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลิน	กรณีใช้อัลกอริทึมแบบคลิน
1	4.20	3.35
6	3.55	2.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 การเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดกรณีที่ใช้และไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน

4.11.2 การเปรียบเทียบการคาดคะเนตำแหน่งโดยการใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดจำนวน k ตัว ที่ไม่ใช้และใช้อัลกอริทึมแบบคลีน

เมื่อทำการคาดคะเนตำแหน่งโดยการใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดจำนวน k ตัว เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน และกรณีใช้อัลกอริทึมแบบคลีน สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.12 ซึ่งพบว่าที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร ในกรณีที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดเกิดขึ้นที่ค่า k มีค่าเท่ากับ 9 คือกรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน ทำให้มีค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.30 เมตร เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีนมีค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 4.13 เมตร จากการใช้อัลกอริทึมแบบคลีน ทำให้ค่าความผิดพลาดของระยะทางผิดพลาดน้อยลงและมีความแม่นยำเพิ่มมากขึ้นเป็น 20.10% และที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร ในกรณีที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดเกิดขึ้นที่ค่า k มีค่าเท่ากับ 9 คือกรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน จะมีค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 2.88 เมตร เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน มีค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.47 เมตร จากการใช้อัลกอริทึมแบบคลีน ส่งผลให้ค่าความผิดพลาดลดลงและมีความแม่นยำมากขึ้นเป็น 17.00%

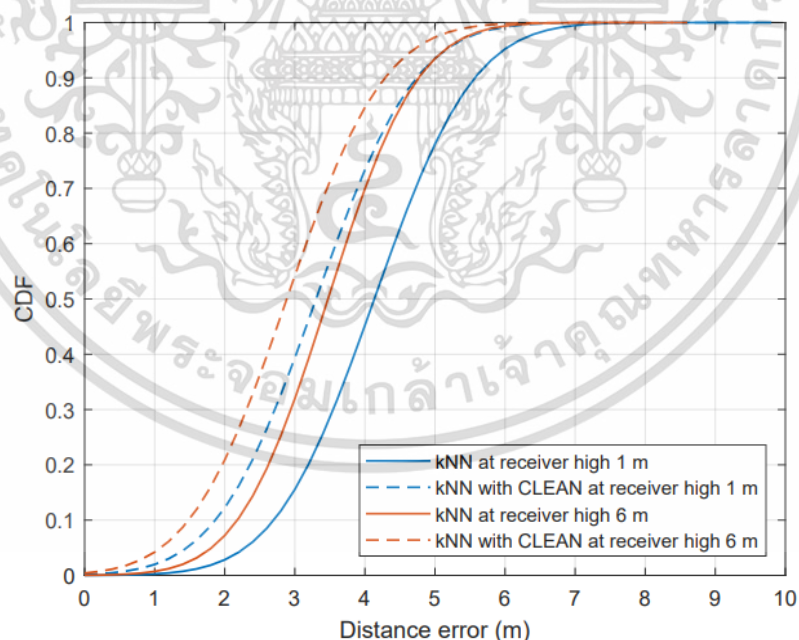
ค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่สายอากาศรับความสูง 1 เมตร และ 6 เมตร พบว่ากรณีที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด เกิดขึ้นที่สายอากาศรับความสูง 6 เมตร กรณีใช้อัลกอริทึมแบบคลีนที่ k มีค่าเท่ากับ 9 มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 2.88 เมตร เมื่อทำการคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดจำนวน k ตัวเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน และกรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน สามารถแสดงอยู่ในรูปฟังก์ชันการแจกแจงสะสมรูปที่ 4.38 ซึ่งจะแสดงในกรณีที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดที่ค่า k มีค่าเท่ากับ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด จำนวน k ตัวกรณีไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน และกรณีใช้อัลกอริทึมแบบคลีน

จำนวน k	ค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ย (เมตร)			
	สายอากาศรับสูง 1 เมตร		สายอากาศรับสูง 6 เมตร	
	ก่อนคลีน	หลังคลีน	ก่อนคลีน	หลังคลีน
$k = 3$	4.2	3.3	3.6	3.1
$k = 5$	4.1	3.3	3.5	3.0
$k = 7$	4.1	3.3	3.4	2.9
$k = 9$	4.1	3.3	3.4	2.8

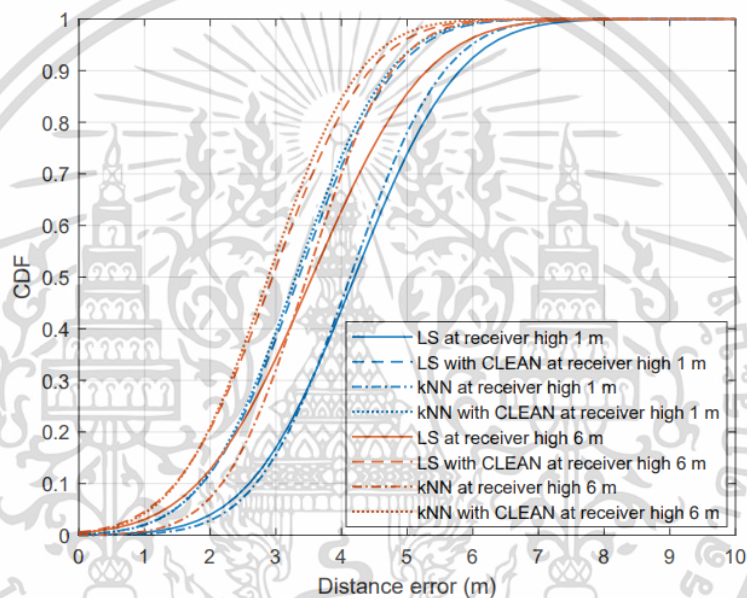


รูปที่ 4.38 การเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยโดยใช้ อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว กรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีนและกรณี ที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11.3 การเปรียบเทียบการคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดและอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดจำนวน k ตัว กรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน และกรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน

ค่าความผิดพลาดระยะทางเป็นค่าที่พิจารณาถึงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบบคลีนเมื่อนำมาใช้ในการหาตำแหน่ง โดยมีการเปรียบเทียบถึงผลการทดลองในกรณีที่ไม่ใช้ และใช้อัลกอริทึมแบบคลีน เพื่อนำมาช่วยในการปรับปรุงช่องสัญญาณ โดยค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยในนี้ ได้ยกตัวอย่างกรณีที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดดังรูปที่ 4.39 โดยมีการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของระยะทางกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน และกรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน เพื่อเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของระยะทาง



รูปที่ 4.39 การเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยโดยใช้เทคนิคสแกนลายนิ้วมือกรณีที่ไม่ใช้และใช้อัลกอริทึมแบบคลีน

4.12 สรุป

จากทฤษฎีการหาตำแหน่งที่ได้กล่าวในบทที่ 2 และแบบแผนการทดลองวิจัยที่นำเสนอในบทที่ 3 ในบทนี้ได้นำเสนอผลการทดลองวิจัยบนพื้นฐานการวัดจริงที่ได้ดำเนินการวัดภาคสนาม ในพื้นที่วัดปลูกศรัทธา กรุงเทพมหานคร จากนั้นใช้ซอฟต์แวร์ MATLAB ในการเพื่ออัลกอริทึมแบบคลีนและสัญญาณที่คลีน ในกระบวนการแรกของอัลกอริทึมแบบคลีนซึ่งเป็นกระบวนการสทัมพ์ข้ามกำหนดโดย $c_{cc}(\tau)$ ระหว่างสัญญาณส่งและสัญญาณรับ โดยผลลัพธ์ถือว่าเป็นช่องสัญญาณการตอบสนองอิมพัลส์ โดยช่องสัญญาณการตอบสนองอิมพัลส์ที่ถูกคลีนซึ่งได้ลบความหน่วงเวลาออกไป เพื่อให้ได้สัญญาณรับที่คลีนช่องสัญญาณการตอบสนองอิมพัลส์ที่ถูกคลีนนี้จะถูกนำมาคอนโวลูชันกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณส่ง นำไปสู่สัญญาณที่ได้รับการคลีน เรียกว่าการคลีนสัญญาณที่ได้รับ สหสัมพันธ์ของสัญญาณส่งถูกกำหนดเป็น $c_{uu}(\tau)$ หลังจากนั้น กำหนดแผนที่ที่ยังไม่คลีนและแผนที่คลีนแล้วเป็น $d_0(\tau) = c_{cc}(\tau)$ และ $d_1(\tau) = c_{cc}(\tau)$ ตามลำดับ เมื่อคำนวณค่าสูงสุดของสหสัมพันธ์ข้ามของสัญญาณส่งและสัญญาณรับเสร็จแล้วให้เปรียบเทียบค่าทั้งหมดของ a_k กับระดับเกณฑ์ ซึ่งในการศึกษานี้เท่ากับ 10 เพอร์เซ็นต์ของค่า a_k หากค่า a_k ยังมากกว่าค่าเกณฑ์ ให้ทำซ้ำอัลกอริทึมใหม่อีกครั้งจนกว่าค่า a_k จะน้อยกว่าค่าเกณฑ์ เนื่องจากการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีนและกรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน พบว่าความล่าช้าจึงถูกลบออกไปและพบการที่ ได้รับจะเห็นได้ว่าที่สายอากาศรับสูง 1 เมตรและ 6 เมตรกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีนจะเห็นได้ว่าสัญญาณมีความผิดเพี้ยนเยอะเนื่องจากเกิดการสะท้อนตามสภาวะแวดล้อมในพื้นที่จริง จากนั้นเมื่อผ่านกระบวนการคลีนจะเห็นได้ว่าค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับดีขึ้นเนื่องจากกระบวนการคลีนเป็นกระบวนการทำซ้ำเพื่อลดสัญญาณรบกวน

ในการหาตำแหน่งได้ทำการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคสแกนลายนิ้วมือโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยมีแนวความคิดคล้ายกับวิธีการสแกนลายนิ้วมือของมนุษย์ ในขั้นตอนแรกนั้นจะเก็บพารามิเตอร์ของสัญญาณที่ต้องการนำมาพิจารณาไว้ในฐานข้อมูล จากนั้นทำการหาตำแหน่งเป้าหมายโดยนำค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณมาเปรียบเทียบกับความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่งที่ได้ทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณนั้นไว้ในฐานข้อมูลก่อนหน้าแล้ว ตำแหน่งเป้าหมายที่ได้คือตำแหน่งที่เมื่อทำเปรียบเทียบแล้วมีความใกล้เคียงที่สุด จากการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคสแกนลายนิ้วมือพบว่าที่สายอากาศรับสูง 1 เมตรมีค่าความผิดพลาดระยะทางมากกว่าที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร เนื่องจากที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร สัญญาณมีความแปรปรวนมากเกิดจากคลื่นสะท้อนพื้นเพราะสายอากาศรับสูง 1 เมตรอยู่ใกล้พื้นดินทำให้เกิดการแทรกสอดมีความเป็นไปได้สูงที่ทำให้สัญญาณเกิดความผิดเพี้ยนเยอะ จึงทำให้เกิดความผิดพลาดระยะทางมากกว่าความผิดพลาดระยะทางที่สายอากาศรับสูง 6 เมตร เมื่อพิจารณาจากค่าความผิดพลาดของระยะทางที่ทราบได้ตั้งตารางแล้วเมื่อพิจารณาโดยละเอียดแล้วจะสังเกตเห็นได้เลยว่าที่สายอากาศรับสูง 1 เมตรโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด สำหรับกรณีที่ไม่ใช้คลีนมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 เมตร กรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีนมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.35 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางแม่นยำขึ้น 20.24% ซึ่งเป็นกรณีที่ดีที่สุดของการใช้อัลกอริทึมแบบคลีนในการลดค่าความผิดพลาดของระยะทางในศึกษาทดลอง การหาตำแหน่งนี้

ในส่วนการหาตำแหน่งโดยใช้วิธีอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว เป็นวิธีในการตัดสินใจวิธีหนึ่งที่ต่างจากวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ที่สามารถขยายขอบเขตของการตัดสินใจให้มากขึ้น โดยการตรวจสอบ k จำนวนที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด เทคนิคนี้จะเป็นการหาผลรวมของจำนวนเงื่อนไข หรือกรณีต่าง ๆ สำหรับแต่ละการตัดสินใจ การนำอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดจำนวน k ตัวไปใช้นั้นเป็นการหาระยะห่างระหว่างแต่ละตัวแปรในข้อมูล สำหรับขั้นตอนวิธีของอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดจำนวน k ตัวนั้นเริ่มต้นต้องทำการกำหนดขนาดของ k ก่อนโดยทั่วไปเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามกำหนดให้เป็นเลขคี่ หลังจากนั้นทำการคำนวณความแตกต่างระหว่างข้อมูลเป้าหมายกับกลุ่มข้อมูลตัวอย่าง ข้อมูลเป้าหมายจะถูกตัดสินใจโดยพิจารณาข้อมูลตัวอย่างที่มีความแตกต่างน้อยที่สุดจำนวน k ข้อมูล จากการหาตำแหน่งโดยใช้วิธีอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตรที่ k มีค่าเท่ากับ 9 กรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลัสเตอร์มีความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 4.13 เมตร กรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลัสเตอร์มีความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 3.30 เมตร จากการใช้อัลกอริทึมแบบคลัสเตอร์ส่งผลให้ค่าความผิดพลาดของระยะทางแม่นยำเพิ่มขึ้นคิดเป็น 20.19% ซึ่งเป็นกรณีที่ดีที่สุดของการใช้อัลกอริทึมแบบคลัสเตอร์ร่วมกับการหาตำแหน่งโดยใช้วิธีอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว พบว่าการหาตำแหน่งโดยใช้วิธีอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวให้ความแม่นยำของระยะทางดีกว่าวิธีกำลังสองน้อยที่สุดเพราะวิธีอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวสามารถขยายขอบเขตของการตัดสินใจให้มากขึ้น โดยการตรวจสอบ k จำนวนที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด ทำให้การหาตำแหน่งแม่นยำมากยิ่งขึ้น การหาตำแหน่งทั้งกรณีใช้วิธีกำลังน้อยที่สุดกรณีใช้อัลกอริทึมแบบคลัสเตอร์มีความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยน้อยกว่ากรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลัสเตอร์ และกรณีที่ใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว กรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลัสเตอร์มีความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยน้อยกว่ากรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบ

