

การศึกษาคอนด่องวัดช่องสัญญาณของการแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์  
ภาคพื้นดินในระบบดิจิทัล

EXPERIMENTAL STUDY OF DVB-T2 PROPAGATION CHANNEL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-010-154

การศึกษาทดลองวัดช่องสัญญาณของการแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์  
ภาคพื้นดินระบบดิจิตอล

EXPERIMENTAL STUDY OF DVB-T2 PROPAGATION CHANNEL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

KMITL 2016-EN-M-010-154

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# EXPERIMENTAL STUDY OF DVB-T2 PROPAGATION CHANNEL



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
2016  
KMITL 2016-EN-M-010-154



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานที่อาจารย์ศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาทดลองวัดช่องสัญญาณของการแพร่กระจายคลื่นโทรทัศนภาคพื้นดิน  
ระบบดิจิทัล

Thesis Title Experimental Study of DVB-T2 Propagation Channel

นักศึกษา นายสิรภพ มิ่งมณี

รหัสประจำตัว 57601151

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.สถาพร พรหมวงศ์

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-010-154

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์	
ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์	
ศ.ดร.ประยุทธ์ อัครเอกมาลิน	
ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล	
ดร.สถาพร พรหมวงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 15.00-17.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ ห้อง HM-301

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นใบแจ้งประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารผู้ให้ในการนำไปใช้  
วันที่ 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาทดลองวัดช่องสัญญาณของการแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล
นักศึกษา	นายสิรภพ มิ่งมณี
รหัสนักศึกษา	57601151
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.สถาพร พรหมวงศ์

### บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาเทคโนโลยีการแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล (DVB-T2) และมาตรฐานโทรทัศน์ดิจิทัลที่ได้ใช้งานในประเทศไทย เป็นมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินที่ก้าวหน้าและทันสมัย ที่มีประสิทธิภาพการใช้งานสัญญาณมีความคงทนและมีความยืดหยุ่นในการใช้งานมากกว่าในระบบอนาล็อกเดิม เพราะมีการเข้ารหัสของสัญญาณก่อนที่จะส่งออกไป ปัจจุบันระบบการแพร่ภาพออกอากาศสัญญาณโทรทัศน์วิทยุภาคพื้นดินได้มีการพัฒนาจากเดิมที่เป็นระบบอนาล็อกเปลี่ยนมาสู่ระบบดิจิทัล ซึ่งเป็นมาตรฐานใหม่ที่นิยมใช้กันเป็นส่วนมากในโลก เนื่องจากมีคุณภาพของสัญญาณที่ดีกว่าเดิม และได้มีการจัดสรรการใช้งานช่องความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จึงได้ทำการศึกษา วัดระดับสัญญาณ และสร้างแบบจำลองทางสถิติสำหรับภาครับสัญญาณโทรทัศน์แบบภายในอาคาร เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายในอาคาร โดยในการทดลองนี้ทางผู้วิจัยได้ใช้ช่องความถี่ที่ 626 MHz สายอากาศไดโพลได้ถูกนำมาใช้เป็นภาครับของสัญญาณโทรทัศน์ โดยกำหนดทิศทางของโพลาริซไวในแนวนอนระดับความแรงของสัญญาณที่วัดได้ในแต่ละจุดจะถูกศึกษาและแสดงในรูปของฟังก์ชันการสูญเสียเชิงวิถี เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ สรุปผล เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบระบบการกระจายสัญญาณให้มีประสิทธิภาพสูงต่อไป

Thesis Title	Experimental Study of DVB-T2 Propagation Channel
Student	Mr. Sirapop Mingmanee
Student ID.	57601151
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Dr. Sathaporn Promwong

## ABSTRACT

This thesis studies Digital Broadcasting Terrestrial technology (DVB-T2) and standard of digital television in Thailand. This is transmission standard for digital terrestrial television system that is advance, Digital signal is stable and flexible to use more than analog signal is encrypted before being sent out Today, the television terrestrial broadcasting system has been developed from analog to digital. This is the new standard that mostly used in the world because the performance of new standard is better than the old one and it is good at management in propagation channel. This thesis studies on measurement level of receive signal and modeling statistical model for indoor reception to analyze effect in an indoor environment. We used frequency at 626 MHz. The dipole antenna was used as reception with horizontal polarization. The receive signal strength each sample point was studied and shown in the term of path loss function.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ดร.สถาพร พรหมวงศ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญ์ สุพรรณกุล รวมถึงบุคลากรใน บมจ. อสมท. ที่ให้ความอนุเคราะห์ ช่วยเหลืออบรมสั่งสอน และคอยชี้แนะแนวทางเกี่ยวกับโครงการวิจัยเป็นอย่างดี มาโดยตลอด ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากอาจารย์ทั้งสองท่าน จึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทั้งสองเป็นอย่างสูงขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ในห้องวิจัย UWBR (Ultra Wideband Radio System) ทุกท่านที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านมาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สิรภพ มิ่งมณี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 สมมติฐาน.....	4
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดในการวิจัย.....	5
1.5 ขอบเขตการศึกษา.....	5
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	5
บทที่ 2 เทคโนโลยีโทรทัศน์ระบบดิจิทัล.....	6
2.1 ความเป็นมาของโทรทัศน์ระบบดิจิทัล.....	6
2.2 มาตรฐานการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินยุคที่สอง.....	8
2.2.1 เทคโนโลยีการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง.....	9
2.2.2 โครงข่ายความถี่เดี่ยว.....	10
2.2.3 ระบบ OFDM.....	11
2.2.4 การเข้ารหัสข้อมูล.....	13
2.2.5 การมอดูเลตแบบลำดับชั้น.....	13
2.3 ข้อกำหนดของการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลในประเทศไทย.....	15
2.3.1 สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลในประเทศไทย.....	15
2.3.2 รายชื่อช่องโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลและหมายเลขที่ออกอากาศ.....	17
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการศึกษาวิจัย.....	19
3.1 สมการการสูญเสียเชิงวิถึ.....	19
3.2 แบบจำลองช่องสัญญาณ.....	19
3.3 ทฤษฎีทางสถิติและความน่าจะเป็น.....	23
3.3.1 ตัวแปรสุ่ม.....	23
3.3.2 ค่าเฉลี่ย.....	23
3.3.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน.....	23
3.3.4 ความแปรปรวน.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.5 การแจกแจงข้อมูล.....	24
3.3.6 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น.....	25
3.3.7 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม.....	25
3.4 สรุป.....	26
บทที่ 4 แบบแผนการทดลองวิจัย.....	27
4.1 แผนขั้นตอนการดำเนินงาน.....	27
4.2 ขั้นตอนในการเตรียมการทดลอง.....	28
4.2.1 สายอากาศไดโพล.....	28
4.2.2 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม.....	29
4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	30
4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	33
4.5 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	33
4.6 สรุป.....	33
บทที่ 5 ผลการทดลองวัดและวิเคราะห์.....	34
5.1 กล่าวนำ.....	34
5.2 ผลการทดลองวัดและการวิเคราะห์.....	34
5.2.1 ผลการวัดภายในอาคาร.....	34
5.2.2 ผลการวัดรอบนอกอาคาร.....	39
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองวิจัย.....	42
6.1 บทนำ.....	42
6.2 ผลการทดลองการสูญเสียเชิงสถิติ.....	42
6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยพัฒนา.....	43
เอกสารอ้างอิง.....	44
ภาคผนวก.....	47
ประวัติผู้เขียน.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ข้อดีในด้านต่างๆ ของระบบ DVB-T2..... 9
2.2	ย่านความถี่การส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบ VHF และ UHF ในประเทศไทย..... 15
2.3	ความแตกต่างของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบอนาล็อก และ สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล..... 16
2.4	ความแตกต่างของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบอนาล็อก และ สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล (ต่อ)..... 16
2.5	รายชื่อผู้ให้บริการโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล..... 17
2.6	รายชื่อช่องโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล และหมายเลขที่ใช้ออกอากาศ..... 18
4.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง ..... 30
4.2	รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย ..... 32
5.1	ข้อมูลของสัญญาณ ณ จุดตัวอย่างต่างๆ ภายในอาคาร..... 33
5.2	ข้อมูลของสัญญาณ ณ จุดตัวอย่างต่างๆ รอบนอกอาคาร..... 38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การส่งสัญญาณโทรทัศนระบบดิจิตอล.....	2
1.2 การรับสัญญาณโทรทัศนระบบดิจิตอล.....	3
2.1 การใช้งานโทรทัศนระบบดิจิตอลในประเทศต่างๆ ทั่วโลก.....	7
2.2 แผนภาพของระบบ DVB-T2.....	8
2.3 สัญลักษณ์ของมาตรฐานการกระจายสัญญาณโทรทัศนภาคพื้นดินระบบดิจิตอลยุคที่สอง...	10
2.4 โครงข่ายความถี่เดี่ยว.....	11
2.5 แถบความถี่ของสัญญาณ.....	12
2.6 การมัลติเพล็กซ์แบบ OFDM ทำให้มีความทนทานต่อช่องสัญญาณพหุวิถี.....	12
2.7 การมอดูเลตแบบลำดับชั้น โดยใช้การมอดูเลตสตรีมข้อมูลแบบ 64QAM และฝังสตรีมข้อมูลที่ถูกมอดูเลตแบบ QPSK ลงไปด้วย.....	14
2.8 การคอนสเตรชัน 16-QAM ทั้งแบบธรรมดา และแบบมีการหมุน.....	14
3.1 การเกิดคลื่นหลายวิถี.....	22
4.1 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการทดลองการวัดช่องสัญญาณ.....	27
4.2 สายอากาศไดโพลที่ใช้เป็นสายอากาศรับสัญญาณ.....	28
4.3 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศไดโพล.....	28
4.4 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม.....	29
4.5 กล้องรับสัญญาณโทรทัศนดิจิตอล.....	29
4.6 การออกแบบการทดลองวัดสัญญาณโทรทัศนดิจิตอล.....	30
4.7 แบบจำลองของการทดลองวัดสัญญาณภายในอาคาร.....	31
4.8 แบบจำลองของการทดลองวัดสัญญาณภายนอกอาคาร.....	31
4.9 การจัดเตรียมการทดลอง.....	32
5.1 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ณ ชั้น 1 และชั้น 12.....	36
5.2 กราฟ PDF ของการรับสัญญาณภายในอาคารที่ชั้น 1.....	37
5.3 กราฟ CDF ของการรับสัญญาณภายในอาคารที่ชั้น 1.....	37
5.4 กราฟ PDF ของการรับสัญญาณภายในอาคารที่ชั้น 12.....	38
5.5 กราฟ CDF ของการรับสัญญาณภายในอาคารที่ชั้น 12.....	39
5.6 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณภายในบริเวณรอบนอกอาคาร.....	40
5.7 กราฟ PDF ของการรับสัญญาณบริเวณรอบนอกอาคาร.....	41
5.8 กราฟ CDF ของการรับสัญญาณบริเวณรอบนอกอาคาร.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

การส่งสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล คือการส่งผ่านของภาพและเสียงโดยใช้สัญญาณดิจิทัลที่มีประสิทธิภาพสูงโดยมีความคมชัดของทั้งภาพและเสียง การส่งข้อมูลระบบดิจิทัลนี้สามารถส่งข้อมูลได้ปริมาณข้อมูลมากกว่าระบบอนาล็อกในหนึ่งช่องสัญญาณ จึงเรียกได้อีกอย่างว่าการส่งข้อมูลแบบหลากหลายรายการ (Multicasting) และด้วยการส่งสัญญาณเป็นระบบดิจิทัลจึงทำให้ได้คุณภาพของภาพและเสียงดีกว่า โดยระบบการรับส่งสัญญาณภาพและเสียงที่มีข้อมูลที่มีการเข้ารหัสเป็นดิจิทัล จะมีค่าเป็น “0” กับ “1” เท่านั้น มีกระบวนการต่างๆที่จะทำการแปลงสัญญาณภาพและเสียงให้เป็นข้อมูลดิจิทัล และมีการบีบอัดข้อมูล ทำการเข้ารหัสข้อมูลก่อนที่จะทำการผสมสัญญาณ (Modulate) ข้อมูลดิจิทัลเหล่านี้เพื่อส่งผ่านตัวกลางไปสู่ผู้รับปลายทาง

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบัน รายการโทรทัศน์ในประเทศไทย มีการออกอากาศผ่านสายอากาศโทรทัศน์รับชมได้ฟรีโดยไม่มีค่าบริการรายเดือน หรือที่เรียกว่า ฟรีทีวี และโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม ทั้งแบบติดกล่องรับสัญญาณ มีการบอกรับสมาชิกเป็นรายเดือน และรับสัญญาณจากจานดาวเทียมโดยไม่มีค่าบริการรายเดือน ขณะนี้ได้มีการพัฒนาเข้าสู่ยุคของการจัดการคลื่นความถี่โทรทัศน์ระบบดิจิทัล โดยเป็นหน้าที่สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ในการออกใบอนุญาตและดำเนินการเปลี่ยนผ่านเข้าสู่ยุคโทรทัศน์ดิจิทัล ล่าสุดได้มีประกาศมาตรฐานการแพร่ภาพโทรทัศน์ดิจิทัลแบบ Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial (DVB-T2) ยิ่งกระตุ้นให้เราเห็นว่า ยุคของโทรทัศน์ระบบดิจิทัลใกล้ตัวเรามากขึ้นแล้ว และถ้าหากสังเกตพฤติกรรมของคนเราในปัจจุบันจะพบว่า ก่อนหน้านี้เรามีข้อจำกัดด้านเวลาออกอากาศ เราจึงต้องรีบกลับบ้านมาเพื่อดูรายการโปรด ละครเรื่องโปรด เกิดปรากฏการณ์ถนนโล่งในคืนวันที่ละครฉายตอนอวสาน แต่ยุคของสื่อสังคมนั้นได้เปลี่ยนพฤติกรรมของผู้รับชมไปโดยสิ้นเชิง นอกจากนี้ยังเกิดปรากฏการณ์ Multi-Screen ซึ่งผู้ชมไม่ได้นั่งหน้าจอโทรทัศน์เพียงอย่างเดียว แต่จะคุยโทรศัพท์ หรือใช้งานสื่อสังคมออนไลน์ผ่านสมาร์ทโฟน แท็บเล็ต หรือคอมพิวเตอร์ไปพร้อมๆ กับการรับชม ส่วนโทรทัศน์ก็เปิดทิ้งไว้ มีประเด็นอะไรน่าสนใจได้ยื่นผ่านทุกแง่มุมหน้าขึ้นฟังพร้อมโพลสนสื่อสังคมออนไลน์เพื่อแสดงความคิดเห็นของตนได้ทันที

ในอนาคต โทรทัศน์ระบบดิจิทัลจะมีช่องเพิ่มเป็น 60 – 100 ช่อง ทุกคนจะผลิตเนื้อหาตัวเอง สามารถขอเวลาออกอากาศได้เอง หาผู้สนับสนุนเข้ารายการได้เอง ยืดหยุ่นกว่าฟรีทีวีและมีช่องทางในการออกอากาศของตนเอง แลยังมีเครือข่ายสังคมของรายการและของช่องช่วยสนับสนุนการประชาสัมพันธ์ เมื่อถึงเวลานั้นเนื้อหาของรายการ ความน่าสนใจในการนำเสนอจะเป็นตัวตัดสินให้ผู้ชมกรี๊ดเข้าไปดู ซึ่งคณะกรรมการสหภาพโทรคมนาคมสากล (ITU) กำหนดมาตรฐาน ดังนี้ ระบบแพร่ภาพดิจิทัลผ่านดาวเทียม (DVB-S : Digital Video Broadcasting Satellite system),

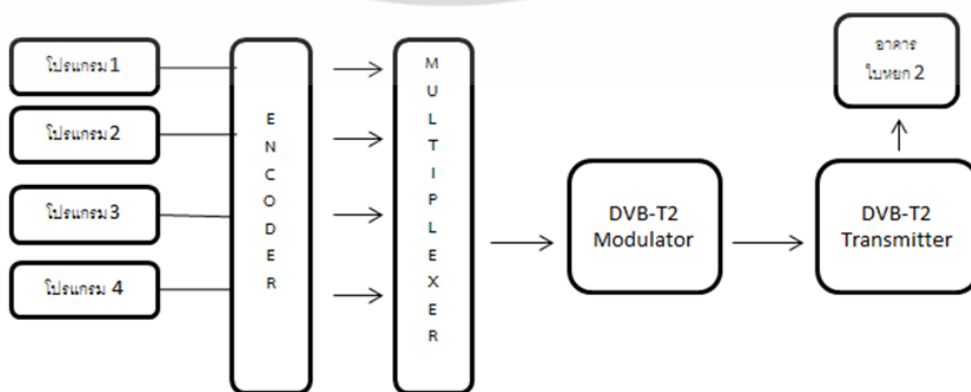
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบแพร่ภาพดิจิตอลผ่านสายเคเบิล (DVB-C : Digital Video Broadcasting Cable system) และระบบแพร่ภาพดิจิตอลภาคพื้นดิน (DVB-T : Digital Video Broadcasting Terrestrial system)

ในประเทศไทยจะใช้มาตรฐานการออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินยุคที่สอง เป็นมาตรฐานหลักในการออกอากาศระบบดิจิตอลทั้งภาคดาวเทียม และเคเบิล (DVB-S, DVB-C) ที่มีผู้ให้บริการหลายราย ทั้งแบบบอกรับสมาชิก และแบบซื้อขาดไม่มีรายเดือน ส่วนภาคพื้นดินนั้นเดิมที่จะใช้ระบบ DVB-T ซึ่งเคยมีการทดสอบเมื่อวันที่ 5 ธันวาคม 2543 ถึงพฤษภาคม 2544 จากตึกใบหยก 2 แต่ความล่าช้าของการออกกฎหมายโดยกสทช ผ่านมา 10 ปี เทคโนโลยี DVB พัฒนาดีขึ้น ประเทศไทย และสมาชิกอาเซียนจึงมีการตกลงจะใช้ระบบ DVB-T2 ประเทศไทยต้องรอกการอนุญาตจากคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ก่อน ซึ่งเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 จะประกาศใช้ในราชกิจจานุเบกษาเพื่อเริ่มนำร่องโครงการทดลองโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดิน และในรูปแบบโทรศัพท์ที่สามารถดูโทรทัศน์ได้ เป็นลำดับแรกในเดือนมิถุนายน 2555 การทดลองโทรทัศน์ระบบดิจิตอล เคยทดลองมาแล้วโดยช่อง 5 ในปี พ.ศ. 2554 และจะยุติระบบอะนาล็อกในปี พ.ศ. 2558 - พ.ศ. 2563

DVB-T2 เป็นมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิตอลที่ก้าวหน้าและทันสมัยที่สุดที่มีประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุดในขณะนี้ สัญญาณมีความคงทนและมีความยืดหยุ่นในการใช้งานการผสมสัญญาณ (Modulation) เรียกว่า OFDM (Orthogonal frequency division multiplex) โดยการแบ่งคลื่นความถี่วิทยุเป็นความถี่ย่อยจำนวนมาก เพื่อให้ส่งสัญญาณที่มีความคงทน และมีการเข้ารหัสสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูงเท่าที่มีใช้งานในการส่งโทรทัศน์ในคลื่นความถี่ที่ส่งสัญญาณภาพและเสียงและบริการส่งข้อมูลที่ใช้สำหรับเครื่องรับโทรทัศน์แบบเคลื่อนที่ (Portable) และเครื่องรับโทรทัศน์แบบมือถือ (Mobile) การใช้เทคนิคใหม่นี้ทำให้ DVB-T2 มีประสิทธิภาพอย่างน้อยสูงกว่า 50% ของประสิทธิภาพการส่งโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิตอลอื่นๆที่ใช้งานในโลก

รูปที่ 1.1 แสดงการรับส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล โดยระบบการส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลนั้น สามารถใช้ประโยชน์จากช่องสัญญาณได้มากขึ้น เช่น เดิม 1 ช่องใช้ได้ 1 รายการ เมื่อหันมาใช้ระบบดิจิตอล มีการบีบอัดสัญญาณ (Digital Compression) และการเข้ารหัสสัญญาณ (Encoder) ก็จะสามารถส่งได้ถึง 4-6 รายการทางภาคพื้นดิน และ 8-10 รายการทางดาวเทียม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 1.1 การส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล[1]ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันประเทศไทยออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิทัล 2 คลื่นความถี่ด้วยกัน คือ 594 MHz และ 626 MHz ซึ่งคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ได้ประกาศให้มีการกำหนดความถี่ โดยเป็นแผนความถี่วิทยุสำหรับกิจการภาคพื้นดินในระบบอนาล็อกเดิม กำหนดความถี่วิทยุ 510 ถึง 790 MHz เพื่อนำมาใช้ในพื้นที่ที่มีการรับส่งสัญญาณ โดยการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 การรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล [1]

การรับสัญญาณในระบบดิจิทัลของเครื่องรับในระบบอนาล็อกธรรมดา นั้น เพียงติดตั้งกล่องรับสัญญาณ (Set top box) ไว้ที่ด้านหน้าเพื่อแปลงสัญญาณดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกก่อนที่รับสัญญาณจากสายอากาศและถ้ามีการบีบอัดสัญญาณด้วย ก็จะต้องมีเครื่องขยายสัญญาณออกให้เท่าเดิมจึงจะรับกันได้ หรือมีเครื่องที่รับได้เฉพาะสมาชิกบอกรับก็จะต้องมีเครื่องถอดรหัสสมาชิกบอกรับด้วย และในการปรับเปลี่ยนเข้าสู่ระบบโทรทัศน์ระบบดิจิทัล จะทำให้ประชาชนได้รับชมโทรทัศน์ด้วยคุณภาพสัญญาณที่ดีขึ้นทั้งในระบบ SD และสามารถพัฒนาให้แพร่ภาพได้ในระบบความคมชัดสูง HD ปราศจากสัญญาณรบกวน ได้รับชมโทรทัศน์ด้วยอัตราส่วนภาพแบบ Widescreen คือสามารถรับชมภาพได้เต็มจอทีวีตามต้นฉบับ อีกทั้งการมีจำนวนช่องที่มากขึ้น และบริการที่หลากหลาย จะเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับประชาชน จากที่มีเพียง 6 ช่อง เพิ่มมากขึ้นเป็น 48 ช่อง ซึ่งจะสามารถตอบสนองกับชีวิตสังคมสมัยใหม่ ที่มีความสัมพันธ์กับเทคโนโลยี และสื่อสังคม (Social Media) มากขึ้นเรื่อยๆ

โทรทัศน์ระบบดิจิทัลยังสามารถรองรับบริการมัลติมีเดียใหม่ๆ ประชาชนจะสามารถรับบริการที่หลากหลายมากขึ้น เช่น บริการเสริมลักษณะโต้ตอบ (Interactive) เช่น VDO-on-Demand, ทีวีเคลื่อนที่ (Mobile TV), Smart TV และ Internet TV เป็นต้น ยิ่งไปกว่านั้น ประชาชนจะมีโอกาสในการเข้าถึงข้อมูลข่าวสารได้มากขึ้น สะดวกรวดเร็วขึ้นจากบริการใหม่ๆ อาทิ Data broadcasting, Emergency warnings ฯลฯ นอกจากนี้ จากการที่มีช่องรายการใหม่ๆ เพิ่มขึ้น จะก่อให้เกิดการแข่งขันสร้างรายการที่มีเนื้อหารายการที่น่าสนใจ เป็นประโยชน์ เป็นรายการที่มีคุณภาพ นำมาซึ่งการพัฒนาคุณภาพชีวิต และสังคมโดยรวมอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในด้านเศรษฐกิจ การปรับเปลี่ยนโทรทัศน์สู่ระบบดิจิทัล สามารถช่วยพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศได้โดยตรง โดยจะนำไปสู่การลงทุนโครงสร้างระบบดิจิทัล การผลิตอุปกรณ์เครื่องรับ และการพัฒนาอุตสาหกรรมและธุรกิจที่เกี่ยวข้อง เช่น เนื้อหารายการ (Content) และบริการแบบใหม่ๆ (Interactive services) นำมาซึ่งการยอมรับจากต่างชาติ และความน่าสนใจในการลงทุนจากต่างประเทศ นอกจากนี้ โทรทัศน์ระบบดิจิทัลยังช่วยในการประหยัดพลังงานของประเทศ เนื่องจากเครื่องส่งและเครื่องรับโทรทัศน์ระบบดิจิทัลจะใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการส่งในระบบแอนะล็อก เดิม อีกทั้งยังเป็นการนำเอาทรัพยากรคลื่นความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัดไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นด้วย

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการเปลี่ยนแปลงระบบการแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศน์ครั้งใหญ่อีกครั้ง คือ การเปลี่ยนแปลงจากระบบการแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศน์แบบอนาล็อกในมาตรฐาน PAL มาเป็นระบบการแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศน์แบบดิจิทัลในมาตรฐาน DVB-T2 ซึ่งปัจจุบันระบบการแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศน์แบบอนาล็อกจะออกอากาศควบคู่ไปกับระบบดิจิทัลจนถึงปี พ.ศ. 2563 แล้วหลังจากนั้นก็ใช้การแพร่สัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลอย่างถาวร ซึ่งในการรับสัญญาณโทรทัศน์นั้น จะต้องคำนึงถึงพื้นที่ให้บริการอย่างครอบคลุม ความต่อเนื่องของสัญญาณ และการเข้าถึงเทคโนโลยีดิจิทัลได้อย่างทั่วถึง จึงต้องหาข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ตามพื้นที่ต่างๆ ในเขตการให้บริการ เพื่อสามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ได้อย่างทั่วถึงทุกพื้นที่ และยังช่วยในการวางแผนการเกี่ยวกับการจัดตั้งสถานีส่งสัญญาณให้ได้ประโยชน์สูงสุด และลดต้นทุนในการดำเนินการกระจายสัญญาณให้ได้มากที่สุด ที่ระบบยังคงดำเนินการต่อไปได้

