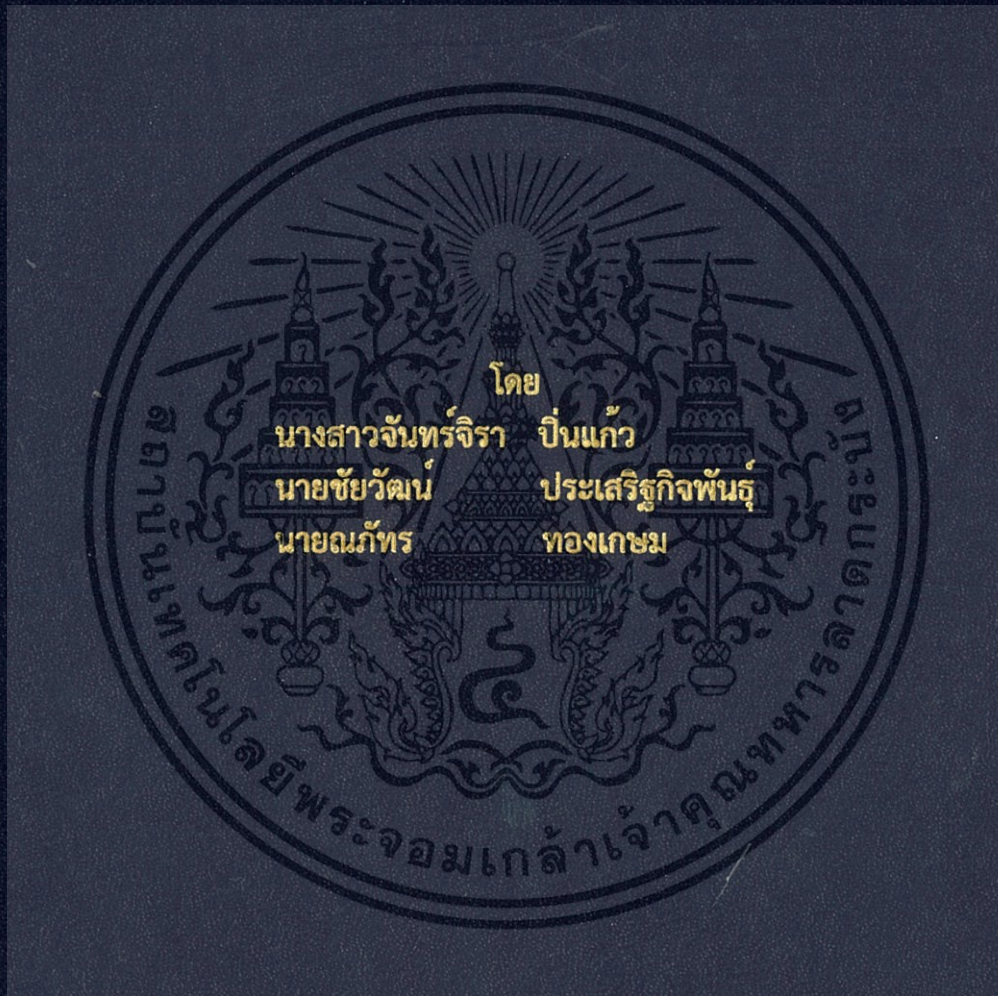


ชุดค้นหาและคัดสัญญาณอุปกรณ์สื่อสารโดยใช้ SDR  
SCANNER AND JAMMER FOR COMMUNICATED DEVICES BY SDR



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

ชุดค้นหาและตัดสัญญาณอุปกรณ์สื่อสารโดยใช้ SDR  
SCANNER AND JAMMER FOR COMMUNICATED DEVICES BY SDR

โดย

นางสาวจันทร์จิรา	ปิ่นแก้ว	56010160
นายชัยวัฒน์	ประเสริฐกิจพันธ์	56010297
นายณภัทร	ทองเกษม	56010356



อาจารย์ที่ปรึกษา  
ศ.ดร. พรชัย ทรัพย์นิธิ  
รศ.ดร. พิสิฐ บุญศรีเมือง

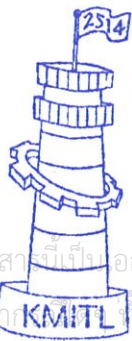
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559



ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

*(Signature)*  
.....  
อาจารย์ที่ปรึกษา  
25/5/2560



ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

*(Signature)*  
.....  
กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน  
วิศวกรรมโทรคมนาคม  
KMITL  
Telecommunications Engineering

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์  
ไม่อาจรับผิดชอบต่อความเสียหายใดๆ ที่เกิดขึ้นจากการใช้เอกสารนี้ หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ  
วิศวกรรมโทรคมนาคม  
Telecommunications Engineering

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดค้นหาและตัดสัญญาณอุปกรณ์สื่อสารโดยใช้ SDR

SCANNER AND JAMMER FOR COMMUNICATED DEVICES BY SDR

ผู้จัดทำ

1. นางสาวจันทร์จิรา ปิ่นแก้ว 56010160
2. นายชัยวัฒน์ ประเสริฐกิจพันธ์ 56010297
3. นายณภัทร ทองเกษม 56010356

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ศ.ดร. พรชัย ทรัพย์นิธิ)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(รศ.ดร. พิสิฐ บุญศรีเมือง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการงานฉบับนี้เกี่ยวกับชุดค้นหาและตัดสัญญาณอุปกรณ์สื่อสารโดยใช้ SDR สำเร็จลงได้ด้วยความสามารถ และความช่วยเหลืออย่างสูงจากอาจารย์ปรึกษาหลัก ศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ รศ.ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง ขอบคุณอาจารย์ ดร.เวธิต ภาคย์พิสุทธิ์ ผศ.ดร.นภัทร สระเอี่ยม และนักศึกษาปริญญาโท คุณจตุพร ต่วงทอง ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และตรวจสอบ แก้ไข ข้อบกพร่องทุกขั้นตอนของการจัดทำโครงการรวมทั้งนักศึกษาปริญญาโทและปริญญาเอก ภาควิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทางคณะ ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา เพื่อนนักศึกษา ตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้ กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ให้กำลังใจและมีส่วนช่วยเหลือให้โครงการฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ท้ายที่สุด คณะผู้จัดทำโครงการหวังว่าโครงการฉบับนี้จะเป็นประโยชน์กับผู้สนใจไม่  
มากก็น้อย

นางสาวจันทร์จิรา ปิ่นแก้ว  
นายชัยวัฒน์ ประเสริฐกิจพันธ์  
นายณภัทร ทองเกษม  
ผู้จัดทำ

ชุดค้นหาและตัดสัญญาณอุปกรณ์สื่อสารโดยใช้ SDR

SCANNER AND JAMMER FOR COMMUNICATED DEVICES BY SDR

โดย นางสาวจันทร์จิรา ปิ่นแก้ว 56010160

นายชัยวัฒน์ ประเสริฐกิจพันธุ์ 56010297

นายณภัทร ทองเกษม 56010356

อาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร. พรชัย ทรัพย์นิธิ  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร. พิสิฐ บุญศรีเมือง

#### บทคัดย่อ

โครงการนี้ออกแบบสำหรับค้นหาสัญญาณความถี่โทรศัพท์มือถือ และรบกวนสัญญาณโดยใช้อุปกรณ์ SDR (Software Define Radio) ในย่านความถี่ของโทรศัพท์มือถือในประเทศไทย ระยะเวลาการทำงานขึ้นอยู่กับความสามารถอุปกรณ์ ในงานนี้ใช้ USRP-B210 เป็นเครื่องส่งสัญญาณรบกวน โดยที่ระบบทั้งหมดของเครื่องรบกวนสัญญาณ รวมทั้ง สัญญาณพินเปลือยที่สร้าง และวงจรควบคุมแรงดัน (VCO) ใช้ซอฟต์แวร์ในการออกแบบ

#### ABSTRACT

This project is designed to scan a frequency mobile signal and jam the signal by SDR (Software Define Radio). The frequency bands of cellular phone, allocated in Thailand. The activated range depend on tool's performance. We employ the USRP-B210 as a jamming signal transmitter. All of the jamming system, including generated sawtooth and voltage control oscillator (VCO), are implemented in the software

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	XII
<b>บทที่ 1</b>	
<b>บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์	2
<b>บทที่ 2</b>	
<b>ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>3</b>
2.1 เทคโนโลยีวิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์	3
2.2 GNU RADIO	10
2.3 โปรแกรม Qt Creator	13
2.4 Global System For Mobile Communication (GSM)	17
2.5 Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA)	22
2.6 Long Term Evolution (LTE)	26
2.7 Absolute Radio Frequency Channel Number (ARFCN)	29
2.8 Fast Fourier Transform (FFT)	32
2.9 การสุ่มตัวอย่าง (Sampling)	34
2.10 รูปแบบของเครื่องรบกวนสัญญาณและตรวจจับสัญญาณ โทรศัพท์มือถือ	37
2.11 Jamming To Signal Ratio (JSR)	40

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3</b>	
<b>การออกแบบและการจัดทำปฏิญญาฉบับหนึ่ง</b>	<b>41</b>
3.1 การออกแบบการทำงานของสัญญาณรบกวน	41
3.2 การออกแบบการค้นหาสัญญาณ	53
3.3 การออกแบบ User Interface	57
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	60
<b>บทที่ 4</b>	
<b>ผลการทดลอง</b>	<b>67</b>
4.1 การวัดความถี่ในแต่ละย่านของสัญญาณมือถือ	67
4.2 การวัดผลการรบกวนในแต่ละย่านของสัญญาณมือถือภายในอาคาร	74
4.3 การวัดผลการรบกวนในแต่ละย่านของสัญญาณมือถือภายนอกอาคาร	85
4.4 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ	96
4.5 ผลการทดลองรับสัญญาณโทรศัพท์มือถือ	104
4.6 การทดสอบ User Interface	110
<b>บทที่ 5</b>	
<b>สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	<b>115</b>
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>116</b>

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แผนภาพบล็อกของ SDR (ภาครับ)	4
2.2	แผนภาพบล็อกของ SDR (ภาคส่ง)	4
2.3	บล็อกไดอะแกรม I/Q Demodulator	5
2.4	องค์ประกอบ $I(t)$ และ $Q(t)$ ในรูปเชิงขั้ว	8
2.5	โครงสร้างของ GNU Radio	10
2.6	โปรแกรม Qt Creator	13
2.7	โครงสร้างสถาปัตยกรรม Qt Framework	13
2.8	รูปแบบการทำงานของ Qt Creator	14
2.9	รูปแบบการทำงานในโหมดของ Edit	15
2.10	รูปแบบการทำงานในโหมด Design	16
2.11	การส่งสัญญาณระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน	18
2.12	โครงสร้างของระบบ GSM	19
2.13	Switching System	19
2.14	ระบบของสถานีฐาน	20
2.15	ภาพรวมการแผ่สเปกตรัมของ WCDMA	22
2.16	ตัวอย่างการสร้างรหัส OVSF โดยใช้รหัสแผนภูมิต้นไม้	23
2.17	ความสัมพันธ์ของ OVSF และรหัสแยกช่องความถี่	24
2.18	ลักษณะการรับสัญญาณของ RAKE Receiver	25
2.19	การส่งสัญญาณดิจิทัลด้วยคลื่นพาห์เดี่ยว	27
2.20	ระบบ OFDM ที่ใช้คลื่นพาห์ N คลื่น	28
2.21	การเชื่อมต่อสัญญาณโทรศัพท์มือถือกับสถานีฐาน	29
2.22	ระบบ GSM900	29
2.23	ช่องสัญญาณ GSM900	30
2.24	ARFCN ของระบบ GSM900(P-GSM)	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25 การรับข้อมูลสัญญาณของโทรศัพท์มือถือ	31
2.26 การจัดเรียงตามความถี่หลังจากการแปลง FFT สองมิติ	33
2.27 สัญญาณแอนะล็อก (Analog Signal)	34
2.28 สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal)	34
2.29 Nyquist Frequency And Rate	35
2.30 การเกิด Aliasing ของสัญญาณ	36
2.31 ตัวอย่างการซีกค่าตัวอย่างในข้อมูล	36
2.32 กราฟค่ากำลังวัตต์ของเครื่องรบกวนสัญญาณ	38
3.1 การรบกวนสัญญาณเต็มย่าน	42
3.2 Sweeping Jamming	42
3.3 บล็อกรบกวนสัญญาณคลื่นวิทยุ	43
3.4 SIGNAL SOURCE	44
3.5 สัญญาณฟันเลื่อย (Saw Tooth)	44
3.6 VCO (Complex)	45
3.7 THROTTLE	46
3.8 USRP SINK	46
3.9 ค่าพารามิเตอร์ของบล็อก SIGNAL SOURCE	47
3.10 กราฟไซน์ที่ความถี่ = 1000 HZ	48
3.11 บล็อก VARIABLE (Sample Rate = 500 Hz)	48
3.12 บล็อก VARIABLE (Sample Rate = 1000 Hz)	49
3.13 บล็อก VARIABLE (Sample Rate = 2000 Hz)	49
3.14 บล็อก VARIABLE (Sample Rate = 2000 Hz)	50
3.15 บล็อก VARIABLE (Sample Rate = 10 kHz)	50
3.16 บล็อก VARIABLE (Sample Rate = 10 kHz)	51

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.17	บล็อก VARIABLE (Sample Rate = 32 kHz)	51
3.18	บล็อก VARIABLE (Sample Rate = 32 kHz)	52
3.19	บล็อกการทดลองรับสัญญาณ	53
3.20	ค่าพารามิเตอร์บล็อก USRP Source	53
3.21	ค่าพารามิเตอร์บล็อก WX Gui Slider	54
3.22	การค้นหาสัญญาณของโปรแกรม	54
3.23	การอ้างอิงการพบสัญญาณของโปรแกรม	55
3.24	ผังงานของโปรแกรม	55
3.25	การใช้งานโปรแกรมผ่าน USRP	56
3.26	หลักการทำงานของโปรแกรม	57
3.27	การแสดงผลหน้าจอหลัก	58
3.28	การแสดงผลหน้าจอส่วน SCAN	58
3.29	ส่วนแสดงผลความถี่ที่มีการใช้	59
3.30	การแสดงผลหน้าจอส่วน JAM	59
3.31	SONY VAIO E-Series (Intel Core i7)	60
3.32	USRP B210	61
3.33	VERT2450 Antenna	62
3.34	USB 3.0 CABLE [14]	62
3.35	ORO072709-PNJ-01 [15]	63
3.36	เครื่องวัดสเปกตรัมรุ่น N9320B [16]	64
3.37	Coaxial Cable SMA-Type N [17]	65
3.38	ลักษณะของอุปกรณ์ Raspberry Pi Model B+ [18]	66
4.1	เครื่องวัดสเปกตรัม และสายอากาศ	67
4.2	สเปกตรัมย่านความถี่ 850 MHz (TRUE)	69

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (TRUE)	69
4.4	สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (TRUE)	70
4.5	สเปกตรัมย่านความถี่ 900 MHz (AIS)	70
4.6	สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (AIS)	71
4.7	สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (AIS)	71
4.8	สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (DTAC)	72
4.9	สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (DTAC)	72
4.10	การทดลองวัดกำลังของสัญญาณรบกวนเทียบกับสัญญาณมือถือ	74
4.11	สเปกตรัมย่านความถี่ 900 MHz (AIS) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน	75
4.12	สเปกตรัมย่านความถี่ 900 MHz (AIS) หลังส่งสัญญาณรบกวน	75
4.13	สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (AIS) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน	76
4.14	สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (AIS) หลังส่งสัญญาณรบกวน	76
4.15	สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (AIS) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน	77
4.16	สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (AIS) หลังส่งสัญญาณรบกวน	77
4.17	สเปกตรัมย่านความถี่ 850 MHz (DTAC) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน	78
4.18	สเปกตรัมย่านความถี่ 850 MHz (DTAC) หลังส่งสัญญาณรบกวน	78
4.19	สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (DTAC) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน	79
4.20	สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (DTAC) หลังส่งสัญญาณรบกวน	79
4.21	สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (DTAC) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน	80
4.22	สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (DTAC) หลังส่งสัญญาณรบกวน	80
4.23	สเปกตรัมย่านความถี่ 850 MHz (TRUE) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน	81
4.24	สเปกตรัมย่านความถี่ 850 MHz (TRUE) หลังส่งสัญญาณรบกวน	81
4.25	สเปกตรัมย่านความถี่ 900 MHz (TRUE) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน	82
4.26	สเปกตรัมย่านความถี่ 900 MHz (TRUE) หลังส่งสัญญาณรบกวน	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.27	สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (TRUE) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน	83
4.28	สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (TRUE) หลังส่งสัญญาณรบกวน	83
4.29	สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (TRUE) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน	84
4.30	สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (TRUE) หลังส่งสัญญาณรบกวน	84
4.31	การทดลองวัดกำลังของสัญญาณรบกวน เทียบกับสัญญาณมือถือ	85
4.32	สเปกตรัมย่านความถี่ 900 MHz (AIS) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน	86
4.33	สเปกตรัมย่านความถี่ 900 MHz (AIS) หลังส่งสัญญาณรบกวน	86
4.34	สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (AIS) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน	87
4.35	สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (AIS) หลังส่งสัญญาณรบกวน	87
4.36	สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (AIS) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน	88
4.37	สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (AIS) หลังส่งสัญญาณรบกวน	88
4.38	สเปกตรัมย่านความถี่ 850 MHz (DTAC) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน	89
4.39	สเปกตรัมย่านความถี่ 850 MHz (DTAC) หลังส่งสัญญาณรบกวน	89
4.40	สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (DTAC) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน	90
4.41	สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (DTAC) หลังส่งสัญญาณรบกวน	90
4.42	สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (DTAC) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน	91
4.43	สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (DTAC) หลังส่งสัญญาณรบกวน	91
4.44	สเปกตรัมย่านความถี่ 850 MHz (TRUE) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน	92
4.45	สเปกตรัมย่านความถี่ 850 MHz (TRUE) หลังส่งสัญญาณรบกวน	92
4.46	สเปกตรัมย่านความถี่ 900 MHz (TRUE) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน	93
4.47	สเปกตรัมย่านความถี่ 900 MHz (TRUE) หลังส่งสัญญาณรบกวน	93
4.48	สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (TRUE) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน	94
4.49	สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (TRUE) หลังส่งสัญญาณรบกวน	94
4.50	สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (TRUE) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.51	สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (TRUE) หลังส่งสัญญาณรบกวน	95
4.52	การทดลองกำลังสัญญาณรบกวนเทียบกับสัญญาณมือถือ	97
4.53	กราฟผลการทดลองกำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนต่อระยะทาง (ในอาคาร)	98
4.54	กราฟผลการทดลองกำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนต่อระยะทาง (นอกอาคาร)	100
4.55	การทดลองวัดระยะทางเทียบกับเวลาการย้ายย่านความถี่โทรศัพท์	101
4.56	ผลการทดลองเวลาการย้ายย่านของโทรศัพท์มือถือต่อระยะทาง	102
4.57	การทดลองวัดกำลังของสัญญาณในการตัดสัญญาณโทรศัพท์มือถือ	103
4.58	สเปกตรัมของสัญญาณที่ได้รับ	104
4.59	กราฟ Waterfall ของสัญญาณที่ได้รับ	104
4.60	ไลบรารีที่เรียกใช้ในโปรแกรมค้นหาสัญญาณ	105
4.61	ฟังก์ชันพารามิเตอร์ของโปรแกรมค้นหาสัญญาณ	106
4.62	ผลลัพธ์การค้นหาสัญญาณในช่วง 874 - 878 MHz	107
4.63	ความถี่ที่ได้รับจากการค้นหา	107
4.64	ผลลัพธ์การค้นหาสัญญาณ 94.5 - 96.75 MHz โดยใช้โปรแกรม	108
4.65	สเปกตรัมสัญญาณจาก RTL-SDR	109
4.66	หน้าหลักการแสดงผลหน้าจอ	110
4.67	การแจ้งเตือนเมื่อไม่ได้ทำการเชื่อมต่อ USRP-B210	110
4.68	การแจ้งเตือนเมื่อเชื่อมต่อ USRP-B210	111
4.69	การแสดงผลหน้าจอส่วนของ SCAN	111
4.70	การแสดงผลการค้นหาสัญญาณบนคอมพิวเตอร์ไลน์	112
4.71	การแสดงผลความถี่ที่มีการใช้งาน	112
4.72	การแสดงผลการรบกวนสัญญาณบนคอมพิวเตอร์ไลน์	113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.73	การแสดงผลหน้าจอส่วนของ JAM	113
4.74	การตัดสัญญาณโดยป้อนค่าความถี่	114
4.75	การตัดสัญญาณโทรศัพท์มือถือ	114



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	41
3.2	60
3.3	61
3.4	62
3.5	63
3.6	64
3.7	65
3.8	66
4.1	67
4.2	68
4.3	73
4.4	97
4.5	99
4.6	101
4.7	103

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันโทรศัพท์เคลื่อนที่ถูกนำมาใช้งานเป็นจำนวนมาก ทั้งในทางที่เป็นประโยชน์ และเป็นผลเสีย อย่างเช่นมีการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในห้องเรียนหรือในห้องประชุมในเวลาที่ไม่สมควรหรือสถานที่ที่ไม่เหมาะสม และนอกจากนี้โทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถนำไปใช้ในการจุดฉนวนระเบิดจากเหตุการณ์ต่าง ๆ ดังนั้น อุปกรณ์ตัดสัญญาณโทรศัพท์จึงมีความจำเป็นเพื่อป้องกันการใช้งานไม่พึงประสงค์อุปกรณ์ตัดสัญญาณโดยทั่วไปในห้องตลาดถูกผลิตด้วยวงจรไฟฟ้า ทำให้การตัดแปลงแก้ไขในอนาคตสามารถทำได้ยาก ส่วน Software Defined Radio (SDR) นั้นสามารถตัดแปลงแก้ไขได้จากซอฟต์แวร์ซึ่งสิ้นเปลืองน้อยกว่าฮาร์ดแวร์ในระยะยาว

ในปี พศ. 2554 [1] ได้นำเสนอวิธีการตัดสัญญาณโดยใช้ SDR โดยตัดสัญญาณ เช่น เรดาร์ หรือสัญญาณวิทยุ แต่จำเป็นต้องระบุความถี่สัญญาณ ดังนั้นโครงงานนี้ จึงได้ทำการศึกษา SDR โดยสามารถค้นหาสัญญาณและใช้ตัดสัญญาณเครื่องมือสื่อสารในสถานที่ใดก็ได้ เช่น ห้องประชุม สถานที่ราชการ นอกจากนี้ในงานวิจัยยังได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์ SDR และผลกระทบจากการใช้งานของอุปกรณ์

#### 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาการทำงานของ Software Defined Radio (SDR) และ Raspberry Pi เพื่อออกแบบอุปกรณ์สำหรับค้นหาและตัดสัญญาณการสื่อสาร
- 2) ใช้ SDR เชื่อมต่อกับ Raspberry Pi โดยใช้โปรแกรม GNURadio หรือ MATLAB
- 3) เพื่อป้องกันการใช้งานอุปกรณ์สื่อสารในพื้นที่ห้ามใช้ เช่น ห้องสอบ ห้องประชุม เป็นต้น

### 1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

ชุดค้นหาและตัดสัญญาณอุปกรณ์สื่อสารโดยใช้ SDR มีส่วนหลัก 2 ส่วน คือ ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ใช้โปรแกรม GNURadio หรือ MATLAB ออกแบบและควบคุมอุปกรณ์ SDR เพื่อค้นหาความถี่อุปกรณ์สื่อสารบริเวณโดยรอบ โดยขึ้นอยู่กับความสามารถของอุปกรณ์ SDR และสามารถเลือกตัดสัญญาณความถี่อุปกรณ์เหล่านั้นได้ ส่วนฮาร์ดแวร์ใช้ Raspberry Pi เชื่อมต่อกับ SDR สามารถแสดงผลและควบคุมการทำงาน ด้วยจอแสดงผลระบบสัมผัส ทำให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมอุปกรณ์ได้ง่าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

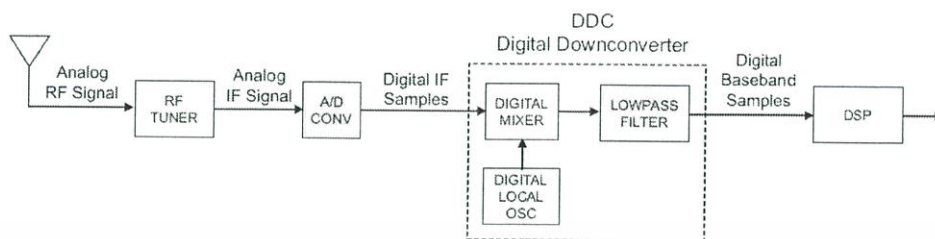
### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เทคโนโลยีวิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์

เทคโนโลยีวิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์ (Software Defined Radio: SDR) คือ ระบบเครื่องรับ-ส่งวิทยุที่ใช้การปรับเปลี่ยนคุณลักษณะของเครื่องรับ-ส่งวิทยุ โดยการควบคุมจากซอฟต์แวร์ทั้งหมดและเป็นระบบการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุซึ่งมีองค์ประกอบที่ได้มีการนำมาใช้โดยทั่วไปในฮาร์ดแวร์ (ตัวอย่างเช่น ตัวผสมสัญญาณ, ตัวกรองสัญญาณ, ตัวขยายสัญญาณ, ตัวมอดูเลต/ตัวดีมอดูเลต, ตัวตรวจจับ, ฯลฯ) ที่จะถูกแทนที่โดยวิธีการของซอฟต์แวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือระบบสมองกลฝังตัว เนื่องจากการพัฒนาของอุปกรณ์ดิจิทัลเล็กทรอนิกส์สามารถพัฒนาอย่างรวดเร็วทำให้กระบวนการต่าง ๆ ที่เคยเป็นไปได้เฉพาะในทางทฤษฎีสามารถทำได้จริงในทางปฏิบัติ

##### 2.1.1 หลักการทำงาน

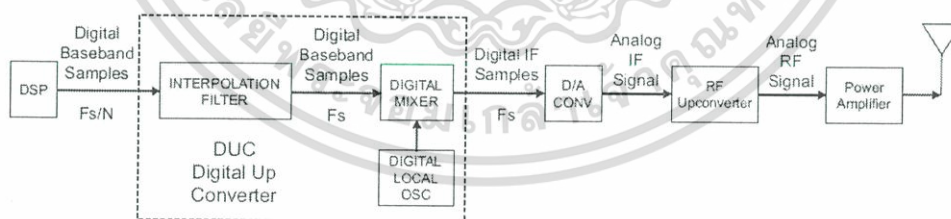
การทำงานของเครื่องรับ-ส่งวิทยุอยู่บนพื้นฐานของเทคโนโลยีวิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์ จึงเป็นรูปแบบของระบบดิจิทัลซึ่งซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมจะทำงานอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์ ด้วยเหตุนี้โครงสร้างของฮาร์ดแวร์ที่ถูกใช้งานในระบบเครื่องรับ-ส่ง บนพื้นฐานของเทคโนโลยีวิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์ จึงเป็นเพียงภาค Down Conversion และ Up Conversion ที่เป็นระบบดิจิทัลหรือที่เรียกกันว่า Digital Down Converter (DDC) สำหรับเครื่องรับ และ Digital Up Converter (DUC) สำหรับเครื่องส่งโครงสร้างภาพรวมของเครื่องรับบนพื้นฐานของเทคโนโลยีวิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์แสดงได้ดังในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนภาพบล็อกของ SDR ภาครับ