จะเห็นได้ว่ากรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลัสเตอร์จะเห็นได้ว่าสัญญาณเกิดความผิดพลาดเนื่องจากการเกิดการสะท้อนตามสภาวะแวดล้อมในพื้นที่จริงจึงทำให้ความแม่นยำในการหาตำแหน่งน้อยลง จากนั้นพอผ่านกระบวนการคลัสเตอร์แล้วจะเห็นได้ว่าค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับดีขึ้นแล้ว การหาตำแหน่งก็มีความผิดพลาดน้อยลงด้วย จึงสรุปได้ว่าการนำอัลกอริทึมแบบคลัสเตอร์มาใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของช่องสัญญาณนั้นสามารถจัดสัญญาณรบกวนออกได้จริง จะเห็นได้ชัดเจนว่าความแตกต่างระหว่างกรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลัสเตอร์และกรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลัสเตอร์มีความไม่แตกต่างกันมากแต่ประสิทธิภาพโดยรวมหลังจากการใช้อัลกอริทึมแบบคลัสเตอร์จะให้ค่าความแม่นยำของระยะทางที่ดีกว่า

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 กล่าวนำ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอแบบแผนการประเมินผลการหาตำแหน่งภายนอกอาคารโดยใช้สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ด้วยอัลกอริทึมแบบคลีน โดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ ซึ่งข้อได้เปรียบของเทคโนโลยีโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 สำหรับระบบการหาตำแหน่งคือความครอบคลุมของสัญญาณในพื้นที่กว้างมากทั้งภายนอกอาคารและภายในอาคาร สำหรับการทดลองนั้นใช้อุปกรณ์ภาคส่งสัญญาณคือสถานีส่งไบหยก ซึ่งทำงานบนย่านความถี่ 514 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 658 เมกะเฮิร์ตซ์ ตามมาตรฐานโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ในขณะที่อุปกรณ์ภาครับจะใช้สายอากาศรับไดโพลแบบครึ่งความยาวคลื่น ยี่ห้อ EMCO Model รุ่น 3121C และเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ ซึ่งสามารถรองรับการใช้งานบนมาตรฐานโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ได้ สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาตำแหน่งคือค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการทดลองที่สายอากาศรับสูง 1 เมตร และสายอากาศรับสูง 6 เมตร ตามที่ได้กล่าวไปในบทที่ 3 และทำการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ทั้ง 5 MUX โดยทำการวัดบริเวณวัดปลูกศรีธา กรุงเทพมหานคร จากนั้นทำการวิเคราะห์และประเมินผลเปรียบเทียบการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ และการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือวิธีกำลังสองน้อยที่สุดและอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลีนเพื่อทำให้เกิดความผิดพลาดระยะทางน้อยที่สุดตามที่อธิบายในบทที่ 4

5.2 จากผลการทดลองวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ในการหาตำแหน่งร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลีน ในการคลีนสัญญาณรบกวน การหน่วงเวลาของสัญญาณโดยจะทำให้ช่องสัญญาณการตอบสนองอิมพัลส์เพิ่มขึ้น เพื่อปรับปรุงช่องสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 และใช้ข้อมูลดิบที่วัดได้เพื่อคำนวณกระบวนการอัลกอริทึมแบบคลีนในซอฟต์แวร์ MATLAB โดยใช้เทคนิคสหสัมพันธ์ที่ใช้ในการประมาณช่องสัญญาณการตอบสนองอิมพัลส์และคลีนช่องสัญญาณการตอบสนองอิมพัลส์ ซึ่งดำเนินการโดยสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างสัญญาณส่งและสัญญาณรับช่องสัญญาณการตอบสนองอิมพัลส์ที่คลีนแล้วสามารถใช้เพื่อคอนโวลูชันกับสัญญาณส่ง เพื่อให้ได้สัญญาณรับที่คลีนแล้ว สำหรับการประเมินผลของการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือนั้น จะใช้ค่าความแรงของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลชั้นที่ 2 ที่ได้รับที่สายอากาศรับสูง 1 เมตรและ 6 เมตร โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดและการใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว และทำการประเมินผลทั้งกรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีนและกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลีน ผลการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองของการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือแสดงได้ดังตารางที่ 5.1 จากผลการทดลองพบว่า สำหรับกรณีการเปรียบเทียบโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยสุดนั้นเมื่อใช้ร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลินที่สายอากาศรับสูง 1 เมตรจะมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่ 3.35 เมตร ซึ่งน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีอัลกอริทึมแบบคลินจะมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่ 4.20 เมตร จากการใช้อัลกอริทึมแบบคลินส่งผลให้ค่าความผิดพลาดของระยะทางแม่นยำขึ้นคิดเป็น 20.24% และที่สายอากาศรับสูง 6 เมตรกรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลินจะมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่ 2.95 เมตร ซึ่งน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีอัลกอริทึมแบบคลินจะมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่ 3.55 เมตร จากการใช้อัลกอริทึมแบบคลินส่งผลให้ค่าความผิดพลาดของระยะทางแม่นยำขึ้นคิดเป็น 16.90% ดังที่แสดงในตารางที่ 4.11 บทที่ 4

ในส่วนการใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลิน ดังตารางที่ 5.1 จะแสดงผลกรณีที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดที่ k มีค่าเท่ากับ 9 สามารถอธิบายได้ดังนี้ที่สายอากาศรับสูง 1 เมตรจะมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่ 3.30 เมตร ซึ่งน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีอัลกอริทึมแบบคลินจะมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่ 4.13 เมตร จากการใช้อัลกอริทึมแบบคลินส่งผลให้ค่าความผิดพลาดของระยะทางแม่นยำขึ้นคิดเป็น 20.10% และที่สายอากาศรับสูง 6 เมตรกรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลินจะมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่ 2.88 เมตร แสดงในตารางที่ 4.12 บทที่ 4 ซึ่งน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีอัลกอริทึมแบบคลินจะมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่ 3.47 เมตร จากการใช้อัลกอริทึมแบบคลินส่งผลให้ค่าความผิดพลาดของระยะทางแม่นยำขึ้นคิดเป็น 17.00%

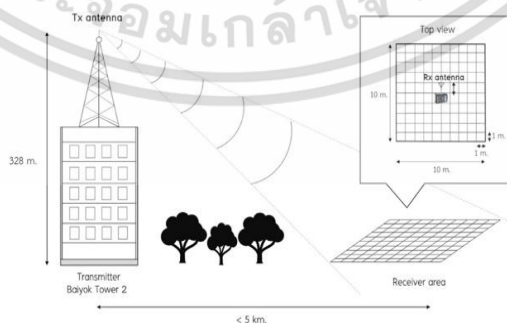
เมื่อพิจารณาโดยละเอียดแล้วจะสังเกตเห็นได้เลยว่าการหาตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลินเป็นกรณีที่ดีที่สุดในการศึกษาการหาตำแหน่งภายนอกอาคารโดยใช้สัญญาณโทรศัพท์ศัณภาคพื้นดินระบบดิจิทัลขั้นที่ 2 ด้วยอัลกอริทึมแบบคลิน จากตารางที่ 5.1 สามารถสรุปได้ว่าการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมแบบคลินให้ค่าความผิดพลาดของระยะทางแม่นยำขึ้นประมาณ 18.56% จะเห็นได้ว่ากรณีที่ไม่มีอัลกอริทึมแบบคลินจะเห็นได้ว่าสัญญาณเกิดความผิดพลาดเนื่องจากการสะท้อนตามสภาวะแวดล้อมในพื้นที่จริงจึงทำให้ความแม่นยำในการหาตำแหน่งน้อยลง จากนั้นพอผ่านกระบวนการคลินแล้วจะเห็นได้ว่าค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับดีขึ้นแล้วการหาตำแหน่งก็มีความผิดพลาดน้อยลงด้วย จึงสามารถที่จะสรุปได้ว่าการนำอัลกอริทึมแบบคลินมาใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของช่องสัญญาณนั้นสามารถจัดสัญญาณรบกวนออกได้จริง จะเห็นได้ชัดเจนว่าความแตกต่างระหว่างกรณีที่ไม่มีอัลกอริทึมแบบคลินและกรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลินมีความไม่แตกต่างกันมากแต่ประสิทธิภาพโดยรวมหลังจากจากการใช้อัลกอริทึมแบบคลินจะให้ค่าความแม่นยำของระยะทางที่ดีกว่า

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบความแม่นยำของการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมแบบคลินและกรณีที่ใช้อัลกอริทึมแบบคลิน

ความสูง สายอากาศ ศรัับ	ความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ย (เมตร)			
	วิธีกำลังสองน้อยที่สุด		อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว	
	ไม่ใช้อัลกอริทึม แบบคลิน	ใช้อัลกอริทึมแบบ คลิน	ไม่ใช้อัลกอริทึม แบบคลิน	ใช้อัลกอริทึมแบบ คลิน
1 เมตร	4.20	3.35	4.13	3.30
6 เมตร	3.55	2.95	3.47	2.88

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการสรุปผลการทดลองข้างต้น พบว่า ยังมีข้อผิดพลาดเนื่องจากข้อจำกัดทางด้านสถานที่และสภาพแวดล้อมในการทำการทดลอง ทำให้การหาตำแหน่งยังมีความผิดพลาดระยะทางอยู่มากแบบจำลองการศึกษาการหาตำแหน่งภายนอกอาคารโดยใช้สัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบดิจิทัลรุ่นที่ 2 ด้วยอัลกอริทึมแบบคลินที่ได้ออกแบบและจัดทำขึ้น มีประโยชน์อย่างยิ่งในการหาตำแหน่งภายในอาคารและสามารถนำไปใช้งานได้จริง สำหรับในอนาคตถ้ามีโอกาสดีไปอาจเปลี่ยนสถานที่ทำการทดลองให้มีระยะทางที่ใกล้กันมากขึ้นระหว่างสายอากาศส่งและพื้นที่ในการทดลองสำหรับการหาตำแหน่ง ดังรูปที่ 5.1 เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดอันเป็นผลมาจากการจางหายของสัญญาณจากระยะทางและเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการหาตำแหน่ง และสุดท้ายอาจเป็นเทคนิคในการหาตำแหน่งซึ่งสามารถพัฒนาต่อไปได้ขึ้นกับการประยุกต์ใช้งานในอนาคต



รูปที่ 5.1 แบบจำลองการทดลองหาตำแหน่งโดยปรับระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและพื้นที่ในการทดลองให้ใกล้ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] ETSI EN 302 755 V1.4.1 (2015-07) Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)
- [2] ITU-R BT.2022 (08/2012) General viewing conditions for subjective assessment of quality of SDTV and HDTV television pictures on flat panel displays
- [3] ITU-R BT.2020-2 (10/2015) Parameter values for ultra high definition television and international programme exchange
- [4] ETSI TS 102 831 V1.2.1 (2012-08) Digital Video Broadcasting (DVB) Implementation Guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)
- [5] กสทช. ข้อกำหนดทางด้านเทคนิคขั้นต่ำของอุปกรณ์สำหรับการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล
- [6] รองศาสตราจารย์ชูศรี วงศ์รัตน์ ม.ป.ป. เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย พิมพ์ครั้งที่ 13 กรุงเทพมหานครการพิมพ์
- [7] D.Perez-Calderon, C.Oria, J.Garcia, P.Lopez, V.Baena, I.Lacadena Rotated Constellations for DVB-T2 XXIV Design of Circuits and Interated Systems Conference Zaragoza Nov 19-20 2009
- [8] ETSI EN 302 755 V1.4.1 (2015-07) Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)
- [9] ETSI TR 101 290 V1.2.1 (2001-05) Digital Video Broadcasting (DVB) Measurement Guidelines for DVB system
- [10] ETSI TS 102 831 V1.2.1 (2012-08) Digital Video Broadcasting (DVB) Implementation Guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)
- [11] ETSI TS 102 992 V1.1.1 (2010-09) Digital Video Broadcasting (DVB) Structure and Modulation of optional transmitter signatures (T2-Tx-SIG) for use with the DVB-T2 second generation digital terrestrial television broadcasting system
- [12] ITU-R 09/2012 Frequency and network planning aspects of DVB-T2
- [13] John G. Proakis, Masoud Salehi 2008 Digital Communications Fifth Edition New York McGraw-Hill Higher Education