## 1.3 สมมติฐาน

สมมติฐานของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาการแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล เพราะในอนาคตอันใกล้นี้ ประเทศไทยจะเปลี่ยนไปสู่ยุคสื่อดิจิทัลเต็มรูปแบบ เพราะฉะนั้น จึงต้องทำการศึกษาระบบกระจายสัญญาณเพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบการกระจายสัญญาณในอนาคตได้ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แสดงให้เห็นถึงการศึกษาด้านเทคโนโลยีทั้งภาคส่งภาครับสัญญาณโทรทัศน์ และช่องสัญญาณที่แพร่ภาพออกอากาศมาให้เราได้ชมกัน ซึ่งแสดงให้เห็นความสำคัญของช่องสัญญาณอันมีผลกระทบมาจากสภาพแวดล้อมต่างๆ สภาพภูมิประเทศ หรือสภาพอากาศภายในพื้นที่เขตบริการ ด้วยแบบแผนการดำเนินการทดลองที่ได้นำเสนอ ผู้วิจัยได้ออกแบบการวัดสัญญาณ และวิเคราะห์ช่องสัญญาณ ทำให้รู้ถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณ การส่งผ่าน การสูญเสีย อัตราขยาย และความเพี้ยนของสัญญาณอันเกิดจากสภาพแวดล้อมบริเวณใกล้เคียง หรือสภาพอากาศโดยรอบ ทำให้สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์ให้เหมาะสมกับพื้นที่นั้นๆ ได้

#### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ในแนวทางการศึกษาวิจัยของวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอแบบแผนการช่องสัญญาณอันเกิดมาจากระยะทางการสูญเสียในระบบการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดิน ตามข้อกำหนดของสำนักงานคณะกรรมการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ได้กำหนดให้ออกอากาศในช่วงความถี่ 470 – 862 MHz โดยในการศึกษาวิจัยได้ทดลองวัดสัญญาณทั้งภายนอกและภายในอาคารด้วยเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ (Spectrum Analyzer) ในการวัดและบันทึกผล และใช้สายอากาศไดโพลเป็นสายอากาศรับสัญญาณ เพื่อประเมินผลการวัด จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ในรูปแบบของการสูญเสียเชิงวิถี

#### 1.5 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอแบบแผนการประเมินผลการสูญเสียเชิงวิถีจากระยะทาง และผลกระทบของสิ่งแวดล้อมในบริเวณพื้นที่ให้บริการ บนพื้นฐานของสูตรคำนวณการสูญเสียเชิงวิถี และทางด้านรับได้ใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม และเครื่องรับโทรทัศน์ในการพิจารณา การวัดได้ทำการทดลองทั้งในอาคาร และพื้นที่โดยรอบต่างๆ ไป แล้วจึงนำผลการวัดที่ได้มาประเมินผลการสูญเสีย และวิเคราะห์ช่องสัญญาณต่อไป

#### 1.6 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

จากแนวคิดและหลักการที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสรุปเป็นขั้นตอนการศึกษา เริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและหลักการประเมินช่องสัญญาณ และการสูญเสียเชิงวิถี จากนั้นกล่าวถึงขั้นตอนการทดลองวิจัย ในส่วนของการวัดการกระจายสัญญาณโทรทัศน์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมและสายอากาศไดโพล ในช่วงความถี่โทรทัศน์ดิจิทัลเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองวิจัย และรูปแบบวิธีการวัดโดยยึดหลักตามแบบแผนที่ออกแบบไว้ ให้มีเหมาะสมและสามารถประยุกต์ได้จริง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาเป็น 6 บท คือ ในบทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา จากนั้นบทที่ 2 กล่าวถึงเทคโนโลยีโทรทัศน์ระบบดิจิทัล ประกอบด้วยประวัติและความเป็นมา ลักษณะโดยทั่วไปของโทรทัศน์ดิจิทัล จุดเด่นของมาตรฐานโทรทัศน์ดิจิทัล รูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่ง บทที่ 3 จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการประเมินผลของการสูญเสียเชิงวิถี และการวิเคราะห์ช่องสัญญาณ บทที่ 4 กล่าวถึงรูปแบบการจำลอง การวัด การเตรียมการวัด และการวัดสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล ประกอบด้วย แบบจำลองการวัด สายอากาศที่ใช้ทดสอบ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แล้วนำผลที่ได้จากการวัดไปทำการวิเคราะห์ และการประเมินผลการทดลองวิจัย แสดงไว้ในบทที่ 5 และบทที่ 6 จะเป็นสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## บทที่ 2

# เทคโนโลยีโทรทัศน์ระบบดิจิตอล

การกระจายเสียงวิทยุโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินในยุคที่สอง มีหัวข้อในการศึกษาหลักๆ ได้แก่ ความเป็นมาของโทรทัศน์ระบบดิจิตอล มาตรฐานการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิตอลยุคที่สอง และแบบจำลองช่องสัญญาณที่นำมาวิเคราะห์การรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิตอล

### 2.1 ความเป็นมาของโทรทัศน์ระบบดิจิตอล

เป็นเวลาหลายสิบปีที่กิจการโทรทัศน์อะนาล็อกให้บริการสู่ผู้ชมทั้งที่ผ่านดาวเทียมเคเบิลทีวี และจากสถานีโทรทัศน์ภาคพื้นดิน มีความพยายามลดจำนวนมาตรฐานการส่งโทรทัศน์ตั้งแต่ยุคโทรทัศน์ ขาว-ดำ ที่มีจำนวนเส้นสแกนต่างถึง 4 ระบบคือ 405, 525, 625 และ 819 เส้น เหลือเพียง 2 ระบบคือ 525 และ 625 เส้น แต่มีระบบโทรทัศน์สี 3 ระบบ คือ NTSC, PAL และ SECAM คือระบบ NTSC 525 เส้น PAL มีทั้ง 525 / 625 เส้น และ SECAM 625 เส้น เมื่อเทคโนโลยีได้รับการพัฒนาไปสู่โทรทัศน์ยุคดิจิตอล จึงคาดหวังกันว่าน่าจะมีมาตรฐานโทรทัศน์ระบบดิจิตอลเพียงมาตรฐานเดียว อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติประเทศหรือกลุ่มประเทศที่เป็นผู้นำทางเทคโนโลยีต่างก็พัฒนามาตรฐานโทรทัศน์ระบบดิจิตอลที่เป็นของตนเองขึ้นมาใช้งาน แต่กระนั้น มีข้อพิงสังเกตเห็นว่าโดยพื้นฐานแล้วมาตรฐานของแต่ละระบบต่างก็ใช้สัญญาณภาพที่เป็นดิจิตอลและใช้การบีบอัดแบบ MPEG-2 เหมือนกัน

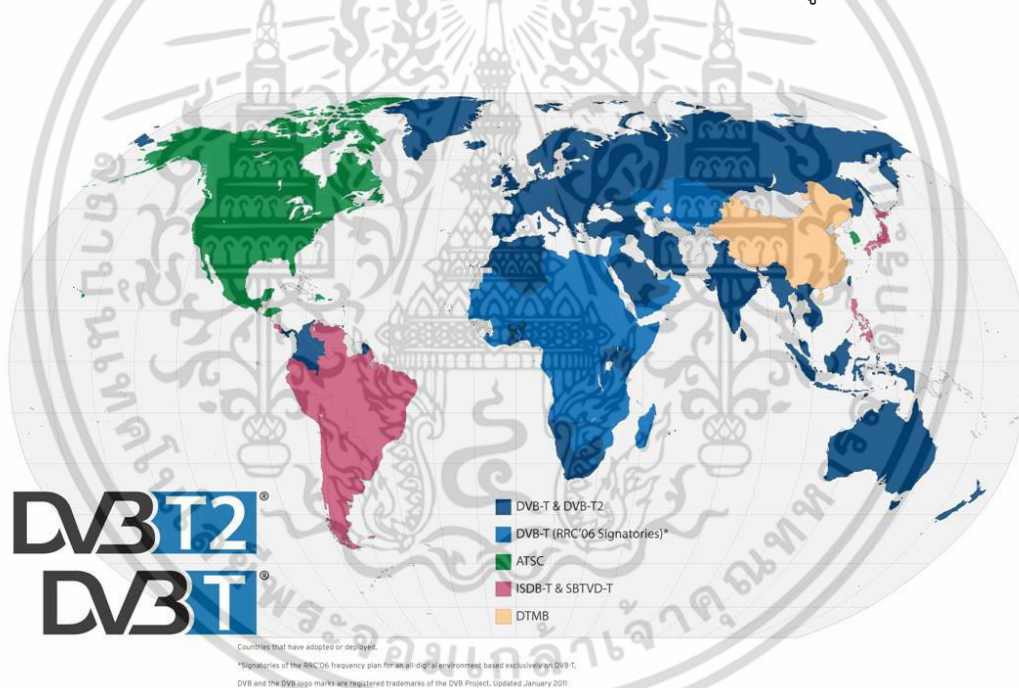
โทรทัศน์ดิจิตอล (Digital Television หรือ DTV) คือระบบการแพร่สัญญาณภาพเคลื่อนไหว และสัญญาณเสียงไปสู่เครื่องรับโทรทัศน์ด้วยสัญญาณดิจิตอล ซึ่งแตกต่างกับการใช้สัญญาณอะนาล็อกในระบบโทรทัศน์อะนาล็อก โดยทั่วไปโทรทัศน์ระบบดิจิตอลใช้สัญญาณดิจิตอลที่ถูกบีบอัดและเข้ารหัส MPEG-2 การรับชมจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ถอดรหัส ซึ่งอาจมีมาพร้อมกับตัวเครื่องรับโทรทัศน์เลยหากเป็นโทรทัศน์รุ่นใหม่ที่ผลิตขึ้นมาเพื่อรองรับระบบดิจิตอล หรือจะเป็นอุปกรณ์ถอดรหัสที่แยกอยู่โดดๆ ในอุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณที่เรียกว่า กล่องรับสัญญาณ (Set Top Box) ซึ่งใช้ในการถอดรหัสสัญญาณและป้อนให้กับเครื่องรับโทรทัศน์อะนาล็อกที่มีใช้งานทั่วไป หากเป็นการรับชมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ก็จะมีการดัดรับสัญญาณที่สามารถถอดรหัสได้ ในระบบโทรทัศน์ดิจิตอลสัญญาณภาพและเสียงที่รับได้มีคุณภาพสูงกว่าระบบโทรทัศน์อะนาล็อก เนื่องจากเทคโนโลยีดิจิตอลมีขีดความสามารถในการขจัดปัญหาของสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าอะนาล็อก ภาพเสียงชัดเจนไม่มีภาพเงา การเปลี่ยนแปลงไปสู่ยุคโทรทัศน์ระบบดิจิตอลนับว่าเป็นการปฏิวัติวงการโทรทัศน์ยิ่งกว่าตอนเปลี่ยนจากโทรทัศน์ขาว-ดำไปเป็นโทรทัศน์สี ก่อให้เกิดธุรกิจและโอกาสใหม่ๆ ในวงการวิทยุกระจายเสียงและแพร่ภาพโทรทัศน์ รวมถึงผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์โทรทัศน์ระบบดิจิตอลได้รับความนิยมแพร่หลายอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีทั้งการให้บริการผ่านระบบสื่อสารดาวเทียม ผ่านเคเบิล ผ่านบรอดแบนด์ และผ่านสถานีโทรทัศน์ภาคพื้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบกระจายสัญญาณดิจิตอลภาคพื้นดิน (Digital Terrestrial Television Broadcasting: DTTB) ใช้วิธีการบีบอัดและเข้ารหัสข้อมูลด้วยมาตรฐาน MPEG-2 เช่นเดียวกับมาตรฐาน DVB-S และ DVB-C ระบบ DTTB ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแทนที่ระบบโทรทัศน์อะนาล็อก โดยระบบใหม่นี้มีข้อดีคือมีจำนวนช่องรายการมากกว่าและมีคุณภาพของภาพและเสียงที่ดีกว่าโทรทัศน์อะนาล็อก สำหรับการรับสัญญาณสามารถกระทำได้โดยใช้สายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์แบบธรรมดาที่ใช้กันอยู่ตามบ้านเรือนทั่วไป ซึ่งจะประหยัดกว่าการใช้งานรับสัญญาณดาวเทียมหรือการสมัครเป็นสมาชิกเคเบิลทีวี ปัจจุบันระบบ DTTB ในโลกนี้มีอยู่ 4 มาตรฐาน ได้แก่

- 1) ATSC ถูกพัฒนาขึ้นมาในประเทศสหรัฐอเมริกา
- 2) DVB-T ถูกพัฒนาขึ้นมาในทวีปยุโรป
- 3) ISDB-T ถูกพัฒนาขึ้นมาในประเทศญี่ปุ่น
- 4) DTMB ถูกพัฒนาขึ้นมาในประเทศจีน

ซึ่งประเทศไทย กสทช. ได้ประกาศว่าให้ใช้ระบบ DVB-T2 ที่เป็นการปรับปรุงระบบ DVB-T เดิมให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานมากขึ้น โดยกำหนดความถี่ออกอากาศอยู่ในช่วง UHF Band



รูปที่ 2.1 การใช้งานโทรทัศน์ระบบดิจิตอลในประเทศต่างๆ ทั่วโลก [1]

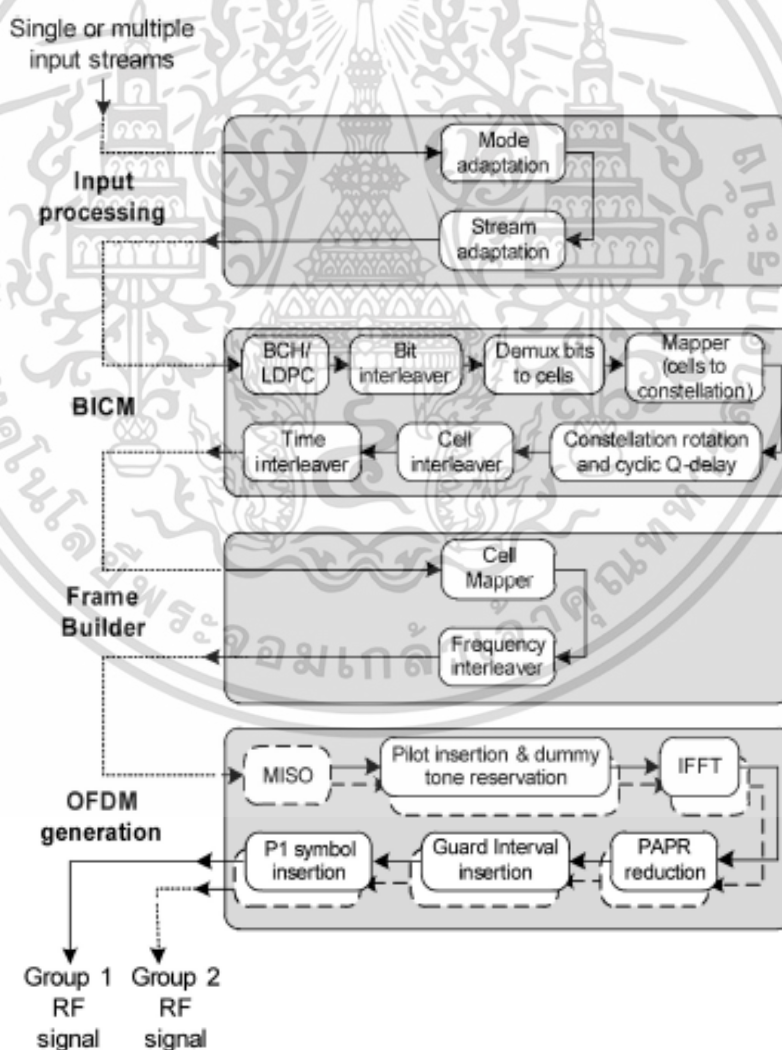
ในรูปที่ 2.1 แสดงการใช้งานเทคโนโลยีโทรทัศน์ดิจิตอลแบบต่างๆ ที่มีไว้ใช้งานในโลก โดยโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินยุคที่สอง เป็นมาตรฐานการส่งระบบดิจิตอลที่ก้าวหน้าและทันสมัยที่สุด ที่มีประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุดในขณะนี้ สัญญาณมีความคงทน และมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน ได้นำเสนอการผสมสัญญาณ (Modulation) ระบบใหม่สุด และเทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูงเท่าที่มีใช้งานในการส่งโทรทัศน์ในคลื่นความถี่ที่ส่งสัญญาณภาพ และเสียง และการบริการส่งข้อมูลที่ใช้สำหรับเครื่องรับโทรทัศน์แบบเคลื่อนที่ (Portable) และเครื่องรับโทรทัศน์แบบมือถือ (Mobile) นับว่าเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพอย่างน้อยสูงกว่า 50% ของระบบส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลอื่นๆ ทั่วโลก

เอกสารนี้เผยแพร่เพื่อวัตถุประสงค์ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 มาตรฐานการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินยุคที่สอง

มาตรฐานการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินยุคที่สอง : Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial (DVB-T2) เป็นมาตรฐานของโทรทัศน์ดิจิตอลภาคพื้นดินที่ประเทศไทยเลือกมาให้แทนระบบ PAL ซึ่งเดิมเป็นระบบอะนาล็อกซึ่งใช้มานานกว่า 40 ปี ในช่วงความถี่เดิมโทรทัศน์ระบบดิจิตอลจะสามารถส่งได้จำนวนช่องที่มากกว่าเดิม ทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า และรองรับช่องความคมชัดสูง (High Definition: HD)

DVB-T2 ใช้การมอดูเลตสัญญาณแบบตั้งฉากกันในเชิงความถี่ (OFDM) เช่นเดียวกับการกระจายสัญญาณวิทยุโทรทัศน์ภาคพื้นดินแบบอื่นๆ DAB และ DVB-T ในยุคปี 1990 เป็นมาตรฐานแรกในการกระจายสัญญาณภาคพื้นดิน ที่ใช้เทคนิคการมอดูเลตนี้ ตั้งแต่มาตรฐานของโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินกำเนิดขึ้น ระบบสื่อสารไร้สายชนิดต่างๆ เช่น IEEE 802.11 IEEE 802.16 และ LTE ล้วนดัดแปลงมาจากวิธีการส่งแบบ OFDM



รูปที่ 2.2 แผนภาพของระบบ DVB-T2 [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น มาตรฐาน DVB-T2 แรกเริ่มได้เกิดขึ้นจากความต้องการในการเพิ่มประสิทธิภาพของสเปกตรัมในการใช้งานโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดิน ในช่วงความถี่ UHF/VHF มาตรฐานนี้มีความยืดหยุ่นสูงในการรวมกันของสัญญาณ การเข้ารหัส การมอดูเลตพารามิเตอร์ต่างๆ โดยการส่งสัญญาณของ DVB-T2 แสดงในรูปแบบที่ 1 ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญต่างๆ ที่อธิบายได้จากตารางที่ 2.1 ที่ได้สรุปข้อดีต่างๆ ไว้ดังนี้

**ตารางที่ 2.1** แสดงข้อดีในด้านต่างๆ ของระบบ DVB-T2

Block	New Features	Benefits
Input	PLP	Flexibility
	New Input Formats	Flexibility
	High Efficiency Modes	Less Overhead
BICM	LDPC	Robustness
	256-QAM	Capacity
	Rotate Constellations	Robustness
	Time Interleaving	Robustness
Frame Builder	FEF	Flexibility
OFDM Generation	Larger FFT Size	Capacity
	New Bandwidths	Flexibility
	Pilot Patterns	Performance on Mobile
	PAPR Reduction	Energy Efficiency

เมื่อเปรียบเทียบกับระบบ DVB-T ระบบ DVB-T2 ได้มีการเพิ่มองค์ประกอบ T2-Gateway เข้าไปเชื่อมกับตัวมอดูเลตหรือตัวมอดูเลตในระบบที่ทำการแปลงเป็น SFN บริเวณผิวยอดต่อที่เรียกว่า T2-MI (T2 Modulator Interface) [3] T2-Gateway จะทำให้ตัวมอดูเลตทุกตัว มอดูเลตทุกสัญญาณให้อยู่ในสัญญาณความถี่เดียวกัน หรือในกรณีสัญญาณ 2 สัญญาณ คือ MISO SFN

### 2.2.1 เทคโนโลยีการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิตอลยุคที่สอง

การกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลภาคพื้นดินยุคที่สอง Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial (DVB-T2) เป็นมาตรฐานที่พัฒนามาจากมาตรฐานการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอลยุคแรก (DVB-T) โดยนำเทคนิคการมอดูเลตและการเข้ารหัสแบบใหม่มาใช้เพื่อให้การใช้สเปกตรัมในการส่งสัญญาณประเภทเสียง วิดีโอและข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับหลักการทำงานนั้น DVB-T2 ใช้การมอดูเลชันแบบ OFDM (orthogonal frequency division multiplex) เช่นเดียวกับมาตรฐาน DVB-T สำหรับการแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลผิดพลาดนั้น DVB-T2 ใช้วิธีการเข้ารหัสแบบที่ใช้กับมาตรฐาน DVB-S2 ได้แก่การเข้ารหัสแบบ LDPC (Low Density Parity Check) ซึ่งใช้ร่วมกับการเข้ารหัสแบบ BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquengham) ทำให้สัญญาณที่ถูกเข้ารหัสทนทานต่อสัญญาณแทรกสอด (Interference) และสัญญาณรบกวนที่มีระดับสูงได้ดี และสัญลักษณ์ของโทรทัศน์ระบบดิจิทัลเป็นดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สัญลักษณ์ของมาตรฐานการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลยุคที่สอง [1]

โดยคุณสมบัติที่สำคัญของเทคโนโลยีใหม่ DVB-T2 คือ

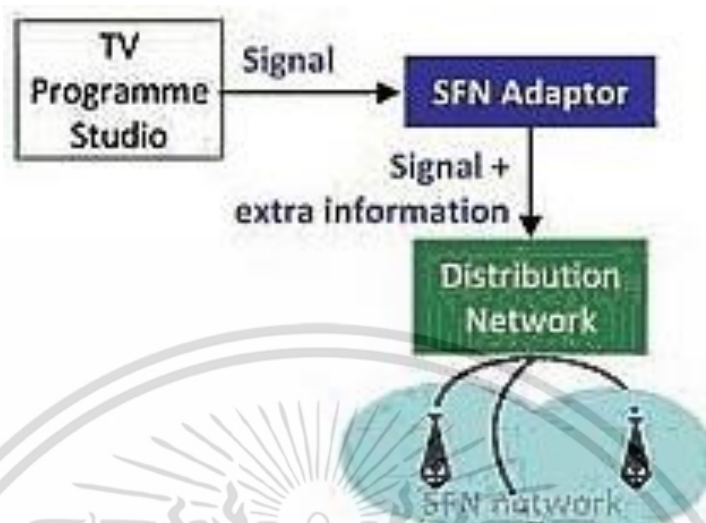
- (1) Multiple Physical Layer Pipe ให้มีการแยกปรับโหมดเกี่ยวกับการกำหนดค่าความคงทนของสัญญาณโทรทัศน์ ในการที่จะรองรับการให้บริการส่งโทรทัศน์ในรูปแบบต่างสภาพการใช้งาน ตัวอย่าง เช่น การรับสัญญาณโทรทัศน์ภายในอาคาร หรือการรับสัญญาณโทรทัศน์จากสายอากาศที่ติดตั้งบนหลังคาของอาคารที่ปกกาศัย อีกทั้งช่วยให้การส่งสัญญาณโทรทัศน์ โดยเฉพาะเครื่องรับโทรทัศน์ช่วยประหยัดพลังงานในการถอดรหัสสัญญาณเฉพาะการส่งสัญญาณโทรทัศน์รายการเดียวเมื่อเทียบกับการถอดรหัสการให้บริการส่งสัญญาณหลายรายการรวมกัน (Multiplex)
- (2) Alamouti coding วิธีการหลากหลายในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ จะช่วยปรับปรุงเขตบริการรับสัญญาณโทรทัศน์ ในเครือข่ายการส่งโทรทัศน์ความถี่เดียวกัน ในพื้นที่บริการขนาดเล็ก
- (3) Rotated constellations ให้การเพิ่มความคงทนของสัญญาณโทรทัศน์ในการส่งการระดับต่ำ
- (4) Extended interval ขยายช่องสัญญาณในการส่งข้อมูลสัญญาณในการเพิ่มข้อมูล (bit) เพิ่มขนาดกลุ่มข้อมูล (cell) เพิ่มช่องคาบเวลา และเพิ่มช่วงการใช้คลื่นความถี่
- (5) Future Extension Frame (FEF) ให้มาตรฐานการส่งสัญญาณโทรทัศน์ที่สอดคล้องการปรับคุณภาพสูงขึ้นในอนาคต

## 2.2.2 โครงข่ายความถี่เดียว

โทรทัศน์ระบบดิจิทัลถูกพัฒนาขึ้นในทวีปยุโรป ในปี ค.ศ. 1998 เพื่อทดแทนระบบ PAL & SECAM 625 เส้น 50 Hz โดยองค์การ Digital Video Broadcasting Project (DVB) ซึ่งเป็นความร่วมมือกันระหว่าง สถานีวิทยุโทรทัศน์ และบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ในอุตสาหกรรมวิทยุโทรทัศน์ โดยการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินถูกออกแบบเพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่เขตบริการได้ดีทั้งในบริเวณที่ไม่มีคลื่นวิทยุรบกวน และในบริเวณที่มีคลื่นวิทยุรบกวน โดยเครื่องรับสามารถรับสัญญาณได้ดีไม่ว่าเครื่องรับสัญญาณจะอยู่กับที่หรือกำลังเคลื่อนที่อยู่ก็ตาม หากรับสัญญาณในเขตบริการที่ไม่มีคลื่นรบกวนจะสามารถรับสัญญาณได้ดีแม้ขณะเคลื่อนที่ ระบบถูกออกแบบให้มีความทนทานต่อสภาพการรับสัญญาณซ้ำซ้อนจากคลื่นวิทยุที่สะท้อนจากภูเขา อาคาร หรือสิ่งก่อสร้าง และสามารถรับสัญญาณเดียวกันที่ส่งออกมาจากสถานีส่งหลายๆ สถานีพร้อมกันได้