จากรูปที่ 2.1 สัญญาณวิทยุที่ได้รับได้จากสายอากาศ จะถูกแปลงเพื่อลดความถี่ลงมาทอดหนึ่งก่อนให้ได้เป็นความถี่กลาง IF (Intermediate Frequency) จากนั้นสัญญาณจะถูกแปลงจากแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นจึงถูกส่งเข้าไปยังภาค Digital Down Converter เพื่อทำการแปลงสัญญาณดิจิทัลที่ได้ให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลเบสแบนด์ จากนั้นก็จะถูกส่งเข้าไปประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์อีกครั้ง (ในรูปแทนด้วยบล็อก DSP) ให้ได้สัญญาณข้อมูลข่าวสารกลับคืนมา โดยที่การประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์นั้นประกอบไปด้วย กระบวนการตีמודูเลตและการปรับแต่งคุณลักษณะต่าง ๆ ของเครื่องรับสัญญาณ เช่น การปรับเปลี่ยนย่านความถี่ที่รับสัญญาณการปรับความกว้างของแบนด์วิดท์ เป็นต้น

ส่วนภาพรวมของเครื่องส่งวิทยุบนพื้นฐานของเทคโนโลยีวิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์สามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 2.2

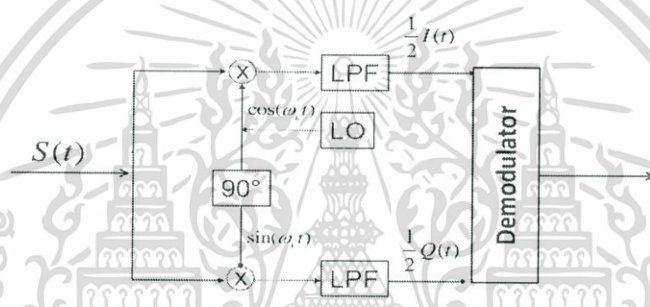


รูปที่ 2.2 แผนภาพบล็อกของ SDR ภาคส่ง

การทำงานของระบบในรูปที่ 2.2 จะเป็นไปในลักษณะย้อนกลับเมื่อเทียบกับรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นลักษณะของเครื่องรับโดยการทำงานของเครื่องส่งดังในรูปที่ 2.2 นั้นอธิบายได้ดังนี้ สัญญาณข้อมูลข่าวสารที่จะทำการส่ง ซึ่งอยู่ในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัลจะผ่านการประมวลผลด้วย

ซอฟต์แวร์ เช่น กำหนดรูปแบบการมอดูเลชันรวมถึงการปรับแต่งคุณลักษณะต่าง ๆ ของเครื่องส่ง จากนั้นสัญญาณที่ได้ ซึ่งจะเรียกว่าสัญญาณดิจิทัลเบสแบนด์จะถูกทำการเพิ่มความถี่ขึ้นไปด้วยภาค Digital Up Converter (DUC) จากนั้นจะได้สัญญาณเป็นดิจิทัล IF แล้วทำการแปลงให้เป็นสัญญาณ IF ที่เป็นสัญญาณแอนะล็อกด้วยวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก จากนั้นจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณความถี่วิทยุ RF (Radio Frequency) ก่อนขยายด้วยตัวขยายกำลัง แล้วส่งออกอากาศผ่านทางสายอากาศส่ง

### 2.1.2 หลักการทำงานของเทคโนโลยีวิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์ในเชิงคณิตศาสตร์



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรม I/Q Demodulator[1]

จากรูปที่ 2.3 เป็นสถาปัตยกรรมของการดีมอดูเลตสัญญาณ FM AM และ PM ของตัวอุปกรณ์ RTL-SDR

สัญญาณ  $S(t)$  ที่เข้ามาเป็นสัญญาณ FM AM หรือ PM ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปทั่วไปได้ดังนี้

$$S(t) = A(t) \cos(\omega_c t + \theta(t)) \quad (2.1)$$

เมื่ออุปกรณ์ RTL-SDR รับสัญญาณ  $S(t)$  เข้ามา สัญญาณ  $S(t)$  จะถูกนำไปคูณกับ  $\sin(\omega_c t)$  และคูณกับ  $\cos(\omega_c t)$

เมื่อ  $S(t)$  คูณกับ  $\sin(\omega_c t)$  จะได้สมการดังนี้

$$\begin{aligned} S(t) \sin(\omega_c t) &= A(t) \cos(\omega_c t + \theta(t)) \cdot \sin(\omega_c t) \\ &= A(t) [\cos(\omega_c t) \cos(\theta(t)) - \sin(\omega_c t) \sin(\theta(t))] \cdot \sin(\omega_c t) \\ &= A(t) [\cos(\theta(t)) \cos(\omega_c t) \sin(\omega_c t) - \sin(\theta(t)) \sin(\omega_c t) \sin(\omega_c t)] \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
&= A(t)[\cos(\theta(t))\{\frac{1}{2}\sin(2\omega_c t) + \frac{1}{2}\sin(0)\} \\
&\quad - \sin(\theta(t))\{\frac{1}{2}\cos(0) - \frac{1}{2}\cos(2\omega_c t)\}] \\
&= A(t)[\cos(\theta(t))\frac{1}{2}\sin(2\omega_c t) - \sin(\theta(t))\frac{1}{2}\{1 - \cos(2\omega_c t)\}] \\
&= \frac{A(t)}{2}[\cos(\theta(t))\sin(2\omega_c t) - \sin(\theta(t)) - \sin(\theta(t))\cos(2\omega_c t)]
\end{aligned}$$

เมื่อผ่าน lowpass filter องค์ประกอบที่มีความถี่สูงจะถูกกำจัดออกไป ดังนั้นจึงจะได้สมการดังนี้

$$Q(t) = -\frac{A(t)\sin(\theta(t))}{2} \quad (2.2)$$

และเมื่อ  $S(t)$  คูณกับ  $\cos(\omega_c t)$  จะได้สมการดังนี้

$$\begin{aligned}
S(t)\cos(\omega_c t) &= A(t)\cos(\omega_c t + \theta(t)) \cdot \cos(\omega_c t) \\
&= A(t)[\cos(\omega_c t)\cos(\theta(t)) - \sin(\omega_c t)\sin(\theta(t))] \cdot \cos(\omega_c t) \\
&= A(t)[\cos(\theta(t))\cos(\omega_c t)\cos(\omega_c t) \\
&\quad - \sin(\theta(t))\sin(\omega_c t)\cos(\omega_c t)] \\
&= A(t)[\cos(\theta(t))\{\frac{1}{2}\cos(2\omega_c t) + \frac{1}{2}\cos(0)\} \\
&\quad - \sin(\theta(t))\{\frac{1}{2}\sin(2\omega_c t) + \frac{1}{2}\sin(0)\}] \\
&= A(t)[\cos(\theta(t))\frac{1}{2}\{1 + \cos(2\omega_c t)\} - \sin(\theta(t))\frac{1}{2}\sin(2\omega_c t)] \\
&= \frac{A(t)}{2}[\cos(\theta(t)) + \cos(\theta(t))\cos(2\omega_c t) - \sin(\theta(t))\sin(2\omega_c t)]
\end{aligned}$$

เมื่อผ่าน lowpass filter องค์ประกอบที่มีความถี่สูงจะถูกกำจัดออกไป ดังนั้นจึงจะได้สมการดังนี้

$$I(t) = \frac{A(t)\cos(\theta(t))}{2} \quad (2.3)$$

จะได้องค์ประกอบสัญญาณ  $I(t)$  และ  $Q(t)$  ซึ่งจะกำหนดให้  $Q(t)$  เป็นส่วนจินตภาพ และ  $I(t)$  เป็นส่วนจริง จะได้สัญญาณ output จากบล็อก RTL-SDR ที่เชื่อมต่อโปรแกรมกับอุปกรณ์ RTL-SDR เป็นจำนวนเชิงซ้อนซึ่งมีสมการดังนี้

$$b(t) = I(t) + jQ(t)$$

$$b(t) = \frac{A(t) \cos(\theta(t))}{2} - j \frac{A(t) \sin(\theta(t))}{2} \quad (2.4)$$

การนำสัญญาณ  $b(t)$  ที่ได้จากบล็อก RTL-SDR ไปประมวลผล ถ้าสัญญาณ  $S(t)$  ที่รับเข้ามาเป็นสัญญาณ AM จะมีรูปสมการดังนี้

$$S(t) = A(t) \cdot \cos(\omega_c t + \theta_0)$$

ดังนั้น  $b(t)$  ที่ได้รับออกมาจากบล็อก RTL-SDR จะได้ดังนี้

$$b(t) = \frac{A(t) \cos(\theta_0)}{2} - j \frac{A(t) \sin(\theta_0)}{2}$$

เมื่อต้องการกู้สัญญาณ  $A(t)$  กลับคืนมาจะต้องหาขนาดของ  $b(t)$  ได้ดังนี้

$$m(t) = \sqrt{\left[ \frac{A(t) \cos(\theta_0)}{2} \right]^2 + \left[ \frac{A(t) \sin(\theta_0)}{2} \right]^2}$$

ดังนั้น  $m(t)$  มีค่าเท่ากับ

$$m(t) = \frac{A(t)}{2} \quad (2.5)$$

การนำสัญญาณ  $b(t)$  ที่ได้จากบล็อก RTL-SDR ไปประมวลผล ถ้าสัญญาณ  $S(t)$  ที่รับเข้ามาเป็นสัญญาณ FM จะมีรูปสมการดังนี้

$$S(t) = A_0 \cdot \cos(\omega_c t + k_f \int \Omega(\tau) d\tau)$$

ดังนั้น  $b(t)$  ที่ได้รับออกมาจากบล็อก RTL-SDR จะได้ดังนี้

$$b(t) = \frac{A_0 \cos(k_f \int \Omega(\tau) d\tau)}{2} - j \frac{A_0 \sin(k_f \int \Omega(\tau) d\tau)}{2}$$

เมื่อต้องการกู้สัญญาณ  $\Omega(\tau)$  กลับคืนมาจะต้องหาเฟสของ  $b(t)$  ได้ดังนี้

ขั้นแรกต้องหา conjugate ของ  $b(t)$

$$b^*(t) = \frac{A_0 \cos(k_f \int \Omega(\tau) d\tau)}{2} + j \frac{A_0 \sin(k_f \int \Omega(\tau) d\tau)}{2}$$

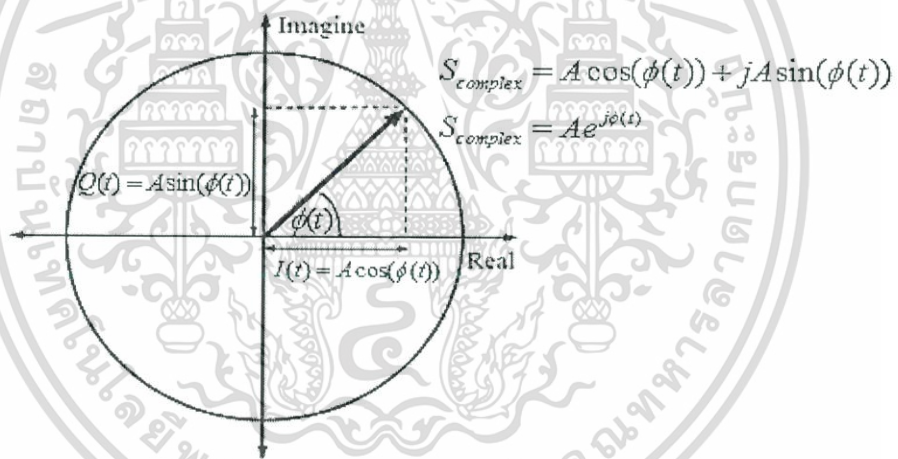
$$f(\tau) = \arctan \left( \frac{\frac{A_0 \sin(k_f \int \Omega(\tau) d\tau)}{2}}{\frac{A_0 \cos(k_f \int \Omega(\tau) d\tau)}{2}} \right)$$

$$f(\tau) = \int \Omega(\tau) d\tau \quad (2.6)$$

เมื่อหาอนุพันธ์ของเฟสจะได้ความถี่ดังนี้

$$m(\tau) = \frac{df(\tau)}{d\tau} = \Omega(\tau)$$

ในกระบวนการที่กล่าวมาข้างต้น เราจะได้สัญญาณสองสัญญาณที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา เราจะทำให้สัญญาณอยู่ในรูปของจำนวนเชิงซ้อน เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณหาขนาดความถี่ และเฟสของสัญญาณข่าวสาร การแยกองค์ประกอบทั้งสองให้เป็นจำนวนเชิงซ้อน เพื่อให้เห็นภาพได้ง่ายดังแสดงในรูป 2.4



รูปที่ 2.4 องค์ประกอบ  $I(t)$  และ  $Q(t)$  ในรูปเชิงซ้อน

ดังนั้นกระบวนการแยกองค์ประกอบนี้ จะสามารถใช้ได้กับการตีมอดูเลตได้ทุกรูปแบบ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าสัญญาณที่รับมาเป็นสัญญาณที่มีการมอดูเลตเชิงขนาด จะสามารถตีมอดูเลตเอาสัญญาณข้อมูลข่าวสารได้ โดยใช้สมการ (2.5) มาหาขนาดของสัญญาณข่าวสาร ถ้าสัญญาณที่รับมาเป็นการมอดูเลตเชิงเฟสสามารถใช้สมการ (2.6) ในการตีมอดูเลตเอาสัญญาณข่าวสารที่อยู่ในรูปของ

เฟสออกมา และถ้าสัญญาณที่รับมาเป็นการมอดูเลตเชิงความถี่ก็จะหาเฟสออกมา โดยวิธีการเดียวกับการดีมอดูเลตเชิงเฟสก่อน แล้วจึงนำเฟสที่ได้ไปหาอนุพันธ์ก็จะได้สัญญาณข่าวสารออกมา

### 2.1.3 อุปกรณ์สำหรับต่อพ่วง USRP (Universal Software Radio Peripheral)

เป็นอุปกรณ์ต่อพ่วงกับคอมพิวเตอร์ ที่ออกแบบโดยใช้เทคโนโลยีวิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์ (SDR) และจัดจำหน่ายโดย A National Instruments Company โดยมี Matt Ettus เป็นหัวหน้าทีมพัฒนา ซึ่งผลิตภัณฑ์ในกลุ่มของ USRP นี้ USRP-B210 เป็นรุ่นที่ราคาถูกที่สุดของ SDR ถูกออกแบบให้รองรับความต้องการของผู้ใช้งานโดยสามารถออกแบบระบบรับ-ส่ง SDR ได้ที่แบนด์วิดท์สูงกล่าวคือตัวบอร์ด USRP ถูกออกแบบให้มีส่วนของสัญญาณดิจิทัลเบสแบนด์ และสัญญาณความถี่กลางเพื่อรองรับการออกแบบระบบสื่อสารโดยการใช้เทคโนโลยี SDR

สำหรับผลิตภัณฑ์อุปกรณ์ต่อพ่วง USRP นั้นสามารถควบคุมโดยใช้โดรฟเวอร์ UHD ซึ่งฟรีและเป็นโอเพนซอร์ซซอฟต์แวร์ ซึ่งใช้อุปกรณ์ต่อพ่วง USRP รุ่น B210 ครอบคลุมความถี่วิทยุจาก 70 MHz ถึง 6 GHz ซึ่ง USRP-B210 มีลักษณะเป็นแบบ 2x2 MIMO (Multiple Input/Multiple Output) คือ สามารถส่งและรับด้วยสายอากาศสองสายพร้อมกัน และใช้ USB 3.0 ในการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์

การส่งและรับสัญญาณเป็นได้ทั้งการสื่อสารสองทางครึ่งอัตราหรือเต็มอัตรา (Half or Full Duplex) ซึ่งการสื่อสารสองทางครึ่งอัตราคือ การส่งข้อมูล สามารถส่งไปกลับสลับกันได้ 2 ทิศทาง แต่ไม่สามารถส่งพร้อมกันในเวลาเดียวกันได้ และการสื่อสารสองทางเต็มอัตรา คือ ทิศทางการสื่อสารข้อมูล โดยข้อมูลสามารถส่งพร้อมกันได้ทั้ง 2 ทิศทางในเวลาเดียวกัน

โดยในแผงวงจรหลักจะมีระบบย่อยต่าง ๆ เช่น วงจรกำเนิดและซิงโครไนซ์สัญญาณนาฬิกา วงจร FPGA (Field Programmable Gate Array) วงจร ADCs วงจร DACs วงจร Host Processor Interface และวงจร Power Regulation ซึ่งวงจรเหล่านี้ เป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่ใช้ในการประมวลผลสัญญาณเบสแบนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 GNU RADIO

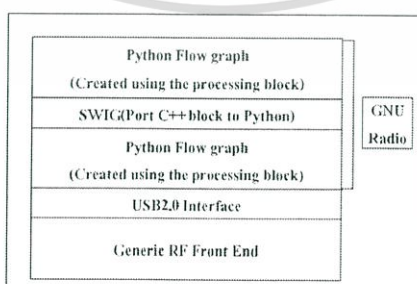
GNU Radio คือ ซอฟต์แวร์ที่เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเรียนรู้ การสร้างและการทำงานของเทคโนโลยีกำหนดสัญญาณวิทยุด้วยซอฟต์แวร์ GNU Radio มีการให้ไลบรารีของการประมวลผลสัญญาณมาให้มากมายซึ่ง GNU Radio นี้เป็นซอฟต์แวร์ที่ไม่มีลิขสิทธิ์สามารถใช้งานได้ฟรี ซอฟต์แวร์นี้ได้ให้ซอร์ซโค้ดที่สมบูรณ์แบบสำหรับการทดลองสร้างระบบสื่อสารโดยไม่มีการปิดบังรายละเอียดของโค้ดโปรแกรมแม้แต่ทีเดียว ในการใช้งาน GNU Radio วิศวกรผู้ออกแบบระบบสื่อสารจะต้องมีพื้นฐานความรู้ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

- (1) การเขียนโปรแกรมแบบ Objected-Oriented Programming
- (2) การเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาไพธอน (Python) และภาษาซี C++
- (3) ทักษะในการใช้งานระบบปฏิบัติการลินุกซ์ โดยใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ อุบุนตุ

(Ubuntu)

(4) ในลำดับสุดท้ายจะต้องมีพื้นฐานความรู้ในด้านระบบการสื่อสารไร้สายเทคนิคการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลฮาร์ดแวร์เบื้องต้นและการออกแบบวงจรไฟฟ้าทุกข้อที่กล่าวมาข้างต้นล้วนเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ใช้งาน GNU Radio ทุกคนจะต้องมี

ซอฟต์แวร์ GNU Radio นี้ประกอบไปด้วยโครงสร้างที่สำคัญ 2 ส่วน ดังรูปที่ 2.5 โดยที่บล็อกที่ใช้ในการประมวลผลสัญญาณประมวลผลประสิทธิภาพของระบบทั้งหมดจะถูกสร้างขึ้นมาจากการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา C++ ในส่วนที่สูงขึ้นไปคือ การบริหารจัดการระบบการเชื่อมต่อระหว่างบล็อกแต่ละบล็อกที่ใช้ในการประมวลผลสัญญาณตลอดจนใช้ในการเชื่อมต่อสัญญาณนั้นสร้างขึ้นมาจากการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพธอน บล็อกสำหรับใช้ในการประมวลผลสัญญาณที่มีการใช้งานเป็นประจำหรือมีการใช้งานอยู่บ่อย ๆ จะมีมาให้พร้อมอยู่แล้วซึ่งจะอยู่ในส่วนของตัวโปรแกรม GNU Radio



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ GNU Radio [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.1 การสร้างบล็อกในการประมวลผลสัญญาณสำหรับ GNU Radio

แพ็คเกจของ GNU Radio ที่ให้มานั้นประกอบไปด้วยบล็อกสำหรับการประมวลผลสัญญาณที่หลากหลาย อาทิเช่น การมอดูเลตสัญญาณ การดีมอดูเลตสัญญาณ การสร้างแพ็คเกจข้อมูล เป็นต้น แต่สำหรับการสร้างระบบสื่อสารของผู้ใช้งานนั้นยังมีบางบล็อกประมวลผลสัญญาณที่ไม่มีในแพ็คเกจ GNU Radio ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ใช้งานจะต้องเรียนรู้ถึงการสร้างบล็อกในการประมวลผลสัญญาณขึ้นมาเอง โดยการสร้างบล็อกในการประมวลผลสัญญาณนี้สามารถทำภายนอกแพ็คเกจ หลักของ GNU Radio ได้แล้วค่อยเพิ่มเข้าไปในไลบรารีของแพ็คเกจ GNU Radio จากนั้นจึงประกาศให้ทั้งแพ็คเกจรับรู้ว่ามีบล็อกขึ้นมาใหม่ในแพ็คเกจซึ่งการเรียกใช้บล็อกที่สร้างขึ้นใหม่นั้น สามารถเรียกใช้ได้ผ่านทางเมทอด import แต่ข้อควรคำนึงถึงนั้นคือ บล็อกในการประมวลผลสัญญาณนี้จะต้องถูกพัฒนาด้วยภาษา C++ แต่การพัฒนาแอปพลิเคชันกลับพัฒนาผ่านทางภาษาไพธอน เครื่องมือสำคัญในการทำให้ทั้ง 2 ภาษาสามารถสื่อสารกันได้นั้นคือ Simplified Wrapper and Interface Generator (SWIG) `gr_block` เป็นคลาสแรกพื้นฐานของทุกๆ คลาสที่ประกอบอยู่ใน GNU Radio แพ็คเกจ ซึ่งในการสร้างบล็อกในการประมวลผลสัญญาณนั้นจะต้องสร้างตัวโปรแกรมด้วยภาษา C++ และจะต้องสร้างขึ้นมาจากทั้งหมด 3 ส่วนประกอบได้แก่

- (1) `.h` เป็นการสร้างไลบรารีให้กับโค้ดโปรแกรม
- (2) `.cc` เป็นการกำหนดชื่อคลาสใหม่และยอมให้ภาษาไพธอนสามารถเรียกไปใช้งานได้
- (3) `.i` เป็นตัวบอก SWIG ว่าจะสร้างการเชื่อมต่อกับบล็อกต่างๆ อย่างไร

## 2.2.2 ระบบปฏิบัติการ LINUX UBUNTU

ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ซึ่งทั้ง 2 ส่วนเป็นองค์ประกอบสำคัญของเครื่องคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง ซอฟต์แวร์ระบบปฏิบัติการเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ หากใช้ระบบปฏิบัติการไม่เหมาะสมกับคุณลักษณะฮาร์ดแวร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ก็จะทำให้การใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพ ปัจจุบันนี้มีซอฟต์แวร์ระบบปฏิบัติการมากมายเป็นตัวเลือกให้กับผู้ใช้งานและที่

เป็นที่นิยมใช้กันทั่วโลกได้แก่ ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ของไมโครซอฟต์ ทุกคนต่างรู้ดีว่าราคาลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์มีราคาสูงอีกทั้งผู้ใช้งานได้เพียงแค่อใช้แต่ไม่สามารถพัฒนาตัวซอฟต์แวร์ได้ เมื่อไม่นานมานี้มีระบบปฏิบัติการหนึ่งที่ถูกกล่าวถึงและเป็นที่นิยมใช้กันทั่วโลก ระบบปฏิบัตินั้นคือลินุกซ์ ซึ่งมีการพัฒนามาหลากหลายเวอร์ชัน ด้วยข้อดีที่ไม่มีลิขสิทธิ์ไม่ต้องจ่ายเงินแพงในการใช้ระบบปฏิบัติการ อีกทั้งยังสามารถเข้าไปแก้ไขระบบปฏิบัติการเชิงลึกได้ด้วย จึงทำให้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์เป็นที่นิยมใช้ไปทั่วโลกและเป็นอีกตัวเลือกหนึ่งสำหรับผู้ใช้งานที่จะเลือกระบบปฏิบัติการให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ของตัวเอง

ในการใช้งานระบบปฏิบัติการลินุกซ์อุบุนตุเบื้องต้นนั้น ผู้ใช้งานจะต้องเข้าใจถึงโครงสร้างพื้นฐานของระบบปฏิบัตินี้ การเข้าใช้ในส่วนต่าง ๆ ของระบบ ตลอดจนพื้นฐานในการใช้งานคอมมานด์ไลน์ (Command line) เป็นต้น

ระบบปฏิบัติการ Linux-Ubuntu เบื้องต้น

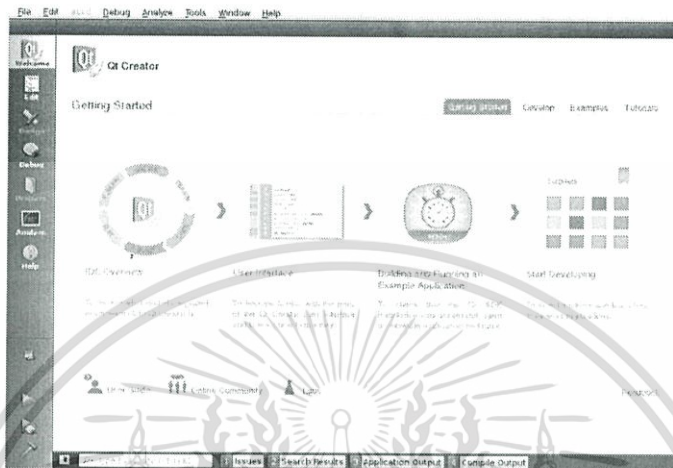
ระบบไฟล์ของระบบปฏิบัติการ

- root คือ ส่วนรากหรือส่วนแรกสุดของระบบ
- bin คือ ส่วนที่เก็บคำสั่งของระบบ
- boot คือ ส่วนที่เก็บไฟล์ที่ใช้ในการเริ่มทำงานของระบบ
- etc คือ ส่วนที่เก็บการตั้งค่าต่าง ๆ ของโปรแกรมต่าง ๆ
- home คือ ส่วนที่เก็บไฟล์ต่าง ๆ ของผู้ใช้งาน
- media คือ ส่วนที่แสดงสถานะอุปกรณ์ต่างเช่น แฟลชไดรฟ์ ที่เชื่อมต่อกับเครื่องอยู่
- sbin คือ ส่วนที่เก็บคำสั่งสำคัญของระบบ เช่น ปิดเครื่อง
- tmp คือ ส่วนที่ใช้เก็บไฟล์ชั่วคราวและจะถูกลบไปเมื่อเริ่มระบบใหม่
- usr คือ ที่เก็บแพ็คเกจข้อมูลต่าง ๆ ที่ผู้ใช้ต้องใช้