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] Walter Fischer 2009 Digital Video and Audio Broadcasting Technology Third Edition London: Springer
- [15] Ron Hranac 2007 BER and MER Fundamentals Cisco Systems, Inc
- [16] Krešimir Ruščić, Andrej Skenderović Measurements and Propagation Model Tuning in DVB-T2 Network ELMAR (ELMAR), 2014 56th International Symposium
- [17] ITU-R BT.2022 (08/2012) General viewing conditions for subjective assessment of quality of SDTV and HDTV television pictures on flat panel displays
- [18] ITU-R BT.2020-2 (10/2015) Parameter values for ultra high definition television and international programme exchange
- [19] สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีกระจายเสียงและโทรทัศน์ สำนักงาน กสทช. www.nbtcrights.com/2015/10/5642
- [20] S.Meltzer and G. Moser 2006 MPEG-4 HEAAC V2 EBU Technical Review
- [21] Wikipedia High-Efficiency Advanced Audio Coding https://en.wikipedia.org/wiki/High-Efficiency_Advanced_Audio_Coding
- [22] ETSI TS 101 211 V1.11.1 (2012-04): Digital Video Broadcasting (DVB): Guidelines on implementation and usage of Service Information (SI)
- [23] ETSI EN 301 192 V1.4.2 (2008-04): Digital Video Broadcasting (DVB); DVB specification for data broadcasting
- [24] ETSI TR 101 202 V1.2.1 (2003-01): Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for Data Broadcasting
- [25] ETSI TS 101 154 V1.10.1 (2011-06): Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for the use of Video and Audio Coding in Broadcasting Applications based on the MPEG-2 Transport Stream
- [26] ISO/IEC 13818-1:2007 : Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: System
- [27] ETSI TS 102 773 V1.3.1 (2012-01): Digital Video Broadcasting (DVB); Modulator Interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)
- [28] ETSI 102 006 V1.3.2 (2008-07): Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for System Software Update in DVB Systems
- [29] ISO/IEC 14496-10:2012 : Information technology – coding of audio – visual objects – Part 10 : Advanced Video Coding (MPEG 4 AVC/H.264)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [30] ISO/IEC 14496-3:2009 : Information technology – Coding of audio – visual object – Part 3: Audio (MPEG 4 HE AACv2)
- [31] ETSI EN 302 755 V1.3.1 (2012-04): Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)
- [32] ETSI TS 101 191 V1.4.1 (2004-06): Digital Video Broadcasting (DVB); DVB mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization
- [33] ETSI EN 300 478 V1.13.1 (2012-08): Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems
- [34] ETSI EN 300 743 V1.4.1 (2011-10): Digital Video Broadcasting (DVB); Subtitling systems
- [35] H. Laitinen, J. Lahteenmaki, and T. Nordstrom, “Database Correlation Method for GSM Location,” IEEE Vehicular Technology Conference, vol.4, pp. 2504-2508, May 2001.
- [36] R. O. Duda, P. E. Hart, D. G. Stork, “Pattern Classification,” Second Edition, John Wiley, 2000.
- [37] M. Choi and B. Jang, “An Accurate Fingerprinting based Indoor Positioning Algorithm.” International Journal of Applied Engineering Research. (2017) : 86-90.
- [38] R. Olyazadeh. “Least Square Approach on Indoor Positioning Measurement Techniques”: Geomundus, 2012.
- [39] 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. (Nov. 2004) : 597-605.
- [40] EMCO (The Electro-Mechanics Company). “Dipole Antenna EMCO Model 3121C.”
- [41] Rover instruments. “HD PROTAB.” https://www.oreind.is/wp-content/uploads/2011/01/ROVER_HD_PROTAB_STCOI_Catalog_2012_V2_S-1.
- [42] สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม (สำนักงาน กสทช.). แนวปฏิบัติทางเทคนิคสำหรับการให้บริการโทรทัศน์ภาคพื้นดินใน ระบบ ดิจิตอล (Technical Guidelines for Digital Terrestrial Television Broadcasting). กรุงเทพมหานคร, 2560.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้นำเสนอในระหว่างศึกษาระดับปริญญาเอก

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ

- [1] SATHAPORN PROMWONG AND NATTAPAN SUWANSUKHO, "DTTV LOCALIZATION WITH FINGERPRINTING TECHNIQUE AND CLEAN ALGORITHM BASED ON MEASUREMENT DATA," JOURNAL OF MOBILE MULTIMEDIA, VOL. 18-3, PP. 821-844, JAN. 2022

บทความที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการนานาชาติ

- [1] NATTAPAN SUWANSUKHO AND SATHAPORN PROMWONG, "EXPERIMENTAL STUDY OF DVB-T2 THRESHOLD," THE 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON DIGITAL ARTS, MEDIA AND TECHNOLOGY, 2019, PP. 114, DOI: 10.1109/ECTI-NCON.2019.8692312
- [2] NATTAPAN SUWANSUKHO AND SATHAPORN PROMWONG, "EVALUATION OF ROTATED CONSTELLATION IN DVB-T2 BASED ON MEASUREMENT DATA," 2019 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING, APPLIED SCIENCES AND TECHNOLOGY (ICEAST), 2019, PP. 1-5, DOI: 10.1109/ICEAST.2019.8802572

Editor-in-Chief: Pavlos Lazaridis

ISSN 1550-4646

Journal of Mobile Multimedia



River Publishers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DTTV Localization with Fingerprinting Technique and Clean Algorithm Based on Measurement Data

Sathaporn Promwong and Nattapan Suwansukho*

*School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand*

E-mail: Sathaporn.pr@kmitl.ac.th; nattapan@suwansukho.com

**Corresponding Author*

Received 02 June 2021; Accepted 20 October 2021;

Publication 22 January 2022

Abstract

Digital terrestrial television (DTTV) technology has been developed and used to broadcast the television program. A numerous applications have been developed for the additional feature used with DTTV. One of these features that can be used which is the localization system with DTTV broadcasting. The advantage of DVB-T2 broadcasting channel for localization technology which very wide coverage area that covered whether outdoor and indoor environment. In the present there are divers methodologies to locate the position of an object or user such as the Global Positioning System (GPS), Cellular Positioning System (CPS) and Wi-Fi Positioning System (WPS). Nowadays there are various application that used for monitoring and controlling such as a water level sensor system, a traffic control system, an intrusion monitoring system etc. that consists of the localization system. The received data can't be useful without the accuracy location. The mentioned foregoing system still have a limitation in some environment such as the GPS signal is not accessible to some environments, the CPS signal is based on a cell phone tower and the WPS is based on Wi-Fi hotspot. Therefore, the accuracy of

Journal of Mobile Multimedia, Vol. 18_3, 821-844.

doi: 10.13052/jmm1550-4646.18318

© 2022 River Publishers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

822 S. Promwong and N. Suwansukho

localization is decreased. In order to overcome the foregoing limitation of these three systems the complementary remedy the poor coverage is required. The objective of this research is to improve the DVB-T2 propagation channel by a Clean algorithm to eliminate the noise propagation channel for an accuracy of localization system. This technique is very useful for localization analysis in DTTV technology. The distinctive advantage of the DTTV localization is the wide coverage of signal whether an indoor or outdoor environment. Moreover, when the Clean algorithm has been used the noise in propagation channel has been eliminated lead to the accuracy of location receive.

Keywords: DVB-T2, DTTV, DTTV localization measurement, fingerprinting technique, clean algorithm.

1 Introduction

A GPS mainly used to identify and navigate the route to destination [1]. However, there is a problem according to the environment, which are dense urban area or indoor environment. Lead to the performance degradation of the GPS signal and a precision ability of the receiver. Moreover, the localization system can be enhanced by the Signal of Opportunity which is a DTTV signal.

The positioning system using digital television in the terrestrial broadcasting signal has been considered to use as the positioning system, which is DVB-T2. Regarding the wide coverage of signal, whether an indoor or outdoor environment, by using the Fingerprinting positioning technique, that has been developed especially for urban and indoor areas. Fingerprinting requires only one base station and the several multipath of a signal to locate a user. The fingerprint technique can overcome many problems in conventional algorithms, which are Time of Arrival (TOA), Angle of Arrival (AOA), and Time Difference of Arrival (TDOA).

1.1 Organization of this Paper

This paper organized as follows: theory and analysis described in Section 2, measurement system described in Section 3, the result of measurement described in Section 4. Finally, the conclusion will be described is in Section 5.

1.2 Related Work

In the literature, the positioning methods in the DVB-T single frequency network have been studied [1] to use the DVB-T as the positioning system remedy the poor GPS signal. In [2], the positioning system using DVB-T2 was studied using the transmitter signature waveforms and there is a problem under multipath propagation. In [3], the line of sight component identification in the positioning system under multipath propagation environment was studied. There is a noise problem in channel propagation. Therefore, the Clean algorithm was used to reduce the noise in UWB [4].

2 Theory and Analysis

2.1 Propagation Model

In this era, to locate the positioning of devices or people, the localization system can be used. Almost handhelds communication has been equipped with a localization system. There are many localization methods used in the world and these methods have been characterized into two main aspects, which are Geometric and Fingerprinting Technique. The geometric method consists of TOA, TDOA, AOA, and RSS. Fingerprinting is the one technique that will be analysed in this study. The fingerprinting technique consists of two processes, which are offline and online process, respectively. The offline process required a created database that used a real measured data from a field measurement by define the location that we need and separate into the grid line. Then used the measurement tool to collect the RSS (received signal strength) and use the online process to identify the position of receiver.

Two localization methods used in communication system, which are direct positioning and two-step positioning. The first method, which is a direct positioning, will use the RSS to estimate the position of the receiver. Moreover, the second method is consists of two processes, which are an offline process or estimation position related parameter process and an online process or position estimation process as illustrated in Figures 1 and 2, respectively and will be explained in more detail the next section.

2.2 Fingerprinting Technique

According to the fingerprinting technique consists of two processes, which are offline (estimation position related parameter) and online (position estimation) process, respectively. Therefore, in the first process required to create

824 S. Promwong and N. Suwansukho

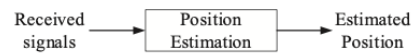


Figure 1 Estimation of position direct method.

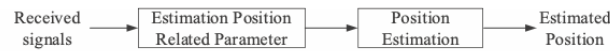


Figure 2 Estimation of 2 steps position method.

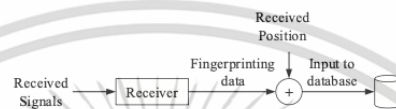


Figure 3 Fingerprinting database creation process [8].

the database that collected the RSS that was carried out by field measurement. Lead to the fingerprinting method requires much time to conduct a field measurement. Although in the first process, which is database collection will spend much time, fingerprinting will provide a high accuracy. In the online process, there is an one algorithm used in this study, which is k -NN (k -Nearest Neighbour) that required the online received signal strength to compare to the database from the offline process and search for the k closest to a known location in a simple case k equal to 1.

RSS is the method used to estimate the receiver position by using the RSS of signal, which has been decreased by path loss attenuation via using the circle overlapping. A radius equal to the distance between transmitter and receiver that can be calculated by RSS. Therefore at least three circles need to be used to identify the receiver position.

The offline process needs the receiver to collect the RSS value and send back to the server to create the database that used to compare with the RSS from the online process. When the sever received the RSS value from the mobile receiver, there will be the data clustering process to separate the data cluster by using the data clustering algorithm. The data clustering algorithm, which is k -Mean clustering, will be used. Each cluster will be calculated at the centre of the cluster that used to measure the distance from each cluster to the unknown location so-called Euclidean distance as Equation (1) where c_j is the center value of the cluster and x_i is the RSS from the unknown location.

The first step in the fingerprinting localization technique, which is the important step, is to characterize the cluster. To pre-define the centre of the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

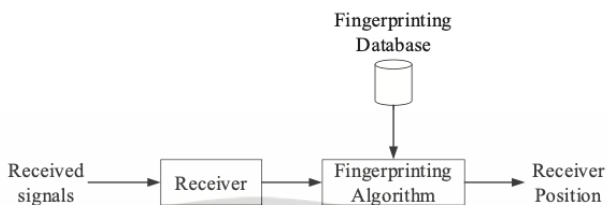


Figure 4 Fingerprinting positioning process [8].

cluster and calculate the Euclidean distance for each measured value by using the Equation (1). After the calculated Euclidean distance for each measured value done. The minimum Euclidean distance value can define the cluster as Equation (2) where j is the cluster number.

$$d_{ij} = |x_i - c_j| \tag{1}$$

$$j = \arg \min d_{ij} \tag{2}$$

After the clusters have been characterized, lead us to know which measured location and values belong to a member of which cluster. Therefore, we can re-calculate the centre of a cluster by calculating the average value of X and Y axis by Equation (3). Then the new centre of the cluster used to characterize the cluster again. Some members of each cluster will be re-located to another and the cluster centre will be re-calculated again as per the new cluster.

$$c_{j,new} = \frac{1}{|c_j|} \sum_{x \in c_j} x_i(x, y) \tag{3}$$

The next step of fingerprinting localization is to measure the Euclidean distance between the RSS that carried out from the unknown location with the centre of each cluster. The minimum Euclidean distance is identified, which cluster that the RSS from the unknow location belongs to the cluster. Then after we know the cluster that the unknow location belongs to, we can proceed to estimate the position of receiver by using the k -NN algorithm.

The positioning estimation procedure is to calculate the position of the receiver by LS method (Least Square Method) with k -Nearest Neighbor Algorithm. To calculate with the LS method can be used the Equation (4). To find the Euclidean distance where x_i is the measured RSS and x is the

826 S. Promwong and N. Suwansukho

RSS in the database, that were carried out in the offline process.

$$d_i = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - x)^2} \tag{4}$$

$$(x_e, y_e) = \arg_{x,y} \min d_i(x, y) \tag{5}$$

The estimated location that was carried out by fingerprinting technique (x_e, y_e) can be defined by the minimum Euclidean distance between the measured RSS and the RSS in the database. The estimated location can be calculated by the Equation (5). To achieve the high accuracy, there is an algorithm used to find the positioning location, which is k-Nearest Neighbor. The k-Nearest Neighbor is to increase the accuracy of position estimation by checking the k value that equal or close to each other. The k value can be defined as an odd number then find the smallest values for k number by using the Euclidean distance. The estimated position will be in x and y axis that can be calculated by the Equation (6).

$$(x_e, y_e) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (x_i - y_i) \tag{6}$$

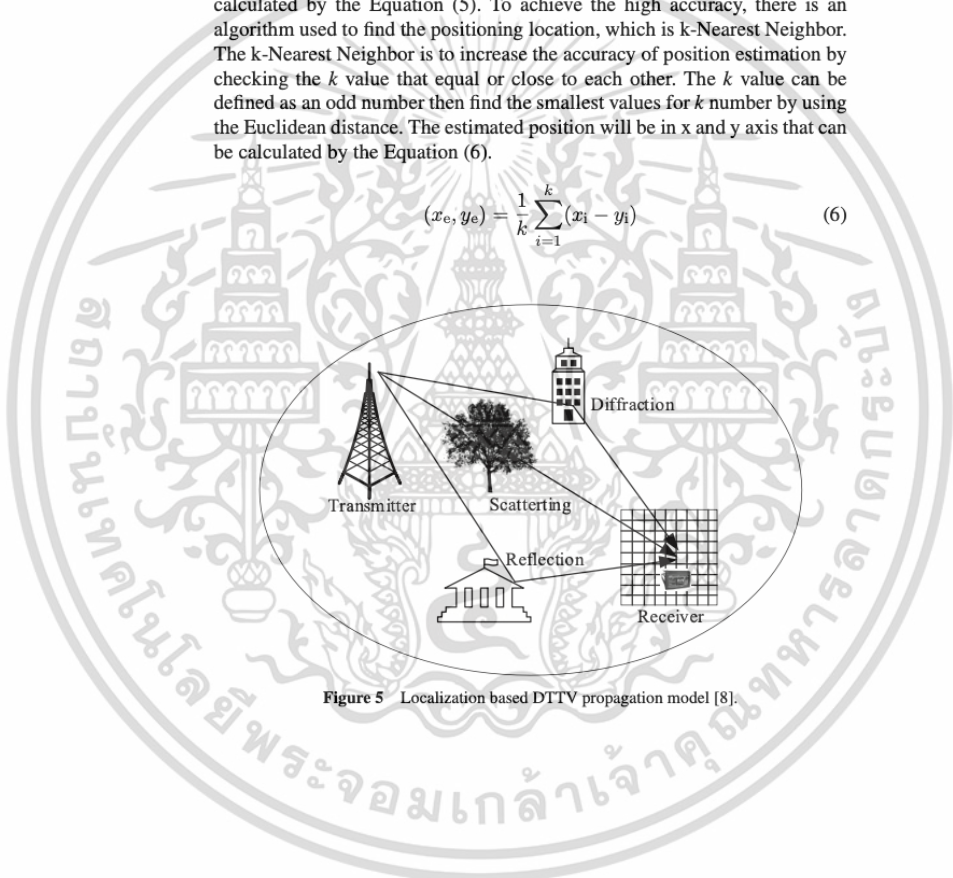


Figure 5 Localization based DTTV propagation model [8].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

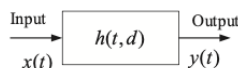


Figure 6 Linear time invariant system [5].