เอกสารนี้ ซึ่งโครงข่ายแบบนี้เรียกว่า โครงข่ายความถี่เดียว (SFN : Single Frequency Network) นอกจากนี้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรทัศน์ระบบดิจิตอลยังสามารถใช้แถบคลื่นความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่



รูปที่ 2.4 โครงข่ายความถี่เดียว (Single Frequency Network) [3]

สัญญาณภาพและเสียงของโทรทัศน์ระบบดิจิตอลถูกบีบอัดแบบ MPEG-2 และการผสมสัญญาณนั้นจะใช้แบบ COFDM (Code Orthogonal Frequency Division Multiplex) ซึ่งใช้คลื่นพาห้พหุคูณจำนวน 2,000 และ 8,000 คลื่น แต่ละคลื่นจะมีปริมาณข้อมูลไม่มากนัก จึงมีความทนทานต่อสภาพการรับสัญญาณซ้ำซ้อนจากคลื่นวิทยุแบบพหุวิถี (Multipath) ได้ดี

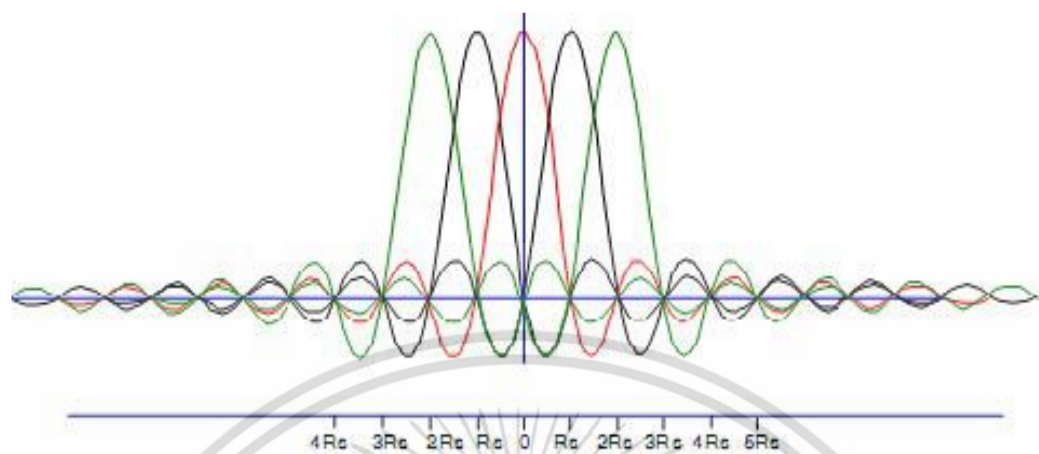
### 2.2.3 ระบบ OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing)

หลักการทำงานของ OFDM จะคล้ายกับ การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiplex หรือ FDM) นั่นคือทั้ง OFDM และ FDM เป็นการมัลติเพล็กซ์สัญญาณหลาย ๆ สัญญาณหรือการแบ่งช่องสัญญาณด้วยความถี่ แต่จะแตกต่างกันตรงที่ FDM เป็นเพียงการแบ่งสัญญาณความถี่ออกจากกันเพื่อให้แต่ละช่องสัญญาณนั้นไม่มีการรบกวนกัน แต่การที่จะทำให้แต่ละช่องสัญญาณไม่มารบกวนกันนั้นจำเป็นที่จะต้องมียุทธศาสตร์ (Guard band) ซึ่งเป็นช่วงความถี่ระหว่างช่องสัญญาณแต่ละช่อง โดยที่เราไม่สามารถใช้งานช่วงความถี่นี้ได้ จึงกลายเป็นความสูญเปล่า

ดังนั้นเพื่อให้การทำมัลติเพล็กซ์ในเชิงความถี่มีประสิทธิภาพมากขึ้นจึงมีการเสนอแนวคิดเพื่อที่จะลดช่วงของแถบป้องกัน โดยแนวคิดหนึ่งที่น่าสนใจคือการทำให้แต่ละช่องสัญญาณที่มีอยู่เป็นอิสระต่อกันและไม่สามารถที่จะส่งผลกระทบต่อกันและกันได้ ซึ่งการทำให้ช่องสัญญาณที่มีอยู่อิสระต่อกันสามารถทำได้โดยให้แต่ละสัญญาณตั้งฉาก (Orthogonal) ต่อกันเมื่อสัญญาณสองสัญญาณตั้งฉากต่อกัน ค่าผลคูณของเวกเตอร์ของสัญญาณทางคณิตศาสตร์ก็จะเป็นศูนย์ ซึ่งก็คือเป็นอิสระต่อกันโดยทั่วไปแล้วการใช้งาน OFDM ซึ่งเป็นลักษณะของการสื่อสารหลายคลื่นพาห้ (Multi-carrier communication) สามารถช่วยในเรื่องของสัญญาณรบกวนต่างๆ ได้ดี

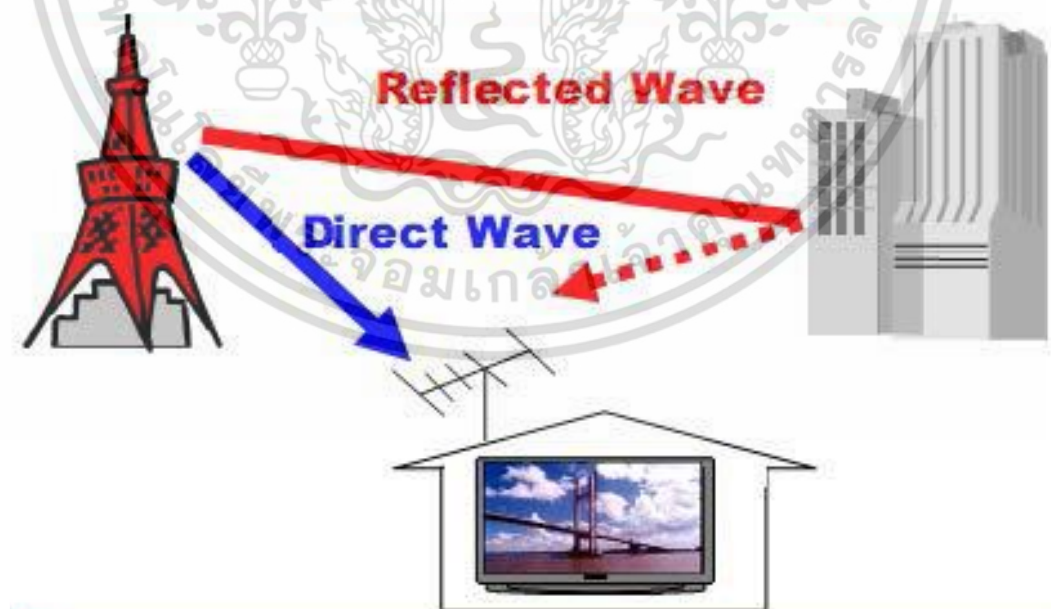
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเข้าถึงเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะทำการกระจายสัญญาณออกเป็นหลายๆ ส่วนและส่งเข้าไปในแต่ละช่องสัญญาณเพื่อส่งออกอากาศอีกทีหนึ่ง รูปที่ 2.5 แสดงการมอดูเลตสัญญาณแบบ OFDM



รูปที่ 2.5 แถบความถี่ของสัญญาณ OFDM [2]

เนื่องจากวิธีการส่งสัญญาณของโทรทัศน์ระบบดิจิทัลนั้นสามารถเลือกตัวแปรได้หลายมิติ จึงสามารถเลือกส่งอัตราบิต (Bit rate) ของการส่งได้ตั้งแต่ 4-32 Mbit/s ในย่านความถี่ VHF และ UHF ของแต่ละประเทศ การเลือกอัตราบิตสูงจะทำให้จำนวนช่องรายการมากจริง แต่จะจำกัดขอบเขตของพิธีการให้บริการ เนื่องจากข้อจำกัดทางด้าน C/N ความทนทานต่อสภาพการรับสัญญาณซ้ำซ้อนจากคลื่นวิทยุแบบพหุวิถี (Multipath) และการรับด้วยเครื่องรับแบบพกพาหรือการรับในยานพาหนะขณะเคลื่อนที่ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การมัลติเพล็กซ์แบบ OFDM ทำให้มีความทนทานต่อช่องสัญญาณพหุวิถี [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยคุณสมบัติทางเทคนิคของโทรทัศน์ระบบดิจิทัลที่สามารถเลือกตัวแปรต่างๆ ได้ ระบบจึงมีความยืดหยุ่นมากกว่า คือ

- (1) สามารถเลือกการมอดูเลตแบบ QPSK, 16QAM หรือ 64QAM ได้
- (2) สามารถเลือกอัตราการเข้ารหัสแก้ไขความผิดพลาดแบบไปข้างหน้า (Forward Error Correction) ได้ 5 อัตราคือ 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 และ 7/8
- (3) สามารถเลือกช่วงป้องกัน (Guard interval) ได้ 4 แบบคือ 1/4, 1/8, 1/16 และ 1/32
- (4) สามารถเลือกจำนวนคลื่นพาห้ได้ 2 แบบ คือ 2K หรือ 8K

#### 2.2.4 การเข้ารหัสข้อมูล

ในระบบ DVB Conditional Access (DVB-CA) จะมีการกำหนดขั้นตอน วิธีเพื่อการเข้ารหัสข้อมูลพื้นฐาน DVB Common Scrambling Algorithm (DVB-CSA) และ Common Interface (DVB-CI) เพื่อสำหรับใช้ในการประมวลผลข้อมูลที่ได้ถูกเข้ารหัส (scrambled content) โดยผู้ให้บริการ DVB นั้นจะต้องพัฒนาระบบ Conditional access นี้ภายใต้ข้อจำกัดตามที่ทาง DVB กำหนดมา ในข้อมูลที่ส่งมาจากทางผู้ให้บริการนั้น จะประกอบไปด้วยข้อมูลพื้นฐาน (Metadata) ที่เรียกว่า DVB Service Information (DVB-SI) ที่จะเป็นตัวบอกรายละเอียดเบื้องต้นให้กับโปรแกรมที่เหมาะสมกับข้อมูลที่ส่งมา ข้อมูลใน SI เองที่บอกถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลต่าง ๆ ที่อยู่ใน MPEG Stream เพื่อนำข้อมูลไปใช้สร้างเนื้อหาที่มนุษย์สามารถเข้าใจได้อีกด้วย เช่น Electronic Program Guide (EPG) ออกอากาศ มีกำหนดขนาดช่วงคาบเวลา (Guard interval size) ในการกำหนดสัญญาณนำร่อง (Pilot signal)

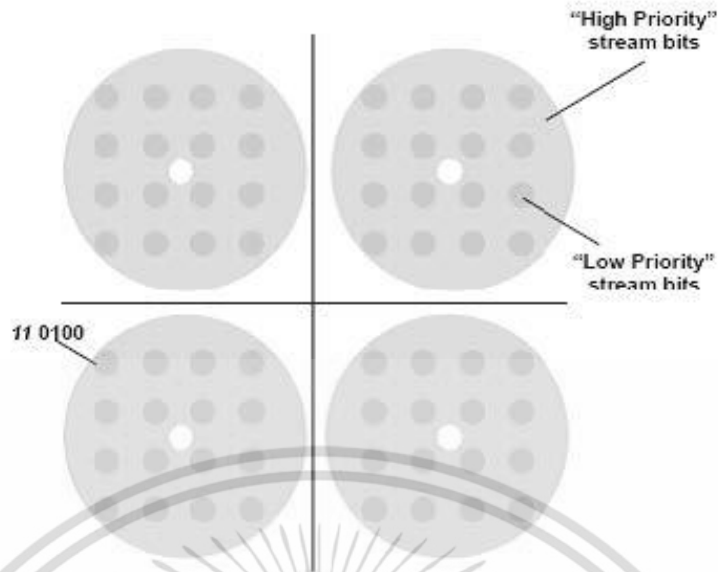
ซึ่งในขณะนี้ DVB กำลังอยู่ในช่วงพัฒนาเรื่องการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ โดยการหาทางป้องกันไม่ให้ข้อมูลหรือสื่อที่ผู้ใช้ได้ทำการอัดลงใน Set Top Box ไม่ให้สามารถนำไปเผยแพร่บน internet ได้ แต่สามารถที่จะให้ใช้ในบ้านหรือในเครือข่ายที่เป็นส่วนตัวได้เท่านั้น ซึ่งเรียกระบบนี้ว่า DVB-CPCM

#### 2.2.5 การมอดูเลตแบบลำดับชั้น (Hierarchical modulation)

สำหรับการมอดูเลตแบบลำดับชั้นนั้น สตรีมของข้อมูลที่แตกต่างกัน 2 ประเภทจะถูกมอดูเลตเหลือเพียงสตรีมเดียว โดยสตรีมประเภทแรกที่มีนามมอดูเลตเรียกว่า สตรีมที่มีลำดับความสำคัญสูง (High Priority หรือ HP) ซึ่งสตรีมประเภทนี้จะถูกฝังลงในสตรีมที่มีลำดับความสำคัญต่ำ (Low Priority หรือ LP) สำหรับเครื่องรับที่รับสัญญาณได้ดีจะรับสตรีมข้อมูลได้ทั้งสองประเภท ในขณะที่เครื่องรับที่รับสัญญาณได้ไม่ดีจะรับได้เพียงสตรีมข้อมูลที่มีลำดับความสำคัญสูง โดยทั่วไปผู้บริการแพร่ภาพโทรทัศน์จะกำหนดให้สตรีมที่มีลำดับความสำคัญต่ำส่งข้อมูลที่มีอัตราการส่งข้อมูลสูง และเหมาะสมสำหรับเครื่องรับที่อยู่กับที่ อย่างเช่น สัญญาณ HDTV

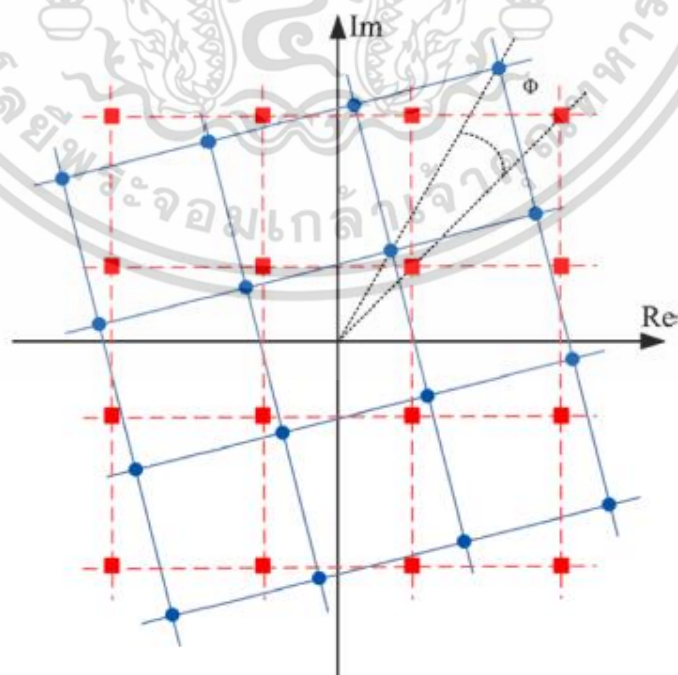
โทรทัศน์ระบบดิจิทัลเป็นระบบที่ใช้คลื่นพาห้หลายคลื่น โดยใช้คลื่นพาห้จำนวน 2,000 หรือ 8,000 คลื่น และแต่ละคลื่นใช้วิธีการผสมสัญญาณแบบ QPSK, 16QAM หรือ 64QAM ยกตัวอย่างการทำงานได้ดังนี้ กำหนดให้ระบบทำการผสมสัญญาณข้อมูลเข้ากับสัญญาณคลื่นพาห้แบบ 64QAM และมีการฝังสัญญาณข้อมูลที่ถูกมอดูเลตแบบ QPSK ลงไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การมอดูเลตแบบลำดับชั้น โดยใช้การมอดูเลตสตรีมข้อมูลแบบ 64QAM และฝังสตรีมข้อมูลที่ถูกลมอดูเลตแบบ QPSK ลงไปด้วย [2]

หนึ่งในรูปแบบใหม่ของ DVB-T2 คือการใช้ การหมุนคอนสเตลเลชัน ซึ่งเทคนิคดังกล่าวรู้จักกันในนาม สัญญาณว่างแบบหลากหลาย (signal space diversity : SSD) เมื่อสรุปได้ว่าการใช้งานไดเวอร์ซิตีดีสามารถใช้งานกับบิตข้อมูลที่มีความซ้ำซ้อนกันมากได้ ทำให้วิธีการนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของภาครับได้ดีเมื่อพบกับสภาวะการจางหายของช่องสัญญาณ และเมื่อมีการหมุนเซลล์ไปที่มุมต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยเมื่อหมุนไปยัง 16-QAM คอนสเตลเลชันจะปรากฏลักษณะที่จำเพาะต่างกันไป โดยมุมของการหมุนจะขึ้นอยู่กับการใช้งานคอนสเตลเลชัน



รูปที่ 2.8 การคอนสเตลเลชัน 16-QAM ทั้งแบบธรรมดา และแบบมีการหมุน [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เห็นแก่ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ข้อกำหนดของการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลในประเทศไทย

ในพุทธศักราช 2498 ประเทศไทยมีการแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศน์ครั้งแรกเป็นระบบขาวดำ 525 เส้น มาตรฐาน NTSC (National Television Standard Committee) ออกอากาศผ่านสถานีไทยโทรทัศน์ช่อง 4 ที่บางขุนพรหม ต่อมาในปีพ.ศ. 2513 มีการเปลี่ยนแปลงระบบการส่งโทรทัศน์ขาวดำมาเป็นระบบการส่งโทรทัศน์สี 625 เส้น มาตรฐาน PAL (Phase Alternation Line) ซึ่งมาตรฐานนี้ ได้มีการแบ่งแถบความถี่ของการใช้งานออกเป็นย่านความถี่ VHF (Very High Frequency) และย่านความถี่ UHF (Ultra High Frequency) โดยที่ย่านความถี่ VHF ซึ่งได้ถูกใช้งานเต็ม สถานีโทรทัศน์ที่จัดตั้งขึ้นมาใหม่จึงต้องใช้ในย่านความถี่ UHF ดังนั้น ย่านความถี่การส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบ VHF และ UHF ในประเทศไทย เป็นดังตารางที่ 2.2 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 ย่านความถี่การส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบ VHF และ UHF ในประเทศไทย

สถานีโทรทัศน์	ระบบ (ช่อง)	ช่องความถี่ (MHz)	แบนด์วิดท์ (MHz)
สถานีวิทยุโทรทัศน์ไทยทีวีสีช่อง 3	UHF Band IV (32)	558 – 566	8
	UHF Band V (60)	782 – 790	8
สถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 5	VHF Band I (5)	174 – 181	7
สถานีโทรทัศน์สีกองทัพบกช่อง 7	VHF Band III (7)	188 – 195	7
สถานีโทรทัศน์โมเดิร์นไนน์ทีวีช่อง 9	VHF Band III (9)	202 – 209	7
สถานีวิทยุโทรทัศน์แห่งประเทศไทยช่อง 11	VHF Band III (11)	216 – 223	7
สถานีโทรทัศน์ทีวีไทย	UHF Band IV (29)	534 – 542	8

### 2.3.1 สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลในประเทศไทย

ในประเทศไทย ได้มีการเปลี่ยนระบบโทรทัศน์แอนะล็อกมาตรฐาน PAL มาเป็น ระบบโทรทัศน์ดิจิทัลมาตรฐาน DVB - T2 (Digital Video broadcasting – second generation terrestrial) ซึ่งเป็นระบบโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดินที่ก้าวหน้าและทันสมัยที่สุด เนื่องจากพัฒนาปรับปรุงมาจากระบบมาตรฐาน DVB-T มีประสิทธิภาพการใช้งานที่ดีที่สุด โดยน าเทคโนโลยีการผสมสัญญาณ OFDM (Orthogonal frequency division multiplex) โดยการแบ่งคลื่นความถี่วิทยุเป็นความถี่ย่อยจ านวนมาก เพื่อให้ส่งสัญญาณที่มีความคงทน และใช้เทคนิคระบบป้องกันแก้ไขความผิดพลาดของสัญญาณ ดังนั้น ประสิทธิภาพการส่งสัญญาณของข้อมูลจึงมากกว่าระบบมาตรฐาน DVB-T อยู่ ประมาณ 1.5 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ในระบบมาตรฐาน DVB-T2 สามารถมีช่องรายการโทรทัศน์จำนวนมากเพียงพอสำหรับการจัดสรรให้หน่วยงานต่างๆ เพิ่มความคงทนของสัญญาณในการส่งการระดับต่ำ รวมทั้งปรับคุณภาพสูงขึ้นในอนาคตจะเห็นได้ว่า ความแตกต่างของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบอนาล็อก และสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล แสดงดังตารางที่ 2.3 และตารางที่ 2.4 ดังนี้

ตารางที่ 2.3 ความแตกต่างของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบอนาล็อก และ สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล

คุณภาพของสัญญาณ	สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดิน	
	ระบบแอนะล็อก	ระบบดิจิทัล
คุณภาพของสัญญาณภาพ	 <p>Analog Signal</p> <p>สัญญาณจะเปลี่ยนไปตามระดับความแรงของสัญญาณที่รับได้</p>	 <p>Digital Signal</p> <p>คุณภาพคมชัดอยู่เสมอ</p>
คุณภาพเสียง	สัญญาณเสียงมาในระบบสเตอริโอ 2 ช่องสัญญาณ	สัญญาณเสียงมาในระบบรอบทิศทาง 5.1 ช่องสัญญาณ

นอกจากนี้สัญญาณโทรทัศน์สามารถส่งผ่านช่องนำสัญญาณ หรือสายเคเบิลไปยังเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งเป็นการติดต่อโดยตรงระหว่างสถานีส่งกับผู้รับสัญญาณ เช่น การส่ง สัญญาณโทรทัศน์ผ่านสายโคแอกเซียล หรือสายส่งใยแก้วนำแสง และโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต (IPTV) เป็นต้น

ตารางที่ 2.4 ความแตกต่างของสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบอนาล็อก และสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล (ต่อ)

คุณภาพของสัญญาณ	สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดิน	
	ระบบแอนะล็อก	ระบบดิจิทัล
คุณภาพของภาพ	 <p>ซึ่งจะอยู่ในระดับเพียงความคมชัดมาตรฐาน (SD) คือ 4:3</p>	 <p>ซึ่งจะอยู่ในระดับความคมชัดสูงเต็มที(Full HD) คือ 16:9</p>
ประสิทธิภาพการใช้คลื่นความถี่	ช่องรายการได้เพียงช่องรายการเดียว	-ระบบ DVB-T ส่งสัญญาณในรูปแบบ SDTV ได้ 8-10 รายการ -ระบบ HDTV 2 รายการ และ SDTV 2 รายการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรทัศน์ระบบดิจิทัลที่ไทยใช้ส่งระบบดิจิทัลซึ่งเป็นระบบ MPEG-4 ที่โทรทัศน์ทุกระบบรับได้ โดยใช้กล่องรับสัญญาณระบบดิจิทัลเชื่อมต่อผ่าน HDMI ภาพที่ออกมาจะก็จะชัดกว่าการเสียบสาย AV เป็นอย่างมาก (ระบบส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลกับมาตรฐานทางเลือกในการบีบอัดสัญญาณภาพหรือเสียงในแบบ MPEG2 หรือ MPEG4 เป็นคนละอย่างกัน แต่โดยทั่วไปการส่งสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลทั่วโลกในปัจจุบัน มักจะเลือกใช้มาตรฐานการบีบอัดสัญญาณภาพแบบ MPEG-4/H.264 AVC และมีมาตรฐานของการบีบอัดสัญญาณเสียงแบบ MPEG-4/HE AACv2 ซึ่งมีแพร่หลายและให้ประสิทธิภาพสูงกว่า MPEG-2 มาก)

### 2.3.2 รายชื่อช่องโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลและหมายเลขที่ออกอากาศ

กสทช มีกฎว่า ทุกช่องที่ออกอากาศโทรทัศน์ระบบดิจิทัลต้องส่งผ่านดาวเทียมได้ด้วยตามกฎหมาย Must carry ของ กสทช. เพื่อเป็นการรับประกันว่าไม่ว่าประชาชนจะใช้เทคโนโลยีใดๆ ในการรับชมโทรทัศน์จะสามารถรับชมบริการโทรทัศน์ดิจิทัลที่ใช้คลื่นความถี่ซึ่งเป็นบริการที่ใช้ทรัพยากรของชาติได้อย่างเท่าเทียมและทั่วถึง ดังนั้น ใครมีกล่องรับสัญญาณดาวเทียมอยู่แล้วไม่ว่ายี่ห้อใดๆ สามารถรับสัญญาณได้เพียงแต่ช่องไหนที่เป็นช่อง HD (ความคมชัดสูง) ในกรณีที่เครื่องรับ ไม่รองรับภาพระบบ HD ก็ยังสามารถรับชมช่อง HD ได้ แต่จะได้ความคมชัดของภาพในแบบปกติ (SD = Standard Definition) เท่านั้น

กสทช กำหนด ให้โทรทัศน์ดิจิทัลมีทั้งหมด 48 ช่อง โดยที่มีรายการท้องถิ่นของชุมชน 12 ช่อง รายการสาธารณะ 12 ช่อง รายการสำหรับภาคธุรกิจ 24 ช่อง โดยใน 24 ช่องนี้ 17 ช่องจะเป็นมาตรฐานปกติ (SD) และอีก 7 ช่องเป็นมาตรฐานความคมชัดสูง (HD) และสำหรับระบบโทรทัศน์รูปแบบใหม่ของประเทศไทยที่กำลังจะเกิดขึ้นในปี 2557 นี้ จะใช้ระบบ DVB-T2 ซึ่งเป็นระบบ MPEG-4 เป็นมาตรฐาน โดยทางคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์ (กสท.) ได้กำหนดให้เพิ่มช่องรายการโทรทัศน์ภาคพื้นดินของประเทศไทยเพิ่มเป็น 48 ช่อง แบ่งเป็นช่องฟรีทีวีที่ออกอากาศผ่านระบบเดิม (อะนาล็อก) จำนวน 6 ช่อง ส่วนอีก 42 ช่อง จะเป็นช่องฟรีทีวีที่ออกอากาศในระบบดิจิทัล แสดงในตารางที่ 2.5 ดังนี้