ข้อควรระวัง ทุก ๆ ครั้งที่ใช้งาน เช่น การเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับเครื่อง ในบางครั้งจะไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากสิทธิ์ในการเข้าใช้งานของผู้ใช้ยังไม่เป็น root จึงเป็นที่มาที่ต้องเพิ่มคำสั่ง sudo เข้าไปในการสั่งงานผ่านทางหน้าคำสั่งงาน (Command line) ทุกครั้ง

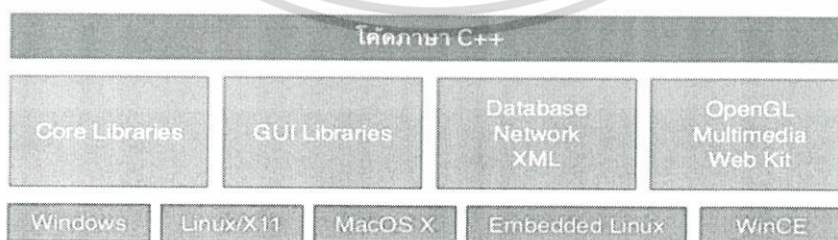
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 โปรแกรม Qt creator



รูปที่ 2.6 โปรแกรม Qt creator [4]

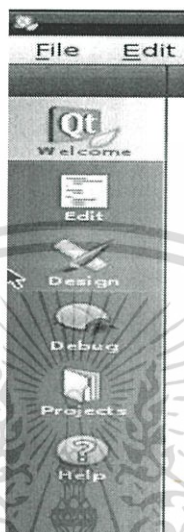
จากรูปที่ 2.6 Qt creator เป็นเครื่องมือในการสร้างแอปพลิเคชัน และ GUI (Graphical User Interface) โดยสามารถทำงานบน คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ โทรศัพท์มือถือ และระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) สามารถทำงานได้หลายระบบปฏิบัติการ (OS) หรือเรียกว่าแพลตฟอร์มไขว้ (Cross-platform) ดังนั้นผู้จัดทำสนใจเลือกใช้ Qt creator เพราะมี API (Application Programming Interface) และไลบรารี (Library) ที่สามารถพัฒนาแอปพลิเคชันแบบ GUI โดยสนับสนุนการพัฒนาทั้งซีพลัสพลัส จาวา ไพธอน เพิร์ล พาสคัล และพีเอชพี แสดงโครงสร้างของ Qt creator ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างสถาปัตยกรรม Qt framework [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Qt Creator มีรูปแบบการทำงานอยู่ 6 โหมด ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 รูปแบบการทำงานของ Qt creator [4]

1. Welcome เป็นหน้าต่างแนะนำการใช้งาน Qt Creator ซึ่งรวมเอา การเริ่มโปรแกรมเบื้องต้น ตัวอย่าง และวิธีการใช้งาน ไว้ให้ศึกษาสำหรับผู้เริ่มต้นหรือต้องการค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับ Qt
2. Edit คือ โหมดสำหรับการเขียนโค้ดของโปรแกรม
3. Design เป็นโหมดสำหรับออกแบบหน้าต่างโปรแกรม (User Interface) สามารถเข้าใช้งานได้โดย ดับเบิลคลิกที่ไฟล์ .ui ภายใต้ Projects Manager ที่อยู่ในโหมด Edit ภายใต้วงหน้าต่างโหมด Design
4. Debug เป็นโหมดสำหรับแก้ไขโปรแกรมที่เราเขียนขึ้น เพื่อตรวจสอบการทำงานหรือแก้ไขปัญหา
5. Project เป็นส่วนตั้งค่าต่าง ๆ ให้กับ Project ได้แก่ Build Settings Run Settings Editor Setting Code Style Settings และ Dependencies ซึ่งในแต่ละหัวข้อจะมีค่าให้ปรับตามต้องการ
6. Help เป็นโหมดการช่วยเหลือ หากเรามีข้อสงสัยในการใช้โปรแกรม การเขียนโค้ด หรือการใช้เครื่องมือต่าง ๆ สามารถเข้ามาหาข้อมูลได้ในโหมดนี้

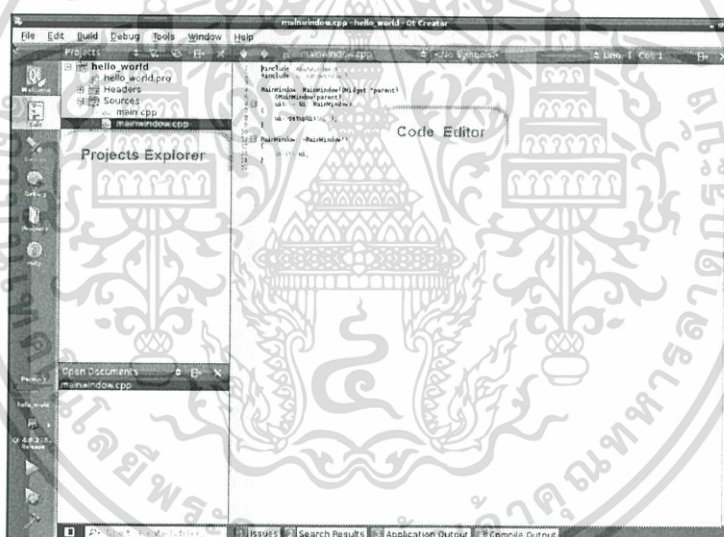
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานในโหมดของ Edit ประกอบด้วย Projects Explorer กับ Code Editor ดังรูปที่ 2.9

Project Explorer เป็นส่วนที่แสดงไฟล์ที่อยู่ใน Project โดยปกติจะประกอบด้วย

1. ไฟล์ .pro เป็นไฟล์ที่เก็บรายละเอียดของตัว Project
2. ไดรกทอรี Headers ภายในประกอบด้วย Header File (.h) ที่ประกาศใน Project
3. ไดรกทอรี Sources ภายในประกอบด้วย Source File (.cpp) ที่เป็นโค้ดโปรแกรมของ Project
4. ไดรกทอรี Forms ภายในประกอบไปด้วย Form File (.ui) ที่ได้จากการออกแบบหน้าต่างของโปรแกรม (User Interface)

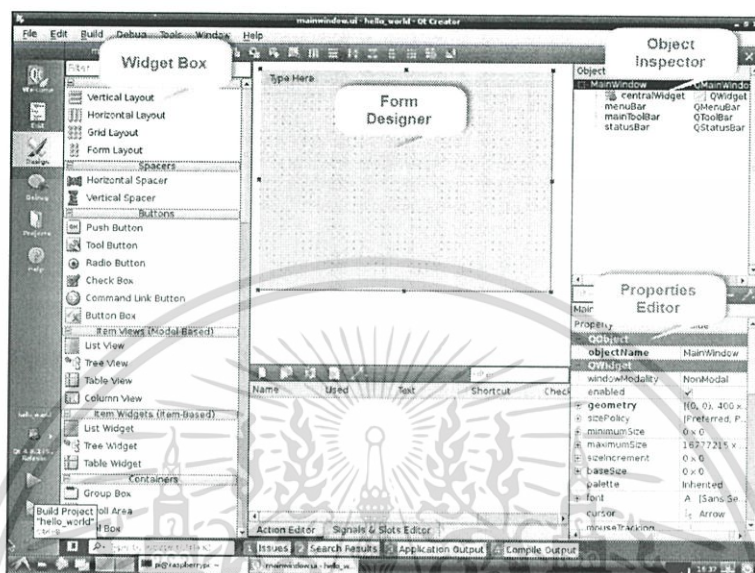
Code Editor คือ ส่วนที่ใช้สำหรับเขียนโค้ดโปรแกรม



รูปที่ 2.9 รูปแบบการทำงานในโหมดของ Edit [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานในโหมด Design มีส่วนประกอบ 4 ส่วน ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 รูปแบบการทำงานในโหมด Design [4]

1. Widget Box เป็นส่วนเก็บ Widget ต่างๆ ที่นำมาสร้างหน้าต่างของโปรแกรม ส่วนรับคำสั่ง และแสดงผลสำหรับผู้ใช้
2. Form Designer เป็นพื้นที่สำหรับวาง Widget ต่าง ๆ เพื่อสร้าง User Interface
3. Object Inspector เป็นหน้าต่างแสดง Object ที่ถูกสร้างขึ้นในหน้า Form Designer
4. Properties Editor เป็นส่วนตั้งค่าคุณสมบัติของ Widget ต่าง ๆ ที่อยู่บนหน้า Form Designer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 Global System for Mobile Communication (GSM)

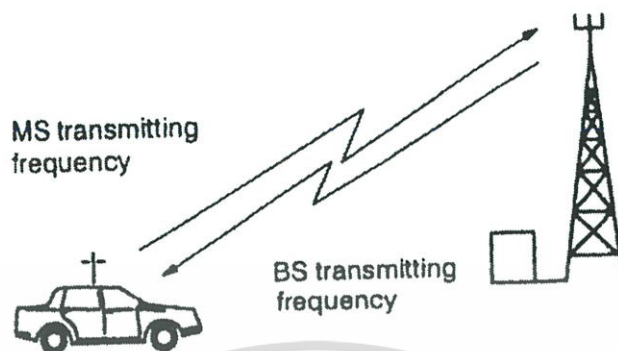
### 2.4.1 หลักการเบื้องต้นของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบดิจิทัล

ความต้องการในการใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเซลลูลาร์เติบโตอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งความจุ ของระบบเซลลูลาร์แบบแอนะล็อก ไม่เพียงพอที่จะตอบสนองความต้องการได้ และการเพิ่มความจุจะใช้การขยายความถี่ออกไป ซึ่งเป็นการยากเนื่องจากต้องมีการแข่งขันกับผู้ใช้งานความถี่รายอื่น จึงได้มีการริเริ่มระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิทัลขึ้น และอยู่บนพื้นฐานของการส่งสัญญาณแบบดิจิทัล ซึ่งมีข้อดี คือ

1. สัญญาณดิจิทัลจะอยู่ในรูปของสัญญาณเสียงพูดที่ถูกเข้ารหัส ซึ่งจะทำให้ความถี่คลื่นพาหะเดียวสามารถส่งสัญญาณเสียงพูดได้เป็นจำนวนมาก
2. สัญญาณดิจิทัลมีความทนทานต่อการรบกวน (Interference) มากกว่า ทำให้ระยะทางระหว่างเซลล์ ที่ใช้ความถี่เดียวกันลดลงได้ส่งผลให้เพิ่มโอกาสในการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ (Frequency reuse) ได้มากขึ้น

#### Digital Radio

ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบแอนะล็อกความถี่ที่ใช้งานจะถูกแบ่งออกเป็นความถี่คลื่นพาหะหลายๆ ความถี่ โดยการติดต่อสนทนาครั้งหนึ่งจะใช้ความถี่ 2 ความถี่ ความถี่หนึ่งจะใช้ส่งสัญญาณจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน (Uplink) และอีกความถี่จะใช้ในการส่งสัญญาณจากสถานีฐานไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Downlink) สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ดิจิทัล จะใช้เทคนิค TDMA (Time Division Multiple Access) ซึ่งเป็นวิธีการที่ยอมรับเป็นมาตรฐานและใช้แก้ปัญหาในการใช้ความถี่อย่างไม่มีประสิทธิภาพของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบแอนะล็อก ในระบบ TDMA นั้น คลื่นพาหะแต่ละความถี่จะถูกแบ่งออกเป็นช่องเวลา (Timeslot) และแต่ละช่องเวลาจะใช้เป็นช่องสัญญาณในการส่งสัญญาณเสียงและข้อมูลในการติดต่อครั้งหนึ่ง โดยเสียงและข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนย่อย ๆ เรียกว่าเบิร์ส (Burst) โดยในแต่ละเบิร์สจะอยู่บนช่องเวลา และแต่ละช่องเวลาจะส่งสัญญาณคนละช่วงเวลาสั้นๆ ดังนั้นจะมีการติดต่อสนทนามากกว่า 1 คู่สนทนาในแต่ละความถี่คลื่นพาหะ การส่งสัญญาณระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน แสดงดังรูปที่ 2.11



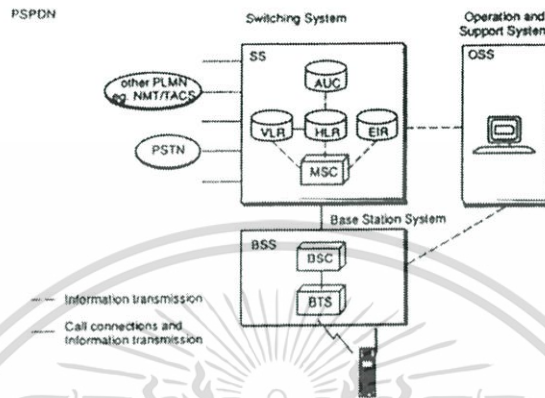
รูปที่ 2.11 การส่งสัญญาณระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน [5]

#### 2.4.2 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM

ระบบ GSM ย่อมาจาก Global System for Mobile Communication เป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบดิจิทัล จุดเด่นของระบบ GSM คือ

1. มีความจุที่สูงขึ้น
2. มีการ International Roaming จะทำให้ผู้ใช้สามารถนำโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปใช้ยังประเทศอื่นที่ได้มีการตกลงกัน
3. เป็นมาตรฐานที่ใช้หลายๆ ประเทศ
4. มีบริการใหม่ๆ เช่น การส่งข้อมูล แฟกซ์ ไปรษณีย์เสียง
5. มีอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่มีขนาดเล็กกว่า

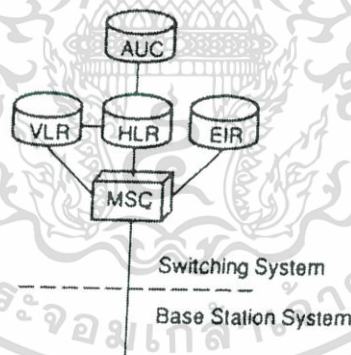
โครงสร้างของระบบ GSM จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนใหญ่ ๆ แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของระบบ GSM [5]

### Switching System (SS)

Switching System (SS) ประกอบไปด้วย 5 ส่วน แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 Switching System [5]

1. Mobile Service Switching Center (MSC) คือชุมสายของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM มีหน้าที่ควบคุมระบบและคิดเงินค่าใช้บริการ

2. Home Location Register (HLR) เป็น Database ใช้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับชื่อ และที่อยู่ของเจ้าของโทรศัพท์เพื่อใช้ในการเก็บเงินค่าบริการ นอกจากนี้ยังเก็บข้อมูลตำแหน่งโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ใน MSC ไหน การติดตั้ง HLR อาจจะติดตั้งอยู่ร่วมกับ MSC หรือแยกกันก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

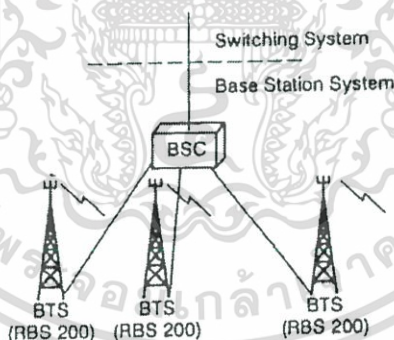
3. Visitor Location Register (VLR) เป็น Database ที่เก็บข้อมูลโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เข้ามาอยู่ในชุมสายนี้ ในการติดตั้ง VLR ส่วนใหญ่จะติดตั้งร่วมกับ MSC เสมอ

4. Authentication Center (AUC) ใช้สำหรับเก็บ Authentication เพื่อตรวจสอบว่าผู้ใช้โทรศัพท์ได้ลงทะเบียนอย่างถูกต้องหรือไม่ และ Encryption Parameter ซึ่งใช้สำหรับระบบการป้องกันการดักฟัง

5. Equipment Identity Register (EIR) เป็น Database ที่เก็บข้อมูล Identity ของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อป้องกันไม่ให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ไม่ลงทะเบียน หรือได้มาอย่างไม่ถูกต้อง ตามกฎหมายเข้ามาใช้งานในระบบได้ การติดตั้ง ELR ส่วนใหญ่จะอยู่ร่วมกับ AUC

### Base Station Controller (BSC)

Base Station Controller (BSC) คือชุมสายหนึ่งที่ทำหน้าที่ควบคุมเกี่ยวกับคลื่นวิทยุในระบบ เช่น ควบคุมการ Handover จัดการเกี่ยวกับช่องสัญญาณวิทยุต่าง ๆ และเก็บข้อมูลเกี่ยวกับเซลล์ นอกจากนี้ยังควบคุมกำลังส่งสัญญาณของสถานีฐานและโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในการทำงานนั้น MSC แต่ละ MSC จะควบคุม BSC 1, BSC 2 หรือมากกว่า และในแต่ละ BSC จะควบคุม Base Station Transceiver (BTS) หลายๆ BTS แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ระบบของสถานีฐาน[5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Operation & Support System (OSS)

มีหน้าที่ในการควบคุมและรายงานสถานภาพของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ เช่น ตรวจสอบเช็คหาความผิดพลาดอะไรที่เกิดขึ้น และความรุนแรงมากแค่ไหน จากนั้นจะส่งการแจ้งเตือนไปยัง OMC (Operation and Maintenance Center)

โทรศัพท์เคลื่อนที่ (MS) สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ของระบบดิจิทัลประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ

1. อุปกรณ์โทรศัพท์ซึ่งจะเก็บ Identity Code ที่เรียกว่า International Mobile Equipment Identity (IMEI)

2. Subscriber Identity Module (SIM Card) ซึ่งมี 2 แบบ คือ

2.1. ISO Smart Card

2.2. IC Plug In

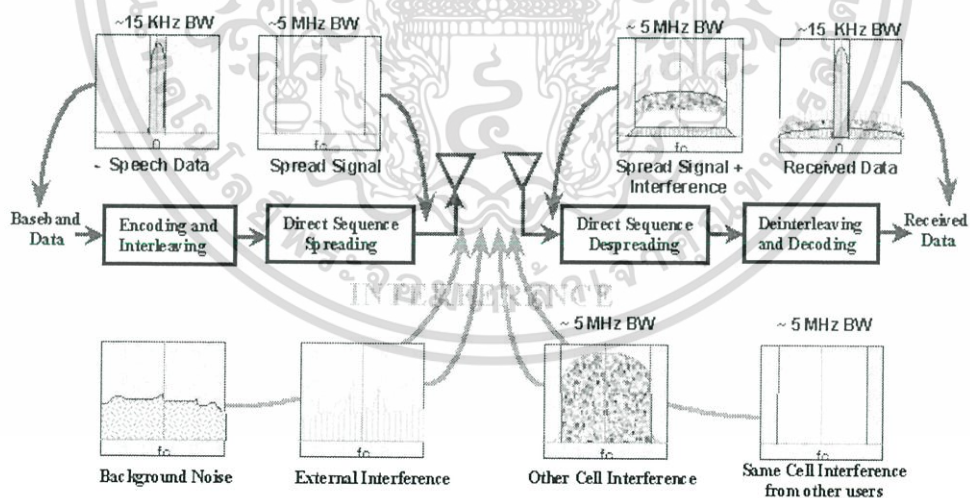
ซึ่งจะใช้เก็บข้อมูลประจำตัวผู้ใช้มีลักษณะเป็น Identity Code ที่เรียกว่า International Mobile Subscriber Identity (IMSI) ทั้งอุปกรณ์โทรศัพท์ และ SIM Card จะแยกออกจากกัน คือเมื่อผู้ใช้โทรศัพท์ใส่ SIM Card ในเครื่องโทรศัพท์ของผู้อื่น โทรศัพท์เคลื่อนที่จะเหมือนโทรศัพท์ของผู้ใช้งานทุกประการ และถ้าโทรศัพท์และ SIM Card ถูกขโมย ผู้ใช้งานสามารถที่จะไม่ให้ขโมยใช้เครื่องได้ โดยการ Before Action Review (BAR) ทั้งเครื่องโทรศัพท์และ SIM Card ได้ที่ EIR และ HLR ตามลำดับ

## 2.5 Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA)

WCDMA คือ การพัฒนาเพื่อสร้างมาตรฐานใหม่ Real Time Multimedia รวมไปถึงการใช้ International Roaming ซึ่งรองรับจาก ITU (International Telecommunication Union) โดยกำหนดให้ใช้ความถี่ 2 GHz สำหรับการสื่อสารยุคที่ 3 (3G)

3G เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาต่อเนื่องจาก ยุค 2G และ 2.5G ซึ่งมีการให้บริการระบบเสียง และการส่งข้อมูลขั้นต้น โดย 3G มีการพัฒนาประสิทธิภาพในการสื่อสารรับส่งสัญญาณเสียง ภาพข้อมูลและภาพวิดีโอด้วยความเร็วถึง 2 M/sec แต่สำหรับการให้บริการในปัจจุบันให้ความเร็วสูงสุดที่ 384 กิโลบิตต่อวินาที ในแนวกว้าง (Wide area access) โดยสัญญาณขาเข้าจะถูกแปรเป็นสัญญาณดิจิทัลและส่งไปเป็นรหัส (Code) ผ่านแถบสัญญาณกระจายไปสู่คลื่นสัญญาณต่าง ๆ ผู้ให้บริการเทคโนโลยีนี้จะใช้แถบคลื่นสัญญาณความถี่ที่ 5 MHz ที่ต่างจากผู้บริการที่ให้บริการเทคโนโลยี CDMA ในย่านความถี่แคบที่ใช้ช่องสัญญาณที่ 1.25 MHz

ลักษณะของเทคโนโลยี WCDMA จะใช้วิธีการเข้ารหัส (Encoding) และมอดูเลตกับ Direct Sequence เรียกการมอดูเลตแบบนี้ว่าการแผ่สเปกตรัมโดยตรง (Direct Sequence Spread Spectrum) แสดงภาพรวมดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ภาพรวมการแผ่สเปกตรัมของ WCDMA [6]

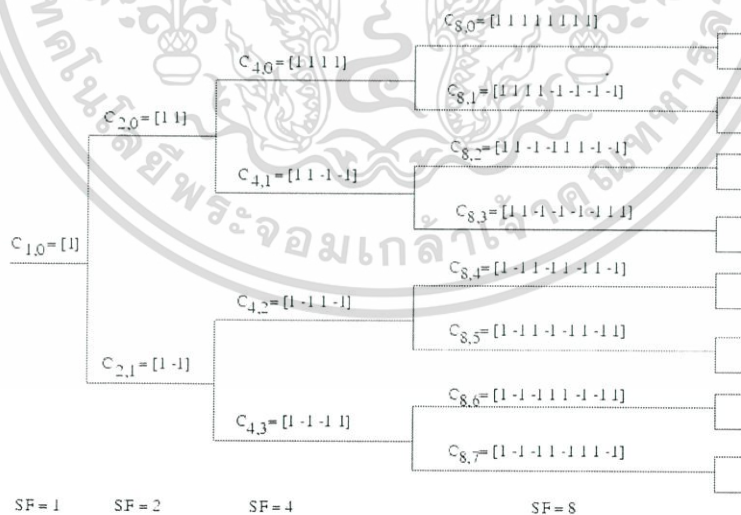
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.15 นำสัญญาณข้อมูลเริ่มต้น ทำการเข้ารหัส และนำไปแผ่สเปกตรัม และส่งออกผ่านอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ลักษณะสัญญาณจะถูกขยายออกจากสัญญาณเริ่มต้น ภาครับได้รับสัญญาณ ทำการรวมสเปกตรัม และถอดรหัสเพื่อได้รับสัญญาณข้อมูลกลับคืนมา

### 2.5.1 Code

ในระบบ WCDMA รหัส (Code) ทำหน้าที่แยกแยะผู้ใช้งานหรือสถานีฐาน โดยผู้ใช้งานแต่ละคนจะถูกเข้ารหัสที่แตกต่างกันออกไป และใช้การแยกช่องความถี่ (Scrambling) เพื่อใช้แยกแยะสถานีฐานแต่ละเครือข่าย โดยการแยกช่องความถี่นั้น จะมีลักษณะคล้ายกับการแผ่สเปกตรัม แต่รหัสที่นำมาמודูเลตจะมีลักษณะอัตราบิต (Bit rate) หรือ แบนด์วิดท์ที่เหมือนกัน ทำให้ผลลัพธ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราบิต หรือแบนด์วิดท์

ดังนั้นรหัสที่ใช้ในเทคโนโลยี WCDMA มี 2 รหัส อย่างแรกรหัสการแผ่สเปกตรัม เรียกว่ารหัสแยกช่องสัญญาณ (Channelization code) โดยใช้ Orthogonal Variable Spreading Factor Code (OVSF Code) ทำหน้าที่สร้างลักษณะสัญญาณเป็นสัญญาณเชิงตั้งฉาก (Orthogonal) ในช่องการส่งรับของสัญญาณ ลักษณะการสร้างสัญญาณรหัส OVSF ใช้รหัสแผนภูมิต้นไม้ (Code tree) แสดงดังรูปที่ 2.16



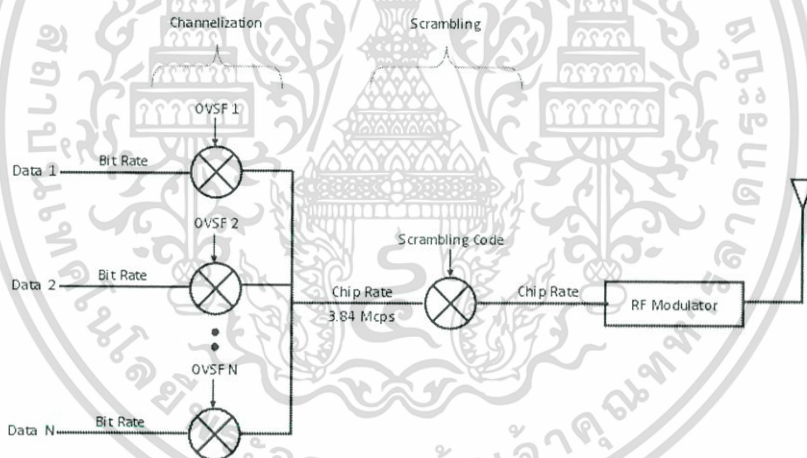
รูปที่ 2.16 ตัวอย่างการสร้างรหัส OVSF โดยใช้รหัสแผนภูมิต้นไม้ [6]

จากรูปที่ 2.16 โดยรหัสแรกสุดทางซ้าย แยกสาขาไปเรื่อย ๆ ทางขวา โดยในแต่ละระดับจะเรียกว่า Spreading Factor (SF) โดยเริ่มจาก SF 1 จะถึง SF 256 ส่วนการเชื่อมโยงขึ้น (Uplink) และ 512 ส่วนการเชื่อมโยงลง (Downlink) โดยในแต่ละชุดจะเรียกในลักษณะ C SF, No. เช่น รหัส 0 คือ C1,1 (SF=1, No=1) หรือ รหัส 00 คือ C2,1 (SF=2, No=1) เป็นต้น

อย่างที่สองรหัสแยกของความถี่ (Scrambling code) ทำหน้าที่ แยกแยะสถานีเครื่องส่ง มี 2 ชนิด คือ

1. รหัสแยกของความถี่ยาว (Long Scrambling code) 38400 ชิป อนุพันธ์มาจาก รหัส Gold (Gold Code) ใช้ในการเชื่อมโยงลง และเชื่อมโยงขึ้น
2. รหัสแยกของความถี่สั้น (Short Scrambling code) 256 ชิป ใช้ในส่วนเชื่อมโยงขึ้น สำหรับ NodeB ที่ใช้การตรวจจับผู้ใช้หลายยูสเซอร์