2.3 Clean Algorithm

According to the Clean algorithm used the channels impulse response to be cleaned. In the process, the channel impulse response can be characterized by their impulse response in the time domain or by transfer function in the frequency domain. The deconvolution in time domain waveforms can be used to determine the impulse response

$$y(t) = x(t) * h(t, d) \quad (7)$$

$$Y(f) = X(f)H(f, d) \quad (8)$$

$$y(t) = F^{-1}\{Y(f)\} \quad (9)$$

where $*$ denoted as convolution time. The received signal is in the frequency domain can be transformed to the time domain by using the inverse Fourier transform technique

$$h(t, d) = \sum_{i=1}^N \alpha_i x_i(\tau) \delta(\tau - \tau_i) x_i(\tau) \quad (10)$$

where δ is the Dirac delta function, N is number of MPCs, α_i is amplitudes of i -th MPC, τ_i is relative delays of the i -th MPC and $x_i(\tau)$ is the frequency dependent distortion on the i -th echo after an interaction with the environment. The received signal is in the frequency domain that can be transformed to the time domain by using the inverse Fourier transform technique

$$R_{xy}(\tau) = \sum_{-\infty}^{\infty} x(t)y(t - \tau) \quad (11)$$

$$S_{xy}(f) = H(f, d)S_{xx}(f) \quad (12)$$

where $R_{xy}(\tau)$ is the cross correlation between input and output, $h(t)$ is the channel impulse response, $H(f)$ is the channel frequency response, $R_{xx}(\tau)$ is the autocorrelation of input, $S_{yx}(f)$ is the cross correlation between input $X(f)$ and output $Y(f)$ in frequency domain and $S_{xx}(f)$ is the autocorrelation

828 S. Promwong and N. Suwansukho

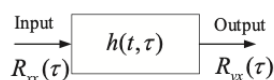


Figure 7 Input-Out relation for cross correlation $R_{yx}(\tau)$ [5].

of an input signal in the frequency domain. The normalized correlation can be calculated by Equation (13) and the autocorrelation can be calculated by Equation (15)

$$R_{xy}(\tau) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x(t)y(t+\tau)dt}{\sqrt{E_y E_x}} \quad (13)$$

$$|R_{yx}(\tau)|^2 = \left| \int_{-\infty}^{\infty} x(t)y(t+\tau)dt \right|^2 = E_y E_x \quad (14)$$

$$R_{xx}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)x(t+\tau)dt \quad (15)$$

The channel impulse response can be estimated by cross correlation techniques by use of the relationship between the input $x(t)$ and output $y(t)$ signal. And for the autocorrelation functional as well. Let assume that a signal $x(t)$ with known autocorrelation $R_{xx}(t)$ is applied to the channel $h(t)$, producing the output signal in the discrete time domain [5].

$$y(t) = x(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t, \tau)x(t-\tau) \quad (16)$$

The cross correlation between output and input signal is

$$R_{yx}(\tau) = h(\tau) * R_{xx}(\tau) \quad (17)$$

where $h(t)$ is the channel impulse response and $R_{xx}(\tau)$ is the autocorrelation of input signal. Hence the cross correlation between the input and output signal of the system is the convolution of the impulse response. The autocorrelation of the input signal can be viewed as the output of the channel $h(t)$ [7, 8].

Clean algorithm is an iterative high-resolution subtractive deconvolution procedure, which is the capability of resolving dense of MPCs. They are usually unresolvable by a conventional inverse filtering. The advantage of Clean algorithm is that it models the estimated CIR (channel impulse

response), $h_{clean}(t)$ which can be easily used to characterize and model delay spread, path loss and propagation channel, etc. Clean algorithm for DVB-T2 localization CIR characterization is proposed in this paper. Clean algorithm has been used in localization in UWB [7]. However, this paper present clean algorithm for DVB-T2 localization application. The objective of the clean algorithm for the DVB-T2 localization has been improved. The Clean algorithm can be used to reduce noise and decrease signal distortion. The clean algorithm process can be explained in the following detail.

Clean Algorithm Technique [4]

- STEP 01: Initialize normalized cross correlation between $y(t)$ and $x(t)$ as $c_{cc}(\tau)$
 STEP 02: Initialize normalized autocorrelation of $x(t)$ as $c_{au}(\tau)$
 STEP 03: Define the dirty map as $d_0(\tau) = c_{cc}(\tau)$
 STEP 04: Define the clean map as $c_0(\tau) = 0$
 STEP 05: Compute $\hat{\tau}_n = \arg \max_{\tau} |c_{cc}(\tau)|$ and $a_k = c_{cc}(\hat{\tau}_n)$
 STEP 06: If all $a_k < \text{threshold}$, go to step 10
 STEP 07: Clean the dirty map by $d_t = d_{t-1} - (a_k \times c_{au}(\tau - \hat{\tau}_n))$
 STEP 08: Update the cleaned map by $c_t = c_{t-1} + (a_k \times c_{au}(\tau - \hat{\tau}_n))$
 STEP 09: Go to step 5
 STEP 10: The CIR is then $c_t = h_{clean}(t)$
-

The algorithm above assumes independent from the generator output, measurement system, and the antenna using. Although the accuracy estimation, which is clean algorithm, is still based on the model approach. Therefore, the CIR output needs to be carefully interpreted.

The clean algorithm procedure consists of 3 parts, which are defined, compute, and clean process. The defined process is to define the variable, which are dirty map, cleaned map, cross correlation result, autocorrelation result. The second process is to find the peak and index from the cross correlation result. This result will be used to compute in clean process that will be described in the next paragraph. After the peak and index value of the cross correlation result, a_k , was carried out then used to compare with threshold, which is 10% of a_k . If the a_k is less than the threshold value, the map is clean. If not, the map needs to be a loop to the clean process until the value lower than the threshold.

The first process which is define process as illustrated as Figure 8 will compute to carry out the cross correlation result of the transmitted signal with received signal $x(t)$ and $y(t)$, respectively. To carry out the autocorrelation of the transmitted signal $x(t)$ to find which time the signal will be the same with

830 S. Promwong and N. Suwansukho

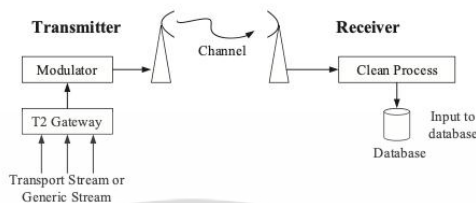


Figure 8 Block diagram of DTTV transmission model with Clean algorithm for localization system in database creation process [4].

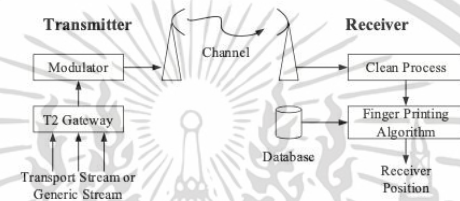


Figure 9 Block diagram of DTTV transmission model with Clean algorithm for localization system in positioning process [4].

the original signal. Then define the dirty map as cross correlation of result $x(t)$ and $y(t)$ then define the clean map as time equal to zero.

The second process of clean algorithm, which is fine max and argmax of cross correlation result between $x(t)$ and $y(t)$ illustrated as Figure 8. This process will carry out the peak value of cross correlation between $x(t)$ and $y(t)$. Then carry out the time that lead to peak amplitude of cross correlation between $x(t)$ and $y(t)$. The threshold defined by 10 percent of peak amplitude of cross correlation between $x(t)$ and $y(t)$.

The last process of clean algorithm, which is clean process illustrated as Figure 8 will compare the a_k value to the threshold point. This process is important to this algorithm. If there is no function, the loop will not be stopped. If the a_k value is lower than the threshold point means that the channel impulse response is clean. On the other hand, if the a_k is still higher than the threshold point, the signal will run through the clean process again. The first step is to compute the compensate parameter that need to convolution to a_k and then update the clean map.

2.4 Accuracy Analysis of Position Estimation

To analyze the estimated position of fingerprinting technique based on DTTV will analyze in terms of distance by define the measured position as (x_e, y_e) , and the correct distance defined as (x_c, y_c) the error distance is e_d can be calculated by Equation (18). The distance error can be used to analyze the accuracy of the position estimation of the fingerprinting technique. The high accuracy will occur when the distance error is low.

$$e_d = \sqrt{(x_c - x_e)^2 + (y_c - y_e)^2} \tag{18}$$

3 Measurement System

The filed test area is located in Bangkok, Thailand, the distance between transmitter and tested area for 3.55 km. Transmitter high 328 m. receiver high 6 m. The tested area has been divided into a grid for 0.6×0.6 m. for 100 measured points. The measurement tool set consists of the DVB-T2 analyser equipped with a dipole antenna and tripod used to mount the dipole antenna.

The DTTV operators consists of 5 operators as described in Table 1 Regarding to the schematic of the DTTV transmission system illustrated as Figure 9 there are 2 parts of the system which are transmitter and receiver part. There is no modification of the transmitter part. There is only one block added to the receiver part, which is clean algorithm process that will use the



Figure 10 Receiver orientation for DTTV localization measurement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

832 S. Promwong and N. Suwansukho

Table 1 Parameters of DTTV measurements

MUX	Channel	Transmitted Frequency (MHz)	Transmitted Power (kW)
1	26	514	4.00
2	36	594	4.30
3	40	626	4.00
4	44	658	3.91
5	52	722	4.30

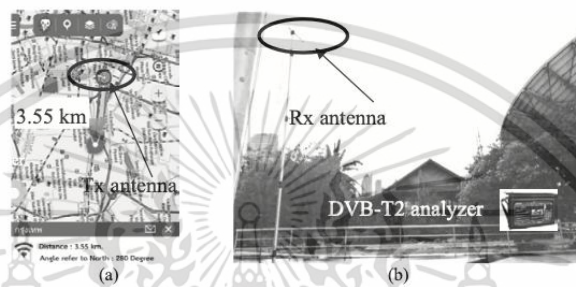


Figure 11 Real measurement location (a) distance separates between Tx and Rx antennas (b) signal received position.

received signal to clean the channel impulse response by using the channel impulse response estimation [5]. This study's measurement scheme is based on the real measurement that has been conducted in Thailand [6] that used to compare between dirty map or estimated channel impulse response with the cleaned channel impulse response.

4 The Result and Discussion

The measured results from 100 positions have been illustrated in Figure 13. From the results, there is a fluctuation of the field strength. The RSS value is between $50 \text{ dB}\mu\text{V}$ and $65 \text{ dB}\mu\text{V}$, at the x axis represents the marked position from 1 to 100. The spectrum mask that can be read from DVB-T2 analyser illustrated in Figure 12 for each transmitter. To create the database at the offline process of the fingerprinting method, the RSS of the centre frequency has been recorded to the database.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Figure 12 Measurement equipment (a) DVB-T2 analyzer (b) Example spectrum mask of MUX 1.

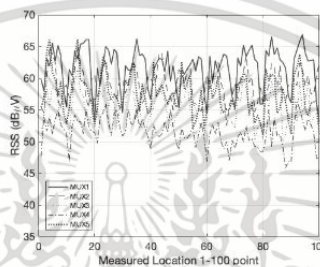


Figure 13 DTTV-RSS level each MUX1, MUX2, MUX3, MUX4 and MUX5.

From the RSS can be plotted in a contour map for each transmitter illustrated in Figures 14–18, which are NBT, ARMY1, MCOT, TPBS, and ARMY2, respectively. These RSS data can be characterized by *k* means clustering algorithm into each cluster for each group. Lead to the accuracy of the estimated position is increased.

After the clustering process, the contour map consists of the cluster used to identify which cluster that the RSS from unknown location belongs to. Then the next step is to proceed to estimate the positioning. This study the fingerprinting technique has been used to locate the received position. Therefore, the estimated position after the *k*-NN process rather accuracy. However, the RSS from the unknown location must be located. In the fingerprinting area, that has been recorded in the offline process. The recorded RSS in the offline process are between -40 to -60 dBm for five transmitters. The algorithm that has been used in this Fingerprinting technique study which is the LS method and *k*-NN algorithm.

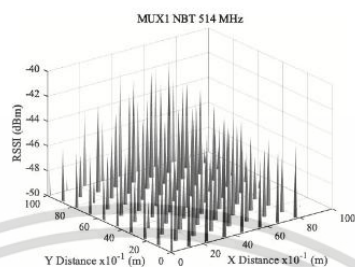
834 *S. Promwong and N. Suwansukho*

Figure 14 Three dimension of DTTV-RSS of MUX1.

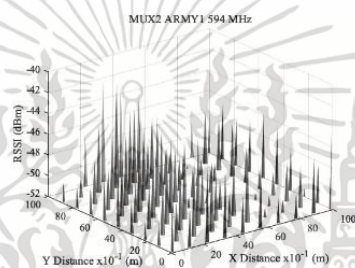


Figure 15 Three dimension of DTTV-RSS of MUX2.