ตารางที่ 2.5 รายชื่อผู้ให้บริการโครงข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล

อุปกรณ์รวมส่งสัญญาณ	เลขช่องสัญญาณ (เฉพาะสถานีกรุงเทพฯ)	ความถี่ (MHz)	ผู้ให้บริการโครงข่าย
MUX#1	26	514	สถานีวิทยุโทรทัศน์แห่งประเทศไทย เอ็นบีที เอชดี (PRD)
MUX#2	36	594	สถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบก (TV MUX2)
MUX#3	40	626	บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน) (MCOT)
MUX#4	44	658	องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (TPBS)
MUX#5	52	722	สถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบก (TV MUX5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ได้มีการประมูลหมายเลขช่องโทรทัศน์ที่ใช้ออกอากาศโดยผู้ที่ประมูลชนะด้วยมูลค่าเงินสูงสุด ได้เลือกหมายเลขก่อนตามลำดับในการประมูลครั้งนี้ได้มีผู้ให้บริการ โทรข่ายโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล ในปัจจุบันมีทั้งหมด 5 MUX จากผู้ให้บริการ 4 องค์กร

ทาง กสทช. ได้ทำการจัดช่องรายการโทรทัศน์ที่จะออกอากาศตามแต่ละประเภท มีทั้งหมด 48 ช่อง แสดงดังตารางที่ 2.6 ดังนี้

ตารางที่ 2.6 รายชื่อช่องโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล และหมายเลขที่ใช้ออกอากาศ

ประเภทบริการสาธารณะ มีทั้งหมด 12 ช่อง				
เลขช่อง	ความถี่	สัญลักษณ์	ชื่อช่อง	ระบบการออกอากาศ
1	594 MHz (MUX#2)		ททบ.5	HD
2	514 MHz (MUX#1)		NBT	HD
3	658 MHz (MUX#4)		Thai PBS	HD
4-12	ไม่มีการออกอากาศ เนื่องจากยังไม่มีผู้ได้รับใบอนุญาตให้บริการ			
ประเภทบริการทางธุรกิจ หมวดหมู่เด็ก เยาวชน และครอบครัว มีทั้งหมด 3 ช่อง				
13	658 MHz (MUX#4)		3 Family	SD
14	626 MHz (MUX#3)		MCOT Kid & Family	SD
15	658 MHz (MUX#4)		LOCA	SD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการศึกษาวิจัย

ในการวิเคราะห์การแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศนระบบดิจิทัล จากภาคส่งไปจนถึงภาครับ ควรพิจารณาช่องสัญญาณด้วย ซึ่งช่องสัญญาณมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นตัวกลางของการส่งผ่านสัญญาณ และยังบอกได้ถึงประสิทธิภาพของระบบส่งสัญญาณ และบอกคุณภาพของสัญญาณได้อีกด้วย

### 3.1 สมการการสูญเสียเชิงวิถี

การคำนวณหาการสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) จากระยะทางของภาคส่งมาถึงภาครับ สามารถแสดงได้ในสมการที่ 3.1 [4]

$$PL[dB] = PL(d_0) + 10 \log \left( \frac{d}{d_0} \right) \quad (3.1)$$

เมื่อ  $d$  คือ ระยะทาง (km)  
 $d_0$  คือ ระยะอ้างอิง (km)

### 3.2 แบบจำลองช่องสัญญาณ

ช่องสัญญาณ หมายถึง สื่อกลางหรือตัวกลางที่ข่าวสารเดินทางผ่าน อาจจะเป็นอากาศ สายนำสัญญาณต่างๆ หรือกล่าวในเทอมของการสื่อสารไร้สายว่า ช่องสัญญาณคือสื่อกลางในการรับส่งข้อมูลระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ คุณลักษณะของสัญญาณที่เปลี่ยนไประหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ จะขึ้นอยู่กับระยะทางที่สัญญาณเดินทางผ่านสิ่งแวดล้อม เช่น อาคาร ตึกสูง ต้นไม้ รูปแบบของสัญญาณที่รับมาได้จากสัญญาณที่ส่งมาระหว่างสายอากาศทั้งสองจะเรียกว่า “แบบจำลองช่องสัญญาณ” [5]

ถ้าค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้แสดงได้ดังสมการ [5]

$$P_r(d) = \frac{K}{d^n} + X \quad (3.2)$$

เมื่อ  $K$  คือ ค่าคงที่ของการส่งสัญญาณโทรทัศนภาคพื้นดิน  
 $X$  คือ ตัวแปรสุ่มของการเกิดคลื่นหลายวิถี  
 $d$  คือ ระยะทาง (km)  
 $n$  คือ เลขชี้กำลังของการสูญเสียในเส้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้น (Linear regression model) เป็นแบบจำลองทางสถิติที่สามารถนำมาเป็นแบบสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลได้ เนื่องจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่และมีความสัมพันธ์กันในระดับใด ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์อย่างง่าย จะทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ดังกล่าว ว่ามีความสัมพันธ์คล้อยตามกันไปทิศทางเดียวกันหรือไม่อาจจะต้องทำการวิเคราะห์โดยอาศัยค่าที่ทราบจากตัวแปรหนึ่งแล้วนำไปพยากรณ์ค่าของอีกตัวแปรหนึ่งว่ามีความแปรผันในสัดส่วนเท่าใดหรือในระดับใด การวิเคราะห์ในลักษณะของตัวเกณฑ์เพื่อใช้ในการพยากรณ์นี้ เรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) ซึ่งถ้าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ โดยมีค่าความชันใกล้เคียงกับ 1.00 หรือ -1.00 ย่อมหมายถึงว่าการพยากรณ์จะยิ่งมีความถูกต้องมากขึ้น [6]

ถ้ากำหนดให้  $y = \overline{P_r(d)}[dB]$ ,  $A = -10n$ ,  $x = \log(d)$  และ  $B = \overline{P_r(1)}[dB]$  จะได้

$$y = Ax + B \quad (3.3)$$

มีข้อมูลที่ได้จากการวัดจำนวน  $N$  ข้อมูล ดังนั้นจะได้  $y_i = P_r(d_i)[dB]$ ,  $x_i = \log(d_i)$  เมื่อ  $i = 1, 2, 3, \dots, N$  จะได้ค่า Error ของข้อมูลที่  $i$  เป็น

$$E_i = y_i - Ax_i - B \quad (3.4)$$

Total Square Error คือ

$$\sum_{i=1}^N E_i^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - Ax_i - B)^2 \quad (3.5)$$

ทำเงื่อนไข Least Square Error

$$\frac{\partial}{\partial A} \sum_{i=1}^N (y_i - Ax_i - B)^2 = 0 \quad (3.6)$$

$$\frac{\partial}{\partial B} \sum_{i=1}^N (y_i - Ax_i - B)^2 = 0 \quad (3.7)$$

จะได้

$$\sum_{i=1}^N x_i y_i - A \sum_{i=1}^N x_i^2 - B \sum_{i=1}^N x_i = 0 \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum_{i=1}^N y_i - A \sum_{i=1}^N x_i^2 - BN = 0 \quad (3.9)$$

จัดรูปใหม่ได้

$$A \sum_{i=1}^N x_i^2 + B \sum_{i=1}^N x_i = \sum_{i=1}^N x_i y_i \quad (3.10)$$

$$A \sum_{i=1}^N x_i + BN = \sum_{i=1}^N y_i \quad (3.11)$$

พิจารณาที่กำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่รับได้

$$\overline{P_r(d)} = \frac{K}{d^n} \quad (3.12)$$

จะได้

$$\overline{P_r(d)}[dB] = -10n \log d + K[dB] \quad (3.13)$$

$$\overline{P_r(d_0)}[dB] = -10n \log d_0 + K[dB] \quad (3.14)$$

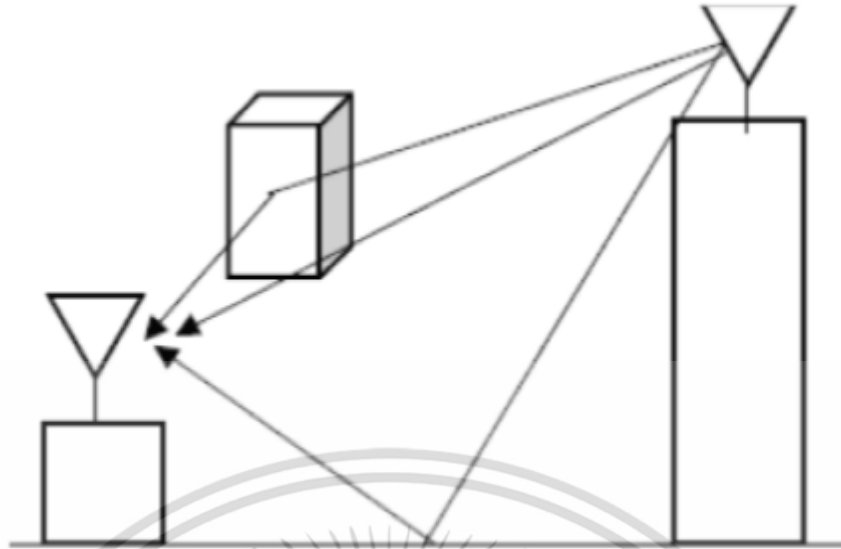
เมื่อ  $d_0$  คือ ระยะทางอ้างอิง (Reference Distance) จะได้

$$\overline{P_r(d)}[dB] = -10n \log \left( \frac{d}{d_0} \right) + \overline{P_r(d_0)}[dB] \quad (3.15)$$

โดยที่  $\overline{P_r(d)}$  คือ ค่ากำลังสัญญาณที่รับได้

จากสมการที่ 3.2 พิจารณาในเทอมของ  $X$  หรือตัวแปรสุ่มของการเกิด Multipath fading กล่าวคือ การแพร่ของคลื่นไปได้ในหลายเส้นทาง ทั้งทางตรงในแนวระดับสายตา (LOS) และเกิดจากการสะท้อนวัตถุที่อยู่ระหว่างเส้นทาง ทำให้ผลรวมของสัญญาณที่รับได้เกิดการหักล้างกันจากคลื่นที่แพร่มาจากหลายเส้นทาง เป็นผลทำให้สัญญาณที่รับได้มีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและเฟส แสดงได้ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 การเกิดคลื่นหลายวิถี [2]

โดยสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ Multipath fading สามารถแสดงได้ดังสมการ [6]

$$X = P_r(d) - \overline{P_r(d)} [dB] \quad (3.16)$$

เมื่อ  $X$  คือ การจางหายหลายวิถี  
 $P_r(d)$  คือ กำลังสัญญาณที่ได้รับได้  
 $\overline{P_r(d)}$  คือ กำลังของสัญญาณ

และจะใช้ทฤษฎีในทางสถิติช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

### 3.3 ทฤษฎีทางสถิติและความน่าจะเป็น

สัญญาณที่ไม่สามารถรู้ค่าได้แน่นอน หรือไม่สามารถรู้ค่าล่วงหน้าได้ สัญญาณประเภทนี้จะเกิดขึ้นในระบบสื่อสารทั้งในลักษณะที่เป็นสัญญาณที่ไม่ต้องการ คือเป็นสัญญาณรบกวน และสัญญาณที่ต้องการ คือสัญญาณข้อมูลข่าวสาร เนื่องจากสัญญาณแรนดอมเป็นสัญญาณที่ไม่สามารถรู้การเปลี่ยนแปลงที่แน่นอนได้ การจัดการกับสัญญาณประเภทนี้จึงต้องใช้หลักการทางสถิติเข้ามาช่วยประมาณคุณสมบัติของสัญญาณ โดยหาค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหาฟังก์ชันความหนาแน่นและแจกแจงความน่าจะเป็นเพื่อหาแบบจำลองทางสถิติ [7]

#### 3.3.1 ตัวแปรสุ่ม

นิยามเป็นฟังก์ชันที่มีค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของสัญญาณรบกวนอยู่ในฟังก์ชันนั้น หรือเข้าใจง่ายๆว่าตัวแปรสุ่มนี้จะต้องประกอบไปด้วยข้อมูลแต่ละจุดของสัญญาณดังนั้นตัวแปรสุ่มจะมีค่าอยู่ในช่วงที่น้อยที่สุดไปถึงค่ามากที่สุดของข้อมูลสัญญาณ

#### 3.3.2 ค่าเฉลี่ย

ถ้ากำหนดให้สัญญาณเป็นฟังก์ชัน  $n(t)$  มีค่าอยู่ในช่วง  $t_1$  ถึง  $t_2$  จะได้ค่าเฉลี่ยของสัญญาณเป็นดังสมการที่ 3.17

$$\bar{n} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} n(t) dt \quad (3.17)$$

การวิเคราะห์สัญญาณแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งจะเป็นข้อมูลแต่ละจุดสัญญาณ กำหนดให้มีข้อมูลของสัญญาณทั้งหมด  $N$  จุด ข้อมูลของแต่ละจุดแทนด้วย  $x_i$  เมื่อ  $i = 1, 2, 3, \dots, N$  จะได้ค่าเฉลี่ยของสัญญาณเป็น

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (3.18)$$

#### 3.3.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ถ้ากำหนดให้สัญญาณเป็นฟังก์ชัน  $n(t)$  มีค่าอยู่ในช่วง  $t_1$  ถึง  $t_2$  จะได้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณเป็น

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} [n(t) - \bar{n}]^2 dt} \quad (3.19)$$

การวิเคราะห์สัญญาณแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งจะเป็นข้อมูลแต่ละจุดสัญญาณ กำหนดให้มีข้อมูลของสัญญาณทั้งหมด  $N$  จุด ข้อมูลของแต่ละจุดแทนด้วย  $x_i$  เมื่อ  $i = 1, 2, 3, \dots, N$  จะได้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2} \quad (3.20)$$

### 3.3.4 ความแปรปรวน

ถ้ากำหนดให้สัญญาณเป็นฟังก์ชัน  $n(t)$  มีค่าอยู่ในช่วง  $t_1$  ถึง  $t_2$  จะได้ความแปรปรวนของสัญญาณเป็น

$$\sigma^2 = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} [n(t) - \bar{n}]^2 dt \quad (3.21)$$

การวิเคราะห์สัญญาณแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งจะเป็นข้อมูลแต่ละจุดสัญญาณ กำหนดให้มีข้อมูลของสัญญาณทั้งหมด  $N$  จุด ข้อมูลของแต่ละจุดแทนด้วย  $x_i$  เมื่อ  $i = 1, 2, 3, \dots, N$  จะได้ความแปรปรวนของสัญญาณเป็น

$$s^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2 \quad (3.22)$$

### 3.3.5 การแจกแจงข้อมูล

การแจกแจงความถี่ เป็นวิธีการจัดเรียงข้อมูลที่ได้จากการสอบวัดเพื่อสะดวกในการแปลความหมาย เช่นการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) การแจกแจงแบบ t (T-distribution) การแจกแจงแบบไคสแควร์ (Chi-square distribution) และการแจกแจงแบบ F (F-distribution) เป็นต้น [7]

การแจกแจงแบบปกติเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การแจกแจงแบบเกาส์หรือการแจกแจงแบบเกาส์เซียน (Gaussian distribution) โดย Karl Pearson เป็นคนแรกที่วิเคราะห์การแจกแจงแบบนี้ในปี ค.ศ. 1893 ซึ่งเป็นการแจกแจงความถี่ของค่าที่วัดเป็นปกติการแจกแจงแบบนี้มีการนำไปใช้มากที่สุดในการจัดการข้อมูล สมการของเส้นโค้งปกติ ได้แก่

$$Y = \frac{N}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} \quad (3.23)$$

เมื่อ	$Y$	คือ ค่าสูงสุดของเส้นโค้งเมื่อเขียนบนแกน $x$
	$N$	คือ จำนวนข้อมูล
	$\sigma$	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการแจกแจง
	$\mu$	คือ ค่าเฉลี่ยของการแจกแจง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.6 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น

กำหนดให้ ความน่าจะเป็น  $P\{X \leq x\}$  เป็นความน่าจะเป็นของเหตุการณ์  $X \leq x$  และกำหนดให้  $f_x(x)$  เป็นฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น ซึ่งนิยามเป็น

$$f_x(x) = \frac{d}{dx} P\{X \leq x\} \quad (3.24)$$

ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ

$$f_x(x) \geq 0 \quad (3.25)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_x(x) dx = 1 \quad (3.26)$$

$$F_x(x) = \int_{-\infty}^x f_x(\xi) d\xi \quad (3.27)$$

$$P\{x_1 \leq X \leq x_2\} = \int_{x_1}^{x_2} f_x(x) dx \quad (3.28)$$

### 3.3.7 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม

กำหนดให้ ความน่าจะเป็น  $P\{X \leq x\}$  เป็นความน่าจะเป็นของเหตุการณ์  $X \leq x$  และกำหนดให้  $f_x(x)$  เป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมความน่าจะเป็น ซึ่งนิยามเป็น

$$F_x(x) = P\{X \leq x\} \quad (3.29)$$

ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ

$$F_x(-\infty) = 0 \quad (3.30)$$

$$F_x(\infty) = 1 \quad (3.31)$$

$$0 \leq F_x(x) \leq 1 \quad (3.32)$$

$$F_x(x_1) \leq F_x(x_2) \text{ เมื่อ } x_1 \leq x_2 \quad (3.33)$$

$$P\{x_1 \leq X \leq x_2\} = F_x(x_2) - F_x(x_1) \quad (3.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์สองสัญญาณในการส่งผ่านสัญญาณโทรทัศนิติจิตอล โดยจะแบ่งหัวห่วยย่อยออกเป็นส่วนตัวต่าง ๆ ดังนี้ ในส่วนเริ่มต้นกล่าวถึงทฤษฎีการประยุกต์ใช้สูตรการสูญเสียเชิงวิถึ จากนั้นได้นำเสนอแบบจำลองช่องสัญญาณเพื่อวิเคราะห์ระบบการส่งสัญญาณ พร้อมทั้งได้นำแบบจำลองของการถดถอยเชิงเส้นมาใช้สำหรับการวิเคราะห์ผล ในส่วนภาครับผู้วิจัยนี้ได้พิจารณาใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมในการวัดผลการทดลอง และนำข้อมูลที่ได้มาสรุปผลในเชิงสถิติ ในรูปของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น และฟังก์ชันการแจกแจงสะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

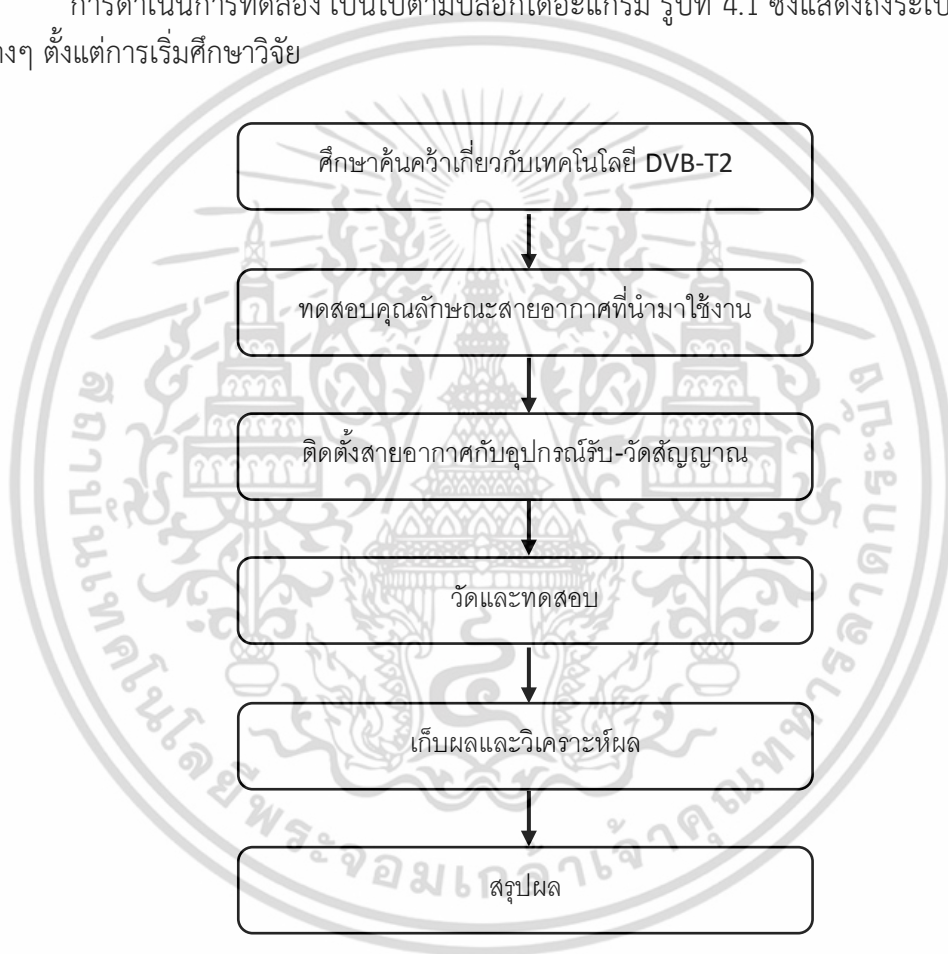
## บทที่ 4

### แบบแผนการทดลองวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงแบบแผนการทดลองวัดและทดลองวัดสัญญาณในพื้นที่รับบริการ ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในการแสดงถึงประสิทธิภาพของช่องสัญญาณ

#### 4.1 แผนขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินการทดลอง เป็นไปตามบล็อกไดอะแกรม รูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงถึงระเบียบ ขั้นตอนต่างๆ ตั้งแต่การเริ่มศึกษาวิจัย



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการทดลองการวัดช่องสัญญาณ

ซึ่งในบทนี้เป็นการนำเสนอแบบแผนการวัดและแบบแผนการทดลอง โดยได้ทำการวัดทั้งภายใน และภายนอกอาคาร ภายในบริเวณเขตพื้นที่รับสัญญาณของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของช่องสัญญาณภายในบริเวณดังกล่าว ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลเพื่อแนวทางในการออกแบบระบบภาคส่งสัญญาณ เพื่อให้การรับชมโทรทัศน์ระบบดิจิทัลเกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยรายละเอียดขั้นตอนการทดลองสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ขั้นตอนในการเตรียมการทดลอง

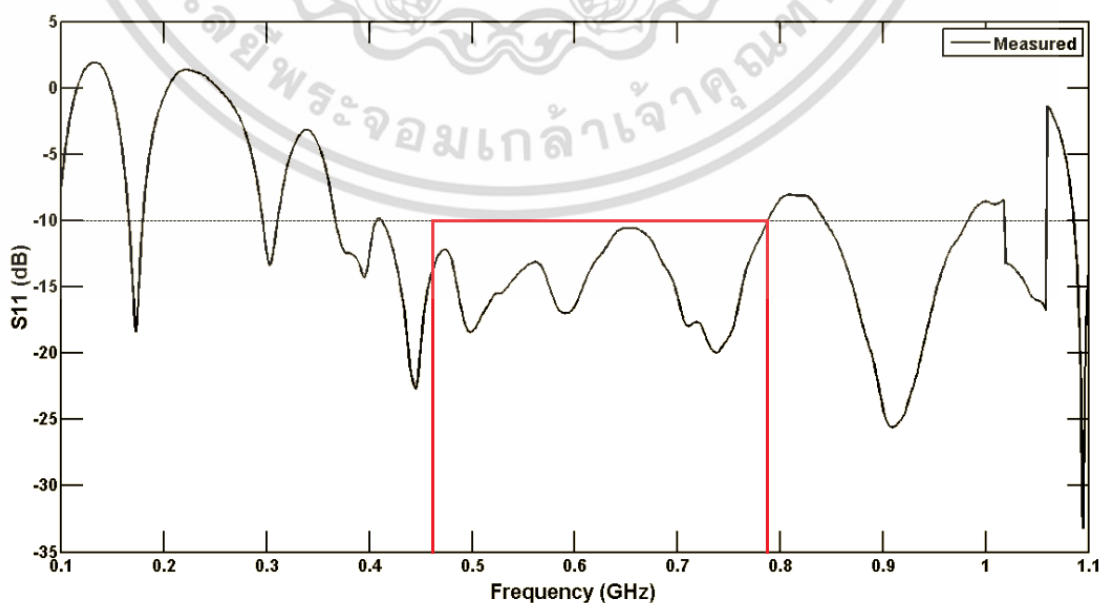
### 4.2.1 สายอากาศไดโพล

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ สายอากาศไดโพล ชนิดปรับความถี่ได้ในช่วง UHF-Band เป็นสายอากาศในการทดลองรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิตอล ดังรูปที่ 4.2 โดยสายอากาศสามารถตอบสนองในช่วงความถี่ใช้งานได้เป็นอย่างดี มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม เมื่อนำไปต่อกับสายนำสัญญาณละเอียดเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแล้ว สามารถเก็บผลได้อย่างแม่นยำถูกต้อง และนำไปต่อกับกล่องรับสัญญาณเพื่อทดสอบกับโทรทัศน์ว่าสามารถรับสัญญาณได้จริง



รูปที่ 4.2 สายอากาศไดโพลที่ใช้ในการทดลอง (Dipole Antenna)

นำสายอากาศไดโพลแบบปรับความถี่ได้ในช่วงของ UHF Band โดยความถี่ที่ใช้ในการทดลอง คือ 626 MHz คำนวณค่าความยาวคลื่นแล้วจะได้ว่า ความยาวของแต่ละองค์ประกอบมีค่าเท่ากับ 11.5 เซนติเมตร