แสดงความสัมพันธ์รหัสการแผ่สเปกตรัม และรหัสแยกของความถี่ ดังรูปที่ 2.17

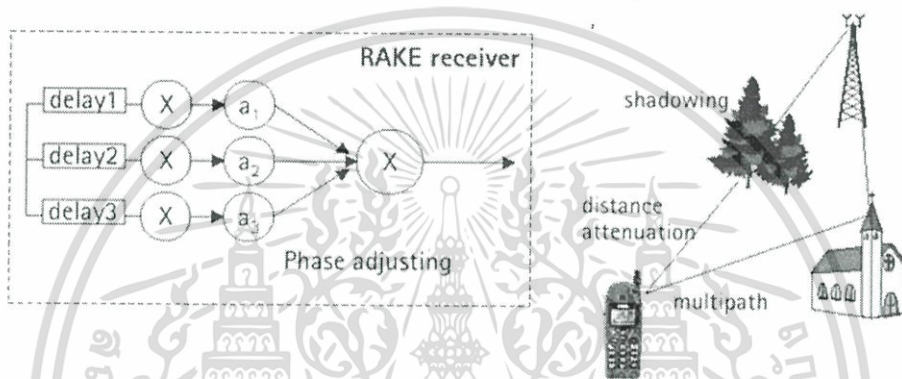


รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ของ OVSF และรหัสแยกของความถี่ [6]

รูปที่ 2.17 ข้อมูลต่าง ๆ ทำการแผ่สเปกตรัม โดยการแยกช่องสัญญาณ (Channelization) ด้วย OVSF หลังจากนั้นทำการแยกช่องความถี่ (Scrambling) ด้วยรหัสแยกช่องความถี่ หลังจากนั้นมอดูเลตความถี่วิทยุและส่งออกอากาศออกไป ในส่วนภาครับ จะใช้เทคโนโลยี Rake Receiver ที่สามารถรับสัญญาณที่มาจากหลายเส้นทาง

## 2.5.2 Rake Receiver

เป็นภาครับสัญญาณวิทยุที่ออกแบบมารองรับสัญญาณที่มาจากหลากหลายเส้นทาง โดยจะใช้ ตัวรับย่อย ๆ ที่เรียกว่าฟิงเกอร์ (Fingers) ทำหน้าที่รับสัญญาณที่เกิดการดีเลย์ หรือ ลดทอน โดยแต่ละฟิงเกอร์จะมีการจัดเก็บลักษณะสัญญาณจากเครื่องส่งไว้ ทำการคำนวณค่า ขนาด และเฟส เรียกกระบวนการนี้ว่าการประมาณค่าช่องสัญญาณ (Channel Estimation) หลังจากนั้น ทำการเรียงข้อมูล และรับสัญญาณที่ส่งมาได้ โดยภาพรวมแสดงดังรูป ปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ลักษณะการรับสัญญาณของ RAKE receiver [6]

จากรูปที่ 2.18 Rake receiver รับสัญญาณต่าง ๆ ที่มาจากหลายทิศทาง และมีการลดทอนสัญญาณ นำมาคำนวณให้ได้ ข้อมูลภาครับที่ถูกต้อง โดยภาครับ WCDMA ถ้ามีการดีเลย์จากการเกิดการรับสัญญาณหลายทิศทางเพียง 0.26 ไมโครวินาที จะทำให้อัตรากำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณรบกวน (SNR) สัญญาณมีค่าลดลง 20-30 เดซิเบล ดังนั้นจึงต้องใช้ RAKE Receiver ทำให้ค่า SNR มีค่าสูงขึ้น

สถานีส่งสัญญาณ WCDMA Rake Receiver จะมีฟังก์ชันสำหรับสัญญาณหลายทิศทาง (Multipath) ของ CDMA

1. การประมาณความล่าช้าช่องสัญญาณสำหรับสัญญาณหลายทิศทาง หรือเรียกว่าการวัดการตอบสนองอิมพัลส์ (Impulse Response)
2. Rake Receiver Finger จะถูกจัดสรรตามการประมาณความล่าช้าช่องสัญญาณ
3. ปรับช่องสัญญาณที่ประมาณความล่าช้า
4. Maximal-Ratio Combining (MRC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 Long Term Evolution (LTE)

LTE เป็นมาตรฐานสำหรับการสื่อสารไร้สายความเร็วสูงสำหรับโทรศัพท์มือถือ และการส่งข้อมูล เป็นฐานมาจาก ระบบ GSM/EDGE และ UMTS/HSPA โดยเพิ่มปริมาณและความเร็วข้อมูล โดยใช้อินเทอร์เฟซวิทยุแตกต่างกัน โดยมาตรฐาน LTE พัฒนามาโดย 3GPP (3G) โดย ความถี่ และแบนด์ของ LTE จะแตกต่างกัน โดยในประเทศไทย มีเครือข่ายหลัก 3 แห่ง AIS TRUE DTAC

LTE โดยทั่วไปจะเรียก 4G LTE โดยในทางเทคนิค ยังไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน 4G โดยมีลักษณะ เป็น 3GPP ในรุ่น 8 และ 9 โดยมี European Telecommunications Standard institute (ETSI) เป็นผู้จดทะเบียนทางการค้า โดย LTE ที่ตรงกับมาตรฐาน 4G โดยพัฒนามาจาก LTE เดิมเรียกว่า LTE-Advance(LTE-A)

LTE ให้อัตราการ Downlink สูงสุด 300 เมกะบิตต่อวินาที และการเชื่อมโยงขึ้น (Uplink) 70 เมกะบิตต่อวินาที และใช้เวลาในการโอนถ่ายข้อมูลในเครือข่ายวิทยุน้อยกว่า 5 มิลลิวินาที มีความสามารถในการส่งข้อมูลออกอากาศต่อเนื่อง (Broadcast Stream) และอุปกรณ์สื่อสารกำลังเคลื่อนที่เร็วได้ (Fast-moving Mobile) โดยใช้ แบนด์วิธ 1.4 - 20 MHz

### 2.6.1 LTE Advance

LTE - Advance (LTE - A) จะเน้นในเรื่องความจุข้อมูลที่สูงขึ้น โดยพัฒนามาจาก LTE ปกติ โดยสามารถเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลให้สูงขึ้น โดยใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ และใช้เวลาที่น้อยลง เพื่อตอบสนองต่อมาตรฐาน 4G

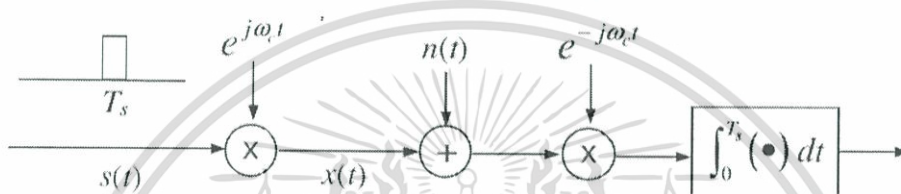
- เพิ่มอัตราการส่งข้อมูลการเชื่อมโยงลง (Downlink) 3 Gbit/sec และการเชื่อมโยงขึ้น (Uplink) 1.5 Gbit/sec
- เพิ่มประสิทธิภาพสเปกตรัม จาก 16 บิตต่อวินาทีต่อเฮิรตซ์ เป็น 30 บิตต่อวินาทีต่อเฮิรตซ์
- เพิ่มจำนวนผู้ใช้งานที่ใช้งานพร้อมกัน
- ปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของ เซลลูลาร์โทรศัพท์ เช่นการเชื่อมโยงลง 2x2 Multi Input Multi Output (MIMO) อย่างน้อย 2.4 bit/sec/Hz/Cell

โดยใน LTE Advance ใช้เทคโนโลยี Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) โดยลักษณะสัญญาณเป็นสัญญาณตั้งฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

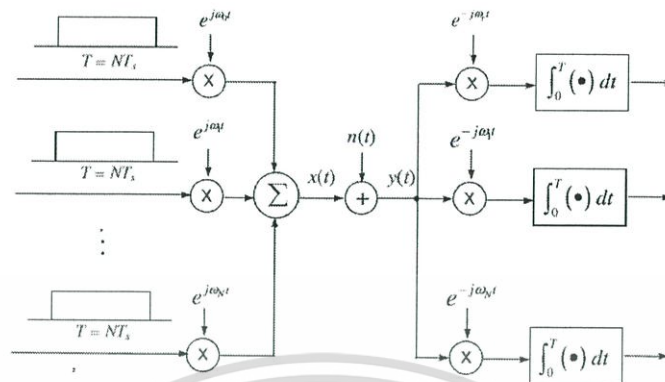
## 2.6.2 Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM)

เทคโนโลยี OFDM สามารถตอบสนองความต้องการของระบบสื่อสารไร้สายความเร็วสูงภายใต้สภาวะแวดล้อมการส่งแบบเดียวกับคลื่นพาห์เดี่ยวที่ประสบปัญหาอยู่ในปัจจุบัน โดยข้อจำกัดที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับการลดการแทรกสอดของสัญลักษณ์ (Intersymbol interference) หรือ ไอเอสไอ (ISI) การลดคาบของแต่ละสัญลักษณ์เพื่อเพิ่มความเร็วให้สูงขึ้นทำให้ปริมาณของไอเอสไอมีผลกระทบมากขึ้นเช่นกัน ข้อได้เปรียบดังกล่าวสามารถดูได้จากรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 การส่งสัญญาณดิจิทัลด้วยคลื่นพาห์เดี่ยว [7]

พิจารณาระบบการสื่อสารแบบคลื่นพาห์เดี่ยวที่มีอัตราเร็ว  $R_s$  สัญลักษณ์ต่อวินาทีโดยใช้พัลส์แบบ NRZ เช่น พัลส์สี่เหลี่ยม  $s(t)$  ถูกมอดูเลตด้วย  $e^{j\omega_c t}$  เป็นสัญญาณ  $x(t)$  ถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวน  $n(t)$  และดีมอดูเลตด้วยตัวสหสัมพันธ์ โดยความยาวแต่ละสัญลักษณ์ข้อมูล  $T_s = 1/R_s$  วินาที หากต้องการให้อัตราเร็ว  $R_s$  มีค่าสูงขึ้น โดยลดคาบของแต่ละสัญลักษณ์  $T_s$  แต่การกระทำดังกล่าว ทำให้ความยาวของไอเอสไอยาวขึ้น เนื่องจากอัตราความยาวของสัญลักษณ์ต่อสัญญาณรบกวนน้อยลง ภาครับต้องแก้ไข โดยใช้อีควอไลเซอร์ที่ซับซ้อนขึ้น และเครื่องรับต้องทำงานในสภาวะที่มีความเร็วสูงขึ้นด้วย เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว เราได้นำระบบหลายคลื่นพาห์มาใช้แทน พิจารณาระบบสื่อสารที่ใช้คลื่นพาห์  $N$  คลื่น ดังรูปที่ 2.20 โดยแทนการส่งทีละพัลส์ที่คาบสั้นลงเราส่ง  $N$  พัลส์พร้อมกัน โดยแต่ละพัลส์มีความยาวคาบเพิ่มขึ้น  $N$  เท่า คือ  $T = NT_s$  และส่งโดยใช้คลื่นพาห์ย่อยที่ถี่ห่างกัน ในฝั่งรับได้ใช้การคอนจูเกตของคลื่นพาห์



รูปที่ 2.20 ระบบ OFDM ที่ใช้คลื่นพาห้  $N$  คลื่น [7]

เงื่อนไขของคลื่นพาห้  $e^{j\omega_j t}$  และ  $e^{j\omega_k t}$  ที่ตั้งฉากกันคือ  $\langle e^{j\omega_j t}, e^{j\omega_k t} \rangle = 0$  โดย  $\langle e^{j\omega_j t}, e^{j\omega_k t} \rangle$  มีค่าหาได้จาก

$$\langle e^{j\omega_j t}, e^{j\omega_k t} \rangle = \int_0^T e^{j\omega_j t} (e^{j\omega_k t})^* dt = \int_0^T e^{j\omega_j t} e^{-j\omega_k t} dt \quad (2.7)$$

ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อ

$$\begin{aligned} (\omega_j - \omega_k)T = 2n\pi &\rightarrow 2\pi(f_j - f_k)T = 2\pi\Delta f T = 2n\pi \\ &\rightarrow \Delta f = n/T \end{aligned} \quad (2.8)$$

เมื่อ  $\omega_j$  และ  $\omega_k$  คือความถี่เชิงมุม,  $n$  คือจำนวนเท่า และ  $T$  คือคาบเวลาดังนั้น คลื่นพาห้ที่ตั้งฉากกันต้องมีระยะห่างความถี่  $\Delta f$  เป็นจำนวนเต็มเท่าของ  $1/T$  ส่วนระยะห่างความถี่ต่ำสุด  $\Delta f$  เท่ากับ  $1/T$  ดังนั้น เทคโนโลยี OFDM จึงแก้ปัญหาที่เกิดจากการใช้คลื่นพาห้เดี่ยวได้

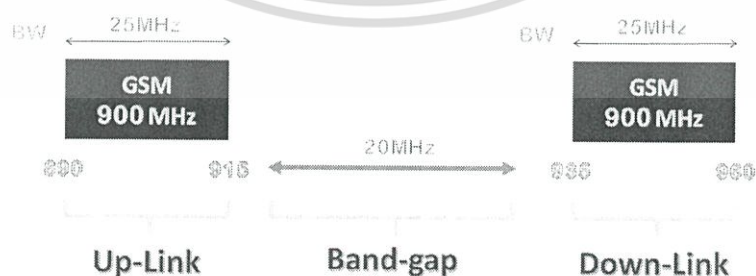
## 2.7 Absolute Radio Frequency Channel Number (ARFCN)

Absolute Radio Frequency Channel Number (ARFCN) คือหมายเลขสถานีเคลื่อนที่ ความถี่วิทยุสัมบูรณ์ เป็นสถานีที่มีใช้ในการระบุช่องสัญญาณความถี่วิทยุแบบ GSM (2G) ซึ่งในระบบ GSM900 กำหนดแบนด์วิดท์ (Bandwidth) แต่ละช่องสัญญาณเท่ากับ 200 kHz และการเชื่อมโยงขึ้น (Uplink) กับการเชื่อมโยงลง (Downlink) เป็นดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 การเชื่อมต่อสัญญาณโทรศัพท์มือถือกับสถานีฐาน [8]

จากรูปที่ 2.21 การสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Phone) กับสถานีฐาน (Base Station) ใช้ความถี่ต่างกัน โดยความถี่การเชื่อมโยงลงจะมากกว่าการเชื่อมโยงขึ้น เพราะมือถือสามารถส่งกำลังได้น้อยกว่า ดังนั้นการเชื่อมโยงขึ้นจึงมีความถี่น้อยกว่าจึงสามารถส่งได้ไกลกว่า ส่วนการเชื่อมโยงลงมีความถี่มากกว่าส่งได้ระยะทางใกล้เนื่องจากสามารถเพิ่มกำลังที่ส่งจากสายอากาศได้ โดยในระบบ GSM900 มีการเชื่อมโยงขึ้น และการเชื่อมโยงลง ดังรูปที่ 2.22

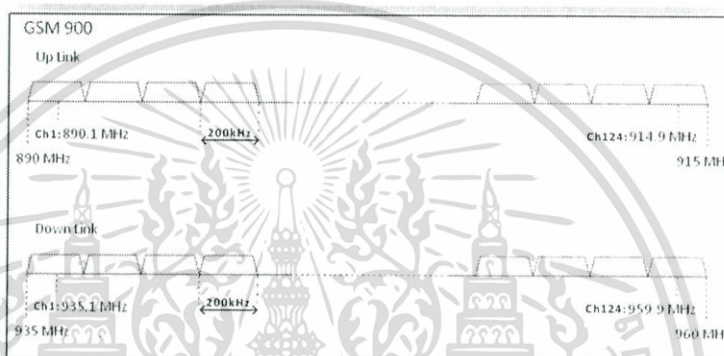


รูปที่ 2.22 ระบบ GSM900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.22 ระบบ GSM900 มีย่านความถี่ 890 – 960 MHz มีแบนด์วิดท์ทั้งหมดเท่ากับ 70 MHz มีความถี่ของการเชื่อมโยงขึ้น คือ 890-915 MHz ซึ่งมีแบนด์วิดท์ = 25 MHz ส่วนของการเชื่อมโยงลง คือ 935-960 MHz มี แบนด์วิดท์ = 25 MHz และมี Band-gap อยู่ในช่วงความถี่ 915-935 MHz มีแบนด์วิดท์ = 20 MHz

ARFCN ของระบบ GSM900 จะแบ่งออกเป็น 1-124 ช่องสัญญาณ ซึ่งแต่ละช่องสัญญาณมีความห่างของช่องสัญญาณเท่ากับ 200 kHz ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ช่องสัญญาณ GSM900 [8]

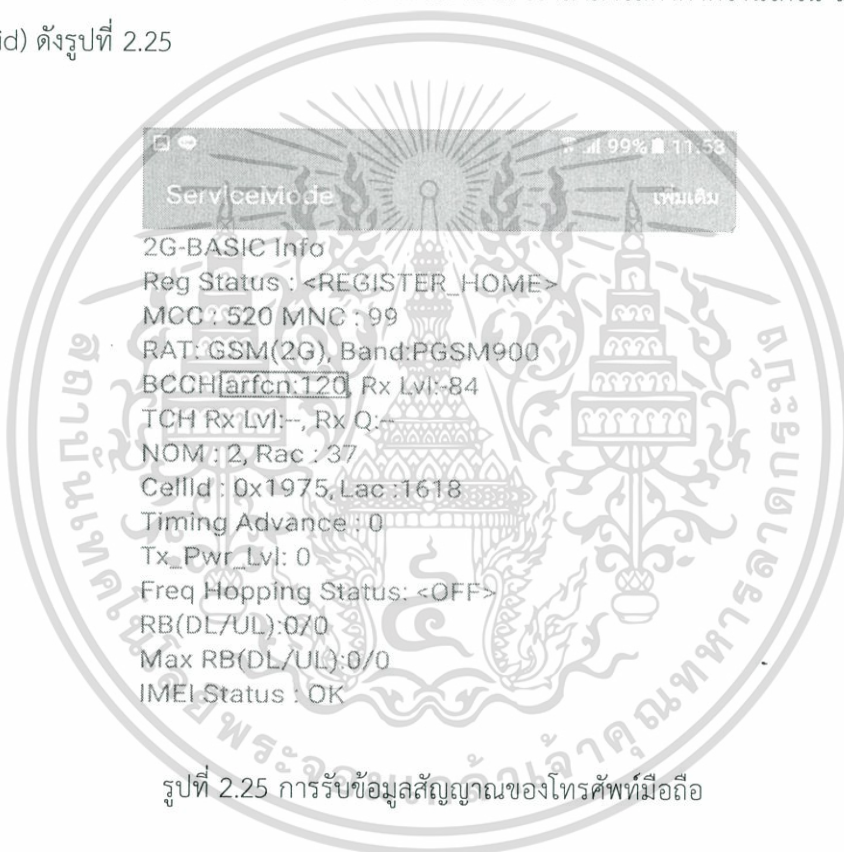
จากรูปที่ 2.23 จะเห็นว่าความถี่การเชื่อมโยงขึ้น 890-915 MHz มีทั้งหมด 1-124 ช่องสัญญาณ ซึ่งแต่ละช่องสัญญาณมีความห่างของช่องสัญญาณเท่ากับ 200 kHz ยกตัวอย่างเช่น ช่องสัญญาณที่ 1 ของความถี่ การเชื่อมโยงขึ้นมีช่วงความถี่ที่ 890.0-890.2 MHz และมีความถี่กลางเท่ากับ 890.1 MHz และความถี่การเชื่อมโยงลง 935-960 MHz มีทั้งหมด 1-124 ช่องสัญญาณ ดังนั้นสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.24

Band	Designation	ARFCN	$f_{UL}$	$f_{DL}$
GSM 500	GSM 450	259-293	$450.6 + 0.2 \cdot (n - 259)$	$f_{UL}(n) + 10$
	GSM 480	306-340	$479.0 + 0.2 \cdot (n - 306)^{[1]}$	$f_{UL}(n) + 10$
GSM 700	GSM 750	438-511	$747.2 + 0.2 \cdot (n - 438)^{[2]}$	$f_{UL}(n) + 30$
GSM 850	GSM 850	128-251	$824.2 + 0.2 \cdot (n - 128)$	$f_{UL}(n) + 45$
GSM 900	P-GSM	1-124	$890.0 + 0.2 \cdot n$	$f_{UL}(n) + 45$
	E-GSM	0-124	$890.0 + 0.2 \cdot n$	
		975-1023	$890.0 + 0.2 \cdot (n - 1024)$	$f_{UL}(n) + 45$
GSM R	0-124	$890.0 + 0.2 \cdot n$		
		955-1023	$890.0 + 0.2 \cdot (n - 1024)$	$f_{UL}(n) + 45$
GSM 1800	DCS 1800	512-885	$1710.2 + 0.2 \cdot (n - 512)$	$f_{UL}(n) + 95$
GSM 1900	PCS 1900	512-810	$1850.2 + 0.2 \cdot (n - 512)$	$f_{UL}(n) + 80$

รูปที่ 2.24 ARFCN ของระบบ GSM900(P-GSM) [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.24 จะเห็นว่าเราสามารถหาค่าความถี่การเชื่อมโยงขึ้น และความถี่การเชื่อมโยงลงได้ โดยความถี่ของการเชื่อมโยงขึ้น หาได้จากสูตร  $f_{UL} = 890.0 + 0.2n$  และค่าความถี่การเชื่อมโยงลง หาได้จากสูตร  $f_{DL} = f_{UL}(n) + 45$  โดยการแทนค่า  $n = ARFCN$  ,  $1 \leq n \leq 124$  ดังนั้นเมื่อเรารู้ค่าของ ARFCN ทำให้เราสามารถรู้ค่าความถี่การเชื่อมโยงขึ้น และความถี่การเชื่อมโยงลงได้ หลังจากนั้นเราต้องมาทำการทราบค่า ARFCN บนโทรศัพท์ โดยการกด \*#2263# ซึ่งเป็นการกำหนดชนิดของเครือข่ายที่สามารถให้เราเลือกใช้งานได้ เราสามารถตั้งค่าตรงนี้ได้ ใน แอนดรอยด์ (Android) ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 การรับข้อมูลสัญญาณของโทรศัพท์มือถือ

จากรูปที่ 2.25 จะเห็นว่า ค่า ARFCN = 120 ซึ่งสามารถนำไปคำนวณโดยการแทนสูตรหาความถี่การเชื่อมโยงขึ้น ได้คือ  $f_{UL} = 890.0 + 0.2n = 890.0 + 0.2(120) = 914\text{MHz}$  และนำไปหาความถี่การเชื่อมโยงลงได้จากสูตร  $f_{DL} = f_{UL}(n) + 45 = 914 + 45 = 959\text{MHz}$  ดังนั้นทำให้เราทราบว่า สถานีฐานได้ส่งการเชื่อมโยงลง = 959 MHz มาที่โทรศัพท์มือถือเราแล้ว หลังจากนั้นเราก็ทำการรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือตามความถี่ การเชื่อมโยงลง ที่เราคำนวณมาได้ แต่จากการทดลอง ค่า ARFCN จะไม่คงที่ ที่ค่าใดค่าหนึ่งทำให้ต้องหาวิธีแก้ไขในส่วนตรงนี้ต่อไป

## 2.8 Fast Fourier Transform (FFT)

การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (FFT) เป็นชื่อเรียกของอัลกอริทึมใด ๆ ที่มีการแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง (DFT : Discrete Fourier Transform) อย่างเร็วโดย USRP จะทำการรับสัญญาณผ่านสายอากาศ และแปลง FFT เพื่อแสดงผลพริ้นในเชิงความถี่ หรือฟังก์ชันความถี่

$$H_n = \sum_{k=0}^{N-1} W^{nk} h_k \quad (2.9)$$

จากสมการที่ 2.9 เป็นการแปลง FFT ทั่วไปโดยค่า  $W$  เป็นจำนวนเชิงซ้อน แต่ผู้จัดทำแปลง FFT ผ่านโปรแกรม GNURadio ที่ใช้การแปลง FFT ที่เรียกว่า Fast Fourier Transform in the West (FFTW)

FFTW คือ ไบบรารีย่อยของภาษา C สำหรับการแปลง DFT ในข้อมูลหนึ่งมิติ หรือมากกว่า โดยเก็บข้อมูลเป็นจำนวนจริง และจำนวนเชิงซ้อนการแปลง DFT หลายมิติ

กำหนดให้  $h(k_1, k_2)$  เป็นฟังก์ชันสองมิติ โดย  $0 \leq k_1 \leq N_1 - 1$ ,  $0 \leq k_2 \leq N_2 - 1$ , โดยสามารถให้ผลลัพธ์การแปลง DFT เป็น  $H(n_1, n_2)$  ฟังก์ชันจำนวนเชิงซ้อน ดังนี้

$$H(n_1, n_2) \equiv \sum_{k_2=0}^{N_2-1} \sum_{k_1=0}^{N_1-1} \exp(2\pi i k_2 n_2 / N_2) \exp(2\pi i k_1 n_1 / N_1) h(k_1, k_2) \quad (2.10)$$

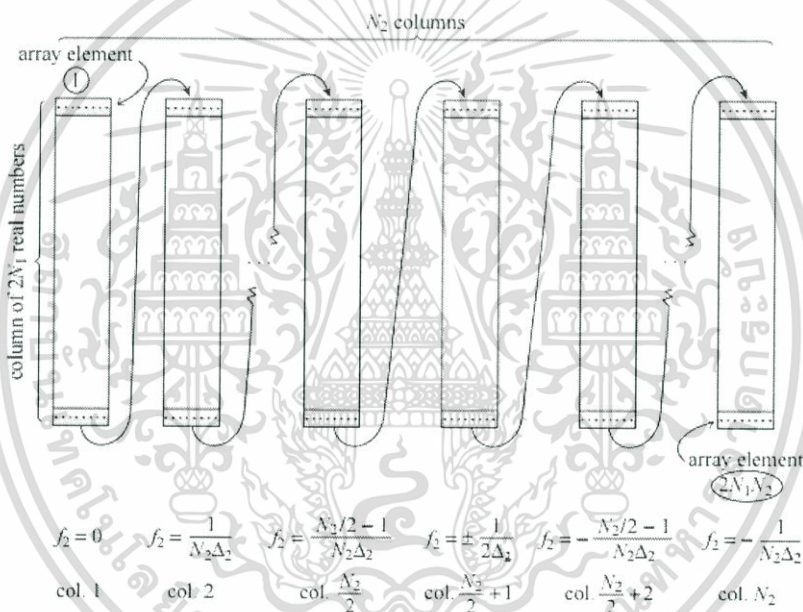
จากสมการที่ 2.10 จะเห็นได้ว่า FFT สองมิติสามารถคำนวณโดยใช้ FFT หนึ่งมิติในแต่ละดัชนี (Index) ของฟังก์ชันเริ่มต้น สามารถใช้คำสั่งแทนได้ดังนี้

$$H(n_1, n_2) = \text{FFT-on-index-1}(\text{FFT-on-index-2}[h(k_1, k_2)]) \\ \text{FFT-on-index-2}(\text{FFT-on-index-1}[h(k_1, k_2)])$$