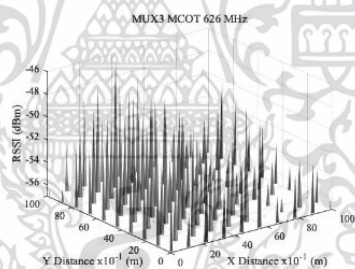


Figure 16 Three dimension of DTTV-RSS of MUX3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

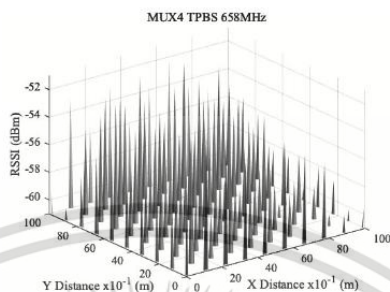


Figure 17 Three dimension of DTTV-RSS of MUX4.

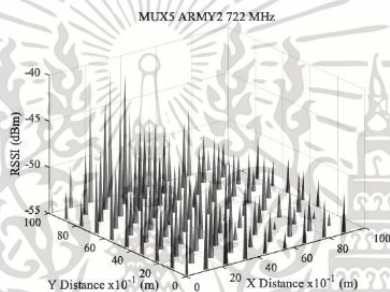


Figure 18 Three dimension of DTTV-RSS of MUX5.

The comparison between RSS for five transmitters, as illustrated in Figure 19 the average RSS is $62.38\text{ dB}\mu\text{V}$, $57.93\text{ dB}\mu\text{V}$, $55.39\text{ dB}\mu\text{V}$, $50.30\text{ dB}\mu\text{V}$, and $59.20\text{ dB}\mu\text{V}$ for MUX 1, MUX 2, MUX 3, MUX 4, and MUX 5, respectively. From these data, the MUX 1 RSS is the highest value. However, the MUX 4 RSS is the lowest value. On the other hand, as the statistical aspect, the probability distribution function shows that the highest probability of RSS belongs to MUX 4, MUX 3, MUX 2, MUX 5, and MUX 1, respectively. The cumulative distribution function of 5 MUXs, as illustrated in Figure 20.

According to the estimated position used the k nearest neighbor algorithm that use the minimum k value. The distance error illustrated in Table 2.

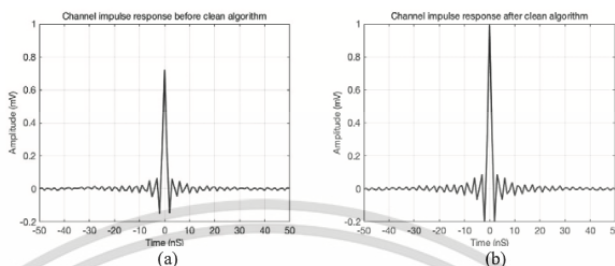


Figure 19 Received signal waveform of DTTV (a) without Clean process (b) with Clean process.

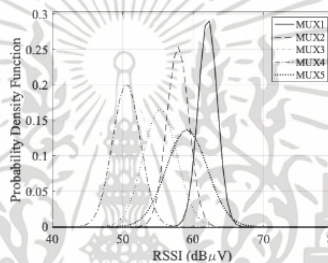


Figure 20 Comparison of PDF between MUX1, MUX2, MUX3, MUX4 and MUX5.

The distance error for $k = 1$ is 1.37 m. that is the maximum value from this study. By the way, the lowest error distance is $k = 9$, which is 1.08 m. the distance error decreased when the k value increased. The distance error illustrated in Table 2 can be described that when the k value increase leads to the distance decrease.

Table 4 illustrates the average distance error for k values 1, 3, 5, 7, and 9. The averaged distance error will decrease when the k value increase. The lowest distance error which is 1.20 m that carried out when $k = 9$ and the highest distance error which is 1.33 m when $k = 3$.

Regarding to this study's received signal is based on real measurement, that has been carried out from the field measurement in Bangkok Thailand [6]. MATLAB software is used to add the clean algorithm and clean

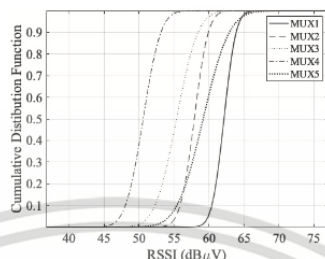


Figure 21 Comparison of CDF between MUX 1-5.

Table 2 Distance error with clean algorithm (m)

MUX	Distance Error (m)				
	k = 1	k = 3	k = 5	k = 7	k = 9
MUX1	1.37	1.18	1.18	1.10	1.07
MUX2	1.16	1.28	1.23	1.26	1.25
MUX3	1.14	1.49	1.40	1.33	1.23
MUX4	1.13	1.38	1.44	1.33	1.25
MUX5	1.46	1.34	1.25	1.22	1.22

Table 3 Distance error without clean algorithm (m)

MUX	Distance Error (m)				
	k = 1	k = 3	k = 5	k = 7	k = 9
MUX1	1.65	1.47	1.48	1.35	1.30
MUX2	1.30	1.34	1.32	1.33	1.36
MUX3	1.44	1.40	1.40	1.39	1.35
MUX4	1.43	1.36	1.39	1.37	1.40
MUX5	1.39	1.36	1.38	1.38	1.42

Table 4 Average distance error with clean algorithm (m)

Average Distance Error (m)				
k = 1	k = 3	k = 5	k = 7	k = 9
1.31	1.33	1.30	1.25	1.20

Table 5 Average distance error without clean algorithm (m)

Average Distance Error (m)				
k = 1	k = 3	k = 5	k = 7	k = 9
1.44	1.39	1.40	1.36	1.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

838 S. Promwong and N. Suwansukho

signal. The averaged measurement results illustrated in Figure 13 was used to verify that this clean algorithm can be used to clean the signal. The first process of the Clean algorithm, which is the cross correlation process, defined by $c_{cc}(\tau)$ between $x(t)$ and received $y(t)$, and the result is assumed to be channel impulse response [5] as shown in Figure 21. The received $y(t)$ signal came with a delay time, and the cross correlation process carried out the delay time.

The cleaned channel impulse response that the delayed time has been removed. In order to get the cleaned received signal $\hat{y}(t)$ It will be used to convolve with $x(t)$ lead to the received signal has been cleaned so-call $\hat{y}(t)$ or cleaned received signal. The autocorrelation of the input signal, $x(t)$ has been defined as $c_{au}(\tau)$ after that define the dirty and clean map as $d_0(\tau) = c_{cc}(\tau)$ and $c_0(\tau) = 0$, respectively. When compute the peak of cross correlation of $x(t)$ and received $y(t)$, finished then compare all the value of a_k to the threshold level, which is 10 percent of a_k value. If the a_k value is still more than the threshold, the Clean algorithm step need to be repeated until a_k less than the threshold value.

As the compared result between before and after Clean algorithm, the delay has been removed. The increasing of amplitude is the advantage of Clean algorithm. In the Clean algorithm, the first process computes the cross correlation function between received and transmitted signals, which is normalized cross correlation. If the normal cross correlation computed, there will be a higher amplitude than this result. In order to make this calculation accuracy, the normalization needs to be used in this algorithm. Therefore, the amplitude increased from approximately 0.7 to 1.

To evaluate in term of distance error, the distance error between fingerprinting technique with Clean algorithm and without Clean algorithm described in Tables 2 and 3 respectively. The average distance error for each k value can be summarized in Tables 4 and 5 for the fingerprinting technique including and excluding Clean algorithm respectively. The averaged distanced error for all Mux and all k value from fingerprinting technique without Clean algorithm is 1.39 m on the other hand with Clean algorithm the distanced error is decreased to 1.28 m or 15.29 percent of decreasing error performance.

5 Conclusion

This study using the Signal of Opportunity, which is DTTV signal that covered 75.95% areas of Thailand excluding gap filler station. The results

shown that DTTV signal can be used to locate the position of object or user on that location. In this study focuses only on outdoor environment. Due to the DTTV signal can be reduced by the channel, which are an obstruction or noise, lead to an accuracy of distance was reduced as well. Clean algorithm has been studied and the results shown that, clean algorithm can be used to reduce the noise therefore the accuracy of location increased. These results based on the actual filed measurement conducted in Bangkok, Thailand [6]. The measured raw data has been used to compute the Clean algorithm in MATLAB software by using the correlation technique used to estimate the channel impulse response and cleaned channel impulse response. The time delay was carried out by cross correlation between transmitted signal $x(t)$ and received signal $y(t)$. The cleaned channel impulse response can be used to convolve to the transmitted signal $x(t)$ to get the cleaned received signal $\hat{y}(t)$. In the localization aspect, the fingerprinting technique has been used with K means clustering, that used to characterize the RSS. Apart from K means clustering there is a k nearest neighbour algorithm used to find the nearest position lead to the distance error was decreased from 1.39 m to 1.28 m without and with Clean algorithm respectively. The lowest distance error was carried out by k value for 9. The additional equipment is not required for the fingerprinting method with Clean algorithm in this study.

This study can be applied to the divers applications such as wireless sensor, a water level sensor system, a traffic control system, an intrusion monitoring system etc. that the obtained data location need to be sent to the controller or server therefore the performance of the foregoing application increased. Apart from this study there are the others environment such as a rural environment and indoor environment need to be studied in the future work.

References

- [1] J. Huang, L. Lo Presti, R. Garelo and B. Sacco, "Study of positioning methods in DVB-T single frequency networks," Fourth International Conference on Communications and Electronics (ICCE), Hue, pp. 263–268, 2012.
- [2] J. Yang, X. Wang, M. J. Rahman, S. I. Park, H. M. Kim and Y. Wu, "A New Positioning System Using DVB-T2 Transmitter Signature Waveforms in Single Frequency Networks," in IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 58, no. 3, pp. 347–359, 2012.

840 *S. Promwong and N. Suwansukho*

- [3] R. Liu, C. Zhang and J. Song, "Line of Sight Component Identification and Positioning in Single Frequency Networks Under Multipath Propagation," in *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 65, no. 2, pp. 220–233, 2019.
- [4] K. Koonchiang, D. Arpasilp and S. Promwong, "Performance Evaluation of UWB-BAN with Friis's Formula and CLEAN Algorithm," In: Park J., Ng JY., Jeong HY., Waluyo B. (eds) *Multimedia and Ubiquitous Engineering. Lecture Notes in Electrical Engineering*, Springer, Dordrecht, vol. 240, 2013.
- [5] J. G. Proakis and D. G. Manolakis, "Digital Signal Processing: Principles, Algorithms and Applications," 4ed. New Jersey: Pearson Education Inc, 2007.
- [6] N. Suwansukho and S. Promwong, "Experimental Study of DVB-T2 Threshold," 2019 Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (ECTI DAMT-NCON), Nan, Thailand, pp. 114–118, 2019.
- [7] A. Muqaibel, A. Safaai-Jazi, B. Woerner and S. Riad, "UWB channel impulse response characterization using deconvolution techniques," The 2002 45th Midwest Symposium on Circuits and Systems, 2002. MWSCAS-2002., Tulsa, OK, USA, pp. III-605, 2002.
- [8] E. C. L. Chan and G. Baciuc, "Introduction to wireless localization with iPhone sdk example," 2012 John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd.
- [9] T. C. Liu, D. I. Kim and R. G. Vaughan, "A high-resolution, multi-template deconvolution algorithm for time-domain UWB channel characterization," in *Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 32, no. 4, pp. 207–213, 2007.
- [10] W. Yang and Z. Naitong, "A New Multi-Template CLEAN Algorithm for UWB Channel Impulse Response Characterization," 2006 International Conference on Communication Technology, Guilin, pp. 1–4, 2006.
- [11] Z. Sharif and A. Z. Sha'ameri, "The Application of Cross Correlation Technique for Estimating Impulse Response and Frequency Response of Wireless Communication Channel," 2007 5th Student Conference on Research and Development, Selangor, Malaysia, pp. 1–5, 2007.
- [12] A. Chandra et al., "CLEAN algorithms for intra-vehicular time-domain UWB channel sounding," 2015 International Conference on Pervasive and Embedded Computing and Communication Systems (PECCS), Angers, France, pp. 1–6, 2015.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] W. Yang and Z. Naitong, "A New Multi-Template CLEAN Algorithm for UWB Channel Impulse Response Characterization," 2006 International Conference on Communication Technology, Guilin, pp. 1–4, 2006.
- [14] T. C. Liu, D. I. Kim and R. G. Vaughan, "A High-Resolution, Multi-Template Deconvolution Algorithm for Time-Domain UWB Channel Characterization," 2007 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Vancouver, BC, pp. 1183–1186, 2007.
- [15] S. M. Yano, "Investigating the ultra-wideband indoor wireless channel," Vehicular Technology Conference. IEEE 55th Vehicular Technology Conference. VTC Spring 2002 (Cat. No.02CH37367), Birmingham, AL, USA, pp. 1200–1204, vol.3, 2002.
- [16] L. R. N. Ferreira, L. T. Pereira and R. L. de S. da Silva, "Immersive Mobile Telepresence Systems: A Systematic Literature Review," Journal of Mobile Multimedia, vol. 15-3, pp. 255–270, River Publishers, 2020.
- [17] M. Darnell, "Techniques for the real-time identification of radio channels," 1994 International Conference on Control – Control '94., Coventry, UK, vol. 1, pp. 543–548, 1994.
- [18] X. Wang, Y. Wu, B. Caron, B. Ledoux and S. Lafleche, "A channel characterization technique using frequency-domain pilot time-domain correlation method for DVB-T systems," 2003 IEEE International Conference on Consumer Electronics, 2003. ICCE., Los Angeles, CA, USA, pp. 294–295, 2003.
- [19] P. Bello, "Characterization of Randomly Time-Variant Linear Channels," in IEEE Transactions on Communications Systems, vol. 11, no. 4, pp. 360–393, 1963.
- [20] G. Pecoraro, E. Cianca, S. Di Domenico and M. De Sanctis, "LTE Signal Fingerprinting Device-Free Passive Localization Robust to Environment Changes," 2018 Global Wireless Summit (GWS), Chiang Rai, Thailand, pp. 114–118, 2018.
- [21] J. Sangthong, S. Promwong and P. Supanakoon, "Comparison of UWB fingerprinting with vertical and horizontal polarizations for indoor localization," ECTI-CON2010: The 2010 ECTI International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, Chiang Mai, pp. 588–592, 2010.
- [22] W. Vinichayakul and S. Promwong, "Improvement of fingerprinting technique for UWB indoor localization," The 4th Joint International Conference on Information and Communication Technology, Electronic and Electrical Engineering (JICTEE), Chiang Rai, pp. 1–5, 2014.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

842 *S. Promwong and N. Suwansukho*

- [23] W. Vinichayakul and S. Promwong, "Performance comparison between UWB and NB propagation models for an indoor localization," The 20th Asia-Pacific Conference on Communication (APCC2014), Pattaya, pp. 299–302, 2014.
- [24] J. Thongkam, P. Supanakoon and S. Promwong, "Indoor Wireless Sensor Network Localization Using RSSI Based Weighting Algorithm Method for Short Range Wireless Communication," 2018 International Electrical Engineering Congress (iEECON), Krabi, Thailand, pp. 1–4, 2018.
- [25] K. Lorvannger, D. Lakanchanh, T. Tiengthong and S. Promwong, "WLAN Localization Measurement and Analysis Using RSS and TOA Positioning Methods," 2018 Global Wireless Summit (GWS), Chiang Rai, Thailand, pp. 319–322, 2018.
- [26] L. Thammavong, K. Khongsomboon and S. Promwong, "Quantitative Evaluation of Zigbee Localization Based on Weighted Centroid with Quadratic Means," 2018 Global Wireless Summit (GWS), Chiang Rai, Thailand, pp. 323–326, 2018.
- [27] J. Thongkam, P. Supanakoon and S. Promwong, "Evaluation of Indoor Localization with Range-Free Weighted Localization Algorithm," 2018 Global Wireless Summit (GWS), Chiang Rai, Thailand, pp. 11–14, 2018.