รูปที่ 4.3 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศไดโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เขียนได้ยื่นใบขออนุญาตในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer)

เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม ยี่ห้อ Rover สามารถใช้งานได้ทั้งในโครงข่าย DVB-T2, C2 และ S2 และสามารถแสดงผลของ ระดับความแรงสัญญาณ อัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน (SNR) และตารางกระบวนกร constellation



รูปที่ 4.4 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

#### 4.2.3 กล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล (Set Top Box)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้โทรทัศน์ สามารถตั้งค่าให้อินเตอร์เฟซกับอินเตอร์เน็ตและทำให้โทรทัศน์ สามารถตั้งค่าการรับและถอดรหัสการแพร่ภาพโทรทัศน์แบบดิจิทัล DTV Set Top Box บางครั้ง เรียกว่า ตัวรับ (Receiver) Set Top Box จำเป็นมากสำหรับผู้ชมโทรทัศน์ที่ต้องการใช้โทรทัศน์แอนะล็อกให้รับภาพดิจิทัล



รูปที่ 4.5 กล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

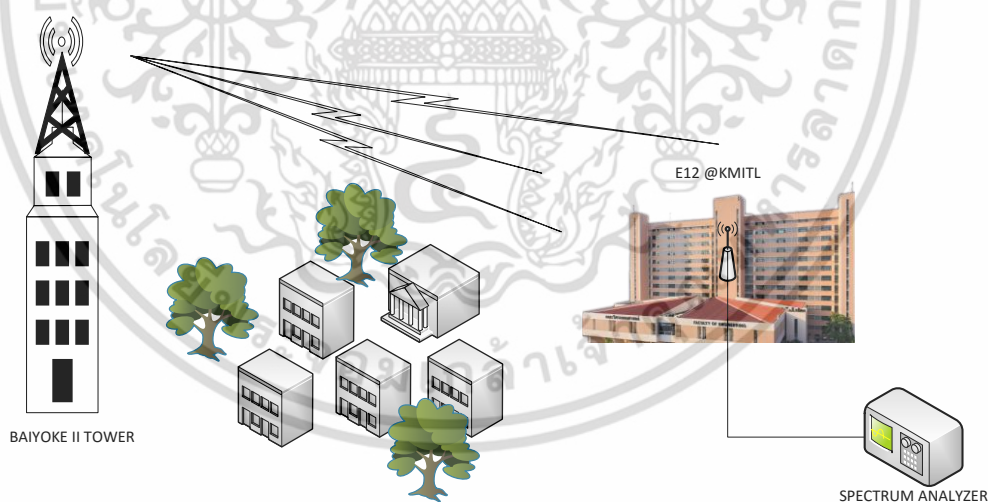
### 4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	470 – 890 MHz
ระยะทาง	25 กิโลเมตร
สายอากาศส่ง	อาคารใบหยก 2
สายอากาศรับ	ติดตั้งตามจุดตัวอย่าง
ชนิดของสายอากาศ	สายอากาศไดโพล
การวางสายอากาศ	แนวนอน
ความสูงของสายอากาศรับ	1.5 เมตร
แบนด์วิธ	8 MHz
ช่อง (ความถี่)	ช่อง 40 (626 MHz)

และได้ออกแบบการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.6

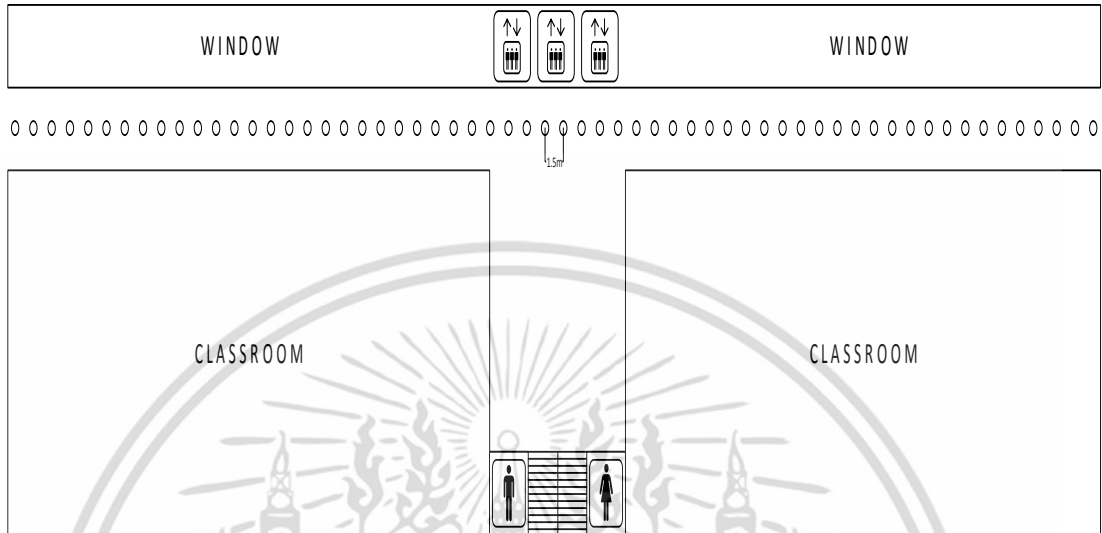


รูปที่ 4.6 การออกแบบการทดลองวัดสัญญาณโทรศัพท์ระบบดิจิทัล

การทดลองวัดสัญญาณได้ถูกดำเนินการขึ้นบริเวณแนวทางเดินของแต่ละชั้นภายในอาคารเรียนรวม E-12 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมในการวัดระดับความแรงของสัญญาณที่รับได้ตามจุดตัวอย่างต่างๆ ตลอดแนวทางเดินภายในอาคารเรียนรวม E-12 และใช้สายอากาศไดโพลเป็นสายอากาศรับสัญญาณโทรศัพท์ ซึ่งออกอากาศมาจากตึกใบหยกห่างออกไปเป็นระยะทางประมาณ 25 กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และกำหนดการทดลองที่สอง เป็นการวัดสัญญาณบริเวณรอบนอกอาคาร โดยกำหนดจุดตัวอย่างลักษณะเดียวกับการทดลองภายในอาคาร ดังรูปที่ 4.7 เป็นการทดลองภายในอาคาร และรูปที่ 4.8 เป็นการทดลองบริเวณรอบนอกอาคาร



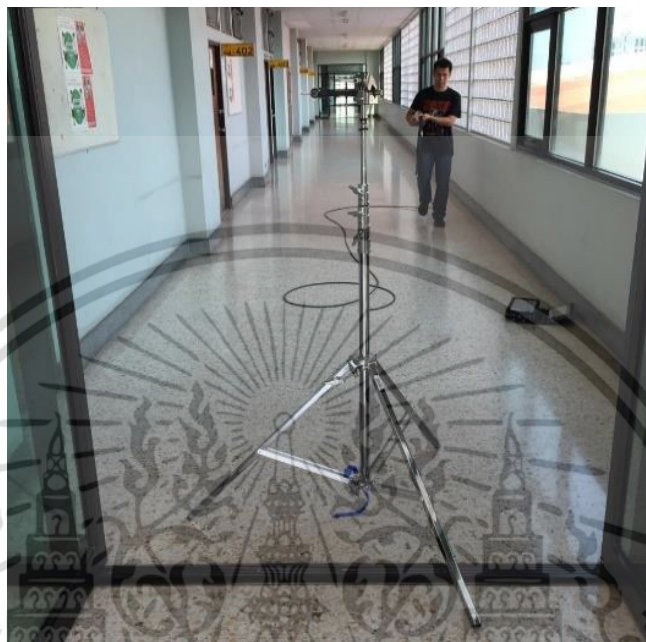
รูปที่ 4.7 แบบจำลองของการทดลองวัดสัญญาณภายในอาคาร



รูปที่ 4.8 แบบจำลองของการทดลองวัดสัญญาณภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองวัดการรับสัญญาณโดยกำหนดจุดตัวอย่างชั้นละ 60 จุด โดยให้จุดตัวอย่างอยู่ในแนว  
กึ่งกลางของระยะทางกว้างของทางเดิน คือ ห่างจากกำแพง 1.5 เมตร จากฝั่งซ้ายและขวาของกำแพง  
และกำหนดให้แต่ละจุดห่างจากกัน 1.5 เมตร เรียงต่อกันไปตามแนวทางเดิน



รูปที่ 4.9 การจัดเตรียมการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4.2 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวัด

รายการอุปกรณ์	จำนวน
เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม	1 เครื่อง
สายอากาศไดโพล	1 ตัว
ขาตั้งสายอากาศ	1 ตัว
กล่องรับสัญญาณโทรทัศน์	1 ชุด
โทรทัศน์ทดสอบ	1 เครื่อง
สายนำสัญญาณ	2 เส้น
คอนเนคเตอร์	2 ตัว

#### 4.5 ขั้นตอนและวิธีในการทดลอง

1. เริ่มทำการติดตั้งสายอากาศตามแบบจำลองการทดลอง โดยใช้สายอากาศไดโพลในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล ติดตั้งสายอากาศที่ความสูง 1.75 เมตร บนขาตั้งสายอากาศ
2. ปรับความยาวของสายอากาศให้ได้ตามช่วงความถี่ที่ใช้ทดลอง
3. ต่อสายนำสัญญาณให้เรียบร้อย
4. ทำการวัดสัญญาณด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม
5. ทำการทดสอบกับเครื่องรับโทรทัศน์
6. ทำการวัดโดยเลื่อนตำแหน่งของสายอากาศรับไปเรื่อยๆ ตามจุดตัวอย่าง
7. นำผลที่ได้ไปประมวลผลในโปรแกรม Matlab® และทำการวิเคราะห์

#### 4.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงแบบแผนการทดลองและการวัดทดลองสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล เพื่อวิเคราะห์ค่าการสูญเสียเชิงวิถี และผลกระทบจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ ในสถานะภายในอาคารซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอแบบจำลองทางสถิติ คือ แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้น และใช้สายอากาศไดโพลเป็นอุปกรณ์ในการวัดทดสอบ จากนั้นทำการติดตั้งและตั้งค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4.1แล้วทำการวัดตามกระบวนการในการทดลองตามขั้นตอนที่ 4.5 ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น แล้วนำผลที่บันทึกในคอมพิวเตอร์ไปทำการประมวลผลด้วยโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพต่อไป

## บทที่ 5

### ผลการทดลองวัดและวิเคราะห์

#### 5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการวิเคราะห์และการสรุปผลการทดลองวิจัย ซึ่งใช้หลักการวิเคราะห์ช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้สูตรการสูญเสียเชิงวิถี และทางด้านรับได้ใช้สายอากาศไดโพล ซึ่งเก็บผลการทดลองด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม แสดงหลักการวิเคราะห์ไว้ในบทที่ 3 ผลที่ได้จากการวัดหรือการทดสอบจริงของช่องสัญญาณการส่งผ่านในสภาพแวดล้อมจริง จากนั้นได้นำเอาผลการวัดมาทำการประเมินผล เพื่อนำพารามิเตอร์มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลของความแตกต่าง และเปรียบเทียบผลการทดลองในรูปแบบต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการวางแผนการออกแบบระบบในอนาคตได้

#### 5.2 ผลการทดลองวัดและวิเคราะห์

##### 5.2.1 ผลการวัดภายในอาคาร

จากการทดสอบรับสัญญาณโทรศัพท์ระบบดิจิทัลในสภาวะภายในอาคาร ทำให้ทราบค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลของสัญญาณ ณ จุดตัวอย่างต่างๆ ภายในอาคาร

Point	Power (dB)	CNR (dB)	MER (dB)	BER
P01	43.6	25	24.7	$2 \times (10^{-3})$
P02	42.3	23	23.1	$4 \times (10^{-3})$
P03	45.1	25	25	$3 \times (10^{-3})$
P04	31.2	4	4.3	$4 \times (10^{-3})$
P05	31.2	16	16.4	$1 \times (10^{-2})$
P06	40.8	19	19	$9 \times (10^{-3})$
P07	37.5	17	17.3	$1 \times (10^{-2})$
P08	31.2	14	14.3	$1 \times (10^{-2})$
P09	41.2	22	22.4	$1 \times (10^{-2})$
P10	44.2	24	24.2	$4 \times (10^{-3})$
P11	45	26	26.2	$7 \times (10^{-3})$
P12	41.2	26	26.3	$1 \times (10^{-2})$
P13	44.2	27	27.3	$6 \times (10^{-4})$
P14	45.7	27	26.9	$2 \times (10^{-4})$
P15	42.6	27	26.6	$3 \times (10^{-4})$
P16	38.3	15	15.1	$1 \times (10^{-2})$
P17	29.9	16	16.2	$1 \times (10^{-2})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับใช้งานภายในหน่วยงานและไม่ควรเผยแพร่ไปยังบุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร

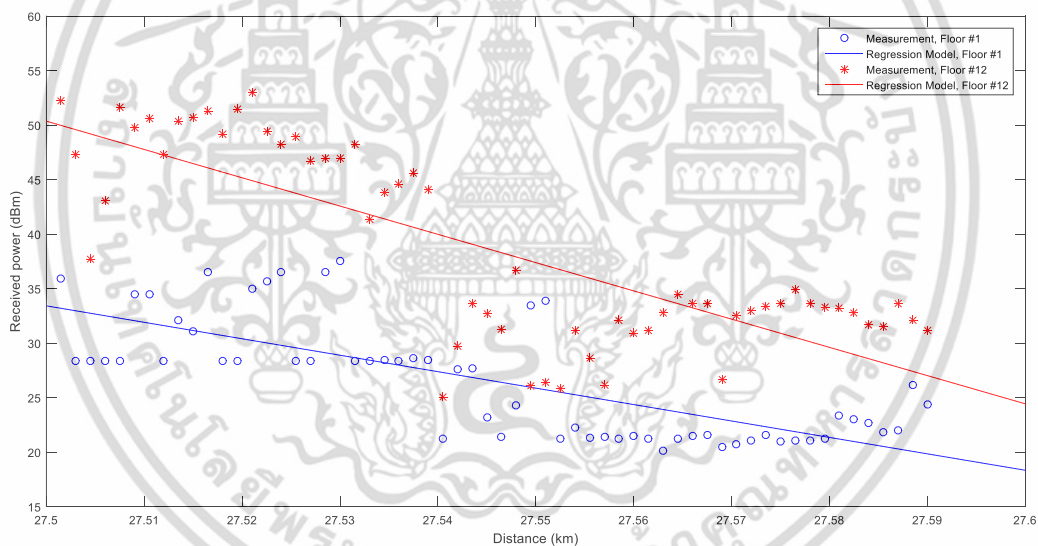
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P18	38.3	17	17.5	$1 \times (10^{-2})$
P19	38.1	20	20.1	$1 \times (10^{-2})$
P20	40.2	24	23.9	$5 \times (10^{-3})$
P21	44	28	27.6	$2 \times (10^{-4})$
P22	36.9	21	20.9	$1 \times (10^{-2})$
P23	38.9	25	24.6	$2 \times (10^{-3})$
P24	39.9	24	24.2	$1 \times (10^{-3})$
P25	36	20	20.4	$1 \times (10^{-2})$
P26	38.9	23	23.3	$1 \times (10^{-2})$
P27	36.8	22	22.4	$1 \times (10^{-2})$
P28	20.3	18	18.3	$1 \times (10^{-2})$
P29	19.4	18	18.4	$1 \times (10^{-2})$
P30	19.6	12	11.7	$1 \times (10^{-2})$
P31	20.6	18	17.6	$1 \times (10^{-2})$
P32	20.2	12	11.7	$1 \times (10^{-2})$
P33	19.8	14	14.5	$1 \times (10^{-2})$
P34	34.5	21	20.7	$1 \times (10^{-2})$
P35	27.2	19	18.6	$1 \times (10^{-2})$
P36	27.2	16	15.6	$1 \times (10^{-2})$
P37	27.2	16	16	$1 \times (10^{-2})$
P38	27.2	17	17.4	$1 \times (10^{-2})$
P39	33.8	19	18.6	$1 \times (10^{-2})$
P40	35.1	19	18.7	$1 \times (10^{-2})$
P41	27.2	18	18.2	$1 \times (10^{-2})$
P42	27.2	15	14.8	$1 \times (10^{-2})$
P43	27.2	14	14.5	$1 \times (10^{-2})$
P44	27.2	13	13.4	$1 \times (10^{-2})$
P45	27.2	13	12.9	$1 \times (10^{-2})$
P46	27.2	13	13.2	$1 \times (10^{-2})$
P47	27.2	13	12.8	$1 \times (10^{-2})$
P48	27.2	13	12.8	$1 \times (10^{-2})$
P49	27.2	11	10.9	$1 \times (10^{-2})$
P50	27.2	11	11.3	$1 \times (10^{-2})$
P51	27.2	12	12.2	$1 \times (10^{-2})$
P52	27.2	12	12.5	$1 \times (10^{-2})$
P53	27.2	17	16.8	$1 \times (10^{-2})$
P54	27.2	15	14.6	$1 \times (10^{-2})$
P55	34.8	14	14	$1 \times (10^{-2})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

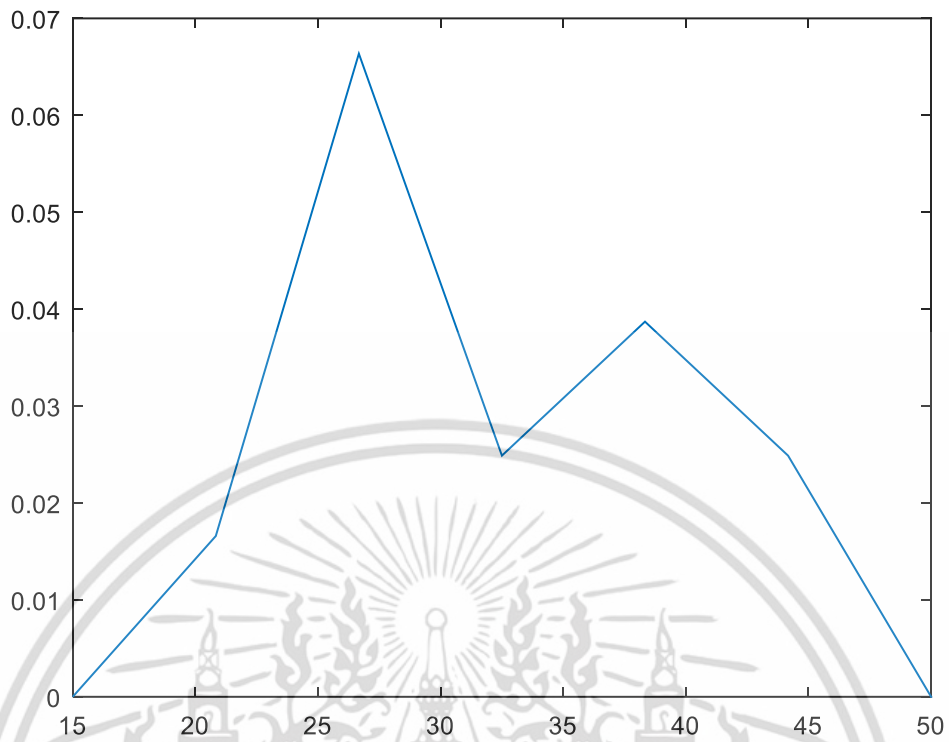
P56	27.2	14	14	$1 \times (10^{-2})$
P57	27.2	14	13.6	$1 \times (10^{-2})$
P58	33.9	16	15.9	$1 \times (10^{-2})$
P59	27.2	14	14.3	$1 \times (10^{-2})$
P60	27.2	16	15.7	$1 \times (10^{-2})$
P61	27.2	15	14.7	$1 \times (10^{-2})$
P62	27.2	15	14.6	$1 \times (10^{-2})$

เมื่อนำค่าที่วัดได้มาวิเคราะห์การสูญเสียเชิงวิถีส สามารถสรุปเป็นกราฟของกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ดังรูปที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีสของการรับสัญญาณในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร โดยเทียบที่ชั้น 1 ซึ่งเป็นชั้นต่ำสุด และชั้น 12 ซึ่งเป็นชั้นสูงสุด จะเห็นได้ว่าความสูงมีผลกระทบต่อกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ กล่าวคือ ยิ่งสายอากาศรับอยู่สูงมากเท่าไร กำลังงานที่รับได้ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่วนแต่ละจุดตัวอย่าง จะมีกำลังงานที่รับได้มากน้อยต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมโดยรอบ เช่น กำแพง หน้าต่าง หรือวัตถุในบริเวณนั้นๆ

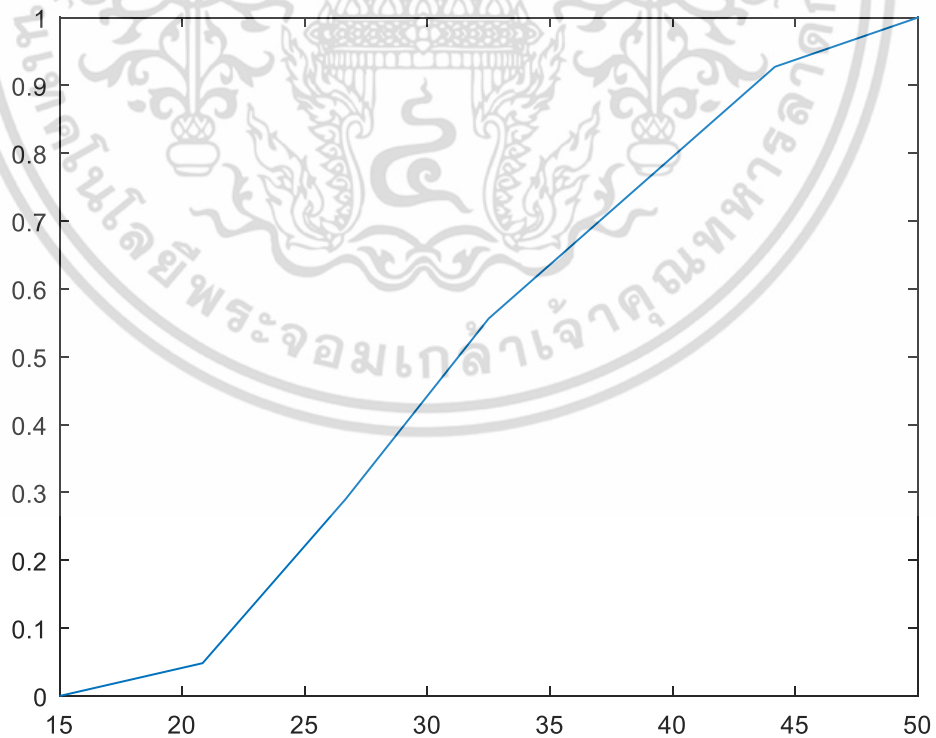


รูปที่ 5.1 การสูญเสียเชิงวิถีสของสัญญาณในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ณ ชั้น 1 และชั้น 12

จากรูปสามารถบอกได้ถึงค่าการสูญเสียเชิงวิถีสของสภาวะภายในอาคารของชั้นที่ 1 ซึ่งเป็นชั้นต่ำสุดโดยกำหนดด้วยเส้นสีน้ำเงิน และเส้นสีแดงแทนการสูญเสียเชิงวิถีสของชั้นที่ 12 ซึ่งสรุปได้ว่า ค่าความสูงของสายอากาศรับจะมีผลโดยตรงต่อค่ากำลังสัญญาณที่รับได้ โดยที่ตำแหน่งสูงกว่ามีแนวโน้มจะรับสัญญาณได้ดีกว่าในระดับความสูงที่น้อยกว่า

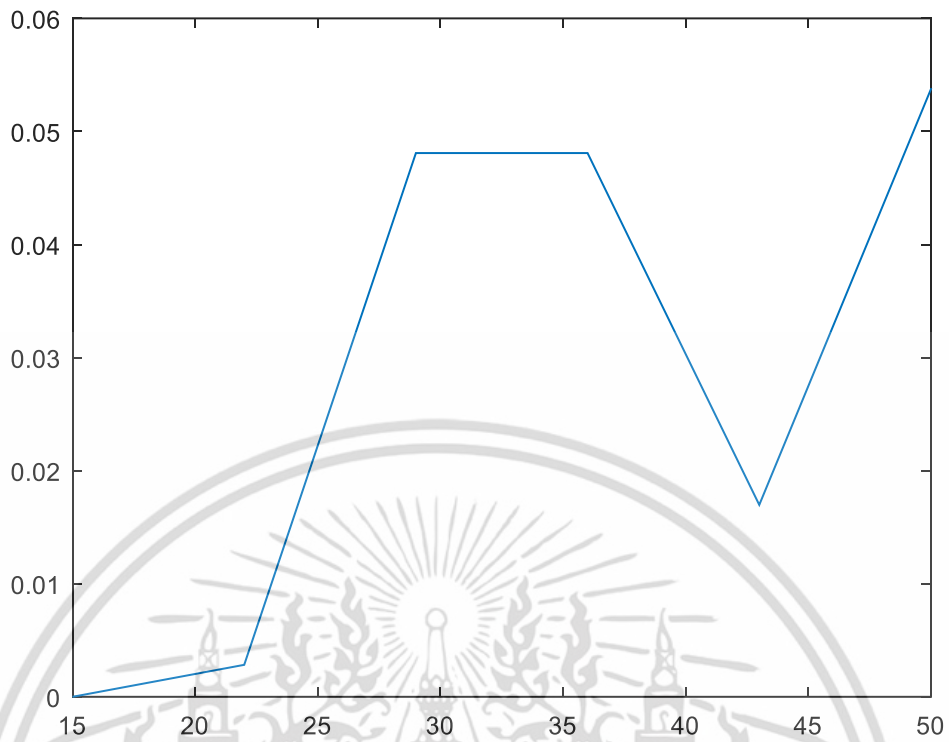


รูปที่ 5.2 กราฟ PDF ของการรับสัญญาณภายในอาคารที่ชั้น 1

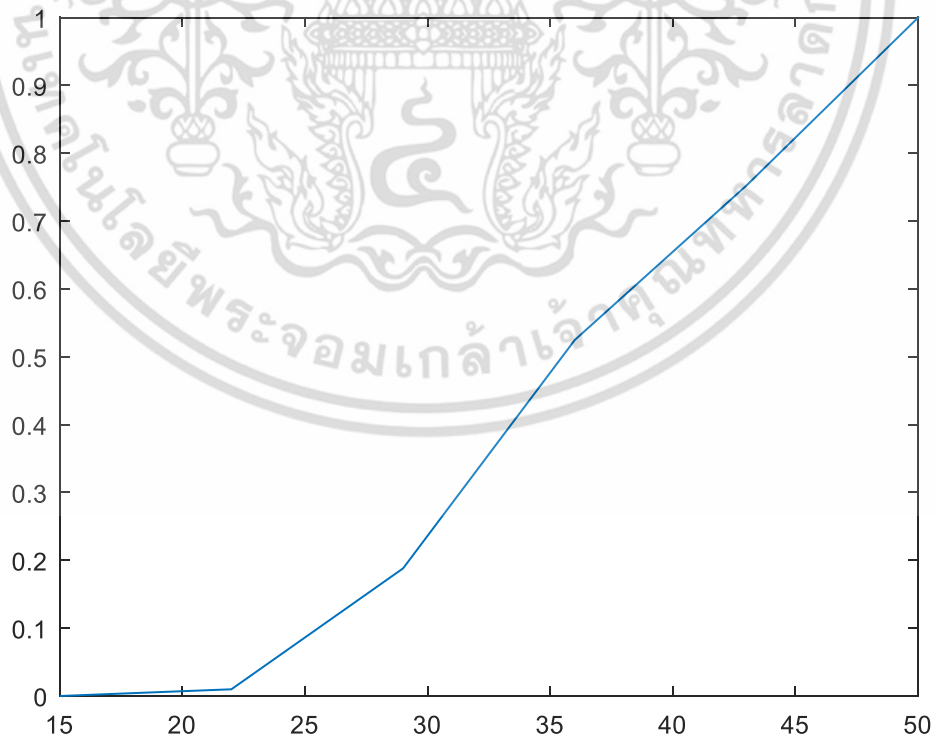


รูปที่ 5.3 กราฟ CDF ของการรับสัญญาณภายในอาคารที่ชั้น 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 กราฟ PDF ของการรับสัญญาณภายในอาคารที่ชั้น 12