จากคำสั่งทั้ง  $N_1$  และ  $N_2$  ควรมีประสิทธิภาพในการแปลง FFT หนึ่งมิติ โดยโปรแกรมจะแปลง FFT สองมิติจะใช้สมการที่ 2.10 แปลง FFT หนึ่งมิติซ้ำ ๆ กัน โดยพบได้ว่าจากสัญญาณที่เข้ามาจะคัดลอกข้อมูลออกจากลำดับการป้อนข้อมูลแบบหลายมิติ และคัดลอกข้อมูลกลับเข้ามา แต่

ควรใช้การแปลง FFT หลายมิติวนซ้ำ โดยคุณสมบัติอื่น ๆ ของ FFT หลายมิติยังมีลักษณะคล้ายคลึงกับหนึ่งมิติ ดังนี้

- ความถี่จะถูกจัดเรียงเป็นรอบการแปลง ขึ้นอยู่กับแต่ละมิติข้อมูล
- ข้อมูลอินพุตจะมีลักษณะเหมือนถูกห่อหุ้มรอบ ๆ ถ้าข้อมูลไม่ต่อเนื่อง และแสดงเป็นช่วง ๆ เวลา จากนั้นสเปกตรัมจะมีพลังงานส่วนเกินที่ความถี่สูง เพราะไม่มีความต่อเนื่อง การแก้ไขคือลบข้อมูลหลายมิติเชิงเส้น
- การฉีกขาดของสเปกตรัมจะเกิดขึ้น หากไม่มีการจำกัดแบนด์วิดท์ที่เพียงพอตามขนาดของการแปลง FFT

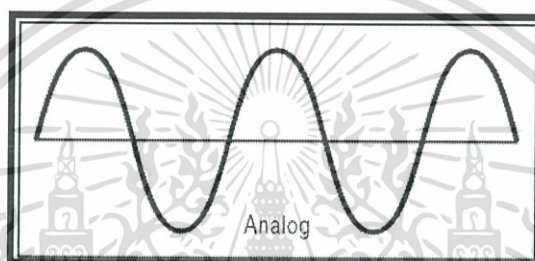


รูปที่ 2.26 การจัดเรียงตามความถี่หลังจากการแปลง FFT สองมิติ [9]

จากรูปที่ 2.26 ข้อมูลอินพุตสองมิติ ( $N_1 \times N_2$ )  $H(t_1, t_2)$  (เก็บข้อมูลเป็นจำนวนเชิงซ้อน) ข้อมูลที่ผ่านการแปลง FFT จะถูกเก็บในรูปจำนวนเชิงซ้อนเป็นแถว ในแต่ละแถวจะสัมพันธ์โดยเฉพาะค่าของ  $f_2$  ที่แสดงในรูป 2.26 ในแต่ละแถว การจัดการความถี่  $f_1$  แปลง FFT โดยใช้สมการที่ 2.9 โดยค่า  $v_1$  และ  $v_2$  คือค่าการซัดค่าตัวอย่าง โดยผลรวมจำนวนจริงจะถูกเก็บในรูปของส่วนประกอบลำดับ (Array Element)  $2N_1N_2$  โดยโปรแกรมสามารถทำได้มากกว่าสองมิติ และแสดงการจัดเก็บข้อมูลได้ชัดเจน

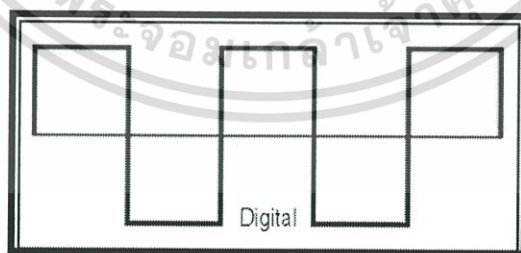
## 2.9 การสุ่มตัวอย่าง (Sampling)

สัญญาณแอนะล็อก (Analog Signal) หมายถึงสัญญาณข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Continuous Data) มีขนาดของสัญญาณไม่คงที่ การเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วมีลักษณะเป็นเส้นโค้งต่อเนื่องกันไปโดยการส่งสัญญาณแบบแอนะล็อกจะถูกรบกวนให้มีการแปลความหมายผิดพลาดได้ง่าย เช่นสัญญาณเสียงในสายโทรศัพท์และเสียงดนตรี เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 สัญญาณแอนะล็อก (Analog Signal) [10]

สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal) หมายถึงสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Data) ที่มีขนาดแน่นอนซึ่งขนาดดังกล่าวอาจกระโดดไปมาระหว่างค่าสองค่า คือสัญญาณระดับสูงสุดและสัญญาณระดับต่ำสุด ซึ่งสัญญาณดิจิทัลนี้เป็นสัญญาณที่คอมพิวเตอร์ใช้ในการทำงานและติดต่อสื่อสารกัน ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal) [10]

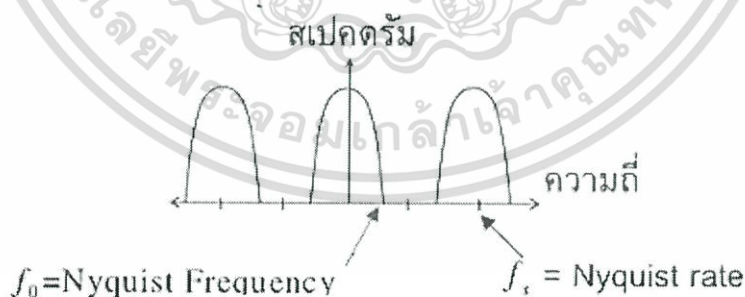
จากรูปที่ 2.27 และ 2.28 ความแตกต่างระหว่างสัญญาณแอนะล็อก และสัญญาณดิจิทัลคือความต่อเนื่องของสัญญาณและความแม่นยำของสัญญาณ

### การสุ่มตัวอย่าง (Sampling)

สัญญาณแอนะล็อกที่มีความต่อเนื่องทางขนาดจะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีสัญญาณไม่ต่อเนื่องได้นั้นทำได้โดยการสุ่มตัวอย่าง (Sampling) เป็นการตัดสุ่มสัญญาณแอนะล็อกออกเป็นช่วง ๆ ด้วยความถี่ของการสุ่ม  $f_s$  (Sampling Frequency) หรือ เวลาการสุ่ม  $T_s$  (Sampling Time) สัญญาณเดิมจะถูกเปลี่ยนกลับคืนมาได้อย่างครบถ้วนนั้นต้องมีข้อจำกัดที่สำคัญ ซึ่งก็คือความถี่ของการสุ่มตัวอย่างจะต้องสูงกว่าความถี่สูงสุดของสัญญาณที่ต้องการสุ่มนี้สองเท่าขึ้นไป เช่นถ้าสัญญาณที่ต้องการสุ่มตัวอย่างมีความถี่สูงสุดเป็น  $f_m$  ความถี่ของการสุ่มตัวอย่างจะต้องเป็น  $f_s \geq 2f_m$  สัญญาณที่เปลี่ยนกลับจึงไม่เกิดการผิดเพี้ยน เรียกอัตราการสุ่มตัวอย่างนี้ว่า Nyquist Rate

### สเปกตรัม (Spectrum) และผลของการสุ่มสัญญาณ

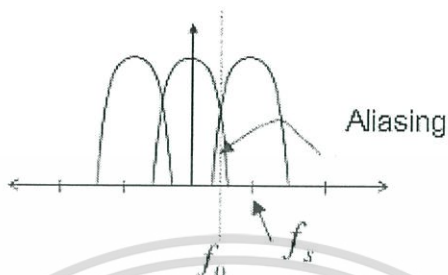
สเปกตรัมเป็นการแสดงค่าการกระจายของสัญญาณในเชิงความถี่ ซึ่งผลของการสุ่มสัญญาณทำให้เกิดสเปกตรัมแบบเป็นคาบ (Periodic) ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 Nyquist Frequency and rate [10]

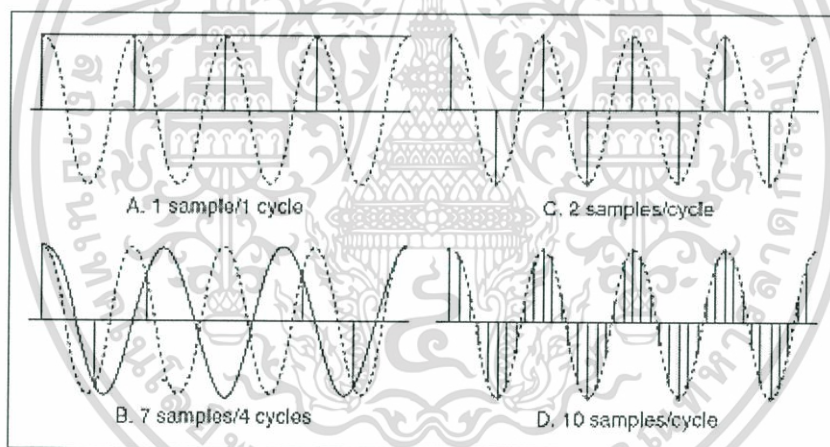
จากรูปที่ 2.29 ซึ่งความถี่  $f_m$  หรือ  $f_0$  เรียกว่า ความถี่ไนควิสต์ (Nyquist Frequency) ซึ่งความถี่ต่ำสุดที่จะไม่เกิดการซ้อนทับของสัญญาณ (Aliasing) เรียกว่า อัตราไนควิสต์

(Nyquist rate) ซึ่งการเกิด Aliasing ในทาง DSP (Digital Signal Processing) คือเกิดการซ้อนทับของสเปกตรัม ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 การเกิด Aliasing ของสัญญาณ [10]

จากรูปที่ 2.30 สาเหตุของการเกิด Aliasing คือการที่ความถี่สุ่มน้อยกว่าสองเท่าของความถี่ในควิสต์ หรือ  $f_s < 2f_0$  ซึ่งทำให้เกิดการซ้อนทับกันของสเปกตรัม



รูปที่ 2.31 ตัวอย่างการซัดค่าตัวอย่างในข้อมูล [10]

จากรูปที่ 2.31 การซัดค่าตัวอย่างด้วยจำนวนตัวอย่างสูง ๆ จะทำให้สัญญาณมีลักษณะใกล้เคียงสัญญาณเดิมมากขึ้น ดังนั้นการเลือกจำนวนการซัดค่าตัวอย่างจึงเป็นสิ่งสำคัญในการรับส่งข้อมูล

## 2.10 รูปแบบของเครื่องรบกวนสัญญาณและตรวจจับสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

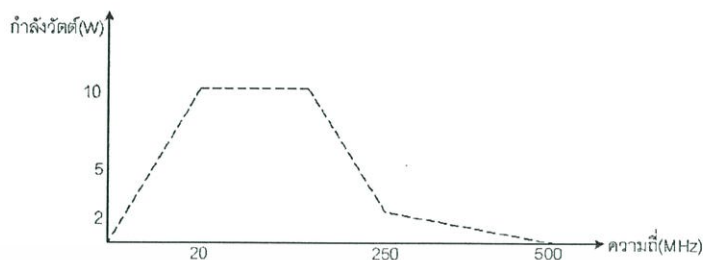
รูปแบบของเครื่องรบกวนโทรศัพท์มือถือและตรวจจับสัญญาณมือถือแบ่งตามหลักการทำงานของเครื่องและขอบเขตในการใช้งานแบ่งเป็น 5 แบบดังนี้

### 2.10.1 แบบ Type A

เครื่องรบกวนสัญญาณ (Jammer) ใช้หลักการส่งสัญญาณรบกวน (Noise) ไปกับความถี่ที่ต้องการรบกวน เช่นหากต้องการรบกวนโทรศัพท์ระบบที่ความถี่ 800-900 MHz เครื่องรบกวนสัญญาณจะสร้างสัญญาณรบกวนผสมกับความถี่ 800-900 MHz เครื่องรับโทรศัพท์ก็จะได้รับความถี่จากเครื่องรบกวนสัญญาณ ซึ่งมีกำลังวัตต์สูงกว่าเมื่อเทียบกับสถานี (Base station) ซึ่งมีระยะไกลกว่า และความถี่ดังกล่าวจะมีสัญญาณรบกวนมาด้วย ทำให้การสื่อสารของเครื่องโทรศัพท์ไม่สามารถสื่อสารกับเครือข่ายได้

หลักการทำงานของเครื่องรบกวนสัญญาณเริ่มจากการผลิตความถี่รูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) แล้วส่งสัญญาณไปปรับรูปให้เป็นรูปฟันเลื่อย (Sawtooth) ด้วยวงจรรวมปริพันธ์ (Integrate) จากนั้นก็จะส่งไปขยายสัญญาณด้วยวงจรมอนิเตอร์ (Buffer) ในขณะเดียวกัน วงจรสร้างสัญญาณรบกวน (Noise Generator) จะผลิตสัญญาณรบกวน เพื่อผสมกับสัญญาณฟันเลื่อยที่วงจรรวมสัญญาณ (Mixer) สัญญาณที่ได้จากการผสมจะส่งเข้าสู่วงจรควบคุมแรงดัน (VCO : Voltage Control Oscillator) เพื่อทำการรักษาระดับแรงดันให้คงที่ แต่ความถี่จะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณอินพุต ซึ่งพื้นฐานของสัญญาณฟันเลื่อยจะประกอบด้วยฮาร์โมนิกคู่และคี่หากเราวัดกับเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมจะพบว่า การบ่อนสัญญาณฟันเลื่อยให้กับวงจรควบคุมแรงดัน (VCO) จะปรากฏสัญญาณสแกนทั้งฮาร์โมนิกคู่และคี่ ทำให้การรบกวนสัญญาณสามารถสแกนความถี่ครอบคลุมหลายย่านความถี่สัญญาณที่ออกจากวงจรวีซีโอ (VCO) จะถูกนำไปขยายให้มีกำลังมากขึ้นด้วยวงจรรวมแอมพลิไฟเออร์ ก่อนส่งออกทางสายอากาศในส่วนของกำลังส่งของเครื่องรบกวนสัญญาณ ประมาณ 2-10 วัตต์ ซึ่งกำลังวัตต์จะลดต่ำลงเมื่อความถี่ที่ส่งสูงขึ้นรูปที่ 2.31 แสดงกราฟกำลังส่งของเครื่องรบกวนสัญญาณ ณ ความถี่ที่ส่งเปลี่ยนแปลงไปส่วนอากาศของเครื่องอาจจะมากกว่า 1 ดันขึ้นอยู่กับว่าเครื่องรบกวนสัญญาณมีคุณสมบัติรบกวนสัญญาณได้กี่ย่านความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 กราฟค่ากำลังวัตต์ของเครื่องรบกวนสัญญาณ

### 2.10.2 แบบ Type B

เครื่องอินเทลลิเจนต์เซลลูลาร์ (Intelligent Cellular Disablers) จะมีลักษณะการทำงานแตกต่างกับเครื่องรบกวนสัญญาณอย่างสิ้นเชิงเพราะการทำงานของเครื่องจะใช้หลักการตรวจจับสัญญาณร่วมกับสถานี (Base Station) ในขณะที่มีการสื่อสารจากนั้นก็ทำการส่งสัญญาณไปขัดขวางกับความถี่ของเครื่องรับโทรศัพท์ที่ตรวจจับได้หลังจากนั้นเครื่องรบกวนอินเทลลิเจนต์เซลลูลาร์จะทำการถอดหมายเลขโทรศัพท์ที่เข้กดตำแหน่งและตรวจเช็คระยะเวลาของเครื่องรับของเครื่องโทรศัพท์ไปพร้อม ๆ กันใช้ระยะเวลาการทำงานทั้งหมดให้การตรวจเช็คประมาณ 2 นาที

### 2.10.3 แบบ Type C

เครื่องเช็คสัญญาณโทรศัพท์แบบสัญญาณเตือน (Intelligent Beacon Disabler) การทำงานของเครื่องจะคล้ายกับเครื่องรับโทรศัพท์มือถือโดยที่ไม่มีภาคส่งระบบจะไม่มีการส่งสัญญาณไปก่อการสื่อสารของโทรศัพท์ใด ๆ ทั้งสิ้นหากแต่ตัวเครื่องจะเพิ่มเติมระบบไฟเตือนเพื่อเป็นการเตือนทุกครั้งเมื่อบริเวณพื้นที่ดังกล่าวมีการใช้งานโทรศัพท์มือถือจะนิยมใช้งานในห้องเรียนหรือห้องประชุม

#### 2.10.4 แบบ Type D

เครื่องรับสัญญาณและเครื่องรบกวนสัญญาณ (Direct Receive & Transmit Jammers) รายละเอียดของเครื่องก็จะประกอบด้วยกัน 2 ส่วนใหญ่ๆ คือภาครับที่สามารถพกพาไปได้ซึ่งนำเอาคุณสมบัติเครื่องแบบ Type C มาใช้งานในส่วนของภาคส่งก็จะเป็นลักษณะของเครื่องรบกวนสัญญาณขนาดเล็กที่มีอำนาจในการบล็อกสัญญาณในระยะใกล้การบล็อกสัญญาณจะใช้วิธีการสร้างสัญญาณรบกวนให้มีกำลังต่ำแต่เพียงพอที่จะกระจายคลื่นความถี่ให้รบกวนสื่อสารในบริเวณใกล้เคียงนอกเหนือจากนั้นแล้วตัวเครื่องยังสามารถโทรแจ้งไปยังหมายเลขฉุกเฉินเช่น 191 ในกรณีที่พื้นที่ดังกล่าวมีการใช้งานโทรศัพท์ที่มีหมายเลขแปลกปลอม

#### 2.10.5 แบบ Type E

เครื่องรบกวนสัญญาณแบบสนามแม่เหล็กหรือแบบ (Electro Magnetic Interference Shield - Passive Jamming) เป็นเทคนิคการรบกวนสัญญาณโดยใช้ทฤษฎีของสนามแม่เหล็กปกคลุมคลื่นสนามแม่เหล็กของการสื่อสารระบบสถานีใกล้เคียงกับตัวเครื่องโทรศัพท์เป็นรูปแบบการรบกวนสัญญาณที่ไม่มีการทำงานยุ่งยากแต่รัศมีการรบกวนโทรศัพท์มือถือไม่สูงมากนักจึงเป็นที่นิยมใช้งานในใช้ห้องประชุมหรือโรงภาพยนตร์ เป็นต้น

## 2.11 Jamming to signal ratio (JSR)

$$\frac{J}{S} = \frac{P_j G_{jr} G_{rj} R_{jr}^2 L_r B_r}{P_i G_{ir} G_{ri} R_{jr}^2 L_j B_j} \quad (2.12)$$

JSR เป็นอัตราส่วนของพลังงานที่ได้รับจากสัญญาณรบกวนที่ส่งมา ( $J$ ) ส่วนด้วยกำลังของสัญญาณโทรศัพท์ ( $S$ ) โดยคิดกำลังจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบที่ส่งผลต่อสัญญาณรบกวนทั้งที่เพิ่มกำลังสัญญาณ และลดลงของสัญญาณโดยแสดงค่าพลังงาน ตามสมการที่ 2.12

- $P_j$  = กำลังของสัญญาณรบกวน
- $G_{jr}$  = อัตราขยายของสายอากาศไปยังโทรศัพท์มือถือ
- $R_{jr}$  = อัตราขยายของสายอากาศโทรศัพท์มือถือไปยังเครื่อง jammer
- $B_r$  = แบนด์วิดท์ของเครือข่ายมือถือ
- $L_r$  = การสูญเสียกำลังของเครือข่ายมือถือ
- $P_i$  = กำลังของโทรศัพท์มือถือที่ได้รับจากเครือข่าย
- $G_{ir}$  = อัตราขยายของสายอากาศสถานีฐานไปยังโทรศัพท์มือถือ
- $G_{ri}$  = อัตราขยายของสายอากาศโทรศัพท์มือถือไปยังสถานีฐาน
- $R_{jr}$  = ระยะทางระหว่างเครื่องรบกวนกับสถานีฐาน
- $B_j$  = แบนด์วิดท์ของเครื่องรบกวนสัญญาณ
- $L_j$  = การสูญเสียกำลังของเครื่องรบกวนสัญญาณ

## บทที่ 3

### การออกแบบและการจัดทำปริญญาานิพนธ์

เทคโนโลยีวิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์ (Software Defined Radio) คือ เทคโนโลยีที่เน้นการพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมระบบเครื่องรับ-ส่งคลื่นวิทยุ โดยใช้ซอฟต์แวร์ปรับเปลี่ยนคุณลักษณะการรับ-ส่งของอุปกรณ์ และใช้คลื่นวิทยุเป็นสื่อกลางในการรับ-ส่งข้อมูล ซึ่งการควบคุมโดยใช้โปรแกรม GNU-Radio และอุปกรณ์ USRP-B210 เพื่อตอบสนองต่อการควบคุม

#### 3.1 การออกแบบการทำงานของสัญญาณรบกวน

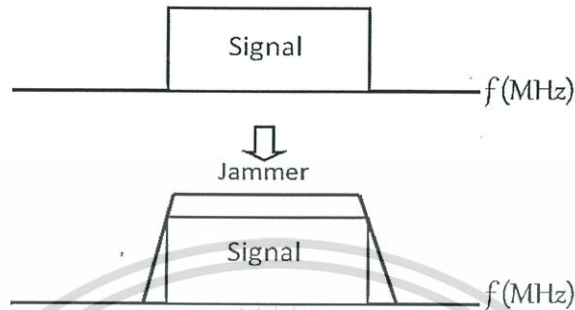
##### 3.1.1 ความถี่ที่ต้องการรบกวนในแต่ละเครือข่าย

ตารางที่ 3.1 ความถี่ที่ต้องการรบกวนในแต่ละเครือข่าย

Network	Band (MHz)	Downlink (MHz)	Center Frequency (MHz)	Bandwidth (MHz)
Ais 2G	900	942.5 - 960	951.25	17.5
True2G	1800	1805 - 1817.5	1811.25	12.6
Dtac 2G	1800	1817.6 - 1842.9	1830.25	25.3
True 3G	850	869 - 884	876.50	15
Dtac 3G	2100	2110 - 2125	2117.50	15
True 3G	2100	2125 - 2140	2132.50	15
Ais 3G	2100	2140 - 2155	2147.50	15

จากตารางที่ 3.1 เป็นการบอกรายละเอียดความถี่แต่ละย่านที่ต้องการรบกวนในแต่ละเครือข่าย โดยในตารางจะแสดงค่าการเชื่อมโยงลง (Downlink) ค่าความถี่กลาง (Center Frequency) และค่าแบนด์วิดท์ (Bandwidth) เพื่อทำการออกแบบการรบกวนในแต่ละเครือข่าย

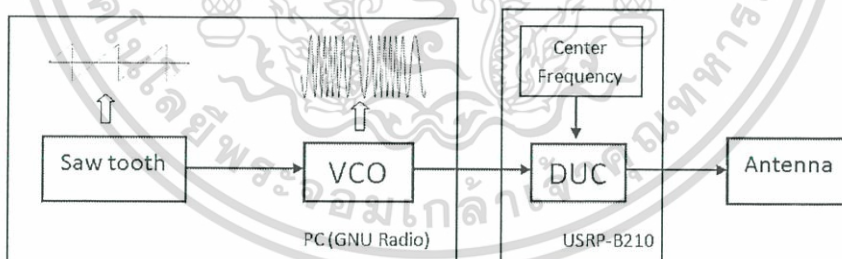
### 3.1.2 การออกแบบเทคนิคการรบกวนสัญญาณ



รูปที่ 3.1 การรบกวนสัญญาณเต็มย่าน

จากรูปที่ 3.1 แสดงการเลือกใช้เทคนิคการรบกวนสัญญาณเต็มย่าน (Full Band Jamming) ในการรบกวนสัญญาณมือถือระบบ 2G และ 3G ดังนั้น ต้องออกแบบสัญญาณรบกวนให้ครอบคลุมแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่ต้องการรบกวน

### 3.1.3 การออกแบบ Sweeping Jamming



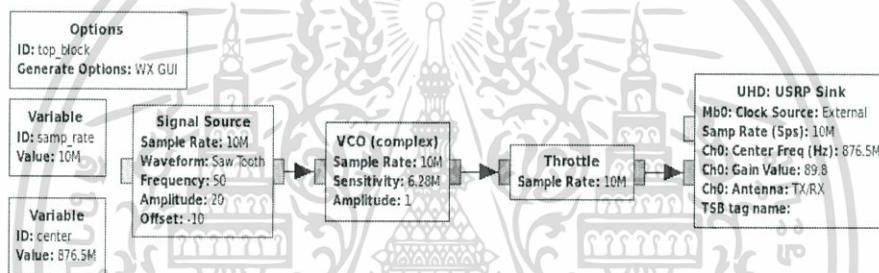
รูปที่ 3.2 Sweeping Jamming

จากรูปที่ 3.2 แสดงถึงการออกแบบบล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) ของการทำงานในคอมพิวเตอร์กับส่วนของ USRP-B210 โดยในส่วนของคอมพิวเตอร์ใช้ซอฟต์แวร์ GNU Radio ซึ่งใช้สัญญาณฟันเลื่อย (Sawtooth) ในการควบคุม VCO (Voltage Control Oscillator) ในการผลิตความถี่เป็นแบนด์กว้างเพื่อรบกวนสัญญาณในความถี่ที่เราต้องการ จากนั้นทำการป้อน

ค่าความถี่กลาง (Center Frequency) ให้ USRP-B210 เพื่อทำการอัปเดตความถี่ที่ต้องการ หลังจากนั้นนำไปต่อกับสายอากาศเพื่อทำการส่งสัญญาณออกไปรับกวนความถี่ที่เราต้องการเช่น ต้องการสัญญาณรบกวนแบบตรีวัตต์ 20 MHz ต้องกำหนดแอมพลิจูดสัญญาณพื้นเลื่อย 20 V ผ่าน VCO เพื่อให้สัญญาณกวาดความถี่รอบความถี่กลาง -10 MHz ถึง 10 MHz ด้วยความเร็วเท่ากับความถี่สัญญาณพื้นเลื่อยเช่น กำหนดความถี่ 100 Hz สัญญาณจะกวาดความเร็วเท่ากับ  $1/100 = 0.01 \text{ sec}$