Biographies



Sathaporn Promwong has received a Ph.D. degree from Tokyo Institute of Technology (TIT), Tokyo, Japan in communications and integrated systems, and received a M.E. degree and B.Ind.Tech degree from King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand in electrical engineering, and electronic technology, respectively. In the present he is

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DTTV Localization with Fingerprinting Technique 843

a Chair of IEEE Broadcast Technology Society (BTS) Thailand Chapter. He is a member of IEEE, IEICE and ECTI. Dr. Sathaporn's research interests on digital broadcasting technology, wireless communication system, antenna and radio wave propagation and ultra wideband (UWB) technology.



Nattapan Suwansukho has received B.E. degree in electronics and telecommunication engineering from Pathumwan Institute of Technology (PIT) and M.E. degree in telecommunication engineering from King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL). Now he is a doctoral candidate at the school of engineering, KMITL. His research interests in the DTTV technology and DTTV localization measurement and broadcasting technology.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ECTI &
DAMT NCON**

The 4th International Conference on Digital Arts, Media and Technology and
2nd ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering

2019

JANUARY 30 - 2 FEBRUARY 2, 2019 NAN, THAILAND

www.icdamt.org

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Experimental Study of DVB-T2 Threshold

Nattapan Suwansukho
Department of Telecommunication Engineering,
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
nattapan@suwansukho.com

Sathaporn Promwong
Department of Telecommunication Engineering,
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
Sathaporn.pr@kmitl.ac.th

Abstract—This paper describes the Threshold of Digital Terrestrial Television second generation network in Thailand. The measured result were carried out from 22 measured location, located in 22 district in Bangkok, Thailand.

Keywords—Noise Margin, Carrier to Noise Ratio, DVB-T2, Modulation Error Ratio, Bit Error Rate, Threshold

I. INTRODUCTION

Nowadays the television network in Thailand has been upgraded from analog to digital system. The new system that has been selected is DVB-T2 (Digital Video Broadcasting Terrestrial Second Generation) The advantage of DVB-T2 are offer HDTV (High Definition Television), SDTV (Standard Definition Television), UHD (Ultra Definition Television), Mobile Television. And the DVB-T2 can be used to simultaneous transmit the multiple services which difference configuration. The objective of this research is to study the signal quality that archive QEF (Quasi Error Free) point and signal quality between QEF point and threshold point of DVB-T2 that operating in Thailand that will let us know the characteristic of the new system, which is DVB-T2 that have been used to broadcast DTTN (Digital Terrestrial Television Network) in Thailand.

The measurement have been conducted at 22 measured location that located in each district in Bangkok Thailand by measurement tools set consists of DVB-T2 analyzer, Antenna, Attenuator with the parameter that recommended by NBTC (National Broadcasting Telecommunication Commission).

The rest of paper is structured as follow: Section II will describe the Overview of DVB-T2 Standard. Field Measurement and Analysis will be described in Section III. Result of Measurement will be described in Section IV finally the Conclusion in Section V.

II. OVERVIEW OF DVB-T2 STANDARD

A. DVB-T2 Structure

The structure of digital television that are using to broadcast in Thailand is using the function of OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) DVB-T2 has used the OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), that is a multi-carrier method that consists of so many subcarrier that composite of orthogonal and frequency division multiplex that are at right angles to another one and division of the information into many subcarrier respectively. Each subcarrier is independently modulated and its own dependently information of the other. Each subcarrier is used vector modulation by QAM (Quadrature Amplitude Modulation) is 16-QAM, 64-QAM and 256-QAM etc.[1] The multiple subcarrier can be described in figure 1 [2] for each single carrier is dependently modulated by QAM modulator with mapper.

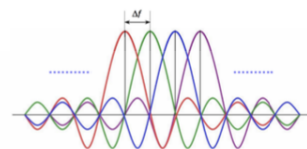


Fig. 1 Orthogonality in OFDM [2]

There are many FFT size in DVB-T2 system that can be used to define how many subcarriers will be used to transmit On the 8 MHz bandwidth the number of subcarriers are 1K, 2K, 4K, 8K, 16K and 32K in Thailand the 16K FFT size with extended mode that mean there are 13,921 subcarriers are transmitted.

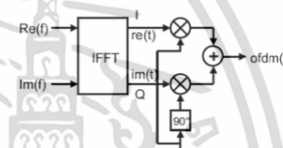


Fig. 2 The Implementation of an OFDM modulator [1]

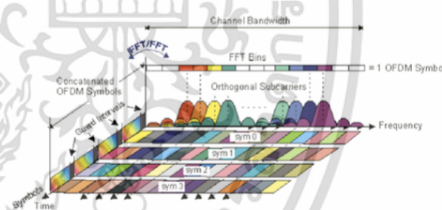


Fig. 1 Frequency and Time Domain in OFDM

Each subcarrier has been modulated independently of others. The OFDM symbol has been generated by a multiple mapping these two table, which are real and imaginary table are now input signals for the processing process so-called IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) therefore these symbols have been changed to time domain.

B. Transmission Channel

In DVB-T2 there are 3 type of transmission path consists of Gaussian Channel that usual starting point for understanding of The DVB-T2 transmission channel that there is only one signal path arrived at the received antenna. The second channel is Rice Channel that there are direct signal and multiple echo arrived at the received antenna and the last one

is Rayleigh Channel that there are only multiple echo arrived at the received antenna [1]. These of 3 transmission channel will degrade the DVB-T2 signal quality. There are three basic cause that impact DVB-T2 signal propagation which are reflection, diffraction and scattering these [3]

Reflection will occurs when the propagated RF signal impinges on a smooth surface with vary large dimension compared to RF signal wavelength.

Diffraction will occurs when the signal path between a transmitter and receiver is obstructed by an object with dense and large dimension compared to RF signal wavelength.

Scattering will occur when the propagated RF signal impinges whether any surface that dimension are on the order of RF signal wavelength or less

III. FIELD MEASUREMENT AND ANALYSIS

A. Measurement Configuration

The research was conducted accordingly to the research procedure that shown in figure 4 and conducted at 22 measured location in each district in Bangkok Thailand illustrate in figure 5

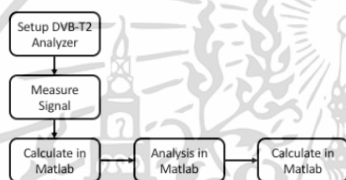


Fig. 4 Research Procedure.

This measurement was carried out the quality of DVB-T2 signal which is BER (Bit Error Rate) that used to indicate the DVB-T2 signal quality. And in this research we analyzed the signal quality after the signal quality lower than QEF point as well. And the signal will passed through so many obstruction lead to so many multi path were created along the way to received antenna. The measurement conducted by using measurement tools comprise of DVB-T2 portable analyzer, antenna with antenna high 6 meter above the ground and attenuator used to reduce the signal power to study what will happen after the signal quality lower that QEF point.

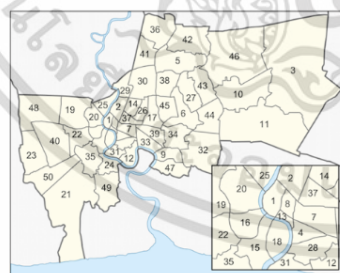


Fig. 5 22 measured location in 22 District in Bangkok.

This research were conducted following the procedure illustrated in figure 4 The DVB-T2 analyzer can be collected the measured raw data and these raw data have been imported to analyze in computer software later.

During the measurement were conducted the antenna will not be moved and will not close to the big object to avoid the multipath the can be crated from these object. The antenna directional to transmitter that located at Baiyoke building 2 or GPS location 13°45' 16.77" N, longitude 100°32' 25.34" E the antenna is high for 328 meter above from sea level. In Thailand the operator of DVB-T2 are consist of 4 organize and 5 MUX belong to a government. The gain of antenna is 14.31 dBd and the radiation pattern of antenna is horizontal polarization. Nowadays in Thailand is still operating in fixed rooftop reception therefore in this research focused only rooftop reception condition only the other reception condition will be conducted in next research.

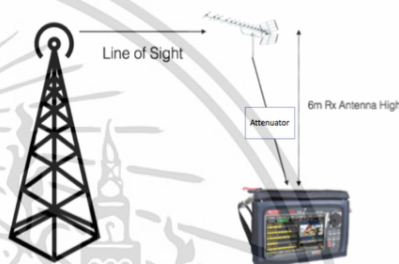


Fig. 4 Measurement Configuration.

B. Transmitted Parameter Used to Broadcast

There are 4 operator and 5 transmitter in Thailand consists of NBT channel for 1 operator license which is channel 26 transmitted frequency is 514 MHz transmitted power is 4 kW, Royal Thai Army for 2 operator license which are ARMY 1 channel which is channel 36 transmitted frequency is 594 MHz transmitted power is 4.3 kW and ARMY 2 which is channel 52 transmitted frequency is 722 MHz transmitted power is 4.3 kW, MCOT for 1 operator license which is channel 40 transmitted frequency is 626 MHz transmitted power is 4 kW and TPBS for 1 operator license which is channel 44 transmitted frequency is 658 MHz transmitted power is 3.9 kW [4] The parameter that have been used to broadcast defined by NBTC shown in table 1 and have been used in this research.

TABLE I. TRANSMITTED PARAMETER

Parameter	Value
Bandwidth	8 MHz
FFT Mode	16k Extended Mode
Pilot Pattern	PP2
Guard Interval	19/128
Constellation	64 QAM
Constellation Rotation	Off
Code Rate	3/5

C. MER (Modulation Error Ratio)

The MER (modulation error ratio) can be explained that the constellation point exhibit deviations compared to normal position in the center. If the deviations are too great it lead to bit error occur.

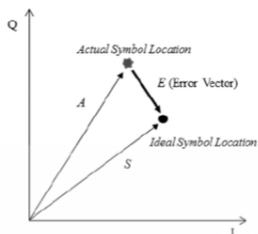


Fig. 5 Error Vector on I,Q constellation diagram. [5]

To evaluate the performance of DVB-T2 that used the QAM modulation scheme such as 16-QAM, 64-QAM etc. MER will be used to measure and evaluate the sum of actual symbol point of received signal that occurred on the constellation diagram to analyze the error of amplitude and phase. In figure 6 the red scattered point will lead to the decision boundaries are crossed therefore the bit error rate occur in figure 6 (a) there are so many red scattered points more than figure 6 (b) that mean (a) will give lower MER and higher bit error than (b). The equation that used to calculate MER has been shown in (1) [5]

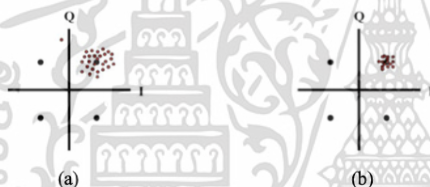


Fig. 6 Cloud of symbol in constellation diagram. [1]

$$MER = 10 \times \log_{10} \left\{ \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right\} \quad (1)$$

D. BER (Bit Error Rate)

In DVB-T2 the quality of signal are indicated by BER that is the ratio between bit error and transmitted bit. There are 2 type of BER in DVB-T2 used to evaluate which are bBER and LBER that can be described that is the ratio of error before and after FEC (forward error correction) the FEC consists of 2 part which are LDPC (Low Density Parity Check) and BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) illustrate in figure 6. For this research we will analyze of these two type of BER.[7] The BER can be calculated by using equation (3)

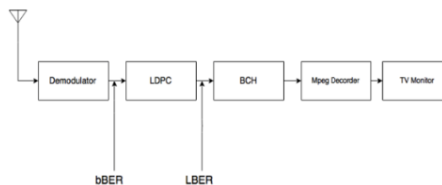


Fig. 6 FEC block diagram [5]

$$BER = \frac{\text{(number of error bits)}}{\text{(Total number of bits)}} \quad (1)$$

IV. RESULT OF MEASUREMENT

In this section will illustrate the measurement result, that have been measured for 22 measured location located in Bangkok, Thailand.

A. Threshold

The measured results that were carried from 22 measured location consists of MER, bBER and LBER to study the correlation between these parameter and to study the quality of signal after QEF point that is 13dB illustrate in figure 7. From this measurement the threshold or the minimum MER that can be used is 2 dB that lower than QEF point by used the attenuator to reduce the signal level until picture disappear from the screen. When the MER is lower than QEF point the picture still appear on the screen with error appeared on the screen more than one time within 30 second.

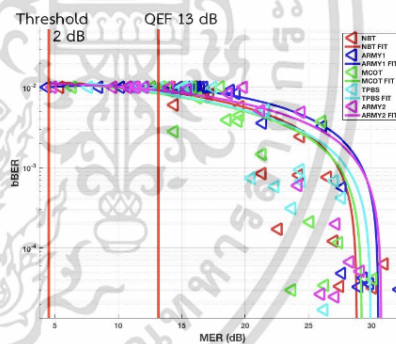


Fig. 7 Threshold of DVB-T2 [8]

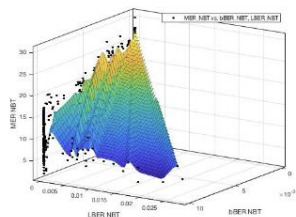


Fig. 8 Quality of DVB-T2 in term of MER - NBT

The correlation between MER and BER whether bBER and LBER are illustrated in figure 8-12 for 5 MUX can be described that after MER is lower that QEF point the picture still appeared on the screen until MER is lower than 2dB. However bBER is increased, when signal is passed through LDPC the signal have been error corrected by LDPC therefore the picture still appear on the television screen.