รูปที่ 5.5 กราฟ CDF ของการรับสัญญาณภายในอาคารที่ชั้น 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.2 ผลการวัดรอบนอกอาคาร

จากการทดสอบรับสัญญาณโทรศัพท์ระบบดิจิทัลบริเวณรอบนอกตัวอาคาร ทำให้ทราบค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5.2

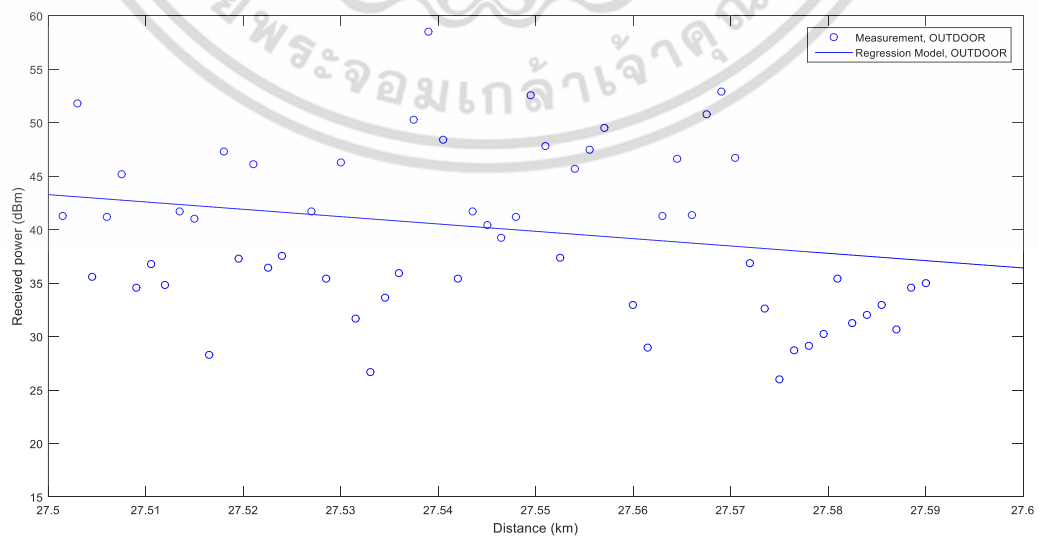
ตารางที่ 5.2 ข้อมูลของสัญญาณ ณ จุดตัวอย่างต่างๆ รอบนอกอาคาร

Point	Power (dB)	CNR (dB)	MER (dB)	BER
1	41.3	15.9	16.5	1.00E-08
2	51.8	21.6	24.6	1.00E-08
3	35.6	0.5	-	1.00E-08
4	41.2	10.9	18.4	1.00E-08
5	45.2	19.9	24.1	1.00E-08
6	34.6	9.0	10.5	1.00E-07
7	36.8	10.7	10.9	1.00E-08
8	34.8	9.2	17.6	1.00E-08
9	41.7	6.8	10.3	1.00E-08
10	41.0	15.3	22.1	1.00E-08
11	28.3	2.7	-	1.00E-08
12	47.3	21.4	17.8	1.00E-08
13	37.3	12.3	18.5	1.00E-08
14	46.1	20.8	22.5	1.00E-08
15	36.4	0.9	-	1.00E-08
16	37.5	6.7	16.4	1.00E-08
17	62.2	27.3	26.2	1.00E-08
18	41.7	6.3	13.5	1.00E-08
19	35.4	9.9	18.7	1.00E-08
20	46.3	20.9	29.5	1.00E-08
21	31.7	6.4	7.0	1.00E-08
22	26.7	1.2	-	1.00E-08
23	33.6	8.2	13.2	1.00E-08
24	35.9	10.0	16.1	1.00E-08
25	50.3	19.7	26.7	1.00E-08
26	58.5	33.4	30.8	1.00E-08
27	48.4	23.0	29.7	1.00E-08
28	35.4	9.7	9.3	1.00E-08
29	41.7	16.1	19.8	1.00E-08
30	40.4	15.0	17.5	1.00E-08
31	39.2	13.6	9.1	1.00E-08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

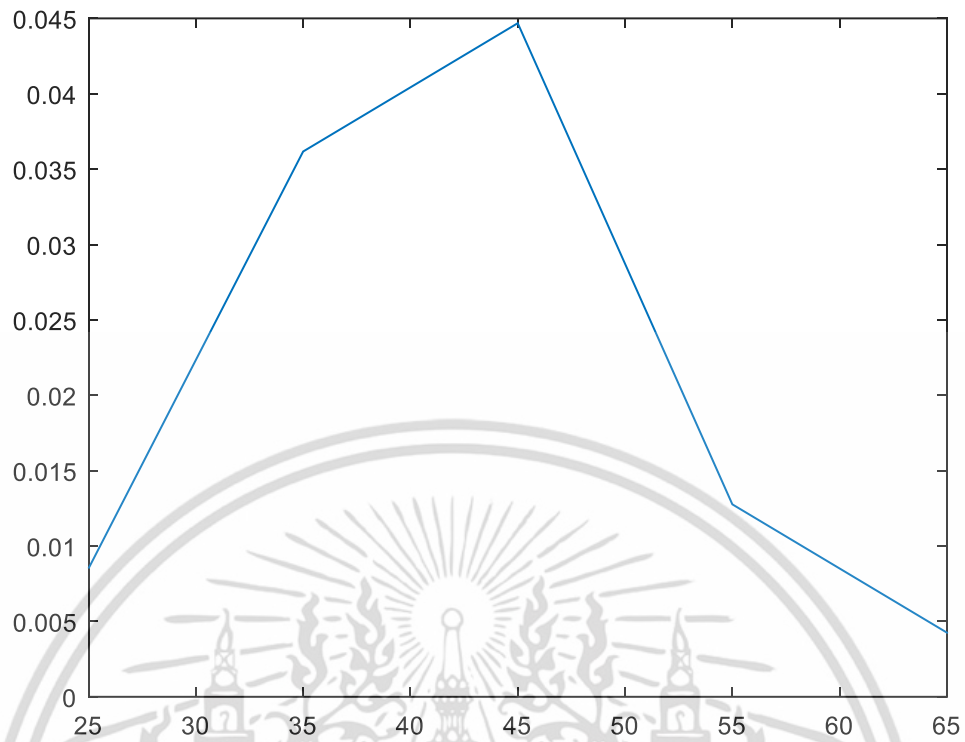
32	41.2	15.6	18.7	1.00E-08
33	52.6	21.8	24.1	1.00E-08
34	47.8	21.8	14.0	1.00E-08
35	37.4	2.5	16.1	1.00E-08
36	45.7	20.5	22.8	1.00E-08
37	47.5	17.3	20.2	1.00E-08
38	49.5	9.3	27.5	1.00E-07
39	64.9	34.8	24.9	1.00E-08
40	33.0	7.6	14.6	1.00E-08
41	29.0	4.1	-	1.00E-08
42	41.3	15.8	15.4	1.00E-08
43	46.6	6.6	22.0	1.00E-06
44	41.4	15.9	18.3	1.00E-08
45	50.8	25.2	27.3	1.00E-08
46	52.9	26.6	14.4	1.00E-08
47	46.7	15.9	15.1	1.00E-08
48	36.9	11.2	18.2	1.00E-08
49	32.6	2.0	-	1.00E-08
50	26.0	0.8	-	1.00E-08

เมื่อนำค่าที่วัดได้มาวิเคราะห์การสูญเสียเชิงวิถี สามารถสรุปเป็นกราฟของกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ดังรูปที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของการรับสัญญาณบริเวณรอบนอกของอาคาร จะเห็นได้ว่าความสูงมีผลกระทบโดยตรงต่อกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ แต่สภาพแวดล้อมโดยรอบของภาครับก็มีผลด้วยกันไม่น้อย กล่าวคือ ถ้าไม่มีวัตถุมารบกวนสัญญาณใดๆ ก็จะไม่เกิดคลื่นพหุวิถี ทำให้สัญญาณที่รับได้มีกำลังมากขึ้นตามไปด้วย

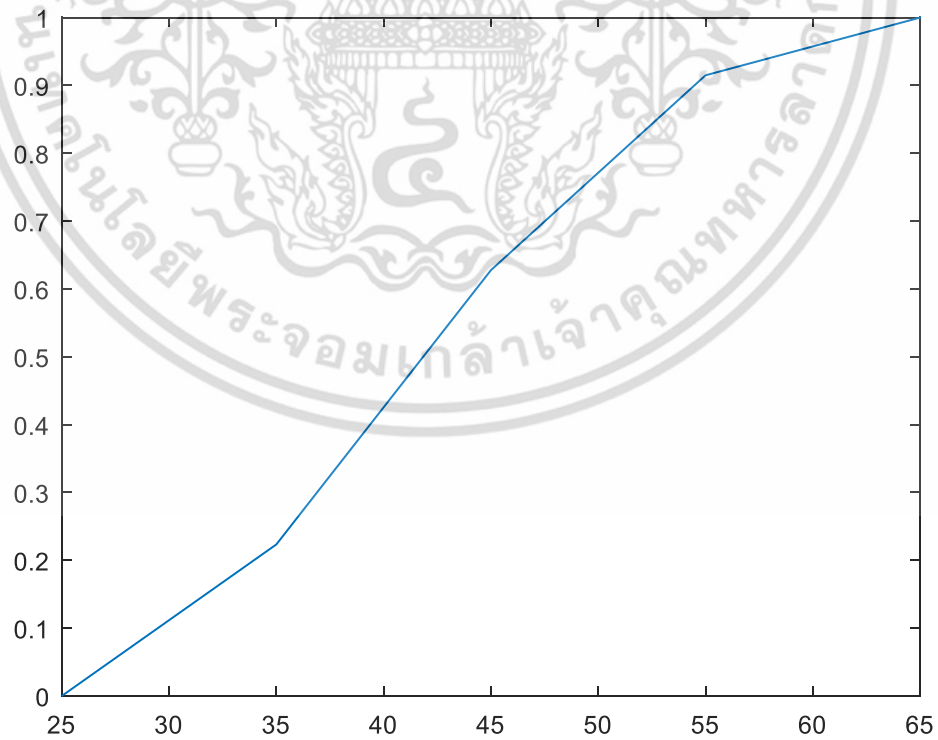


รูปที่ 5.6 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณภายในบริเวณรอบนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 กราฟ PDF ของการรับสัญญาณบริเวณรอบนอกอาคาร



รูปที่ 5.8 กราฟ CDF ของการรับสัญญาณบริเวณรอบนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# สรุปผลการทดลองและวิจัย

### 6.1 บทนำ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับช่องสัญญาณของการแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัล ซึ่งในการศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองช่องสัญญาณ โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คือ แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นทำให้ได้แบบจำลองกำลังสัญญาณที่รับได้ แสดงได้ด้วยสมการและกราฟ กล่าวคือเมื่อระยะไกลออกไปค่าความแรงของสัญญาณจะลดลง ทำให้สัญญาณนั้นมีค่าลดลง ซึ่งเกิดจากการสูญเสียในเส้นทาง นอกจากนี้ยังอาศัยแบบจำลองทางสถิติซึ่งประกอบไปด้วย กราฟฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นและกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสม ทำให้ได้มาซึ่งกราฟของการเกิดเฟดดิ้ง กล่าวคือ ในระยะทางที่ห่างจากเครื่องส่งเท่ากันพบว่า ค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้และวัดได้มานั้นมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นการสูญเสียที่เกิดจากสภาวะแวดล้อม คือการบดบังจากตึก อาคารสูง การสะท้อนของสัญญาณที่พื้น และยังสามารสรุปได้ว่าที่ความสูงของสายอากาศนั้น ก็มีผลต่อความสามารถในการรับสัญญาณด้วยเช่นกัน ยิ่งมีความสูงมาก กำลังสัญญาณที่รับได้ก็ยิ่งมีค่ามากตามไปด้วย

### 6.2 ผลการทดลองการสูญเสียเชิงวิถี

จากการทดลองผลที่ได้ แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองที่ได้ทำการวัดและทดสอบนั้นเราสามารถสรุปโดยรวมดังนี้

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาการแพร่กระจายของสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล DVB-T2 ภายในอาคารเรียนรวมที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมในการวัดและวิเคราะห์ระดับความแรงของสัญญาณที่รับได้ ในช่องความถี่ที่ 626 MHz และได้นำผลที่วัดได้มาวิเคราะห์การสูญเสียเชิงวิถี และอัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณและกำลังของสัญญาณรบกวน

จากผลการทดลอง ความแรงของสัญญาณที่ได้จะมีผลกระทบโดยตรงจากความสูงของสายอากาศรับ เนื่องจากสภาวะภายในอาคารมีสิ่งกีดขวางจำนวนมาก ทำให้เกิดคลื่นหลายวิถี ซึ่งเป็นผลกระทบอย่างมากทำให้ความแรงของสัญญาณที่รับได้มีค่าต่ำลง และส่งผลให้เกิดบิดเบี้ยวผิดเพี้ยนจำนวนมาก จึงทำให้ไม่สามารถรับชมโทรทัศน์ได้อย่างราบรื่น แต่ในชั้นที่สูงขึ้น จะมีผลกระทบจากสิ่งกีดขวางน้อยลง ทำให้ระดับของสัญญาณที่รับได้มีค่าสูงขึ้น และสามารถเป็นข้อมูลเชิงสถิติเพื่อการพัฒนาระบบต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยพัฒนา

ในงานศึกษาวิจัย เพื่อรับสัญญาณโทรทัศน์ในระบบดิจิทัลและต่อเข้ากับโทรทัศน์โดยตรง โดยไม่ผ่านกล่องรับสัญญาณเพื่อรับสัญญาณในระบบอนาล็อก และดูว่าสายอากาศสามารถรับสัญญาณได้จริงและสามารถดูโทรทัศน์ได้เปรียบเทียบกับระหว่างระบบอนาล็อกและระบบดิจิทัล จากการทดลองดังกล่าวพบว่า ในการรับสัญญาณในระบบอนาล็อกสามารถรับสัญญาณได้แต่ภาพและเสียงที่ได้นั้นไม่ชัดเจน เกิดภาพขาดหายบ้างในบางช่วง ซึ่งต่างกับระบบดิจิทัลเพราะเมื่อสามารถรับสัญญาณได้นั้นหมายความว่าสามารถรับชมโทรทัศน์ได้ชัดเจน ถ้ารับไม่ได้ก็จะไม่สามารถดูได้ ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของระบบดิจิทัล นอกจากนี้ยังพบว่าสายอากาศมีอัตราขยายที่มากสามารถรับสัญญาณได้ดีแต่มีข้อเสียคือ ต้องหันสายอากาศไปในทิศทางที่ถูกต้องจึงจะสามารถรับสัญญาณได้ซึ่งในการทดลองพบว่า เมื่อหันสายอากาศจากตำแหน่งที่รับได้ไปพอสมควรทำให้ไม่สามารถรับสัญญาณได้ ซึ่งต่างจากสายอากาศรับที่สามารถรับได้รอบทิศทางไม่ว่าจะหันไปทางไหนก็จะสามารถรับได้แต่สายอากาศแบบนี้มีข้อเสียที่มีอัตราขยายที่น้อยกว่ามาก ดังนั้นในการเลือกใช้งานสายอากาศรับจึงควรพิจารณาจากความต้องการเป็นหลักเพื่อให้ได้สายอากาศที่เหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Walter Fisher, "Digital Video and Audio Broadcasting Technology 3<sup>rd</sup> ed". A Practical Engineering Guide, 2010.
- [2] Simon R. Saunders, "Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems", 1999.
- [3] Joseph C. Liberti Jr. and Theodore S. Rappaport, "Smart Antennas for Wireless Communications 3rd Generation", 1999.
- [4] I. Eizmendi, M. Velez, D. Gomez-Barquero, J. Morgade, V. Baena-Lecuyer, M. Slimani and J. Zoellner, "DVB-T2: The Second Generation of Terrestrial Digital Video Broadcasting System", IEEE Transactions, vol. 60, No.2, June 2014, pp. 258-271.
- [5] D. Gomez-Barquero, C. Douillard, P. Moss and V. Mignone, "DVB-NGH: The Next Generation of Digital Broadcast Services to Handheld Devices", IEEE Transactions, vol.60, No.2, June 2014, pp. 246-257.
- [6] V. Degli-Esposti, G. Falciaseca, F. Fuschini and E. M. Vitucci, "A Meaningful Indoor Path-Loss Formula", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol.12, 2013, pp. 872-876.
- [7] W. Joseph, L. Verloock, D. Plets, E. Tanghe and L. Martens, "Characterization of Coverage and Indoor Penetration Loss of DVB-H Signal of Indoor Gap Filler in UHF Band", IEEE Transactions, vol.55, No.3, September 2009, pp.589-597.
- [8] A. Martinez, D. Zabala, I. Pena, P. Angueira, M. M. Velez, A. Arrinda, D. de la Vega and J. Luis Ordiales, "Analysis of the DVB-T Signal Variation for Indoor Portable Reception", IEEE Transactions, vol.55, No.1, March 2009, pp. 11-19.
- [9] R. Di Bari, M. Bard, A. Arrinda, P. Ditto, J. Cosmas, K. K. Loo and R. Nilavalan, "Rooftop and Indoor Reception with Transmit Diversity Applied to DVB-T Network: a Long Term Measurement Campaign"
- [10] W. Joseph, E. Tanghe, D. Pareit and L. Martens, "Building Penetration Measurements for Indoor Coverage Prediction of DVB-H Systems", IEEE Conference, 2007, pp.3005-3008.
- [11] J. T. Ong, S. V. Rao, Y. Hong and G. Shanmugam, "Measurement and Analyses of Digital TV Signals in An Indoor Environment", Nanyang Technological University, Singapore, pp.595-598.
- [12] Stylianos C. Panagiotou, Stelios A. Mitilineos, Themistoklis D. Dimousios, and Christos N. Capsalis, "A Broadband, Vertically Polarized, Circular Switched Parasitic Array for Indoor Portable DVB-T Applications at the IV UHF Band", IEEE Transactions on Broadcasting, vol.53, No.2, June 2007, pp. 547-552.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] Mercedes Sánchez and Manuel García Sánchez, "Analysis of Polarization Diversity at Digital TV Indoor Receivers", IEEE Transactions on Broadcasting, Vol.46, No.4, December 2000, pp. 233-239.
- [14] J. T. Ong, H. Yan, S. V. B. Rao, and G. Shanmugam, "Indoor DTV Reception: Measurement Techniques", IEEE Transactions on Broadcasting, vol.50, No.2, June 2004, pp. 192-199.
- [15] Fernando A. Contreras, Erika Pedraza and David Gomez-Barquero, "DVB-T2 Field Trials Results for Portable Indoor Reception in Colombia", 2014 IEEE Latin-America Conference on Communications , November 2014, pp. 1-5.
- [16] Cristina Regueiro, Unai Gil, Manuel Velez, Iñaki Eizmendi, and Pablo Angueira, "Field Trials-Based Planning Parameters for DVB-T2 Indoor Reception", IEEE Transactions on Broadcasting, vol.61, No.2, June 2015, pp. 251-262.
- [17] R. Di Bari, M. Bard, J. Cosmas, R. Nilavalan, K.K. Loo, H. Shirazi, K. Krishnapillai, "Measurement Results of Transmit Delay Diversity for DVB-T Networks", 2008 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, April 2008, pp.1-7.
- [18] Axel Dumeur, Philippe Godlewski, Philippe Martins and Philippe Debreux, "On the Performance of DVB-T Networks for Indoor and Mobile Reception", Vehicular Technology Conference, 2004. VTC2004-Fall. 2004 IEEE 60<sup>th</sup>, vol.5, September 2004, pp.2075-3079.
- [19] R. Grosskopf, "Indoor coverage of the DVB -T transmitters in Munich", IEEE Conference Publications on Antennas and Propagation for Wireless Communications, November 2000, pp.57-60.
- [20] Liang Chen, Elena Simona Lohan, Olivier Julien, Paul Thevenon, Christophe Macabiau, Laura Ruotsalainen and Heidi Kuusniemi, "Delay Estimation for DVB-T Signals in Adverse Multipath Scenarios", International Conference on Localization and GNSS 2014, June 2014, pp.1-6.
- [21] F. A. Contreras, E. Pedraza and D. Gomez-Barquero, "On the Transmission of Mobile Digital Terrestrial Television DVB-T2 Services in Colombia", 2014 IEEE Colombia Conference on Communications and Computing, June 2014, pp. 1-6.
- [22] Fumihito Sasamoriy, Atsuhiko Yamanoy, Shiro Handay, Fumiaki Maeharayy, Fumio Takahatayy, and Shinjiro Oshitay, "Approximate Equation of Bit Error Rate in OFDM Systems over Specular Multipath Fading Channels" IEEE Wireless Communications and Networking, vol.3, March 2003, pp.2096-2101.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [23] Nikhil Marda, Gowtham Vaishnav and U.S.N. Rao, “Bit Error Rate Testing Scheme for Digital Communication Devices”, 2014 International Conference on Control, Instrumentation, Energy & Communication (CIEC), February 2014, pp. 490-493.
- [24] I. Eizmendi, G. Berjon-Eriz, M. Velez, G. Prieto and A. Arrinda, “CNR Requirements for DVB-T2 Fixed Reception Based on Field Trial Results”, IET Electronics Letters, vol.47, issue 1, January 2011, pp. 57-59.
- [25] Kristian Nybom, Stefan Grönroosy and Jerker Bjorkqvist, “Field Measurement Based SVC Performance Analysis over DVB-T2 Lite”, 19th International Conference on Telecommunications, April 2012, pp. 1-6.
- [26] Muhammad Moiz Anis, Xavier Lagrange and Ramesh Pyndiah, “Handheld receivers coverage by DVB-T2”, IEEE Vehicular Technology Conference, September 2012, pp. 1-5.
- [27] Tomas Kratochvil, “Portable and mobile TV transmission over fading channels”, IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, September 2008, pp. 1-5.
- [28] Wout Joseph, Leen Verloock, David Plets and Emmeric Tanghe, “Characterization of Coverage and Indoor Penetration Loss of DVB-H Signal of Indoor Gap Filler in UHF Band”, IEEE Transactions on Broadcasting, vol.5, September 2009, pp. 589-597.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# Experimental Study of DVB-T2 Propagation Loss in an Indoor Environment

Sirapop Mingmancee

Department of Telecommunication Engineering,  
 Faculty of Engineering,  
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
 Bangkok 10520, Thailand  
 E-mail: s.mingmancee@hotmail.com

Sathaporn Promwong

Department of Telecommunication Engineering,  
 Faculty of Engineering,  
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
 Bangkok 10520, Thailand  
 E-mail: kpsathap@kmitl.ac.th

**Abstract**—In this report the measurement DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Terrestrial 2nd Generation) signal in an indoor environment of the faculty of engineering KMITL, Bangkok, Thailand. DVB-T2 transmission were performed in the 626 MHz frequency band (Channel 40). And analyze the variations of some of the key link budget parameters for planning digital terrestrial television networks for portable indoor reception, such as the building penetration loss, the standard deviation for location correction factor, and the height loss.

**Keywords**—DVB-T2, Indoor Measurement, Path Loss, Broadcasting Technology.

## I. INTRODUCTION

Standard of terrestrial television broadcasting is scanning lines 625 lines and the analog color image which there are three systems: NTSC, PAL, and SECAM later when it developed a digital system it has. Efforts to make the same standard. However, in practice, A group of countries. A technology leader in the development of digital TV as their own work. But you can see that in most cases. Countries around the world will accept digital TV transmission standard DVB-T and is the same basic technology. It has compressed the same video and audio MPEG-2 [1]. Highlights of the standards DVB-T2 signal is mixed with the new. And can prevent errors of signal flow better. To optimize the use of the frequency spectrum. And new technologies. The preparation for the termination of analog broadcasting in the next few years. The adoption of MPEG-4 encoding in the broadcast. The quality of picture and sound in HD makes watching them a better quality [3] and in the future to extend the service to the receiver portable as well [3], considered as a new standard. The highly flexible and can be adapted to a variety of devices.