### 3.1.4 การออกแบบซอฟต์แวร์การรับกวนสัญญาณใน GNU Radio

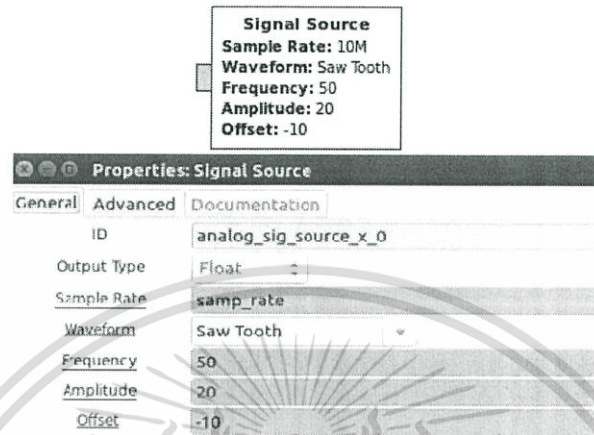
#### 3.1.4.1 การออกแบบ Block Diagram



รูปที่ 3.3 บล็อกการรับกวนสัญญาณคลื่นวิทยุ

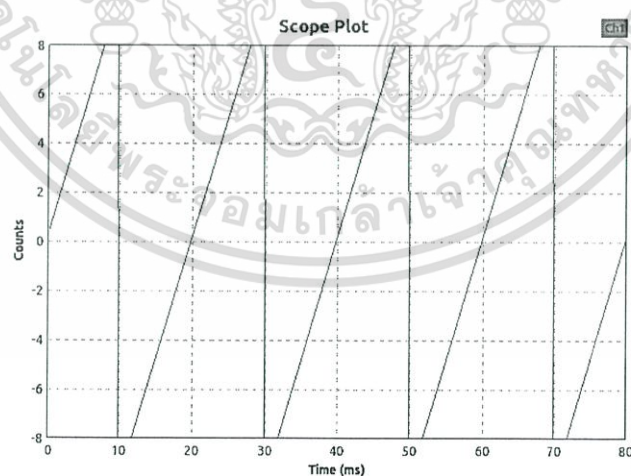
จากรูปที่ 3.3 การสร้างบล็อกการรับกวนสัญญาณคลื่นวิทยุ โดยมีบล็อก Signal Source ทำหน้าที่สร้างสัญญาณประเภทต่าง ๆ เช่น ไซน์ โคไซน์ สีเหลี่ยม สามเหลี่ยม และพื้นเลื่อย ต่อมาเชื่อมกับบล็อก VCO (complex) ทำหน้าที่ให้อินพุตเป็นแรงดัน และเอาต์พุตเป็นความถี่ ซึ่งแรงดันที่อินพุตกำหนดค่า โดยพารามิเตอร์ Sensitivity ต่อมาเชื่อมกับบล็อก Throttle ทำหน้าที่ จำกัดการส่งผ่านข้อมูลโดยค่าอัตราการสุ่มตัวอย่าง (Sample Rate) และสุดท้ายเชื่อมบล็อก USRP Sink ทำหน้าที่ส่งสัญญาณออกไปรับกวนสัญญาณคลื่นวิทยุ โดยค่าพารามิเตอร์แต่ละบล็อกแสดงดังรูปต่อไปนี้

### 3.1.4.2 การออกแบบสัญญาณฟันเลื่อย (Sawtooth)



รูปที่ 3.4 Signal Source

จากรูปที่ 3.4 บล็อก Signal Source กำหนดค่าพารามิเตอร์แต่ละค่า โดยกำหนด Output Type เป็น Float , Sample Rate กำหนดค่าตามบล็อก VariableID : samp\_rate เท่ากับ 10 MHz ซึ่งกำหนดไว้ตั้งแต่แรกแล้ว โดยรูปแบบคลื่นกำหนดเป็นสัญญาณฟันเลื่อย (Sawtooth) โดยใช้ความถี่เท่ากับ 50 Hz แสดงดังรูปที่ 3.5

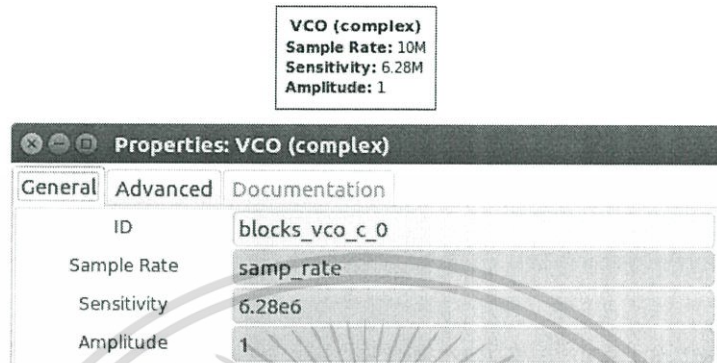


รูปที่ 3.5 สัญญาณฟันเลื่อย (Sawtooth)

จากรูปที่ 3.5 กำหนดค่า Amplitude กับ offset ในบล็อก Signal source มีค่าเท่ากับ 20 V กับ -10 V เพื่อให้แรงดันของสัญญาณมีค่าเอาต์พุต เท่ากับ 10 V ถึง -10 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.1.4.3 VCO (Complex)



รูปที่ 3.6 VCO (Complex)

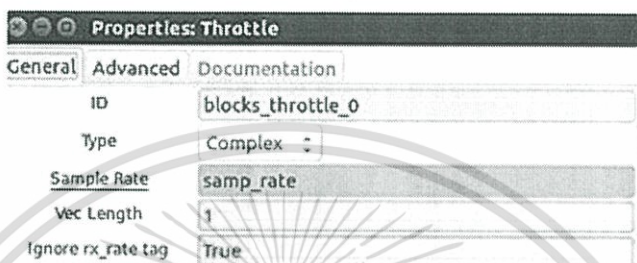
จากรูปที่ 3.6 บล็อก VCO (Complex) กำหนดค่าพารามิเตอร์ในแต่ละค่าโดยกำหนดค่า Sensitivity คือ การกำหนดค่าอัตราส่วนระหว่างแรงดัน กับความถี่ซึ่งกำหนดให้เท่ากับ 6.28M radians/sec/volt จึงได้สูตรคำนวณคือ

$$\begin{aligned}
 \text{Sensitivity} &= \frac{2\pi f}{v} \\
 6.28M &= \frac{2\pi f}{v} \\
 1\text{MHz} &= \frac{f(\text{Hz})}{v(\text{volt})}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

จากสมการที่ 3.1 แสดงว่ากำหนดให้แรงดัน 1 Volt ต่อความถี่ 1 MHz

## 3.1.4.4 Throttle

**Throttle**  
Sample Rate: 10M

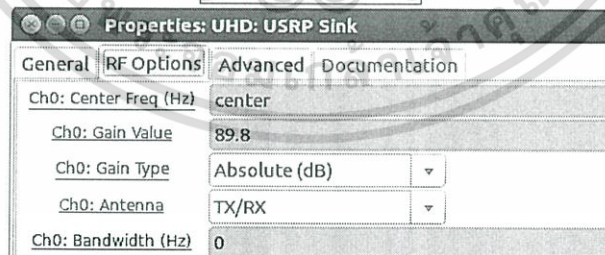


รูปที่ 3.7 Throttle

จากรูปที่ 3.7 บล็อก Throttle กำหนดค่าพารามิเตอร์ในแต่ละค่า โดย Type กำหนดเป็น Complex

## 3.1.4.5 USRP Sink

**UHD: USRP Sink**  
MBO: Clock Source: External  
Samp Rate (Sps): 10M  
Ch0: Center Freq (Hz): 876.5M  
Ch0: Gain Value: 89.8  
Ch0: Antenna: TX/RX  
TSB tag name:



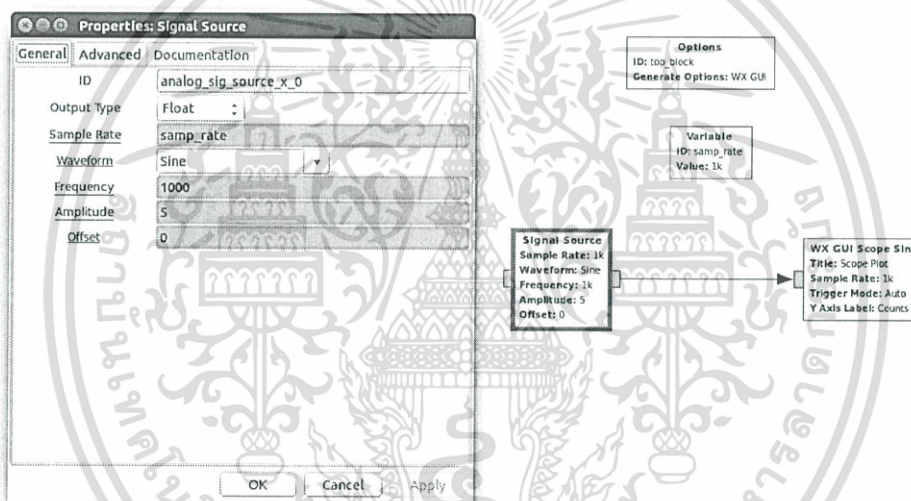
รูปที่ 3.8 USRP Sink

จากรูปที่ 3.8 บล็อก USRP Sink กำหนดค่าพารามิเตอร์ในแต่ละค่าโดยค่าความถี่กลาง (Center Frequency) เท่ากับ 876.5 MHz และ Gain เท่ากับ 89.8 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

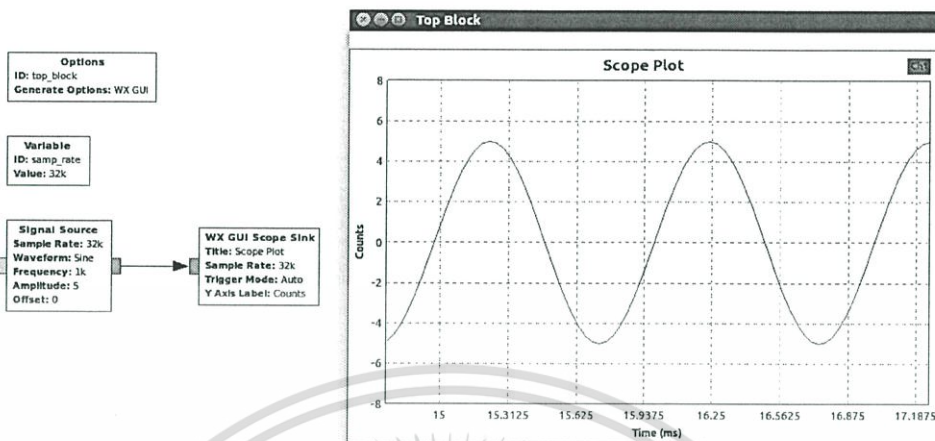
### 3.1.5 การออกแบบค่า Sample rate

ในส่วนของการออกแบบการรบกวนสัญญาณมือถือนั้น พารามิเตอร์ (Parameter) ที่สำคัญที่จะต้องอธิบายเพิ่มเติมอย่างละเอียด คืออัตราสุ่มตัวอย่าง (Sample Rate) ซึ่งเป็นตัวกำหนดความละเอียดของคลื่นความถี่ เช่นอัตราสุ่มตัวอย่าง = 1 kHz หมายความว่า ในหนึ่งลูกคลื่นความถี่มีจำนวนจุดที่บอกตำแหน่งความถี่จำนวน 1000 จุดนั่นเอง ดังนั้นทำการทดลองเกี่ยวกับค่าอัตราสุ่มตัวอย่างต่างๆ ว่าจะมีผลกับสัญญาณไขว้ได้อย่างไรโดยเริ่มจากการกำหนด สัญญาณไขว้ที่มีความถี่ = 1000 Hz ดังรูปที่ 3.9



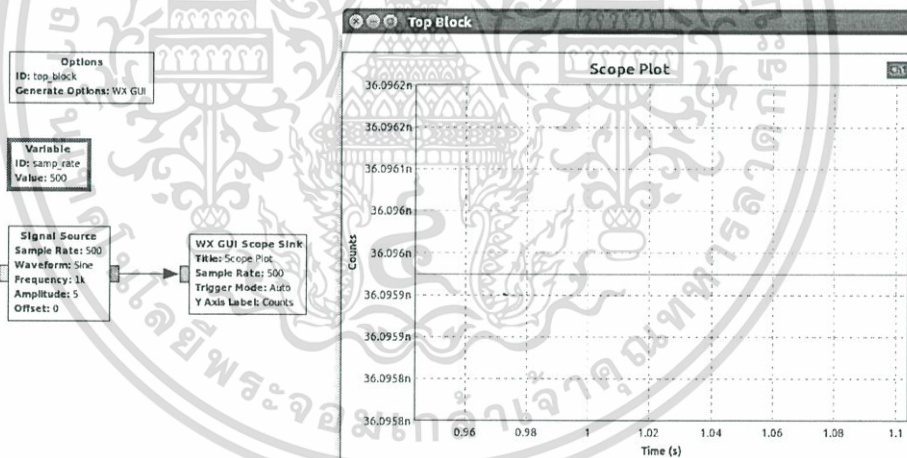
รูปที่ 3.9 ค่าพารามิเตอร์ของบล็อก Signal Source

จากรูปที่ 3.9 บล็อก Signal Source กำหนดค่าพารามิเตอร์ในแต่ละค่าโดยกำหนด Output Type เป็น Float , Sample Rate ซึ่งกำหนดค่าตามบล็อกตัวแปร (Variable) โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราสุ่มตัวอย่างต่าง ๆ โดยให้ค่า Waveform ในบล็อกกำหนดเป็น Sine ความถี่ = 1000 Hz และกำหนด Amplitude = 5 Volt ดังนั้นจะได้ลักษณะกราฟดังรูปที่ 3.10



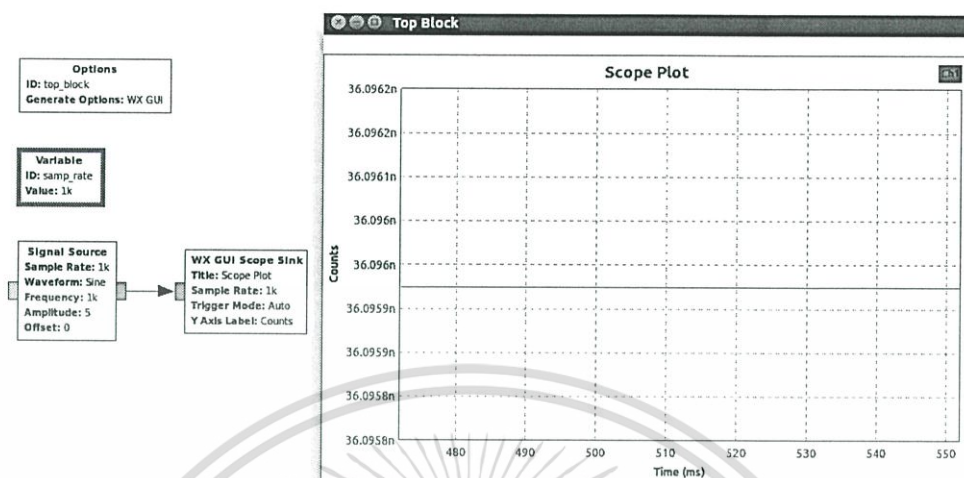
รูปที่ 3.10 กราฟไซน์ที่ความถี่ = 1000 Hz

จากรูปที่ 3.10 ทำการกำหนดค่า Sample Rate = 500 Hz นำมาดูกราฟโดยการต่อกับบล็อก Scope Sink ดังรูปที่ 3.11



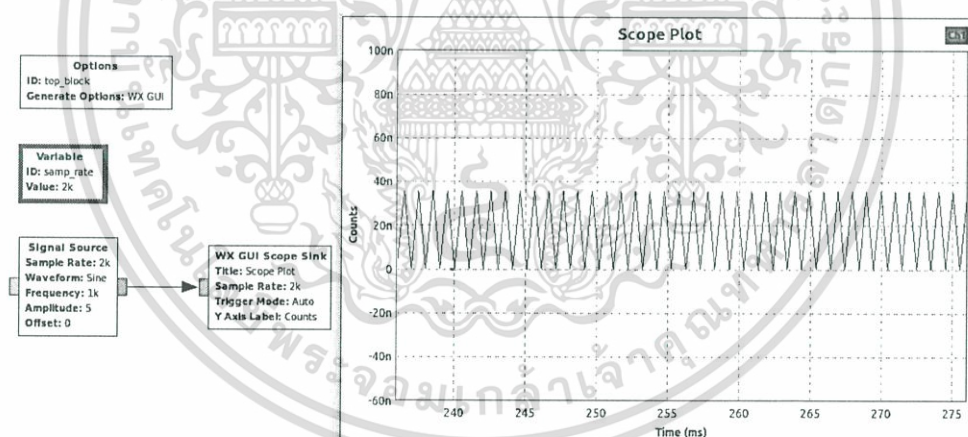
รูปที่ 3.11 บล็อก Variable (Sample Rate = 500 Hz)

จากรูปที่ 3.11 เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ของบล็อก Signal Source ดังรูปที่ 3.9 โดยกำหนดให้ Sample Rate = 500 Hz จะเห็นว่ากราฟที่ได้นั้นเป็นกราฟเส้นตรง ซึ่งไม่เป็นกราฟไซน์อย่างที่กำหนด แสดงว่าค่า Sample Rate น้อยเกินไป ดังนั้นทำการเพิ่มค่า Sample Rate = 1000 Hz ดังรูปที่ 3.12



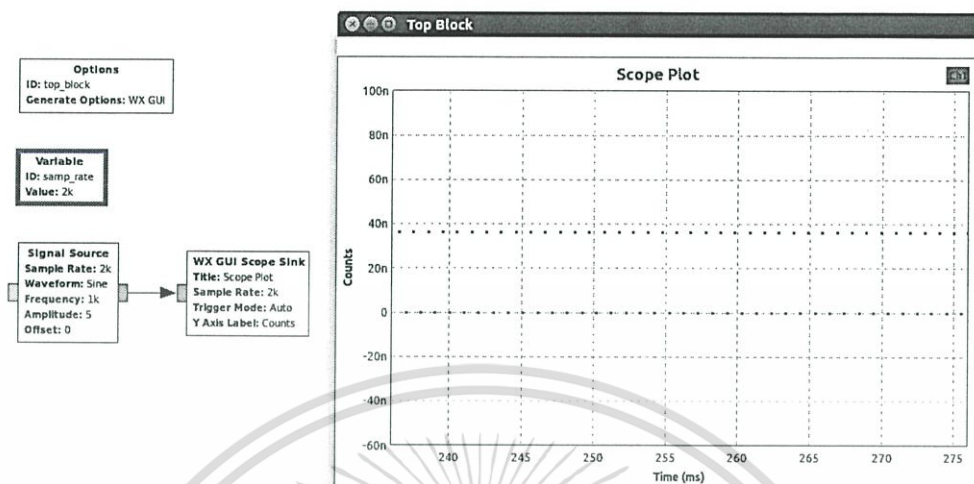
รูปที่ 3.12 บล็อก Variable (Sample Rate = 1000 Hz)

จากรูปที่ 3.12 จะเห็นว่ากราฟที่ได้นั้นเป็นกราฟเส้นตรงเหมือนเดิม แสดงว่าค่า Sample Rate น้อยเกินไป ดังนั้นทำการเพิ่มค่า Sample Rate = 2000 Hz ดังรูปที่ 3.13



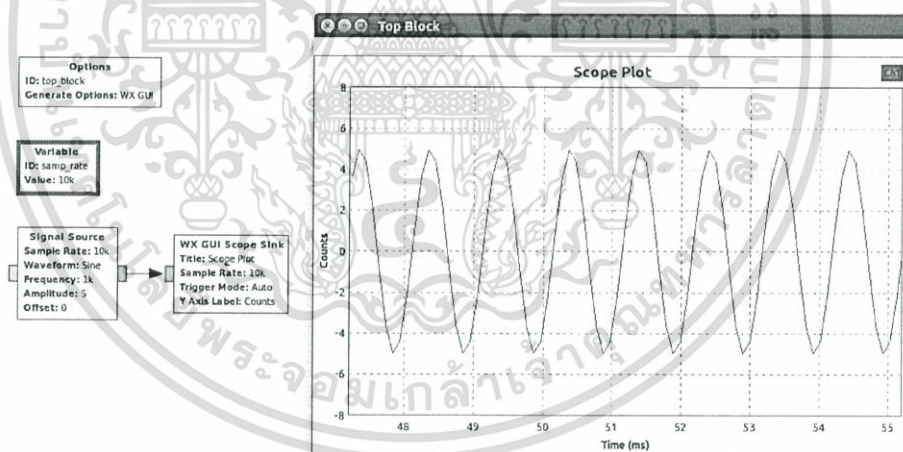
รูปที่ 3.13 บล็อก Variable (Sample Rate = 2000 Hz)

จากรูปที่ 3.13 จะเห็นว่ากราฟที่ได้นั้นเป็นกราฟสามเหลี่ยม ซึ่งมีลักษณะเริ่มคล้ายไซน์ ซึ่งหมายความว่าค่า Sample Rate อย่างน้อยที่สุดที่จะทำให้เกิดสัญญาณขึ้นมานั้น เท่ากับ 2000 Hz หลังจากนั้นนำกราฟรูปที่ 3.13 มาพล็อตแบบจุด ดังรูปที่ 3.14



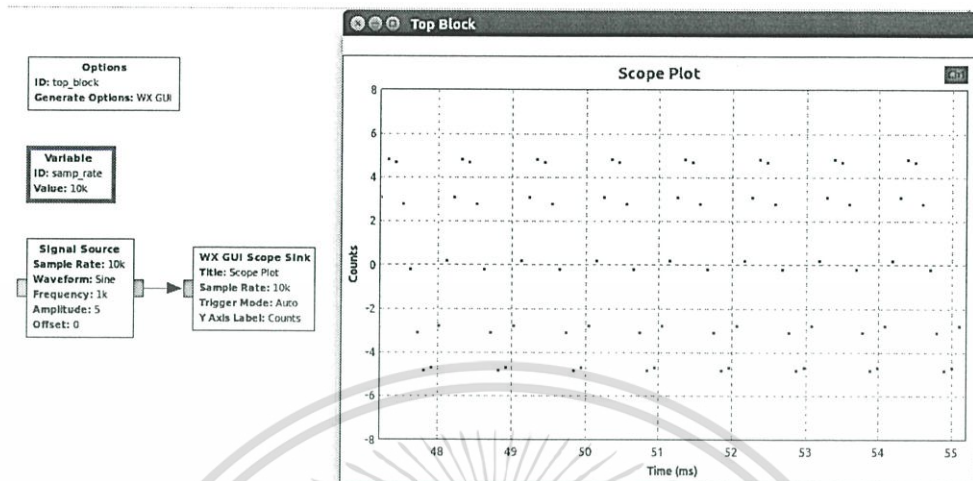
รูปที่ 3.14 บล็อก Variable (Sample Rate = 2000 Hz)

จากรูปที่ 3.14 จะเห็นว่าความถี่การสุ่มตัวอย่างของสัญญาณยังไม่เพียงพอ เพื่อที่จะพล็อตให้ออกมาเป็นกราฟไซน์ได้ ดังนั้นทำการเพิ่มค่า Sample Rate = 10 kHz ดังรูปที่ 3.15



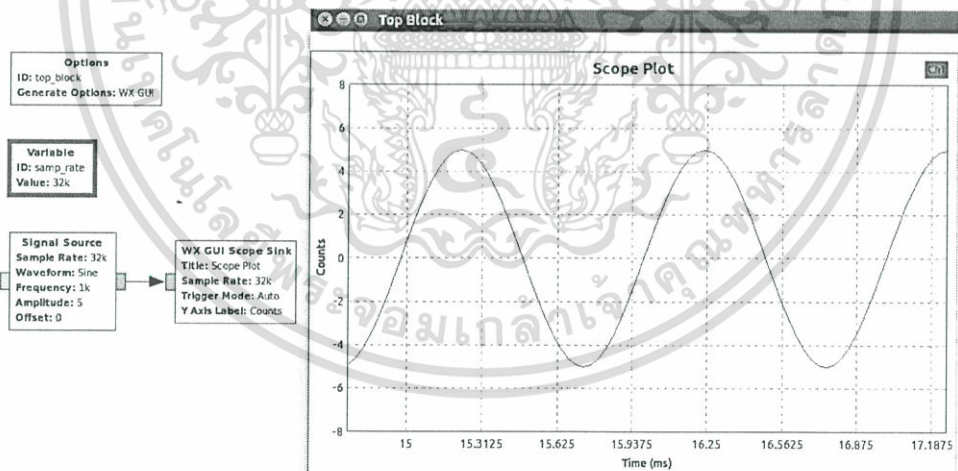
รูปที่ 3.15 บล็อก Variable (Sample Rate = 10 kHz)

จากรูปที่ 3.15 จะเห็นว่ากราฟที่ได้นั้นเป็นกราฟไซน์แต่ว่าลักษณะของสันคลื่น และท้องคลื่นของกราฟไซน์นั้นไม่โค้ง หลังจากนั้นนำกราฟรูปที่ 3.15 มาพล็อตแบบจุด ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 บล็อก Variable (Sample Rate = 10 kHz)

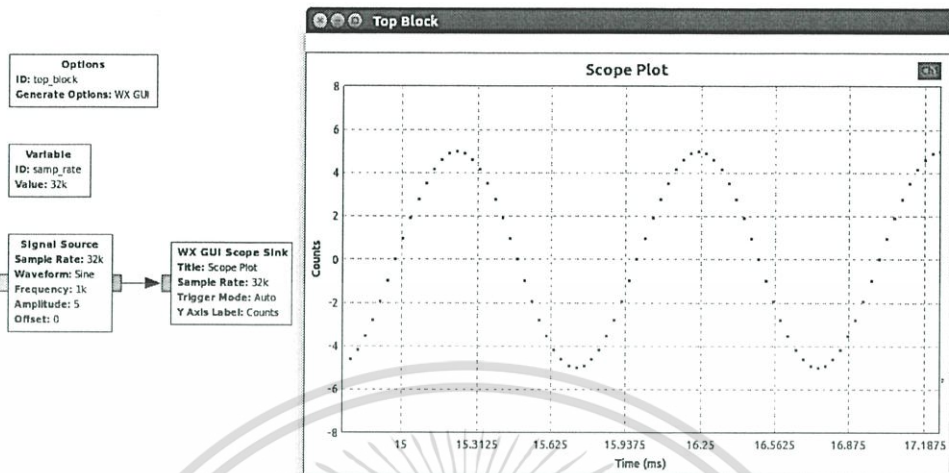
จากรูปที่ 3.16 จะเห็นว่าความถี่การสุ่มตัวอย่างของสัญญาณ เพียงพอที่จะพล็อตให้ออกมาเป็นกราฟไซน์ได้ แต่ในรูปที่ 3.16 นี้ยังได้กราฟ Sine ที่สั่นคลันและท้องคลื่นนั้นยังไม่โค้ง เลยทำการเพิ่มค่า Sample Rate = 32 kHz ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 บล็อก Variable (Sample Rate = 32 kHz)

จากรูปที่ 3.17 จะเห็นว่ากราฟที่ได้นั้นเป็นกราฟไซน์ที่มีลักษณะของคลื่นที่ถี่และท้องคลื่นนั้นโค้งสวยงาม หลังจากนั้นทำการพล็อตแบบจุด ดังรูปที่ 3.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 บล็อก Variable (Sample-Rate = 32 kHz)