The quality of DVB-T2 in term of MER for NBT MUX is shown in figure 8 the LBER level are still same value from highest MER until 13 dB QEF point and after the MER value lower than 13 dB the picture still appeared on the screen with more than 1 error within 30 second. Until the MER level is lower than 2 dB the picture disappeared from the screen. Regarding to the DVB-T2 system is the new television broadcasting system that have been selected to replace the existing system which is analog therefore there are not much information about DVB-T2 in Thailand used to improve the signal quality. This result lead us know how much the error happen and it is the information that can be used to improve the DVB-T2 signal quality in the future.

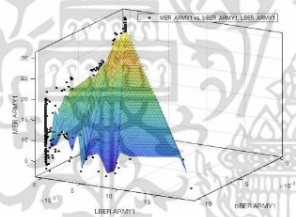


Fig. 9 Quality of DVB-T2 in term of MER – ARMY1

From this measured results found that the LDPC have corrected the wrong bit to the corrected one therefore whenever the BER is higher from the lowest point it still have been corrected by LDPC lead to corrected bit out from FEC block to use in MPEG decoder

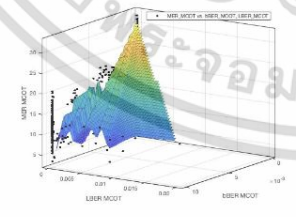


Fig. 10 Quality of DVB-T2 in term of MER - MCOT

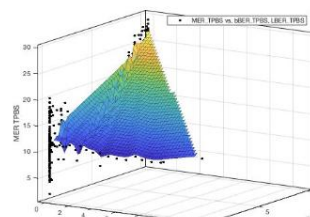


Fig. 11 Quality of DVB-T2 in term of MER - TPBS

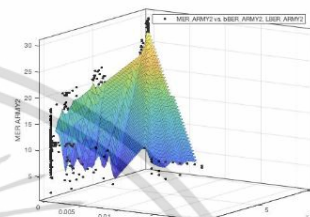


Fig. 12 Quality of DVB-T2 in term of MER – ARMY2

The quality of DVB-T2 in term of MER for the rest MUX which are ARMY1, MCOT, TPBS and ARMY2 have been illustrate as figure 9, 10, 11 and 12 respectively. For all MUX can be summarized that when the MER signal level lower than around 20 dB the bBER will significantly decrease. However, from these measured results bBER value are decreased, the LBER still are in good quality due to LDPC block. When MER value is lower than 13 dB QEF point there are some measured location are still good quality the LBER still low until 2 dB the picture disappeared. For the previous research [8] can be illustrate as table 2. However the MER value of MCOT Mux is low, the bBER is still low as well refer to table 2 from previous research[8] the lowest standard deviation in term of MER belong to MCOT MUX therefore the LBER value is low.

TABLE II. TABLE OF MER NOISE MARGIN STATISTICAL [8]

Frequency (MHz)	Mean Of Noise Margin	Variance of Noise Margin	Standard Deviation of Noise Margin
514	7.88	52.72	0.34
594	6.86	75.20	0.41
626	7.11	51.11	0.34
658	6.56	65.84	0.38
722	7.36	80.34	0.42

V. CONCLUSION

From this measurement have been conducted from 22 measured location in each district in Bangkok, Thailand lead us know the threshold of DVB-T2 that can be received and picture still appeared on the television screen. Until MER value is about 7.5 dB the LBER will significantly increase but still received the DVB-T2 signal until 2 dB threshold. This

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

information lead us know how we far from QEF point in term of LBER and can be used to improve the signal quality of DVB-T2 in Thailand in the future and lead us know the ability of LDPC block that used to correction the wrong bit to the corrected bit. This researcher focuses on fixed reception condition only the rest reception such as portable and mobile reception will be research in future work. In the future work the DVB-T2 propagation will be researched to solve and improve the DVB-T2 signal quality in the rest transmission channel which are Ricean and Rayleigh channel as well.

REFERENCES

- [1] Walter Fischer "Digital Television A Practical Guide for Engineers" ROHDE&SCHWARZ
- [2] Revolution Wifi by Andrew "How OFDM Subcarriers Work" <http://www.revolutionwifi.net> Jun 1 2015
- [3] Jerry D. Gibson "Mobile Communications Handbook Second Edition" IEEE press
- [4] A. Ingun, "DVB-T2 field trial and optimized parameters in Thailand," in Electrical Engineering Congress (IEECON), 2014 International, pp. 1-4, 19-21 March 2014
- [5] Mitsuhiro Iwamoto, Shingo Matsuoka, Hiroki Iwasaki, and Hiroyuki Otsuka, "Transmission Performance of OFDM with 1024-QAM in the Presence of EVM Degradation," *APWiMob 2014, Bali 28-30 Augustus 2014*
- [6] B. Ruckveratham, S. Promwong, "Performance evaluation of DVB-T2 for outdoor reception," 2016 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology pp.1-5 (ECTI-CON), 2016
- [7] Ron Hranac BER and MER Fundamentals Cisco Systems, Inc 2007
- [8] Chairak Deepunya, Nattapan Suwansukho and Sathaporn Promwong "Evaluation of Noise Margin in DVB-T2" The 6th Global Wireless Summit (GWS-2018) Chiang Rai, Thailand. November 25-28, 2018
- [9] Digital Video Broadcasting (DVB): Implementation Guidelines for a Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2), ETSI Technical Specification TS 102 831 V1.1.1, Oct. 2010.
- [10] Digital Video Broadcasting (DVB): Frame Structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), *ETSI Standard EN 302 755 V1.4.1 (2015-07)*



Conference Proceeding

The 5th International Conference on
Engineering, Applied Sciences and Technology

5th
iceast
2019
Luang Prabang, Lao PDR

2-5 July 2019
www.iceast2019.org



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Evaluation of Rotated Constellation in DVB-T2 Based on Measurement Data

Nattapan Suwansukho
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
nattapan@suwansukho.com

Sathaporn Promwong
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
Sathaporn.pr@kmitl.ac.th

Abstract—This paper describes the result of using Rotated Constellation Feature that include Digital Terrestrial Television second generation network in Thailand. The measured results were carried out from 20 measured location, located in Bangkok, Thailand.

Keywords—Rotated Constellation, OFDM, Error Vector Magnitude, Noise Margin, Bit Error Rate, Modulation Error Ratio

I. INTRODUCTION

Regarding to demand of content provided on television in Thailand increased therefore in present the television system has been upgraded from the previously system, which is analog system changed to new system, which is Digital system so-called DVB-T2 (Digital Video Broadcasting Terrestrial Second Generation) to increase the carrying capacity to High Definition (HD) level of content regarding to this requirement the OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) has been chosen to transmission scheme for DVB-T2. There are many DVB-T2 feature developed from DVB-T (The first generation of DVB) some of this feature is Rotated Constellation that can be used to increase the signal robustness to archive QEF (Quasi Error Free) point and overcome the threshold for DVB-T2 receiver for highest noise margin as much as they can.

The measured results were carried out by 20 measured location located in Bangkok Thailand measurement tool set comprise of DVB-T2 analyzer, DVB-T2 Directional Antenna All parameter used recommended by Thailand's regulator so-called NBTC (National Broadcasting Telecommunication Commission).

The rest of paper is structured as follow: Section II will describe the Overview of DVB-T2 Standard. Field Measurement and Analysis will be described in Section III. Result of Measurement will be described in Section IV finally the Conclusion in Section V.

II. OVERVIEW OF DVB-T2 STANDARD

A. DVB-T2 Structure

Due to market requirements that need to be provided the multiple services within one channel causing to the OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) technology has been chosen to provide the multi-carrier with up to thousands of sub carrier that orthogonal each other. The number of sub carrier that can be provided are 1K, 2K, 4K, 8K, 16K and 32K mode. Moreover, there is an extended mode function to extend the number of sub carrier for increasing the channel capacity.[1] There are 4 DVB-T2 operator and 5

Transmitter in Thailand consists of NBT, ARMY1, MCOT, TPBS and ARMY2. The transmitter in Bangkok Thailand is located at Baiyok 2 building the antenna high of 328 meters.[2]

B. OFDM

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) technology is the multi carrier method that can provide a thousand of sub carrier and there are spaces between each sub carrier of Δf the information from source can be carried by each of sub carrier. All these sub carriers are orthogonal at 90 degree to each other and will not interfere to each as well. Each of sub carrier will be independently modulated by vector modulation so-called QAM modulation scheme (Quadrature Amplitude Modulation) for QAM modulation scheme consists of many modulation order such as 16-QAM, 64-QAM and 256-QAM quite flexible adjustment depend on capacity requirement [3] the multiple sub carrier can be described in frequency domain as figure 1



Fig. 1 Orthogonality in OFDM [3]

The FFT size of 16K with extended mode, to extend the number of sub carrier to increase the channel capacity, has been chosen as transmission scheme in Thailand means that there are 13,921 sub carriers were transmitted simultaneously.

C. Rotated Constellation

Rotated constellation is the new feature of DVB-T2 provided to improve signal robustness in normal case or non-rotated constellation the receiver need both of I and Q, In-Phase and Quadrature respectively, components to identify which data have been sent from transmitter for each component I doesn't give the information about Q and Q doesn't give the information about I as well.

Regarding to all constellation point need both I and Q component to identify there is one way to avoid this problem which is Rotated constellation function is a means to rotate an angle of constellation diagram applied to classic constellation diagram the angle of each modulation order can be described as table 1

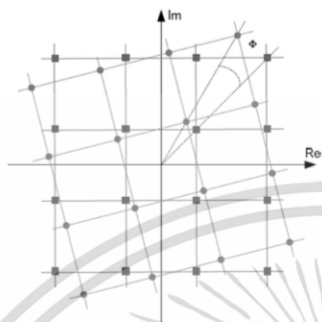


Fig. 2 Rotated Constellation [4]

TABLE I. ROTATION ANGLE [5]

Constellation	Rotation Angle (Degree)
16-QAM	16.8
64-QAM	8.6
256-QAM	3.6

III. FIELD MEASUREMENT AND ANALYSIS

A. Measurement Configuration

The study was conducted accordingly to the research procedure as shown in figure 4 by 4 step consists of Measurement setup according to transmitted parameter from the transmitter and Field Measurement then after that these results will be calculated and analyzed respectively. The field measurement conducted for 20 measured location located in Bangkok Thailand

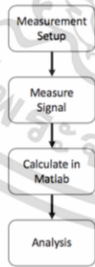


Fig. 3 Research Procedure.

TABLE II. TRANSMITTED PARAMETER

Parameter	Value
Bandwidth	8 MHz
FFT Mode	16k Extended Mode
Pilot Pattern	PP2
Guard Interval	19/128
Constellation	64 QAM
Constellation Rotation	Off
Code Rate	3/5

The transmitted parameter as shown in table 2 are recommended parameter by NBTC (National Broadcasting Telecommunication Commission) that have been used to broadcast in Thailand. There are 5 transmitters, which are NBT, ARMY1, MCOT, TPBS and ARMY2 transmitted frequency and transmitter power are 514MHz with 4kW, 594MHz with 4.3kW, 626MHz with 4kW, 658MHz with 3.91kW and 722MHz with 4.3kW respectively. There are 4 transmitter used non rotated constellation, which are NBT, ARMY1, TPBS and ARMY2, and only 1 transmitter used rotated constellation function, which is MCOT.

TABLE III. ROTATED CONSTELLATION TRANSMITTER

Transmitter	Rotated Constellation
NBT	Non
ARMY1	Non
MCOT	Rotated
TPBS	Non
ARMY2	Non



Fig. 4 Measurement Configuration.

Measurement tool set consists of DVB-T2 analyzer and Antenna. During measure the antenna will not move due to this research focuses only Stationary reception condition the rest reception condition, which are Portable and Mobile reception are still not operate on Thailand, antenna high of 6 meter above ground and Line of Sight direction between transmitter and receiver side as shown in figure 4.

B. MER (Modulation Error Ratio)

The MER (modulation error ratio) used to indicate the modulation quality of received signal at receiver side or it used to measure of how the accurate symbol are. The impairment of vector point can be indicated as Error Vector Magnitude as well to define the ratio of error vector magnitude of vector to outermost state of constellation diagram as illustrated in figure 5

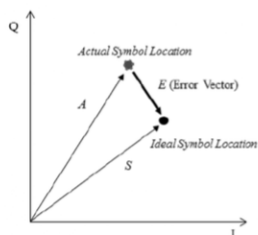


Fig. 5 Error Vector on I,Q constellation diagram. [6]

To assess the modulation performance of DVB-T2 used QAM modulation scheme such as 16-QAM, 64-QAM and 256-QAM MER and EVM will be used to measure and assess the sum of actual symbol point of received signal that happen on the constellation diagram. MER can be calculated as (1) [6]

$$MER = 10 \times \log_{10} \left\{ \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right\} \quad (1)$$

In EVM aspect can be calculated by (5) MTA is a ratio of peak constellation symbol power to average constellation power

$$EVM = \frac{E_{RMS}}{S_{max}} \times 100 \quad (2)$$

$$P_{peak} = 2x(\sqrt{M} - 1)^2 \quad (3)$$

$$P_{avg} = \frac{2}{3}(M - 1) \quad (4)$$

Where P_{peak} is a peak power of constellation on the squared magnitude of the outermost M is a number of constellation point

The maximum to average constellation power ratio can be calculated as (5) and percentage of error vector magnitude can be calculated as (6)

$$MTA = \frac{P_{peak}}{P_{avg}} = 3 \frac{\sqrt{M}-1}{\sqrt{M}+1} \quad (5)$$

$$EVM(\%) = 100 \times 10^{\frac{-(MER+MTA_{dB})}{20}} \quad (6)$$

C. BER (Bit Error Rate)

The means to indicate the quality of signal is BER or the number of error transmitted bit to the number of total transmitted bit. There are 2 type of bit error rate that used to assess the quality of signal, which are bBER and LBER that measure before and after LDPC, which is one of FEC (Forward Error Correction) part, respectively as shown in figure 6. error before and after FEC (forward error correction) for FEC comprise of 2 part, LDPC (Low Density Parity Check) and BCH (Bose–Chaudhuri–Hocquenghem) in this research we will analyze of this one type of BER.[7] BER can be calculated by (7)

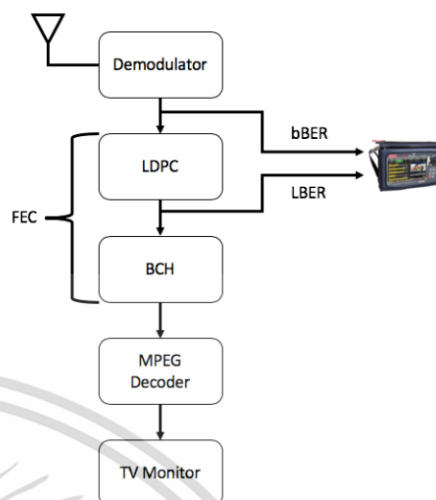


Fig. 6 FEC block diagram

$$BER = \frac{(\text{number of error bits})}{(\text{Total number of bits})} \quad (7)$$

D. QEF (Quasi Error Free)

QEF point is one means used to indicate the signal quality when the MER or LBER lower that QEF point there will be more than one error appear on the screen in thirty second. For MER QEF point value is 13 dB and for LBER QEF point value is 1×10^{-7} and C/N QEF point are 14.9 dB and 15.2 dB for Gaussian and Ricean channel respectively.