As mentioned above, the digital TV has a variety of methods. This research will focus on the receiver on the indoor environment. Which will be affected by the building materials in the building, including walls, windows to make the received signal is distorted. Need to study such conditions. To collect data to determine the approach for the development of income - a signal for the future. Experimental study of digital terrestrial television signals ago. Both measure the condition of the

building (Line of Sight) and indoor conditions (Non-Line of Sight), which in past research. Has been considered in terms of the capacity to deliver [6], a coded signal [6], the mixed signals in various ways, and improved antenna used in experiments [7]. This experiment ago. A comparative analysis of both external receiver. And interior made aware of the power of the signal, fading and models of channels in the area.

It is a new standard that is highly flexible. Can be adapted to a variety of devices. As mentioned above, the digital TV has a variety of methods. This research will focus on the receiver on the indoor environment. Which will be affected by the building materials in the building, including walls, windows to make the received signal is distorted. Need to study such conditions. To collect data to determine the approach for the development of transmission system for the future.

## II. DVB-T2 PROPAGATION LOSS MODEL

The Path Loss of propagation from the distance of the receiver to the transmitter. As shown in Equation 1 [5].

$$PL[dB] = PL(d_0) + 10n \log \left( \frac{d}{d_0} \right) \quad (1)$$

when  $d$  is distance (m)

$d_0$  is reference distance (m)

$n$  is index loss

In terms of wireless communications channel is the medium for data transfer between the antennas transmit and receive antennas. Features of the antenna signal to both sides. Is based on the distance the signal travels through the environment, like building a skyscraper tree pattern of the signal received by a signal sent between the two antennas is called. Channel models [2]. And the path loss can calculate with Equation 2.

$$P_r(d) = \frac{k}{d^n} + X \quad (2)$$



when  $k$  is signal constant  
 $X$  is random variable  
 $d$  is distance (m)  
 $n$  is path loss exponent

The average model we using linear regression is a statistical model that can be used as a model for analyzing the data. Because of the relationship between the two variables that are related each other. The relationship of variable make us to predict the value of another variable.

When we consider about average receive power

$$\overline{P_r(d)}[dB] = -10n \log d + K [dB] \quad (3)$$

If  $d_0$  is reference distance

$$\overline{P_r(d_0)}[dB] = -10n \log d_0 + K [dB] \quad (4)$$

From (3) and (4)

$$\overline{P_r(d)}[dB] = -10n \log d + \overline{P_r(d_0)}[dB] \quad (5)$$

then

$$X = \overline{P_r(d)} - \overline{P_r(d_0)} [dB] \quad (6)$$

### III. DVB-T2 MEASUREMENT SYSTEM

DVB-T2 field trials were performed in the city of Bangkok for the public network, specifically for the public, transmitted in the radio frequency channel 40 (center frequency 626 MHz). The public DVB-T2 network consists of three high-power transmitters: Baiyoke II tower in downtown, E12 building, KMITL in the East, which transmit an effective isotropic radiated power of 26 kW.

Indoor measurements in the building and surroundings were performed to assess the indoor reference signal level, mean and standard deviation of the electrical field strength, at ground level in each floor, the samples were taken during 30 s. The overview of transmission system see Fig. 1.

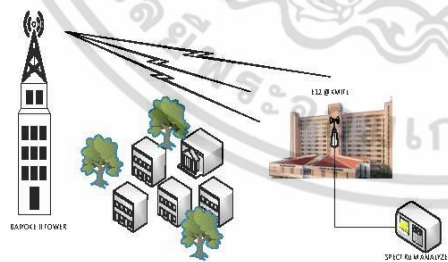


Figure 1. Overview of DVB-T2 Propagation

Fig. 2 shows the coverage of the DVB-T2 public network at channel 40, where the location of the KMITL is represented with a point in the right hand.

We example the measurement the path loss in E12 building to analyze signal and this is not the standard model but we only consider about are of KMITL to improve signal quality in area of Ladkrabang.

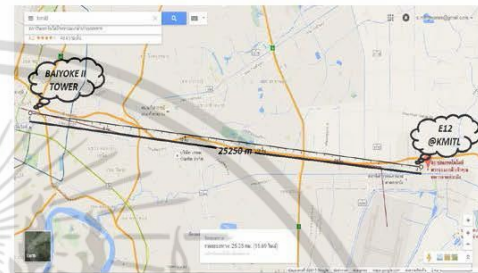


Figure 2. Coverage for portable indoor reception of the DVB-T2 public network (distance 25250 m)

The measurement signal has been taken up in the corridors of each floor inside the E12 building, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang between both antennas. By using a spectrum analyzer to measure the strength of the signal received by the samples. And walkways Building, E-12 and a dipole antenna TV reception.

Fig. 3 show the physical dimensions of the floor: 3 meter of width and 90 meter along the floor and a thickness of the wall of 0.3 meter, with a lot of windows. Measurements in the pathway were performed in every tile of 1.5 meter, and the value recorded was the average measurement during 30 s.

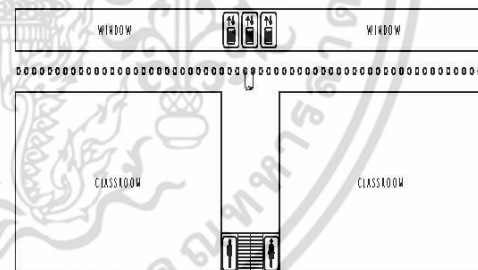


Figure 3. Measurement model.

Experiments measuring digital TV signals in indoor environments of this research. The experiment measured the signal strength with a spectrum analyzer. To study the samples at the reception

Measurement were performed with a professional DVB-T2 spectrum analyzer and a calibrated omnidirectional antenna in the E12 building in KMITL, which is approximately at 25 km from the Baiyoke II transmitter. The goal of the report is to

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



analyze relative levels in the electrical field strength, results are representative. And the parameters of experiment are shown in Table I.

Table I: Measurement Parameters

Parameters	Value
1. Channel (Frequency)	CH. 40 (626 MHz)
2. Bandwidth	8 MHz
3. Distance	25250 meter
4. Polarization	Horizontal
5. Rx Antenna	Dipole
6. Height of Rx Antenna	1.5 meter
7. Sample Points	60 Sample Points
8. Distance between Point	1.5 meter
9. Floors	3 <sup>rd</sup> to 12 <sup>th</sup> floor

Indoor measurements were performed within the highest building (see Fig. 1), with twelve floors (high per floor is 3 m). Pathway of each floor was chosen and measured in all 10 floors (3<sup>rd</sup> to 12<sup>th</sup> floor), an additional outdoor measure were performed at the immediate surrounding area of the building to compare the height loss factor 1.5 meter.

Although the measurements have been done at 1.5 meter instead of 90 meter, the standard deviation values planning guidelines for the UHF band. It was notes that the standard deviation is higher for blocks which have both high building.

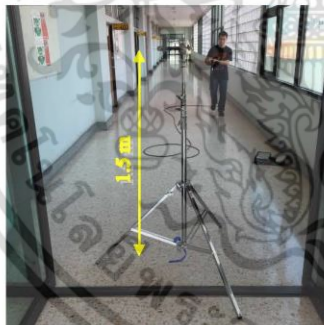


Figure 4. Experiment Setup

In the figure, it can be seen how to set up the Rx antenna on each floor the antenna has 1.5 meter from ground and set to horizontal polarize same as Tx antenna that set on Baiyoke II tower and aim the Rx antenna heading inside the building. The measurement each sample point to sample point by 60 points, in line with the center of the distance from the wall of the

2015 International Symposium on Multimedia and Communication Technology  
September 23 – 25, 2015, Classic Kameo Hotel, Ayutthaya, Thailand

corridor is 1.5 meter from the left and right of the wall. And each point from the 1.5 meter tiles along the corridor.

#### IV. RESULT

Fig. 5 shows the comparison of DVB-T2 path loss between 3<sup>rd</sup> floor and 12<sup>th</sup> floor in an indoor environment. The path loss in this figure we can see that Receive Signal Strength (RSS) of the lowest floor 3<sup>rd</sup> is loss more than the highest floor 12<sup>th</sup> because the effect of reflection and diffraction in an indoor situation. The measurement position in building from sample point 1 to sample point 60, the distance make the difference of receive power.

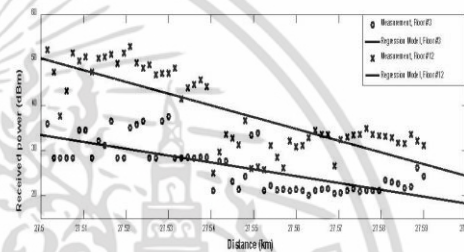


Figure 5. Path loss on 3<sup>rd</sup> floor and 12<sup>th</sup> floor.

Fig. 6 shows the comparison between floor 4<sup>th</sup>, 5<sup>th</sup>, 6<sup>th</sup> and 7<sup>th</sup>. In the simple case the higher floor must has more receive power than the lower floor but in realistic multipath is the mainly effect to attend the receive power if the floor that we consider has many objects. In this figure, the 4<sup>th</sup> floor has more power of receive signal than 5<sup>th</sup> floor because the 5<sup>th</sup> floor has the conference room and has many objects such as tables, chairs and a lot of metal things. So the objects will attend the receive power of transmission.

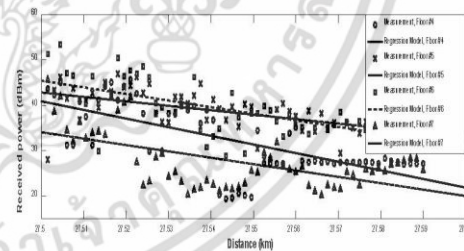
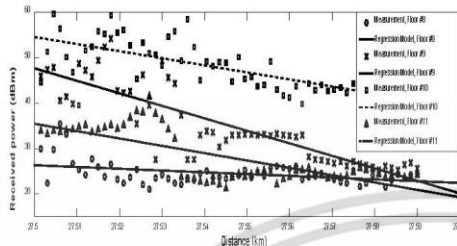


Figure 6. Path loss on 4<sup>th</sup>, 5<sup>th</sup>, 6<sup>th</sup> and 7<sup>th</sup> floor.

Fig. 7 shows the comparison between floor 8<sup>th</sup>, 9<sup>th</sup>, 10<sup>th</sup> and 11<sup>th</sup>. In the same way the higher floor is better than the lower floor because the higher has height close to transmitter at Baiyoke II tower.


 Figure 7. Path loss on 8<sup>th</sup>, 9<sup>th</sup>, 10<sup>th</sup> and 11<sup>th</sup> floor.


### V. CONCLUSIONS

In this report we evaluated the path loss of DVB-T2 propagation loss in an indoor environment. In the experiment, results are evaluated path loss and comparison with linear regression model. DVB-T2 inside the school building, including E-12 at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok. By using a spectrum analyzer to measure and analyze the strength of the signal received. The frequency at 626 MHz and has a measurable effect analysis Loss of life. And the ratio of signal power and noise. The signal strength will be directly affected by the height of the antenna gain. Since conditions inside the building with many obstacles. Waves several ways. This makes a huge impact on the strength of the signal received is lower down. And result in a crash of a lot of information. You cannot watch TV smoothly. But on a higher floor. There will be less affected by the barrier. The level of the signal received is higher up. And statistical information can be developed further in the future.

### REFERENCES

- [1] Walter Fisher, "Digital Video and Audio Broadcasting Technology 3rd ed". A Practical Engineering Guide, 2010.
- [2] Simon R. Saunders, "Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems", 1999.
- [3] Joseph C. Liberti Jr. and Theodore S. Rappaport, "Smart Antennas for Wireless Communications 3rd Generation", 1999.
- [4] I. Eizmendi, et. al, "DVB-T2: The Second Generation of Terrestrial Digital Video Broadcasting System," IEEE Trans. On Broadcasting, vol. 60, no. 2, pp. 258-271, June 2014.
- [5] D. Gomez-Barquero, C. Douillard, P. Moss and V. Mignone, "DVB-NHG: The Next Generation of Digital Broadcast Services to Handheld Devices", IEEE Transactions, vol.60, No.2, June 2014, pp. 246-257
- [6] V. Degli-Esposti, G. Falciaseca, F. Fuschini and E. M. Vitucci, "A Meaningful Indoor Path-Loss Formula", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol.12, 2013, pp. 872-876.
- [7] W. Joseph, L. Verloock, D. Pleis, E. Tanghe and L. Martens, "Characterization of Coverage and Indoor Penetration Loss of DVB-H Signal of Indoor Gap Filler in UHF Band", IEEE Transactions, vol.55, No.3, September 2009, pp.589-597.
- [8] A. Martinez, D. Zabala, I. Pena, P. Angueira, M. M. Velez, A. Arrinda, D. de la Vega and J. Luis Ordiales, "Analysis of the DVB-T Signal Variation for Indoor Portable Reception", IEEE Transactions, vol.55, No.1, March 2009, pp.11-19.
- [9] R. Di Bari, M. Bard, A. Arrinda, P. Ditto, J. Cosmas, K. K. Loo and R. Nilavalan, "Rooftop and Indoor Reception with Transmit Diversity Applied to DVB-T Network: a Long Term Measurement Campaign"
- [10] W. Joseph, E. Tanghe, D. Pareit and L. Martens, "Building Penetration Measurements for Indoor Coverage Prediction of DVB-H Systems", IEEE Conference, 2007, pp.3005-3008.
- [11] J. T. Ong, S. V. Rao, Y. Hong and G. Shanmugam, "Measurement and Analyses of Digital TV Signals in An Indoor Environment", Nanyang Technological University, Singapore, pp.595-598.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



International Conference on Digital Arts, Media and Technology

**"Digital Economy for Sustainable Growth"**

17-20 February, 2016  
@ The Mantrini Chiang Rai



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Experimental Study of DVB-T2 Propagation Channel with Bangkok Thailand Environment

Sirapop Mingmanee  
 Department of Telecommunication Engineering,  
 Faculty of Engineering,  
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
 Bangkok 10520, Thailand  
 E-mail: s7601151@kmitl.ac.th

Sathaporn Promwong  
 Department of Telecommunication Engineering,  
 Faculty of Engineering,  
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
 Bangkok 10520, Thailand  
 E-mail: sathaporn.pr@kmitl.ac.th

**Abstract**—Television terrestrial of Thailand used DVB-T2 (Digital Video Broadcasting - Terrestrial 2nd Generation). The DVB-T2 propagation channel loss shall be study. However the DVB-T2 propagation channel performance is very importance for Thailand. This paper evaluation of DVB-T2 propagation channel base on measurement data. In the experimental study of DVB-T2 channel with Bangkok environment to planning digital terrestrial television network for portable in urban areas in Bangkok Thailand at Channel 40 (526 MHz). The path loss and the statistics with pdf and cdf are evaluated.

**Keywords**— DVB-T2, DVB-T2 propagation, DVB-T2 Measurement, Received Signal Strength Indication (RSSI), CNR.

### I. INTRODUCTION

The digital terrestrial television (DTT), which is also known as digital video broadcasting - terrestrial (DVB-T), is currently an efficient communication technology for broadcasting TV [1]. And now this standard has developed to Digital Video Broadcasting - Terrestrial second generation (DVB-T2). This system can simultaneous transmission of multiple services and can be set different configuration and resistant for interference by the configuration selected. DVB-T2 system is capable of broadcasting either fixed reception or mobile reception, depending on the configuration parameter, supports for SD (Standard-definition television), HD (high definition television), UHD (Ultra-high-definition television), mobile TV, radio, or any combination of multiple digital broadcasting. The aims of the standard for digital terrestrial TV transmission progressive and modern. The most powerful applications in now. Signs are durable and flexible in use. The modulation system is a new OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) divided by the number of very small RF frequency. In order the send a signal. The durable, highly efficient coding techniques that are used in television transmission. The quality of picture and sound in HD makes watching them a better quality and in the future to extend the service to the receiver portable as well [2], considered as a new standard. The highly flexible and can be adapted to a variety of devices. As mentioned above, the digital TV has a variety of methods. This research will focus on the receiver on the indoor environment. Which will be affected by the building materials in the building, including walk, windows to make the received signal is distorted. The measurement has condition of the

building (Line of Sight) and indoor conditions (Non-Line of Sight), which in past research. Has been considered in terms of the capacity to deliver and coded signal [3-5], the mixed signals in various ways, and improved antenna used in experiments [6-8].

This paper evaluated the DVB-T2 propagation channels base on measurement data with Bangkok environment. The multipath fading and the effect from building of DVB-T2 propagation loss. The results are show path loss with regression model, PDF, and CDF.

### II. DVB-T2 PROPAGATION MODEL

The DVB-T2 propagation channel means mediator or intermediary through which information travels. Maybe it's the air. The signal line. In other words, in terms of wireless communications that, TV is the medium for data transfer between the antennas transmit and receive antennas.

#### A. Channel Model

Features of the signal to the antenna transmitting and receiving antennas. Is based on the distance the signal travels through the environment, like building a skyscraper tree pattern of the signal received by a signal sent between the two antennas is called "Channel Model". The signal power of transmission can calculate with Equation 1

$$P_r(d) = \frac{K}{d^n} + X \quad (1)$$

When  $K$  is signal constant  
 $X$  is random variable  
 $d$  is distance (m)  
 $n$  is path loss exponent

#### B. Regression Model

Linear Regression Model is a statistical model that can be a model for data analysis. Because of the relationship between

the two variables that are related or not, and are related in any level. The analysis simple relationship. To make them aware of such relationships. That relationship is amenable to the same direction or may require analysis by the known value of one variable to predict the value of a variable then, one that varies in proportion to how much or to what extent. Analysis of the nature of the criteria to be used in the forecast called regression analysis.

The average model we using linear regression is a statistical model that can be used as a model for analyzing the data. Because of the relationship between the two variables that are related each other. The relationship of variable make us to predict the value of another variable [9].

Considering average receive power

$$\overline{P_r(d)} = \frac{K}{d^n} \quad (2)$$

where

$$\overline{P_r(d)}[dB] = -10 \log \left( \frac{d}{d_0} \right) + \overline{P_r(d_0)}[dB] \quad (3)$$

As  $d_0 = 1m$

$$\overline{P_r(d)}[dB] = -10n \log(d) + \overline{P_r(1)}[dB] \quad (4)$$

From Equation 1 in terms of the probability of occurrence of wave propagation Multipath fading is possible in many directions. Either directly in the line of sight (LOS). And reflections caused by objects in the path. The sum of the signal received from the destructive wave that spread from several directions. The effect of changing the received signal amplitude and phase.

$$X = \overline{P_r(d)} - \overline{P_r(d)}[dB] \quad (5)$$

### C. Statistical and Probability

The signal that cannot know in advance. These signals are generated in the communication system. in a m error that does not want to sign. Is the noise. And the desired signal is a signal information. The random signal is a signal that he cannot know that for sure has changed. To deal with this type of signal can be used to help estimate the statistical properties of the signal. On average, variance and standard deviation of the density function and probability distributions are made to the statistical model.

### D. Average of signal

Analysis of discrete signals which each signal point. Define the data. All signals point information of each point represent by  $x_i$  when  $i=1,2,3,\dots,N$

$$\overline{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (6)$$

### E. Standard deviation

Analysis of discrete signals which each signal point. Define the data. All signals point information of each point represent by  $x_i$  when  $i=1,2,3,\dots,N$

$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \overline{X})^2} \quad (7)$$

### F. Probability Density Function

If probability  $P\{X \leq x\}$  is probability of event  $\{X \leq x\}$  and assign  $f_x(x)$  is probability density function [6]-[7], which is defined as

$$f_x(x) = \frac{d}{dx} P\{X \leq x\} \quad (8)$$

### G. Cumulative Distribution Function

If probability  $P\{X \leq x\}$  is probability of event  $\{X \leq x\}$  and assign  $F_x(x)$  is probability density function [6]-[7], which is defined as

$$F_x(x) = P\{X \leq x\} \quad (9)$$

### H. Data Distribution

The frequency distribution as a way to sort the data obtained from experiment for ease of interpretation.

$$Y = \frac{N}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (10)$$

when  $Y$  is kurtosis of curve  
 $N$  is number of data  
 $\sigma$  is standard deviation  
 $\mu$  is mean of distribution  
 $X$  is raw data

III. EXPERIMENT SETUP

The antenna to receive signals, digital TV by connecting it to the measurement of spectra to measure the level of the signal from the station at the BAIYOKE II tower using dipole lock open hostility on portable receiver. Frequency 626 MHz spectrum analyzer used to measure the received signal strength and data storage. DVB-T2 field trials were performed in the city of Bangkok for the public network, specifically for the public, transmitted in the radio frequency channel 40 (center frequency 626 MHz). The overview of transmission system see figure 1.

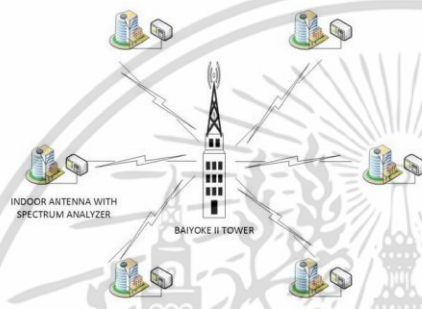


Figure 1. DVB-T2 Propagation Model.

The public DVB-T2 network consists of three high-power transmitters: BAIYOKE II tower in downtown, which transmit antenna effective isotropic radiated power of 26 kW.

Measurement were performed with a professional DVB-T2 spectrum analyzer and a calibrated omnidirectional antenna in the building in each sample point. The goal of the report is to analyze relative levels in the electrical field strength, results are representative. And the parameters of experiment are shown in Table I.

Table I. Measurement Parameters

Parameters	Values
1. Frequency Band	626 MHz (Channel 40)
2. Bandwidth	8 MHz
3. Polarization	Horizontal
4. Distance	8 km, 14 km, 25 km
5. Rx Antenna	Dipole
6. Antenna Height	1.5 meters
7. Sample points	30 points

The DVB-T2 indoor measurements in the building and surroundings were performed to assess the indoor reference

signal level, mean and standard deviation of the electrical field strength, at ground level in each point, the samples were taken during 30 s. The DVB-T2 measurement location are shown in figure 2.

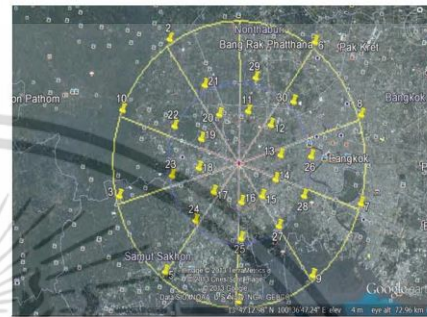


Figure 2. The position of sample points in experiment.

IV. RESULT

Table II shows the comparison of DVB-T2 receive power in an indoor environment at the different antenna height. The receive power in this figure we can see that Receive Signal Strength (RSS) are low because the effect of reflection and diffraction in an indoor situation. The measurement position in building from sample points, the distance make the difference of receive power.

Table II. Receive Power in each sample points (dBm)

Distance	8 km	14 km	25 km
Point 1	-52	-47	-62
Point 2	-51	-67	-57
Point 3	-64	-61	-52
Point 4	-50	-62	-53
Point 5	-56	-50	-56
Point 6	-51	-68	-68
Point 7	-57	-56	-59
Point 8	-57	-57	-59
Point 9	-49	-46	-42
Point 10	-50	-37	-61

From Equation (5)

$$P_r[dBm] = -11.7872 \log(d) - 43.48 \quad (10)$$

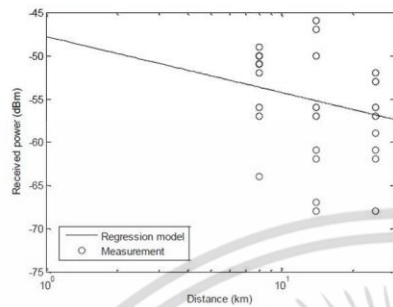


Figure 3. Comparison of power loss between RSS and regression model.

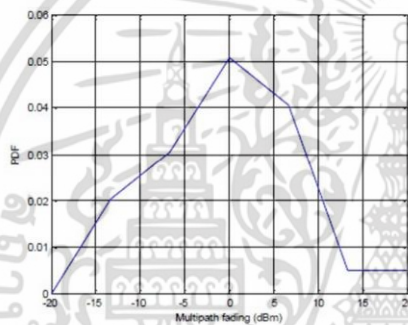


Figure 4. PDF of multipath fading channel

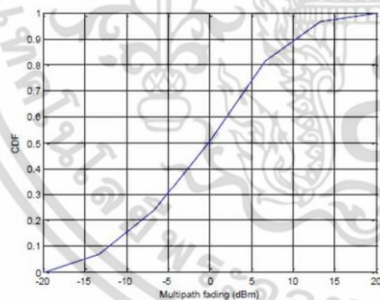


Figure 5. CDF of multipath fading channel.