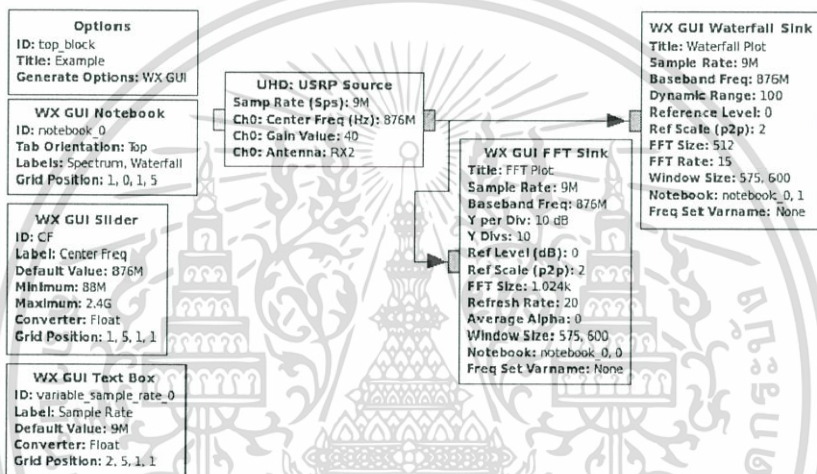
จากรูปที่ 3.18 จะเห็นว่าความถี่การสุ่มตัวอย่างของสัญญาณเพียงพอที่จะพล็อตให้ออกมาเป็นกราฟไซน์ที่มีสั่นคลันและท่วงคลื่นโค้งสวยงาม ดังนั้นทำให้ได้ข้อสรุปว่าความถี่ของการสุ่มตัวอย่าง (Sample Rate) จะต้องสูงกว่าความถี่สูงสุดของสัญญาณที่ต้องการสุ่มนี้สองเท่าขึ้นไป

## 3.2 การออกแบบการค้นหาสัญญาณ

### 3.2.1 การทดลองรับสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

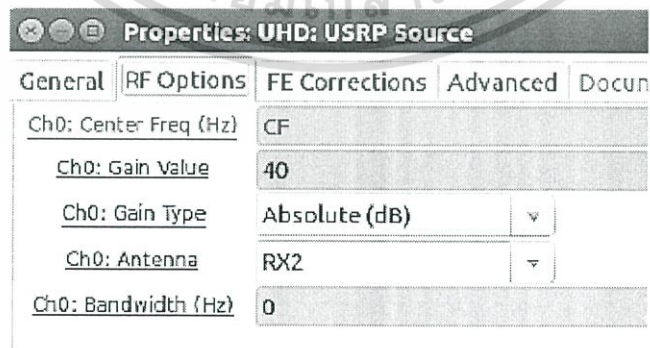
ทำการออกแบบการรับสัญญาณย่านเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ เพื่อทดสอบการใช้งานของอุปกรณ์ USRP ว่าสามารถรับสัญญาณย่านเครือข่ายมือถือได้ ออกแบบการทดลองแสดงดังรูปที่

3.19



รูปที่ 3.19 บล็อกการทดลองรับสัญญาณ

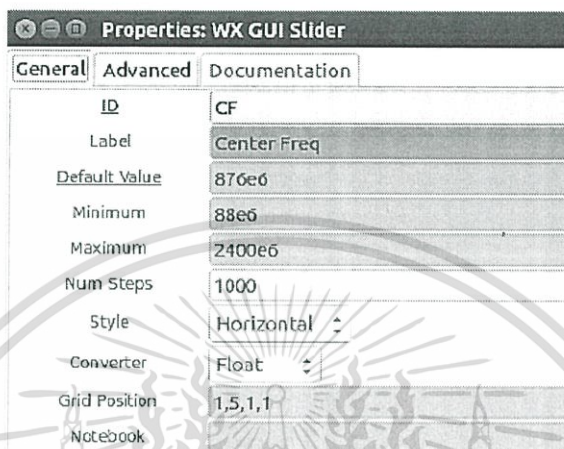
จากรูปที่ 3.19 ทำการรับสัญญาณโดยต้องการให้แสดงผลในรูปแบบสเปกตรัม และ Waterfall plot โดยตั้งค่าพารามิเตอร์ของ USRP Source ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ค่าพารามิเตอร์บล็อก USRP Source

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.20 ตั้งค่าความถี่กลางเท่ากับ CF ที่เป็นตัวแปรจากบล็อก WXGui Slider แสดงดังรูปที่ 3.21 Gain เท่ากับ 40 dB Antenna = Rx2

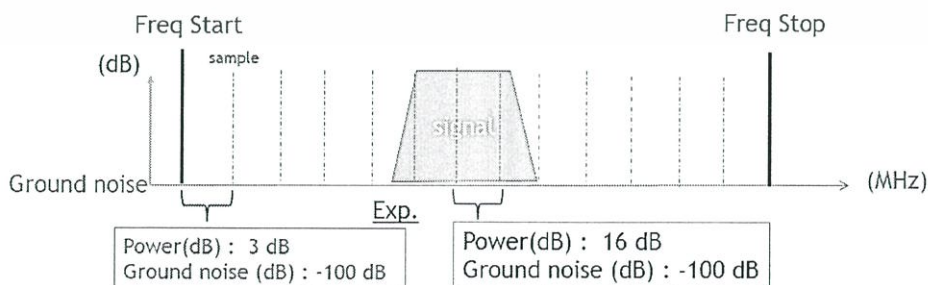


รูปที่ 3.21 ค่าพารามิเตอร์บล็อก WX Gui Slider

จากรูปที่ 3.21 บล็อก WX Gui Slider เป็นบล็อกที่ทำให้สามารถเลือกรับสัญญาณ โดยสามารถเปลี่ยนค่าความถี่กลางของบล็อก USRP Source ขณะทำงานได้ โดยให้สามารถรับค่า ในช่วง 88-2400 MHz

### 3.2.2 การออกแบบโปรแกรมค้นหาสัญญาณ

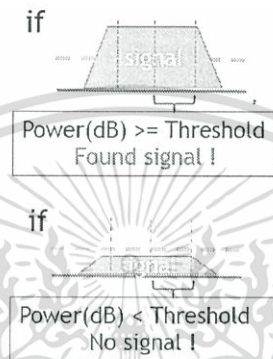
ทำการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาไพธอน ในการออกแบบโปรแกรมค้นหาสัญญาณ โดยให้โปรแกรมรับค่าเป็นตัวเลขของความถี่ 2 ค่า เพื่อกำหนดขอบเขตช่วงความถี่สัญญาณ หลังจากนั้นให้แสดงผลออกมาเป็นตัวเลข ช่วงความถี่ และความแรงของสัญญาณ



รูปที่ 3.22 การค้นหาสัญญาณของโปรแกรม

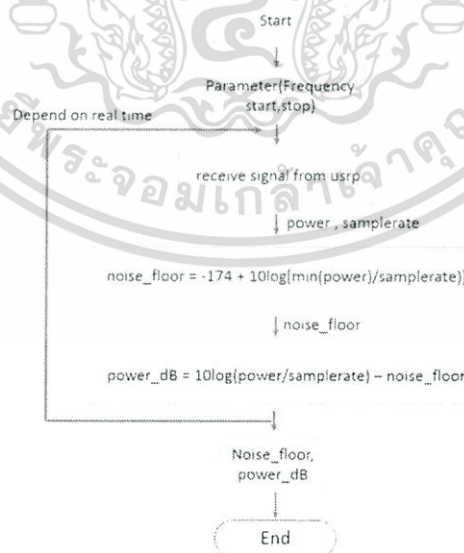
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.22 หลังจากกำหนดขอบเขตของสัญญาณ โปรแกรมจะแบ่งช่วงสัญญาณเป็นช่วงย่อย ๆ หลังจากนั้นหาความแรงของสัญญาณในช่วงนั้น ถ้าไม่มีสัญญาณกำลังของสัญญาณจะมีค่าน้อย (3 dB ในรูป 3.22) หรือถ้ามีสัญญาณ กำลังของสัญญาณจะมีค่ามาก (16 dB ในรูป 3.22) โดยโปรแกรมมีค่าอ้างอิง (Threshold) สำหรับระบุว่าเป็นสัญญาณหรือไม่



### 3.23 การอ้างอิงการพบสัญญาณของโปรแกรม

จากรูปที่ 3.23 โปรแกรมเพื่อทำการวัดกำลังของสัญญาณ โดยถ้าสัญญาณมีค่ามากกว่าค่าอ้างอิง แสดงว่าช่วงนั้นมีสัญญาณ แต่ถ้าต่ำกว่าแสดงว่าช่วงนั้นไม่เป็นสัญญาณ



รูปที่ 3.24 ผังงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.24 โปรแกรมเมื่อได้รับข้อมูลที่ป้อนค่าพารามิเตอร์ (Parameter) แล้ว โปรแกรมจะรับสัญญาณจาก USRP และประมวลผลสัญญาณ โดยแสดงเวลา ณ ปัจจุบันขณะที่ สแกน จากนั้นทำการเริ่มสแกน โดยหาค่าลึงของสัญญาณรบกวนพื้นฐาน (Noise\_floor) จากนั้นหา ค่าลึงของสัญญาณ (Power\_dB) โดยการนำสัญญาณที่ได้รับลบค่าลึงของสัญญาณรบกวนพื้นฐาน และแสดงค่าต่าง ๆ ออกมาเป็นช่วงความถี่ของสัญญาณ และความแรงของสัญญาณ

### 3.2.3 การทดลองค้นหาสัญญาณโดยใช้โปรแกรม

หลังจากสร้างโปรแกรมค้นหาสัญญาณแล้ว ทำการทดลองรับสัญญาณในย่านความถี่ ต่าง ๆ ความถี่วิทยุ ความถี่อุปกรณ์สื่อสาร และความถี่สัญญาณโทรศัพท์มือถือ โดยให้แสดงผลเป็น ช่วงความถี่ของสัญญาณ และความแรงของสัญญาณ

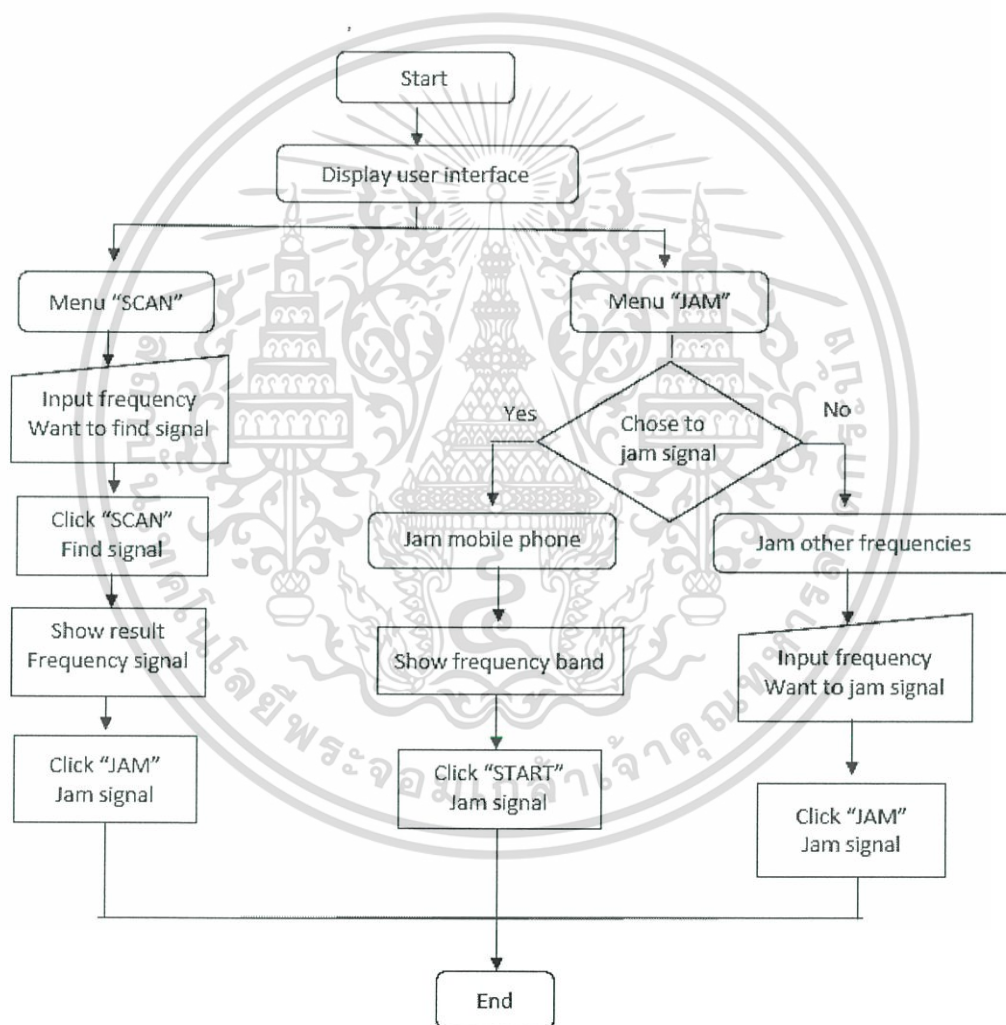


รูปที่ 3.25 การใช้งานโปรแกรมผ่าน USRP

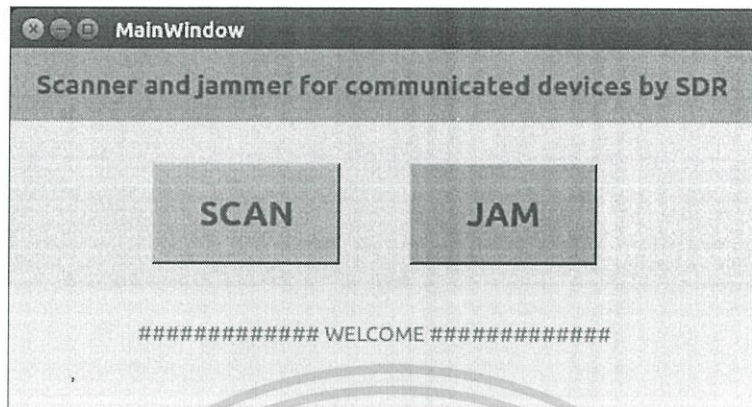
จากรูปที่ 3.25 ผู้จัดทำได้ใช้คอมพิวเตอร์ผ่าน USRP โดยใช้ช่องสายอากาศ Rx (ส่วนที่ ปรากฏไฟสีเขียว) ทำการค้นหาสัญญาณในช่วงความถี่วิทยุ ความถี่อุปกรณ์สื่อสารและความถี่มือถือ แสดงผลการทดลองผ่านคอมมานด์ไลน์ (Command Line) ของคอมพิวเตอร์

### 3.3 การออกแบบ User Interface

การออกแบบการแสดงผลหน้าจอ (User Interface) การทำงานของโปรแกรมนั้น ผู้จัดทำได้แบ่งส่วนการทำงานของอุปกรณ์ออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรก “SCAN” ค้นหาสัญญาณ และส่วนที่สอง “JAM” ทำการตัดสัญญาณ หรือเลือกย่านความถี่โทรศัพท์มือถือ มีหลักการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 3.26 และออกแบบการแสดงผลหน้าจอหน้าหลัก ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.26 หลักการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 3.27 การแสดงผลหน้าจอหลัก

ส่วนแรก “SCAN” ค้นหาสัญญาณ โดยให้ป้อนค่าช่วงความถี่เริ่มต้น และช่วงความถี่สิ้นสุด และกดปุ่ม SCAN เพื่อทำการค้นหาสัญญาณที่มีการใช้งานอยู่ในบริเวณโดยรอบตัวอุปกรณ์ ออกแบบการแสดงผลหน้าจอส่วน Scan ดังรูปที่ 3.28 และจะทำการแสดงผลความถี่ที่มีการใช้งานออกมาดังรูปที่ 3.27 และเลือกกดปุ่ม “JAM” เพื่อทำการตัดสัญญาณความถี่ที่ต้องการได้



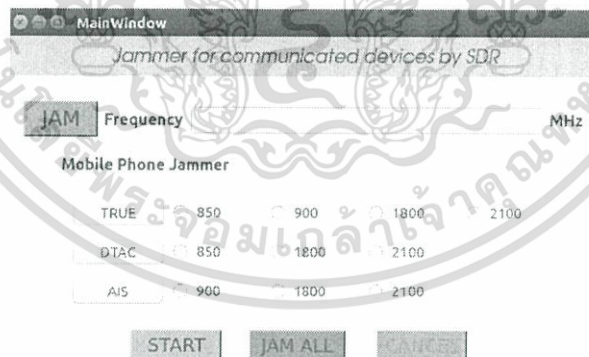
รูปที่ 3.28 การแสดงผลหน้าจอส่วน Scan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 ส่วนแสดงผลความถี่ที่มีการใช้

ส่วนที่สอง “JAM” ทำการตัดสัญญาณ โดยสามารถกรอกช่วงสัญญาณที่ต้องการตัด หรือเลือกย่านความถี่โทรศัพท์มือถือ จะแสดง 3 เครือข่ายการใช้งานคือ TRUE, DTAC, AIS โดยแต่ละเครือข่ายจะมีการใช้งานในย่านความถี่ต่าง ๆ ผู้ใช้งานสามารถเลือกย่านความถี่ที่ต้องการตัดสัญญาณได้ ออกแบบการแสดงผลส่วน JAM ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 การแสดงผลหน้าจอส่วน JAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.4.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ SONY VAIO E-Series (intel Core i7)



รูปที่ 3.31 SONY VAIO E-Series ( Intel Core i7 ) [12]

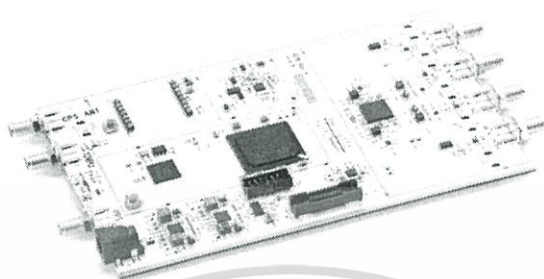
จากรูปที่ 3.31 แสดงรายละเอียดได้ดัง ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของ Notebook

Specification	
Intel Core i7-3632QM Quad-Core	70 MHz - 6 GHz
RAM	8 GB of 1600 MHz DDR3
Hard Drive	1 TB 5400 rpm
AMD Radeon HD	7650 M Graphics (2GB)
Full HD LED-Backlit Display	17.3"
Native Resolution	1920 x 1080
Wi-Fi, Bluetooth	802.11b/g/n , 4.0+HS
Windows 8	(64 bit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 เครื่อง USRP-B210



รูปที่ 3.32 USRP B210 [13]

จากรูปที่ 3.32 แสดงรายละเอียดได้ดัง ตารางที่ 3.3  
ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของ USRP B210

Specification	
Frequency	70 MHz - 6 GHz
Item name	Universal Software Radio Peripheral (USRP)
ADC/DAC	12 bit
Bandwidth	56 MHz
Receiver and Transmitter	Yes
Interface	Standard-B USB 3.0 connector
FPGA	Xilinx Spartan 6 XC6SLX150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3 สายอากาศVERT2450



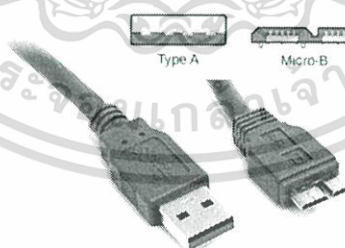
รูปที่ 3.33 VERT2450 Antenna [13]

จากรูปที่ 3.33 แสดงรายละเอียดได้ดัง ตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดของ VERT2450

Specification	
Antenna	Omni-directional, Vertical
Dual Band	2.4 – 2.5 GHz and 4.9 – 5.9 GHz
Gain	3 dBi

### 3.4.4 USB 3.0 Cable



รูปที่ 3.34 USB 3.0 Cable [14]

จากรูปที่ 3.34 ใช้เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับ USRP-B210 แสดงรายละเอียดได้ดัง ตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 รายละเอียดของ USB 3.0 Cable

Specification	
Type	A (Male) to Micro B (Male)
USB (Super Speed Cable)	3.0
Size, Weight	15x21x2 (cm), 0.09 (kg)

3.4.5 ORO072709-PNJ-01, 700 - 2700MHz, 9dBi ,Omni Antenna

รูปที่ 3.35 ORO072709-PNJ-01 [15]

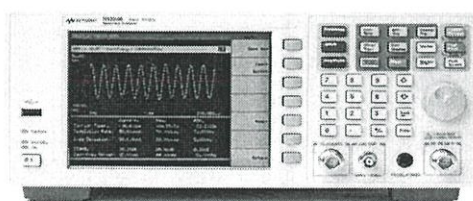
จากรูปที่ 3.35 ทำการเลือกใช้สายอากาศในการส่งสัญญาณรบกวน เป็นสายอากาศแบบรอบตัวหรือรอบทิศทาง (Omnidirectional Antenna) สายอากาศประเภทนี้มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง 360 องศา ซึ่งสายอากาศชนิดนี้เหมาะสำหรับเพิ่มความแรงสัญญาณเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ, กระจายสัญญาณ และยังสามารถรองรับทุกความถี่และผู้ให้บริการในปัจจุบันและอนาคต TRUE, DTAC และ AIS และยังสามารถใช้งานร่วมกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายโดยสายอากาศรุ่นนี้เหนือกว่าสายอากาศทิศทางทั่วไป ตรงที่ช่วงความถี่กว้าง อัตราขยายสูง ขนาดกะทัดรัด และแข็งแรงทนทานแสดงรายละเอียดได้ดัง ตารางที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 รายละเอียดของสายอากาศ

Specification	
Frequency range	700-960 / 1700-2700 MHz.
Gain	700-960 5 dBi. / 1700-2700 9 dBi.
Impedance	50 OHM
VSWR	< 2.0 (Typical max 1.8:1)
Horizontal Beam Width (degree)	360°
Vertical Beam Width (degree)	60°
FPGA	Xilinx Spartan 6 XC6SLX150
Maximum Power	100 watts
Connector	45 centimeters RG-58 N-Type jack
Wind Velocity	120 km/hr
Dimension (mm.)	L200 x W74 x H74 mm
Weight	470 g

### 3.4.6 Spectrum Analyzer รุ่น N9320B



รูปที่ 3.36 เครื่องวัดสเปกตรัมรุ่น N9320B [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.36 แสดงรายละเอียดของเครื่องวัดสเปกตรัมตั้ง ตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 รายละเอียดของเครื่องวัดสเปกตรัม

Specification	
Frequency	9 kHz to 7 GHz
Maximum Analysis Bandwidth	1 MHz
Phase Noise	1 GHz (10 kHz offset) -90 dBc/Hz
Standard Attenuator Range	50 dB
Standard Attenuator Step	1 dB
Vertical Beam Width(degree)	60°

#### 3.4.7 Coaxial Cable SMA-Type N Connector

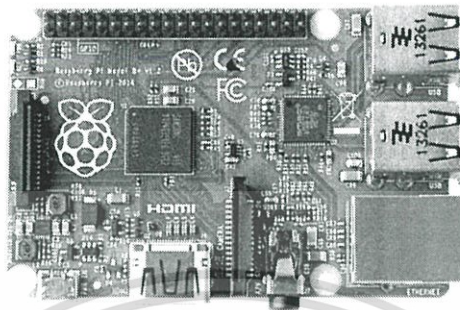


รูปที่ 3.37 Coaxial Cable SMA-Type N [17]

จากรูปที่ 3.37 แสดง Coaxial Cable SMA-Type N ในภาคส่งใช้เชื่อมต่อระหว่างสายอากาศ ORO072709-PNJ-01 กับ USRP-B210 ส่วนในภาครับใช้เชื่อมต่อระหว่างเครื่อง เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมกับ VERT2450

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.8 Raspberry Pi Model B+



รูปที่ 3.38 ลักษณะของอุปกรณ์ Raspberry Pi Model B+ [18]

จากรูปที่ 3.38 ลักษณะของอุปกรณ์ Raspberry Pi คือบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถเชื่อมต่อกับจอมอนิเตอร์ คีย์บอร์ด และเมาส์ได้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ การเขียนโปรแกรม หรือเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะขนาดเล็ก ไม่ว่าจะเป็นการทำงานเล่นอินเทอร์เน็ต ส่งอีเมล หรือเล่นเกมส์ อีกทั้งยังสามารถเล่นไฟล์วิดีโอความละเอียดสูง (High-Definition) ได้อีกด้วย

บอร์ด Raspberry Pi รองรับระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Operating System) ได้หลายระบบ เช่น Raspbian (Debian) Pidora (Fedora) และ Arch Linux เป็นต้น โดยติดตั้งบน SD Card บอร์ด Raspberry Pi ถูกออกแบบมาให้มี CPU, GPU และ RAM อยู่ภายในชิปเดียวกัน มีจุดเชื่อมต่อ GPIO ให้ผู้ใช้สามารถนำไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ได้อีกด้วยแสดงรายละเอียดของ Raspberry Pi Model B+ ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 รายละเอียดของ Raspberry Pi Model B+

Specification	
CPU	Quad - core 1.2 GHz แบบ 64 bit
RAM	1 GB (LPDDR2-900 SDRAM)
Storage	Micro - SD Card
USB	4 Port, Ethernet : 1 Port
Wireless	802.11n / Bluetooth4.0
RCA Jack	HDMI / Composite

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การวัดความถี่ในแต่ละย่านของสัญญาณมือถือ

การทดลองรับสัญญาณความถี่ของโทรศัพท์มือถือด้วยสายอากาศ (Antenna) รุ่น Wilson Model : 204411 และวัดความถี่ในแต่ละย่านของโทรศัพท์มือถือ (Frequency Mobile) โดยใช้เครื่องวัดสเปกตรัม (Spectrum Analyzer) รุ่น N9320B ซึ่งคุณสมบัติของเครื่องวัดสเปกตรัม และสายอากาศ แสดงดังตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของเครื่องวัดสเปกตรัม และสายอากาศ

อุปกรณ์	ระยะความถี่
Spectrum Analyzer N9320B	9 kHz - 3 GHz
Antenna Wilson Model : 204411	700 MHz - 2700 MHz

จากตารางที่ 4.1 เครื่องวัดสเปกตรัมมีช่วงความถี่ที่ 9 kHz - 3 GHz และสายอากาศ มีช่วงความถี่ที่ 700 MHz - 2700 MHz, Gain เท่ากับ 10.5 dBi จากนั้นทำการทดลองวัดคลื่นสัญญาณโทรศัพท์มือถือ



รูปที่ 4.1 เครื่องวัดสเปกตรัม และสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 นำชุดอุปกรณ์มาเชื่อมต่อ และทดลองวัดคลื่นสัญญาณโทรศัพท์มือถือ  
เครือข่ายต่าง ๆ แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4.2

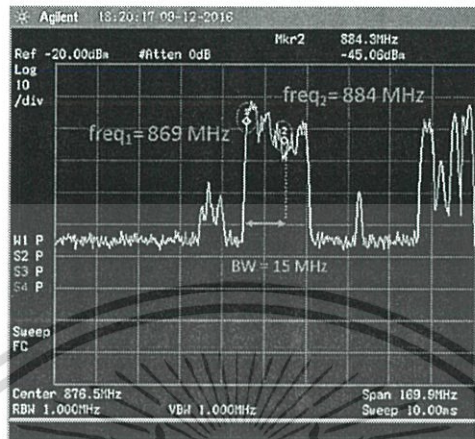
ตารางที่ 4.2 ย่านความถี่ของโทรศัพท์มือถือเครือข่ายต่าง ๆ

Mobile Network	Band(MHz)
TRUE	850
	900
	1800
	2100
AIS	900
	1800
	2100
DTAC	1800
	2100