IV. RESULT OF MEASUREMENT

In this section will describe the measurement results, that have been measured for 20 measured location located in Bangkok, Thailand.

A. Error Vector Magnitude Results

This results illustrated the error vector magnitude compared to bit error rate before LDPC for all transmitter as shown in figure 7 and can be summarized in term of statistical illustrated as figure 9 and figure 10 the comparison between EVM are in range 1e-1 to 10e-2 compared to bBER between 1e-6 to 1e-2 illustrated in log scale. From figure 7 can be summarized that EVM value is significant relate to bBER no matter which frequency used. In term of statistical analysis were carried 2 factors, which are CDF (Cumulative Distribution Function) and PDF Probability Density Function) found that transmitter 3, MCOT, used the rotated constellation function lead to the lowest variance and standard deviation.

And when we look at Variance of Noise Margin the lowest variance of noise margin given by MCOT transmitter which is 51.11 and the highest value of noise margin given by ARMY2 transmitter which is 80.34 and the lowest standard deviation of noise margin given by NBT and MCOT transmitter.

In term of noise margin, when the received signal is lower than the QEF point the picture still appeared on the screen. However, there's more than 1 erroneous appeared on the screen with in 30 second until the signal is lower than threshold there will be no picture appeared on the screen.

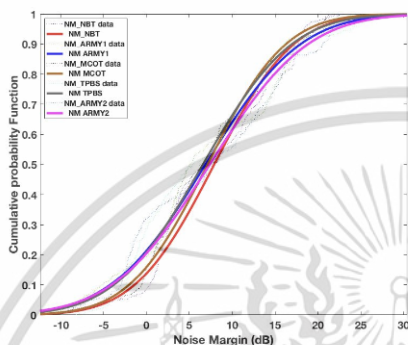


Fig. 12 Cumulative Distribution Function result of Noise Margin for all Transmitter

TABLE V. TABLE OF NOISE MARGIN STATISTICAL RESULT

Frequency (MHz)	Mean Of Noise Margin	Variance of Noise Margin	Standard Deviation of Noise Margin
514	7.88	52.72	0.34
594	6.86	75.20	0.41
626	7.11	51.11	0.34
658	6.56	65.84	0.38
722	7.36	80.34	0.42

V. CONCLUSION

This research studied the result caused by using the rotated constellation function that came with DVB-T2. Regarding to the DVB-T2 is the new television system that has been chosen to replace the previous system, which is analog system. Therefore, this information kind of important to operator to useful this information to improve their system. From the results found that the transmitter that used the rotated constellation function give us the significant

difference from the other whether the variance and standard deviation in the other word it quite stable than the other transmitter that doesn't use this function. From the results found that the variance of noise margin and EVM percentage and will increase as much as frequency used. However, the transmitter that used the Rotated constellation function are significant better result.

This researcher focuses only stationary fixed rooftop reception condition only the rest reception whether portable or mobile reception will be researched in the next future work.

REFERENCES

- [1] Digital Video Broadcasting (DVB): Implementation Guidelines for a Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2), ETSI Technical Specification TS 102 831 V1.1.1, Oct. 2010
- [2] A. Ingin, "DVB-T2 field trial and optimized parameters in Thailand," in Electrical Engineering Congress (iEECON), 2014 International, pp. 1-4, 19-21 March 2014
- [3] Walter Fischer "Digital Television A Practical Guide for Engineers" Springer
- [4] D. Perez-Calderón, C. Oria, J. García, P. López, V. Baena, I. Lacadena, "Rotated Constellation for DVB-T2" XXIV Design of Circuits and Integrated Systems Conference Zaragoza, Nov. 18- 20, 2009
- [5] ITU-R"Report ITU-R BT.2254 (09/2012) Frequency and Network Planning aspects of DVB-T2" International Telecommunication Union.
- [6] Mitsuhiro Iwamoto, Shingo Matsuoka, Hiroki Iwasaki, and Hiroyuki Otsuka, "Transmission Performance of OFDM with 1024-QAM in the Presence of EVM Degradation," APWIMob 2014, Bali 28-30 Augustus 2014
- [7] Ron Hranac BER and MER Fundamentals Cisco Systems, Inc 2007
- [8] Revolution Wifi by Andrew "How OFDM Subcarriers Work" <http://www.revolutionwifi.net> Jun 1 2015
- [9] Jerry D. Gibson "Mobile Communications Handbook Second Edition" IEEE press
- [10] A. Ingin, "DVB-T2 field trial and optimized parameters in Thailand," in Electrical Engineering Congress (iEECON), 2014 International, pp. 1-4, 19-21 March 2014
- [11] B. Rückvertham, S. Promwong, "Performance evaluation of DVB-T2 for outdoor reception," 2016 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology pp.1-5 (ECTI-CON), 2016
- [12] Chairak Deepunya, Nattapan Suwansukho and Sathaporn Promwong "Evaluation of Noise Margin in DVB-T2" The 6th Global Wireless Summit (GWS-2018) Chiang Rai, Thailand, November 25-28, 2018
- [13] Digital Video Broadcasting (DVB): Implementation Guidelines for a Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2), ETSI Technical Specification TS 102 831 V1.1.1, Oct. 2010.
- [14] Digital Video Broadcasting (DVB): Frame Structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), ETSI Standard EN 302 755 V1.4.1 (2015-07)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายณัฐพันธ์ สุวรรณสุโข
วัน เดือน ปีเกิด	22 พฤษภาคม 2527
ที่อยู่	4 ซ.ลาดพร้าว 101 แยก 48 ถ.ลาดพร้าว 101 แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240
ประวัติการศึกษา	2551 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน 2561 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) วิศวกรรมโทรคมนาคม
ประสบการณ์ทำงาน	
พ.ศ. 2552-2554	วิศวกรระบบสื่อสาร บ.เอ เอ็ม อาร์ เอเชีย จำกัด - ติดตั้งระบบสื่อสาร SDH ให้กับ บ.ปตท จำกัด (มหาชน) ตามแนวท่อก๊าซโครงการ YADANA ราชบุรี-พม่า - ติดตั้งระบบสื่อสาร SDH ให้กับ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โครงการ EGAT-TNRP-COMM09 - ติดตั้งระบบสื่อสาร SDH ให้กับ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โครงการ EGAT-TNRP-COMM10
พ.ศ. 2554-2556	วิศวกรระบบสื่อสาร บมจ.ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ - อำนวยการใช้งานระบบสื่อสารของระบบรถไฟฟ้า BTS
พ.ศ. 2556-2557	วิศวกรอาวุโส บมจ.ซี ที เอช - ออกแบบระบบ FTTH
พ.ศ. 2557-2559	ผู้เชี่ยวชาญระบบ บ.ทริปเปิล วี บรอดคาส จำกัด - ออกแบบระบบวิทยุสื่อสาร DMR Radio สำหรับงานข่าวไทยรัฐทีวี - ติดตั้งระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมสำหรับงานข่าวไทยรัฐทีวี
พ.ศ. 2560-2564	วิศวกรออกแบบระบบวิทยุสื่อสาร บ.เอส ที อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด - ออกแบบระบบวิทยุสื่อสาร TETRA Radio ให้กับโครงการรถไฟฟ้าส่วนต่อขยายสายสีเขียว แบริ่ง-สมุทรปราการ เฟสที่ 1 - ออกแบบระบบวิทยุสื่อสาร TETRA Radio ให้กับโครงการรถไฟฟ้าส่วนต่อขยายสายสีเขียว แบริ่ง-สมุทรปราการ เฟสที่ 2
พ.ศ. 2564	วิศวกรระบบสื่อสารสำหรับการเดินรถไฟฟ้า Communication Engineer โครงการรถไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- งานออกแบบวางระบบสื่อสารสำหรับโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู กรุงเทพมหานคร
- งานออกแบบวางระบบสื่อสารสำหรับโครงการรถไฟฟ้าสายสีเหลือง กรุงเทพมหานคร
- งานออกแบบการทดสอบระบบ LTE Railway (LTE-R) สำหรับรถไฟฟ้าขนส่งแร่ ออสเตรเลีย BHPBIO Rail Technology

ผลงานวิจัย

- พ.ศ. 2559 Nattapan Suwansukho and Sathaporn Promwong
“Experimental Study of DVB-T2 in Thailand” The 20th International Computer Science and Engineering Conference 2016” Smart Ubiquitous Computing And Knowledge.” 14-17 December 2016, Chiang Mai Orchid Hotel, Chiangmai, Thailand
- พ.ศ. 2560 Nattapan Suwansukho and Sathaporn Promwong “EVM analysis for DVB-T2 in Thailand” 2017 International Symposium on Multimedia and Communication Technology August 23-25, 2017 Classic Kameo Hotel & Serviced Apartments, Ayutthaya, Thailand.
- พ.ศ. 2560 Nattapan Suwansukho and Sathaporn Promwong “EVM analysis for DVB-T2 in Thailand” 2017 International Symposium on Multimedia and Communication Technology August 23-25, 2017 Classic Kameo Hotel & Serviced Apartments, Ayutthaya, Thailand.
- พ.ศ. 2561 Nattapan Suwansukho and Sathaporn Promwong “Evaluation of DVB-T2 Noise Margin in Thailand” 2017 THE 6th Global Wireless Summit (GWS -2018) CHIANG RAI, THAILAND. November 25 – 28, 2018, Chiang Rai, Thailand.
- พ.ศ. 2562 Nattapan Suwansukho and Sathaporn Promwong “Experimental Study of DVB-T2 Threshold” 2017 THE 4th International Conference on Digital Arts, Media and Technology and 2nd ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics,
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Computer and Telecommunications Engineering 2019 (ECTI & DAMT NCON 2019) January 30 – February 2, 2019 Nan, Thailand.

- พ.ศ. 2562 Nattapan Suwansukho and Sathaporn Promwong “Evaluation of Rotated Constellation in DVB-T2 Based on Measurement Data” The 5th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST 2019) Jul 2-4 2019, Luang Prabang, Laos.
- พ.ศ. 2563 Nattapan Suwansukho and Sathaporn Promwong “Experimental study of localization system using DTT” The 6th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST 2020) 1-4 July 2020, Chiang Mai, Thailand
- พ.ศ. 2565 Sathaporn Promwong and Nattapan Suwansukho, “DTTV Localization with Fingerprinting Technique and Clean Algorithm Based on Measurement Data,” Journal of Mobile Multimedia, vol. 18-3, pp. 821-844, Jan. 2022
- พ.ศ. 2565 Nattapan Suwansukho and Sathaporn Promwong “Evaluation of DTTV Positioning Based on Measurement Data” The 8th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST 2022) 8-10 Jun 2022, Bangkok, Thailand
- พ.ศ. 2566 Nattapan Suwansukho and Sathaporn Promwong “Experimental study of TETRA Radio for Railway communication with Leaky Feeder configuration” The 9th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST 2023) 1-4 Jun 2023, Vientiane, Lao PDR

ใบอนุญาต

- พ.ศ. 2552 ระดับ ภาควิศวกร สาขา วิศวกรรมไฟฟ้าแขนงไฟฟ้าสื่อสาร
- พ.ศ. 2555 ระดับ สามัญวิศวกร สาขา วิศวกรรมไฟฟ้าและไฟฟ้าสื่อสาร
- พ.ศ. 2562 ระดับ วุฒิวิศวกร สาขา วิศวกรรมไฟฟ้าและไฟฟ้าสื่อสาร

รับการฝึกอบรม

- พ.ศ. 2552 Project management Training

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พ.ศ. 2552	Operating Training Course of EXFO OTDR Model FTB-200
พ.ศ. 2552	Operating Training Course of Fujikura Fusion Splicer FSM-60S
พ.ศ. 2553	Training Course on SDH Fiber Home Fonsweaver 780B
พ.ศ. 2553	Training Course on OTN back bone system OTN-X3M
พ.ศ. 2554	Training Course on Hi-Path-4000 IP Communication system
พ.ศ. 2554	Training Course on LTU-Shelf-AP-3700-13SAPP Telephone system
พ.ศ. 2555	Training Course on SELEX TETRA Radio and Base Station System
พ.ศ. 2555	Training Course on BOSCH PA
พ.ศ. 2555	Training Course on Motorola TETRA Radio and Base Station

การบรรยาย

พ.ศ. 2560	บรรยายอบรมวิธีการใช้งานระบบวิทยุสื่อสารโครงการรถไฟฟ้าวส่วนต่อขยายสายสีเขียว แบริ่ง-สมุทรปราการ
พ.ศ. 2562	ได้รับเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้และประสบการณ์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
พ.ศ. 2564	ได้รับเชิญเป็นวิทยากรบรรยายเทคโนโลยีการสื่อสารระบบราง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ. 2565	ได้รับเชิญเป็นวิทยากรบรรยายการตรวจสอบระบบสายนำสัญญาณและสายอากาศ กรมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารทหารอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้