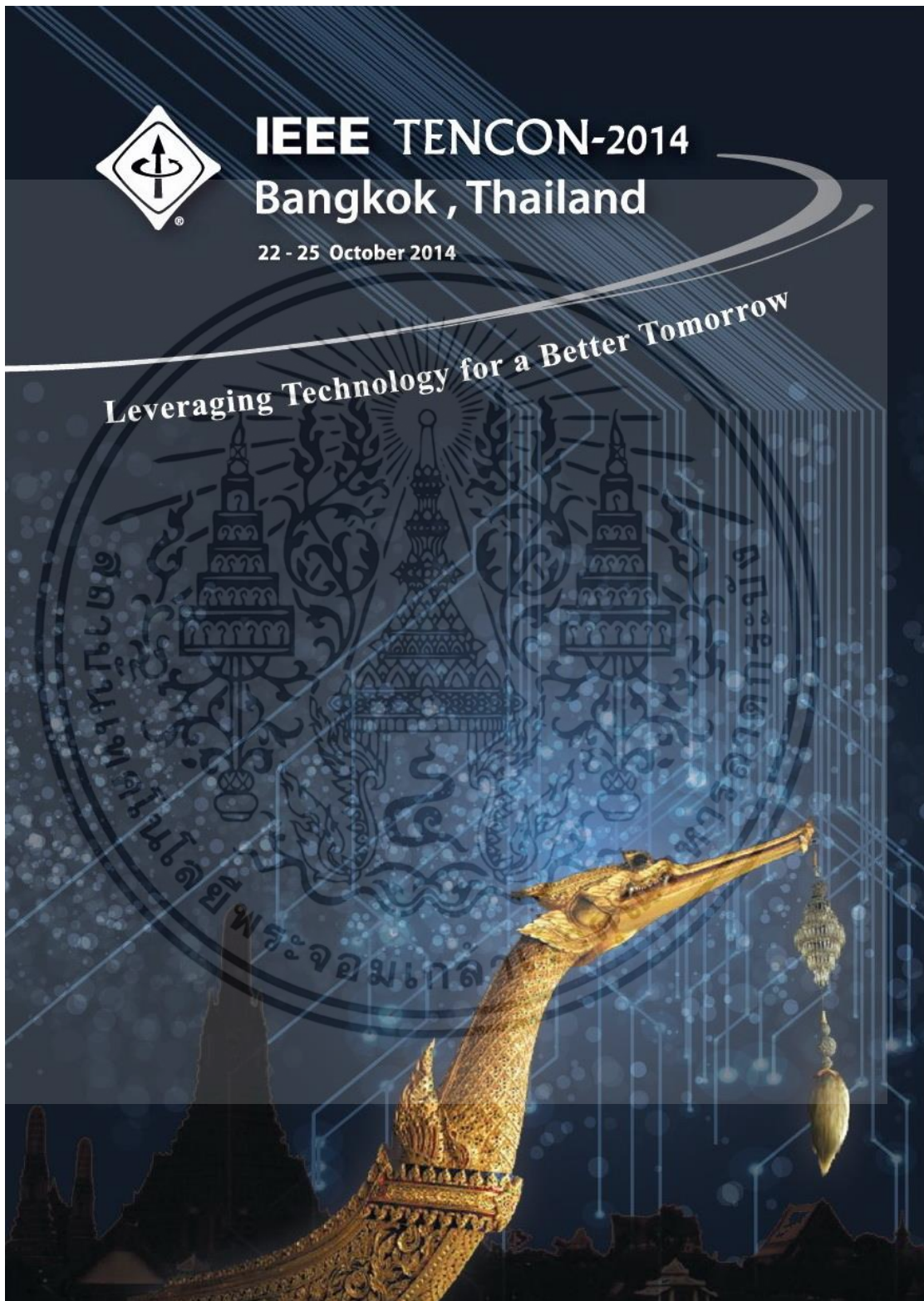
Figure 3 is shows the receive signal strength compared to linear regression model. This parameter is the exponent of loss, the pace of polarized horizontally at a height of 1.5 meters, the power of the signal received at a distance of one kilometer is -43.48 dBm, which results that have seen. The graph shows the strength of the signal received three stages 8, 14 and 25 kilometers is -53.70, -55.10 and -56.90 dBm, respectively, calculated from the average. The data obtained by measuring the strength of the signal and the result of channel models with linear regression model be seen. The data was compared with regression model is not as linear as they should. Because too little information. You cannot see the relationship between the variables. The strength of the signal received on the distance clearly. Figures 4 and 5 shows PDF and CDF of multipath fading when the value of standard deviation is 7.27 dBm.

## V. CONCLUSIONS

In this paper we evaluated the DBV-T2 propagation channel base on measurement data. By using a mathematical model is a linear regression models are being applied to the signal received. Show with equations and graphs. That is, when a distance away from the signal strength is reduced. Received signal is decreased. This is due to the path loss. It also relies on a statistical model, which consists of. The graph function probability density and cumulative distribution function. Make a chart of the acquisition was fading in the distance from the transmitter as well. The strength of the signal received and measured, there is not the same. The loss caused by the environment. The effects of DVB-T2 signal are consider from the reflections due to tall building.

## REFERENCES

- [1] Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation Guidelines for DVB Terrestrial Services, Transmission Aspects, Nov. 2004. v. 1.2.1. ETSI TR 101 190.
- [2] Joseph C. Liberti Jr. and Theodore S. Rappaport, "Smart Antennas for Wireless Communications 3rd Generation", 1999.
- [3] V. Degli-Esposti, G. Falciaseca, F. Fuschini and E. M. Vitucci, "A Meaningful Indoor Path-Loss Formula", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol.12, 2013, pp. 872-876.
- [4] W. Joseph, L. Verloock, D. Plets, E. Tanghe and L. Martens, "Characterization of Coverage and Indoor Penetration Loss of DVB-H Signal of Indoor Gap Filler in UHF Band", IEEE Transactions, vol.55, No.3, September 2009, pp.589-597.
- [5] Hsueh-Yuan Pao, "Probability density function for wave propagating in a straight rough wall tunnel", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, vol.3, June 2004, pp.2975-2978.
- [6] Tanyer, S.G. "The Cumulative Distribution Function for a finite data set", IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference, April 2012, pp. 1-3.
- [7] Leopoldo Angrisani, Mario Farias, Daniele Fortin, and Alessandro Sona, "Experimental Analysis of In-Channel Interference Effect on the Performance of a DVB-T System", IEEE Transactions on instrumentation and measurement, vol.58, No.8, August 2009, pp.2588-2596.
- [8] R. Di Bari, M. Bard, A. Arrinda, P. Ditto, J. Cosmas, K. K. Loo and R. Nilavalan, "Rooftop and Indoor Reception with Transmit Diversity Applied to DVB-T Network: a Long Term Measurement Campaign"
- [9] Simon R. Saunders, "Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems," 1999.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Evaluation of Antennas Performance with FCC and Common Spectral Mask for UWB Localization

Vongkeo Kingsakda<sup>1</sup>, Phonepaseuth Satahack<sup>1</sup>, Sirapop Mingmanee and Sathaporn Promwong

<sup>1</sup>Department of Electronic and Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering,

National University of Laos, Vientiane, Laos

<sup>2</sup>Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering,

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

E-mail: vongkeok@hotmail.com, sphonepaseuth@hotmail.com, kpsathap@kmit.ac.th

**Abstract**—Antennas which are used to transmit and receive ultra wideband impulse radio (UWB-IR) signals should be able to accommodate its large bandwidth. Moreover, the signals should not be distorted too much when they pass through the antennas. Therefore, the transfer function of antennas should be known the performance. The indoor and the outdoor localization are usually evaluated by using the extension of Friis' transmission formula. However, it is not directly application to UWB transmission systems. This paper are presentation, the characterization of UWB antennas performance that takes into account the transmission signal waveform, its distortion due to the antennas, and the receiver. Since the antennas are significant pulse-shaping filters in UWB, various kinds of antennas are experimentally examined, especially focusing on the UWB template waveform.

**Index Terms**—ultra wideband (UWB), impulse radio (IR), Friis' transmission formula, indoor localization, antenna.

## I. INTRODUCTION

In UWB communication systems, any frequency selectivity causes distortion of the transmitting pulse shape. Therefore, antennas usually act as significant pulse-shaping filters [1], [2]. Consequently this will increase the complexity of the detection mechanism at the receiver. Moreover, low cost, geometrically small and still efficient structures are required for typical wireless applications. Therefore the antenna design for UWB signal radiation is one of the main challenges.

For narrowband wireless systems, Friis' transmission formula is used for the line-of-sight (LOS) link budget evaluation [3]. However, it is not directly applicable to the UWB impulse radio (IR) system as the bandwidth of the pulse is extremely wide. Moreover, the effect of waveform distortion shall be quantitatively considered in the link budget evaluation.

Ref. [4] treats the special cases of constant gain and constant aperture antennas, but no general discussion had been made. McLean et al. [5] considered the antenna and the receiver template waveform to evaluate the free space transmission property, but they only considered the relative performance.

In this paper, we discuss the UWB antennas performance evaluation scheme with measurement data. This scheme is based on the Friis' transmission formula, adapted to UWB, in the sense that we derive the equivalent transmission gain of UWB systems. The transmission and the receiver template waveforms are the keys for the extension of the Friis' formula to UWB. Experimental investigations are done for different types of wideband antennas.

## II. ANTENNAS PERFORMANCE EVALUATION

### A. UWB Transmission Waveform

Free space channel response including antennas is obtained by using Friis' formula as

$$H_c(f, d) = H_t(f, d) \mathbf{H}_t(f, \Omega_t) \cdot \mathbf{H}_r(f, \Omega_r), \quad (1)$$

where  $\mathbf{H}_a$  ( $a = r$  or  $t$ ) is a complex transfer function vector of the antenna relative to the isotropic antenna towards the  $\Omega_a = (\theta_a, \varphi_a)$  direction, i.e.

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_a(f, \Omega_a) &= \mathbf{H}_a(f, \theta_a, \varphi_a) \\ &= \hat{\theta}_a H_{a\theta}(f, \theta_a, \varphi_a) + \hat{\varphi}_a H_{a\varphi}(f, \theta_a, \varphi_a), \end{aligned} \quad (2)$$

where  $a = r$  or  $t$ ,

$$H_t(f, d) = \frac{\lambda}{4\pi d} \exp(-jk d) \quad (3)$$

is the free space transfer function where

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (4)$$

is the propagation constant. Unit vectors  $\hat{\theta}_a, \hat{\varphi}_a$  express the polarization and are defined with respect to the local polar coordinates of the antennas. The following relations can be easily derived.

$$\hat{\theta}_r = \hat{\theta}_t, \quad (5)$$

$$\hat{\varphi}_r = -\hat{\varphi}_t. \quad (6)$$

The spectrum of the receiver input  $V_r(f)$  is given as

$$V_r(f) = H_c(f, d) V_t(f), \quad (7)$$

where  $V_t(f)$  is the spectrum of the transmit waveform.

### B. UWB Correlation Receiver

UWB correlation receiver shown in Fig. 1. The output SNR is dependent on the choice of the template waveform. The correlator output  $v_o(\tau)$  is therefore expressed as

$$v_o(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_t(t) h_w(t - \tau) dt, \quad (8)$$

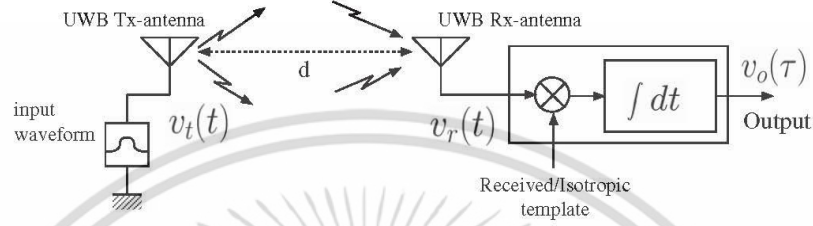


Fig. 1. Block diagram of transmission system Model for UWB signal.

where  $v_t(t)$  is the receiver input waveform which is the inverse Fourier transform of Eq. (7), and  $h_w(t)$  is the template waveform.  $\tau$  corresponds to the timing of the template waveform, and the optimum timing  $\tau_o$  is chosen as

$$\tau_o = \arg \max_{\tau} v_o(\tau). \quad (9)$$

Hereafter  $h_w(t)$  is normalized as

$$\int_{-\infty}^{\infty} |h_w(t)|^2 dt = 2B, \quad (10)$$

where  $B$  is the signal bandwidth, so that the output noise power is a constant as  $N_0 B$ , where  $\frac{N_0}{2}$  is the power spectral density of AWGN.

Under the constraint of Eq. (10),  $h_{wm}(t)$  maximizes  $v_o(\tau_o)$  when  $h_{wm}(t)$  is a time-reversed and scaled version of  $v_t(t)$ , i.e.

$$h_{wm}(t) = \frac{\sqrt{2B} v_t(\tau_o - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_t(t)|^2 dt}}, \quad (11)$$

where  $\tau_o$  is usually chosen so that  $h_{wm}(t) = 0$  for  $t < 0$  to satisfy the causality.  $h_{wm}(t)$  is called the optimum template waveform hereafter. It is noted that the link budget evaluation is identical to that in Ref. [6] when  $h_{wm}(t)$  is used as the receiver template.

### C. Feasibility of the Optimum Correlation Receiver

It is obvious from Eq. (11) that the optimum template waveform is not the simple time-reversed version of the transmitter waveform, but the channel characteristics including the antennas and the free space propagation. Therefore, it is not always feasible to adapt the template waveform to the angular-dependent antenna characteristics, since the waveform shall be generated at the clock rate of tens of gigahertz. Therefore, we consider a canonical template waveform  $h_{wc}(t)$ . In this paper we have chosen  $h_{wc}(t)$  that is optimum for the isotropic and the constant gain antennas, i.e.

$$h_{wc}(t) = \frac{\sqrt{2B} v_{r-iso}(\tau_o - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_{r-iso}(t)|^2 dt}}, \quad (12)$$

where

$$v_{r-iso}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_t(f) V_i(f) \exp(j2\pi f t) df \quad (13)$$

is the receiver input voltage for the case of isotropic antennas used in both sides. The difference between the optimum and the isotropic templates indicates quantitatively the distortion of the waveform.

## III. EXPERIMENTAL EVALUATION OF CHANNELS WITH VARIOUS UWB ANTENNAS

### A. The Transmitted Waveforms of UWB-IR System

The effect of the waveform distortion is more obvious when the bandwidth is wider. We considered the transmitted waveforms that fully cover the Federal Communications Commission (FCC) frequency band, i.e., 3.1 – 10.6 GHz [8] and common frequency band available between the FCC of USA, European Conference of Postal and Telecommunications Administrations/Electronic Communications Committee (CEPT/ECC) of Europe and Ministry of Internal Affairs and Communications (MIC) of Japan, i.e., 7.25 – 8.5 GHz [9]. In this paper, the rectangular passband and root raised cosine passband waveforms are used as the transmitted waveforms.

1) *Rectangular Passband Waveform*: The rectangular passband waveform is the waveform with rectangular spectrum and its spectral density is defined as

$$V_{i,rc}(f) = \begin{cases} 1 & ||f| - f_c| \leq \frac{f_b}{2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (14)$$

where  $f_c$  is the center frequency and  $f_b$  is the spectral bandwidth. For satisfying the FCC spectral masks for indoor and outdoor limits,  $f_c$  and  $f_b$  are set to 6.85 and 7.50 GHz, respectively. For satisfying the common frequency band spectral mask,  $f_c$  and  $f_b$  are set to 7.875 and 1.250 GHz, respectively.

2) *Root Raised Cosine Passband Waveform*: The root raised cosine passband waveform is the waveform with root raised cosine spectrum and its spectral density is defined as

$$V_{i,rc}(f) = \begin{cases} 1 & ||f| - f_c| \leq \frac{(1-\beta)}{2T} \\ A & \frac{(1-\beta)}{2T} < ||f| - f_c| \leq \frac{1+\beta}{2T} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (15)$$

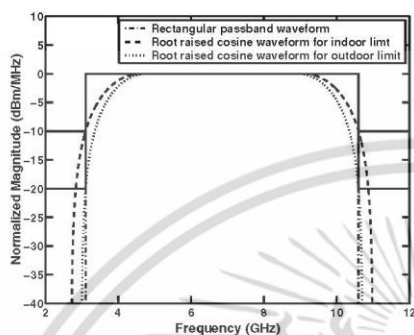


Fig. 2. Normalized spectral densities compared with FCC spectral masks for indoor and outdoor limits

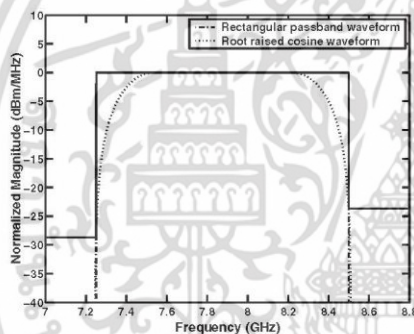


Fig. 3. Normalized spectral densities compared with common frequency band spectral mask

where

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

$T = 1/f_b$  is the reciprocal of the symbol-rate and  $\beta = 0.3$  is the roll-off factor. For satisfying the FCC spectral masks,  $f_c$  is set to 6.85 GHz. The spectral bandwidth  $f_b$  is set to 6.37 and 5.94 GHz for satisfying FCC spectral masks for indoor and outdoor limits, respectively. For satisfying the common frequency band spectral mask,  $f_c$  and  $f_b$  is set to 7.877 and 0.975 GHz, respectively.

The normalized spectral densities of these waveforms compared with FCC spectral masks and common frequency band spectral mask are shown in Figs. 3 and 4, respectively.

#### B. Experimental Setup and Measurement Model

An UWB radio channel transfer function was measured as  $S_{21}$  in frequency domain by using a vector network analyzer (VNA) in an anechoic chamber. The VNA was operated in the

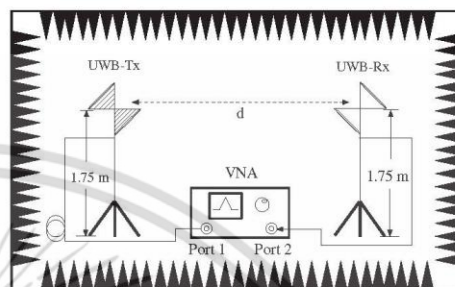


Fig. 4. The instrument setup.

response measurement mode, where Port-1 was the transmitter (Tx) port and Port-2 was the receiver (Rx) port, respectively. Both Tx and Rx antennas were fixed at the height of 1.75 m and separated by 4 m.

The setup is sketched in Fig. 4.

We used a biconical antenna as the Tx antenna. We have chosen this antenna for ease of fabrication, as well as its low distortion property. The geometry of the antenna is shown in Fig. 5. The upper cone is connected to the center conductor of a coaxial line while the lower cone is connected to the shield conductor. The maximum diameter is 65.3 mm and length is 37 mm. We changed only the Rx antennas to compare the transmission properties.

#### IV. RESULTS

In this section, standard broadband antennas and deployable antennas are used in the measurement for the link budget evaluation.

Recently, many UWB antennas have been proposed for the short range communications and radars. Among them, we have used a miniature antenna that is commercially available, and a trapezoidal antenna with an L-shaped ground plane that is easily fabricated.

1) *Biconical Antenna*: First, the same biconical antennas were used both at Tx and Rx sides. Figure 7 shows the normalized UWB transmission gain as a function of antenna pointing angle in the E-plane. Well-known 8-shaped patterns were obtained. Two template waveforms were used for comparison, and the difference was rather small. The phase center of the biconical antenna is the feed point and it has theoretically the frequency independent gain at broadside direction, and that is why the waveform distortion effect is small compared with the isotropic template.

2) *Log-Periodic Dipole Antenna*: A log-periodic dipole antenna (LPDA) is also used at broadband. It also has a frequency-independent gain. Different from biconical antennas, however, the dispersion characteristic of LPDA is rather big, since the phase center changes with frequency due to the resonance of the dipole elements [10].

We used a commercial LPDA, Watkins-Johnson's AR7-15A, shown in Fig. 8. The antenna has been designed to operate in the range of 1 to 12.4 GHz. Figure 10 shows the normalized UWB transmission gain pattern for biconical-LPDA link in E-plane. As is known, an LPDA is uni-directional and its gain is higher than that of a biconical antenna. The degradation of the transmission gain is observed when the canonical isotropic template is used, since the waveform dispersion is obvious [10].

#### V. DISCUSSION

The UWB antennas performance with transmission gain, using both the received signal template and isotropic template waveforms, gives us quantitative measure of the link budget. Since we have chosen broadband antennas, the trend of the narrowband gain is reflected in the UWB transmission gain. Another issue is the distortion of the waveform. The difference between the optimum and the isotropic templates is a measure of the waveform distortion. It is obvious that the use of LPDA caused the biggest distortion among the sample antennas, as its dispersion characteristic is significantly large.

#### VI. CONCLUSION

This paper we evaluated the antennas performance, which includes the transmit waveform, antennas, free space propagation, and receiver correlator template waveform for UWB localization. By using the definition, we have evaluated three types of broadband antennas. The formulation presented in the preceding paper [6] is a special case for the optimum template waveform in this paper. Therefore, as is also presented in [6], IEEE 802.15.3a path loss model [7] is also a special case of the formulation presented in this paper, by considering the single ASK pulse, the frequency independent isotropic antenna, and the optimum receiver template.

#### REFERENCES

- [1] J. McLean, H. Foltz, and R. Sutton, "The Quantitative Assessment of Log-periodic Dipole Antennas with Fixed Equalization," 2004 International Workshop Ultra Wideband Systems Joint with Conference on Ultra Wideband Systems Technologies (Joint UWBST & IWUWBS 2004), May 2004.
- [2] H.E. Harmuth and S. Ding-Rong, "Antennas for Nonsinusoidal Wave Part I: Radiators," IEEE Trans. Elec. Mag. Comput., vol. EMC-25, no. 1, pp. 13-24, Feb. 1983.
- [3] H.T. Friis, "A note on a simple Proc. IRE, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May 1946.
- [4] United States of America, "Path loss calculations for ultra-wideband signals in indoor environments," ITU-R Document 3K/30-E, pp. 1-14, Nov. 2003.
- [5] J. McLean, H. Foltz, and R. Sutton, "The quantitative assessment of the effects of dissipative loading on the ti
- [6] S. Promwong, and J. Takada, "Free space link budget estimation scheme for ultra wideband impulse radio with imperfect antennas," IEICE Electronics Express, vol. 1, no. 7, pp. 188-192, July 2004.
- [7] J. Foerster, "Channel modeling sub-committee report final," IEEE P802.15-02/368r5-SG3a, Nov. 2002.
- [8] "Radio Frequency Devices," Part 15, Federal Communications Commission Rules, Dec. 2003.
- [9] W. Hirt and M. Weisshorn, "Overview and implications of the emerging global UWB radio regulatory framework," in Proc. The 2006 IEEE Int. Conf. on Ultra-Wideband, pp. 581-586, Sept. 2006.
- [10] H.G. Schantz, "Dispersion and UWB antennas," Proc. 2004 Int. Workshop Ultra Wideband Syst. / Conf. Ultra Wideband Syst. Tech. (Joint UWBST & IWUWBS 2004), Kyoto, Japan, May 2004.

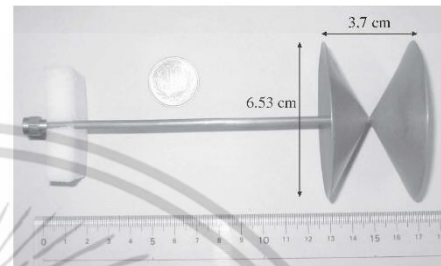


Fig. 5. Biconical antenna structure.

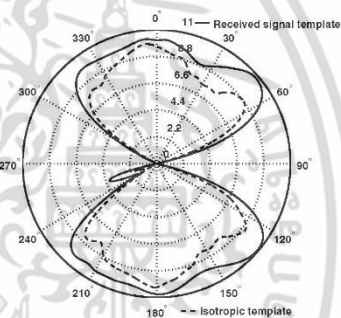


Fig. 6. Transmission gain of rectangular passband waveform satisfying FCC spectral mask for biconical-biconical link.

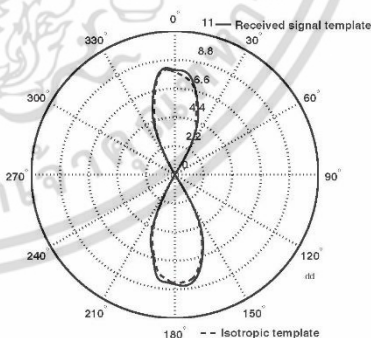


Fig. 7. Transmission gain of root raised cosine passband waveform satisfying common frequency band spectral mask for biconical-biconical link.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Fig. 8. Log-periodic dipole antenna (Walkins-Johnson AR7-15A).

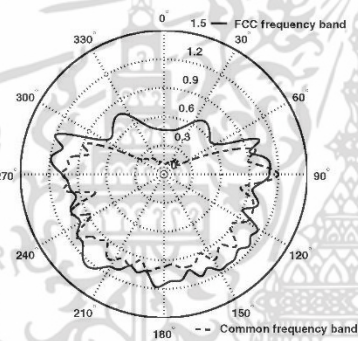


Fig. 9. Transmission gain of rectangular passband waveform satisfying FCC spectral mask for LPDA-LPDA link.

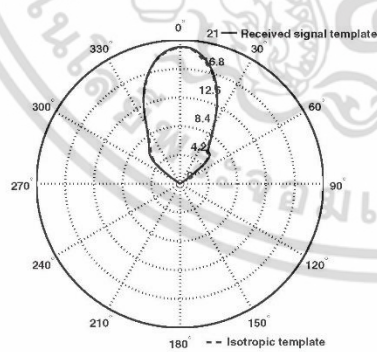


Fig. 10. Transmission gain of root raised cosine passband waveform satisfying common frequency band spectral mask for LPDA-LPDA link.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายสิรภพ มิ่งมณี  
วัน เดือน ปีเกิด 28 พฤษภาคม 2535 กรุงเทพมหานคร  
ที่อยู่ 2345/24 ซอยลาดพร้าว 67/1 ถนนลาดพร้าว แขวงสะพานสอง เขตวังทองหลาง กรุงเทพมหานคร 10310  
ประวัติการศึกษา 2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] S. Mingmanee and S. Promwong “Experimental Study of DVB-T2 Propagation Loss in an Indoor Environment”, International Symposium on Multimedia and Communication Technology (ISMAC 2015), pp 170 – 174, September 23-25, 2015, Thailand.
- [2] S. Mingmanee and S. Promwong “Experimental Study of DVB-T2 Propagation Channel with Bangkok Thailand Environment”, 1<sup>st</sup> International Conference on Digital Arts, Media and Technology (ICDAMT 2016), pp xxx – xxx, February 17-20, 2016, Thailand.
- [3] V. Kingsakda, P. Satahack, S. Mingmanee and S. Promwong “Evaluation of Antennas Performance with FCC and Common Spectral Mask for UWB Localization”, TENCON 2014 - IEEE Region 10 Conference, pp 1 – 5, October 22-25, 2014, Thailand.