จากตารางที่ 4.2 ทำการทดลองวัดสเปกตรัมในแต่ละย่านความถี่โทรศัพท์มือถือ  
ได้ผลการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

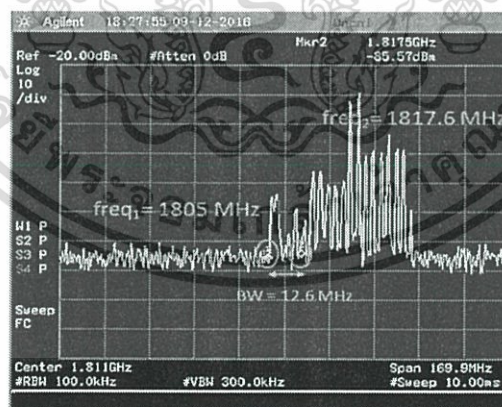
#### 4.1.1 เครือข่าย TRUE ความถี่ 850 MHz



รูปที่ 4.2 สเปกตรัมย่านความถี่ 850 MHz (TRUE)

จากรูปที่ 4.2 ผลการทดลองวัดสเปกตรัมย่านความถี่ 850 MHz (TRUE) มีช่วงความถี่ที่ 869 MHz - 884 MHz ที่ความถี่กลาง (Center Frequency) 876.5 MHz มีแบนด์วิดท์ 15 MHz โดยสเปกตรัมมีลักษณะสัญญาณเต็มช่องสัญญาณ (Full band)

#### 4.1.2 เครือข่าย TRUE ความถี่ 1800 MHz



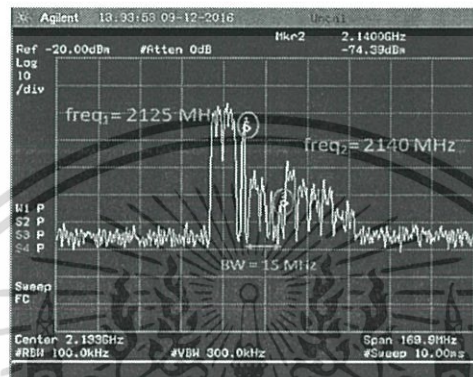
รูปที่ 4.3 สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (TRUE)

จากรูปที่ 4.3 ผลการทดลองวัดสเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (TRUE) มีช่วงความถี่ที่ 1805 MHz - 1817.6 MHz ที่ความถี่กลาง 1.811 GHz มีแบนด์วิดท์ 12.6 MHz ลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสเปกตรัมมีลักษณะคล้ายสัญญาณคอมพ์ (Comb signal) เป็นลักษณะคล้ายสัญญาณพัลส์ (Pulse) ต่อกัน

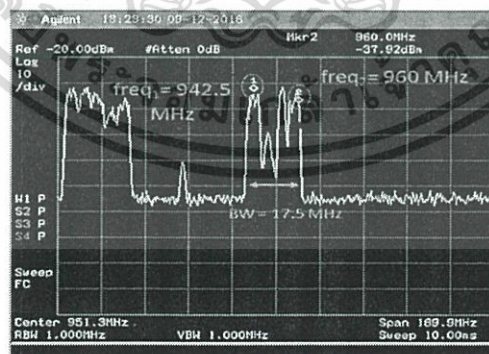
#### 4.1.3 เครื่องข่าย TRUE ความถี่ 2100 MHz



รูปที่ 4.4 สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (TRUE)

จากรูปที่ 4.4 ผลการทดลองวัดสเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (TRUE) มีช่วงความถี่ที่ 2125 MHz - 2140 MHz ที่ความถี่กลาง 2.133 GHz มีแบนด์วิธ 15 MHz โดยสเปกตรัมมีลักษณะเป็นสัญญาณคอมพ์

#### 4.1.4 เครื่องข่าย AIS ความถี่ 900 MHz

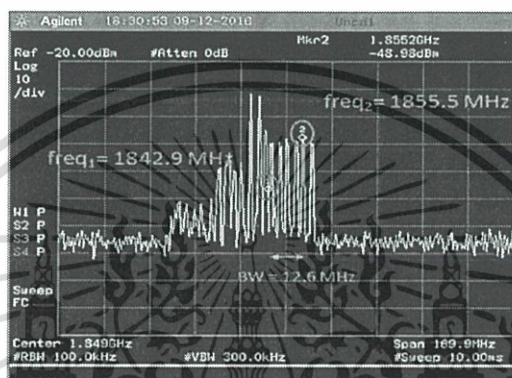


รูปที่ 4.5 สเปกตรัมย่านความถี่ 900 MHz (AIS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 ผลการทดลองวัดสเปกตรัมย่านความถี่ 900 MHz (AIS) มีช่วงความถี่ที่ 942.5 MHz - 960 MHz ที่ความถี่กลาง 951.3MHz มีแบนด์วิดท์ 17.5 MHz สเปกตรัมมีลักษณะสัญญาณเต็มช่องสัญญาณ

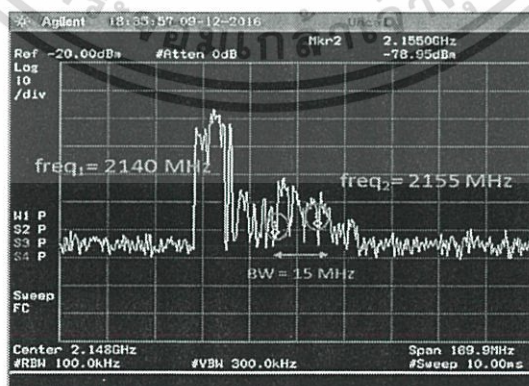
#### 4.1.5 เครื่องข่าย AIS ความถี่ 1800 MHz



รูปที่ 4.6 สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (AIS)

จากรูปที่ 4.6 ผลการทดลองวัดสเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (AIS) มีช่วงความถี่ที่ 1842.9 MHz - 1855.5 MHz ที่ความถี่กลาง 1.849 GHz มีแบนด์วิดท์ 12.6 MHz สเปกตรัมมีลักษณะคล้ายสัญญาณคอมพิวเตอร์

#### 4.1.6 เครื่องข่าย AIS ความถี่ 2100 MHz

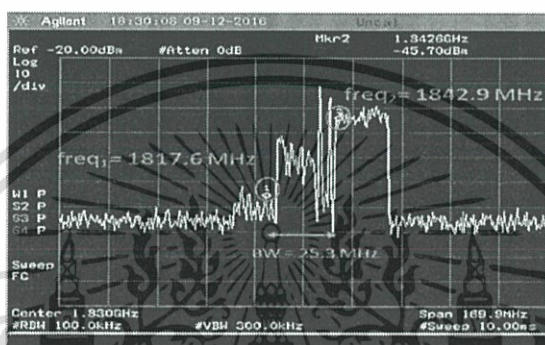


รูปที่ 4.7 สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (AIS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 ผลการทดลองวัดสเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (AIS) มีช่วงความถี่ที่ 2140 MHz - 2155 MHz ที่ความถี่กลาง 2.148 GHz มีแบนด์วิดท์ 15 MHz สเปกตรัมมีลักษณะคล้ายสัญญาณคอมพิวเตอร์

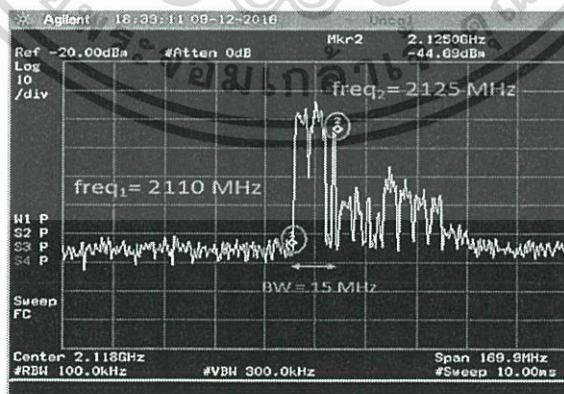
#### 4.1.7 เครื่องช่วย DTAC ความถี่ 1800 MHz



รูปที่ 4.8 สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (DTAC)

จากรูปที่ 4.8 ผลการทดลองวัดสเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (DTAC) มีช่วงความถี่ที่ 1817.6 MHz - 1842.9 MHz ที่ความถี่กลาง 1.830 GHz มีแบนด์วิดท์ 25.3 MHz สเปกตรัมมีลักษณะสัญญาณเต็มช่องสัญญาณ

#### 4.1.8 เครื่องช่วย DTAC ความถี่ 2100 MHz



รูปที่ 4.9 สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (DTAC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

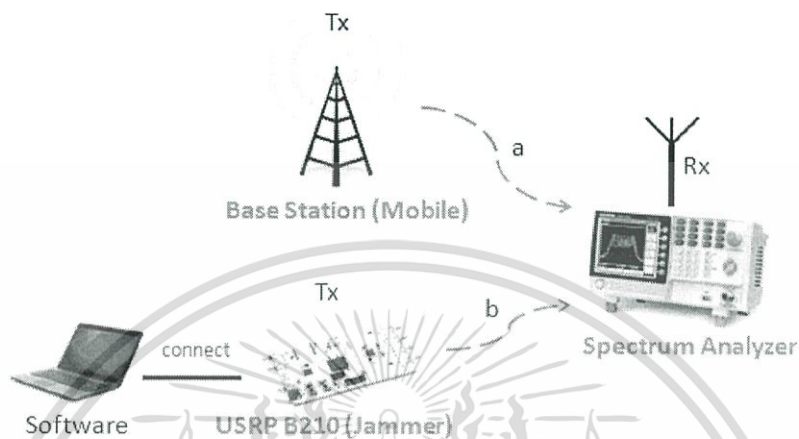
จากรูปที่ 4.9 ผลการทดลองวัดสเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (DTAC) มีช่วงความถี่ที่ 2110 MHz - 2125 MHz ที่ความถี่กลาง 2.118 GHz มีแบนด์วิดท์ 15 MHz สเปกตรัมมีลักษณะสัญญาณเต็มช่องสัญญาณ

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองวัดสเปกตรัมย่านความถี่โทรศัพท์

Owner	Band(MHz)	Uplink(MHz)	Downlink(MHz)	Center frequency Downlink (MHz)	Bandwidth (MHz)
True (3G)	850	824-839	869-884	876.5	15
Dtac (3G)		839-849	884-894	889	10
Ais (2G,3G)	900	895-905	940-950	945	10
True (4G)		905-915	950-960	955	10
True (2G)	1800	1710-1722.6	1805-1817.6	1811.25	12.6
Dtac (2G)		1722.6-1747.9	1817.6-1842.9	1830.25	25.3
Ais (2G)		1747.9-1760.5	1842.9-1855.5	1849.2	12.6
Dtac (3G)	2100	1920-1935	2110-2125	2117.5	15
True (3G,4G)		1935-1950	2125-2140	2132.5	15
Ais (3G)		1950-1965	2140-2155	2147.5	15

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองวัดในแต่ละย่าน Dtac ย่าน 1800 MHz เท่ากับ 25.3 MHz มีแบนด์วิดท์กว้างที่สุด ดังนั้นเราจึงต้องทำการออกแบบสัญญาณรบกวนให้ครอบคลุมแบนด์วิดท์นี้

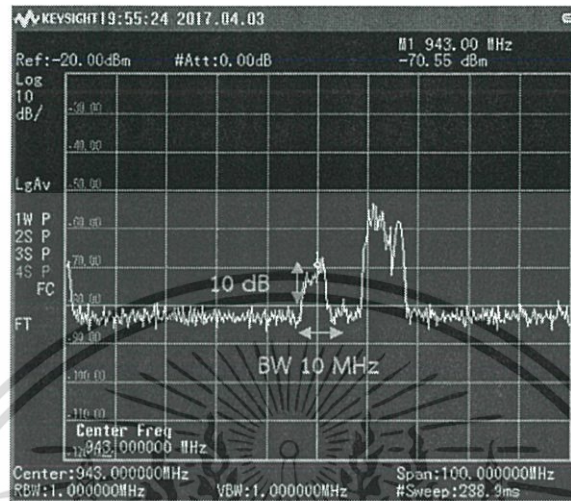
## 4.2 การวัดผลการรบกวนในแต่ละย่านของสัญญาณมือถือภายในอาคาร



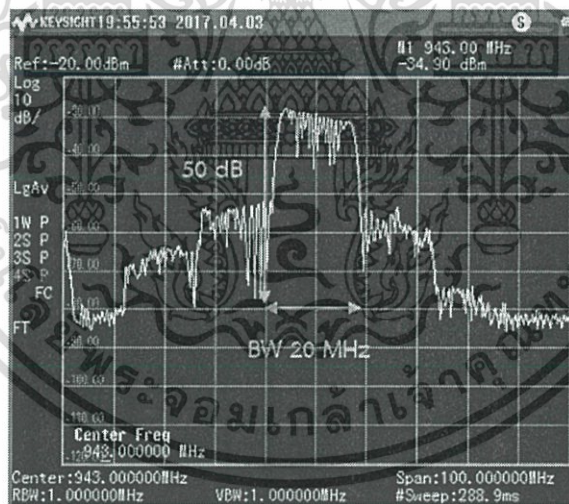
รูปที่ 4.10 การทดลองวัดกำลังของสัญญาณรบกวนเทียบกับสัญญาณมือถือ

จากการออกแบบในบทที่ 3 ทดลองรบกวนสัญญาณมือถือแต่ละย่านโดยใช้ USRP เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้ในการควบคุมซอฟต์แวร์โดยใช้สัญญาณรบกวนฟันเลื่อย (Saw Tooth) มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 20 MHz อัตราซิกค่าตัวอย่าง (Sampling rate) เท่ากับ 15 MHz ระยะทาง 1 เมตร ลดทอนสัญญาณ (Attenuation) เท่ากับ 0 dB ทำการทดลองดังรูปที่ 4.10 โดยทำการรับสัญญาณโทรศัพท์มือถือแต่ละย่าน (a) และรับสัญญาณรบกวน (b) จากนั้นทำการเก็บผลการทดลองได้ผลการทดลองแต่ละย่าน ดังนี้

#### 4.2.1 เครือข่าย AIS ความถี่ย่าน 900 MHz



รูปที่ 4.11 สเปกตรัมย่านความถี่ 900 MHz (AIS) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน

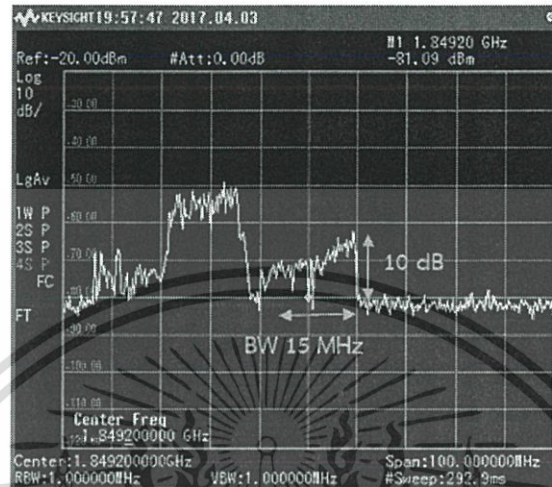


รูปที่ 4.12 สเปกตรัมย่านความถี่ 900 MHz (AIS) หลังส่งสัญญาณรบกวน

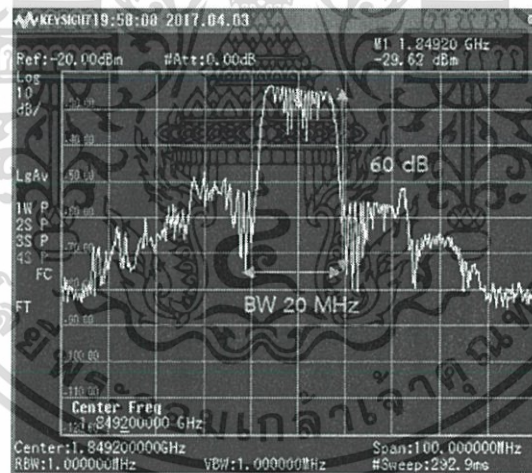
จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณย่านความถี่ 900 MHz (AIS) แบนด์วิดท์เท่ากับ 10 MHz ผลต่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณโทรศัพท์ (SNR) เท่ากับ  $50 - 10 = 40$  dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 เครือข่าย AIS ความถี่ย่าน 1800 MHz



รูปที่ 4.13 สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (AIS) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน

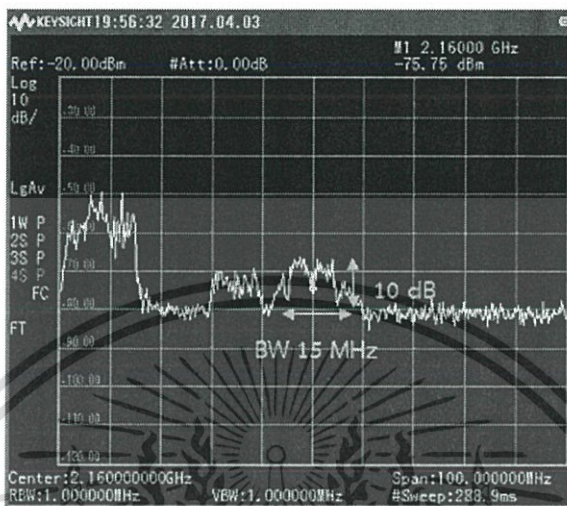


รูปที่ 4.14 สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (AIS) หลังส่งสัญญาณรบกวน

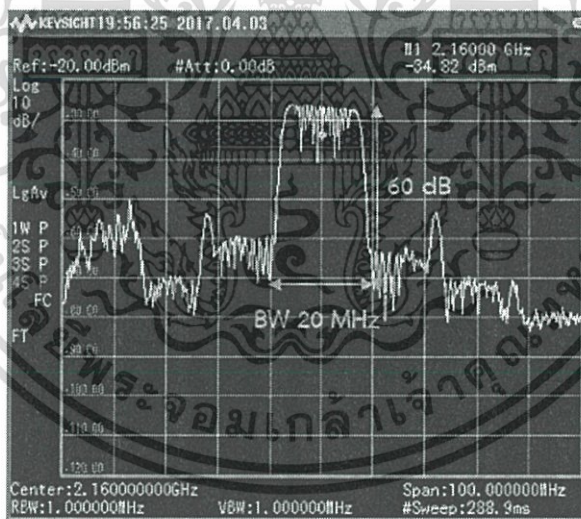
จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณย่านความถี่ 1800 MHz (AIS) แบนด์วิดท์เท่ากับ 15 MHz ผลต่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณโทรศัพท์ (SNR) เท่ากับ  $60 - 10 = 50$  dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.3 เครื่องข่าย AIS ความถี่ย่าน 2100 MHz



รูปที่ 4.15 สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (AIS) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน

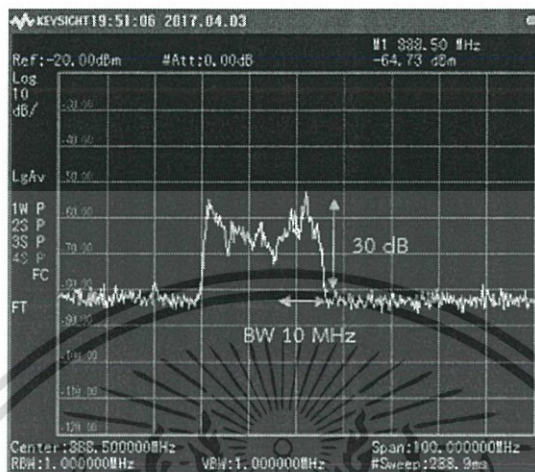


รูปที่ 4.16 สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (AIS) หลังส่งสัญญาณรบกวน

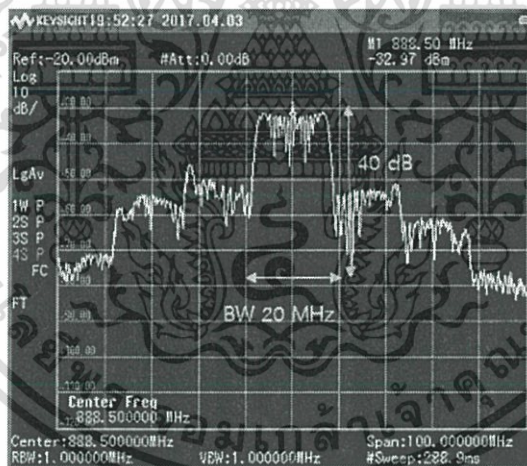
จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณย่านความถี่ 2100 MHz (AIS) แบนด์วิดท์เท่ากับ 15 MHz ผลต่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณโทรศัพท์ (SNR) เท่ากับ  $60 - 10 = 50$  dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.4 เครือข่าย DTAC ความถี่ย่าน 850 MHz



รูปที่ 4.17 สเปกตรัมย่านความถี่ 850 MHz (DTAC) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน

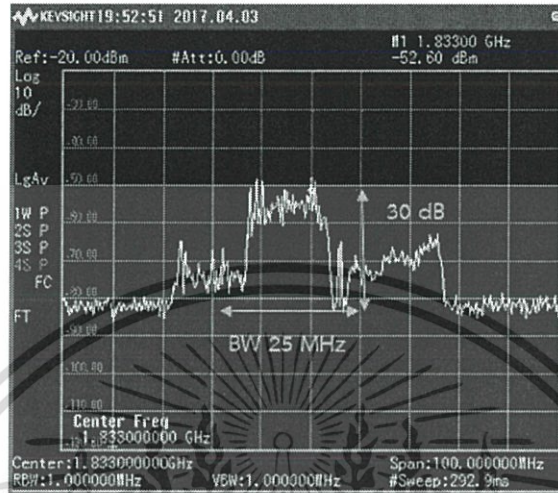


รูปที่ 4.18 สเปกตรัมย่านความถี่ 850 MHz (DTAC) หลังส่งสัญญาณรบกวน

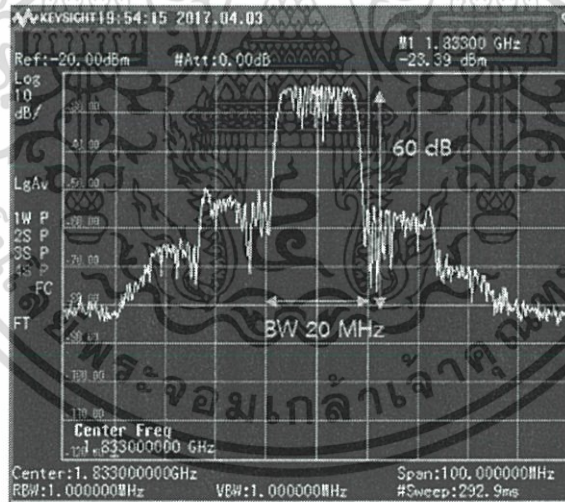
จากรูปที่ 4.17 และ 4.18 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณย่านความถี่ 850 MHz (DTAC) แบนด์วิดท์เท่ากับ 10 MHz ผลต่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณโทรศัพท์ (SNR) เท่ากับ  $40 - 30 = 10$  dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.5 เครือข่าย DTAC ความถี่ย่าน 1800 MHz



รูปที่ 4.19 สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (DTAC) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน

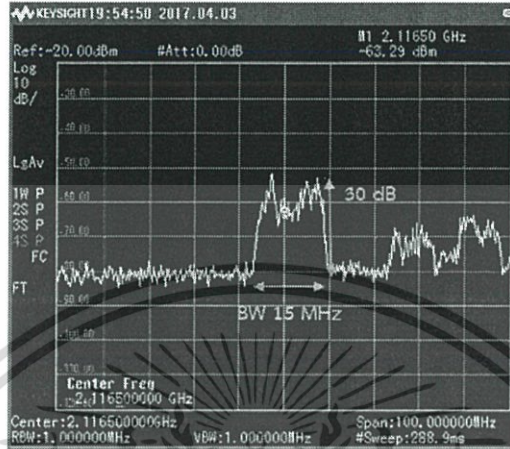


รูปที่ 4.20 สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (DTAC) หลังส่งสัญญาณรบกวน

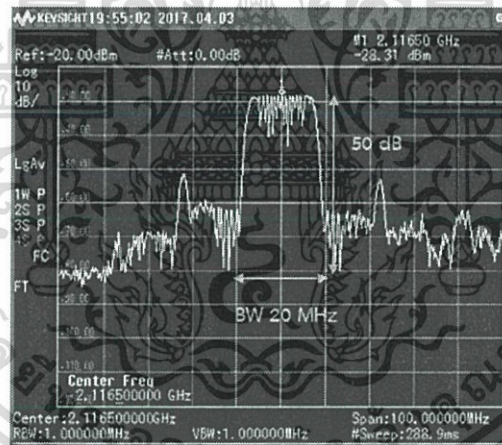
จากรูปที่ 4.19 และ 4.20 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณย่านความถี่ 1800 MHz (DTAC) แบนด์วิดท์เท่ากับ 25 MHz ผลต่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณโทรศัพท์ (SNR) เท่ากับ  $60 - 30 = 30$  dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.6 เครือข่าย DTAC ความถี่ย่าน 2100 MHz



รูปที่ 4.21 สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (DTAC) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน

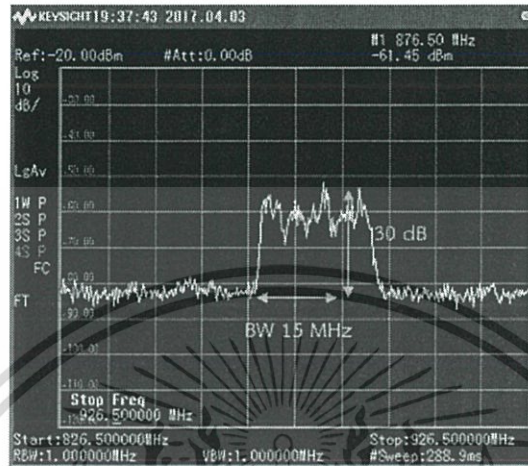


รูปที่ 4.22 สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (DTAC) หลังส่งสัญญาณรบกวน

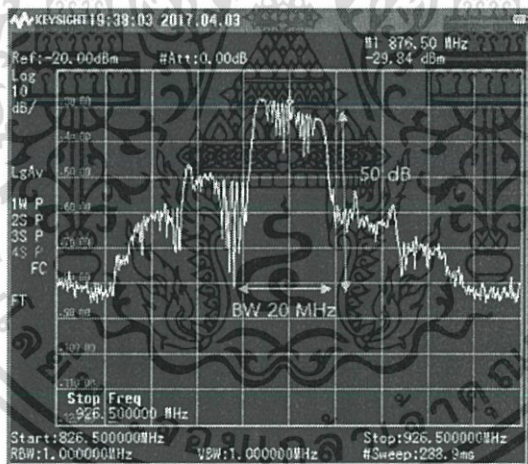
จากรูปที่ 4.21 และ 4.22 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณย่านความถี่ 2100 MHz (DTAC) แบนด์วิดท์เท่ากับ 15 MHz ผลต่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณโทรศัพท์ (SNR) เท่ากับ 50 - 30 = 20 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.7 เครือข่าย TRUE ความถี่ย่าน 850 MHz



รูปที่ 4.23 สเปกตรัมย่านความถี่ 850 MHz (TRUE) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน



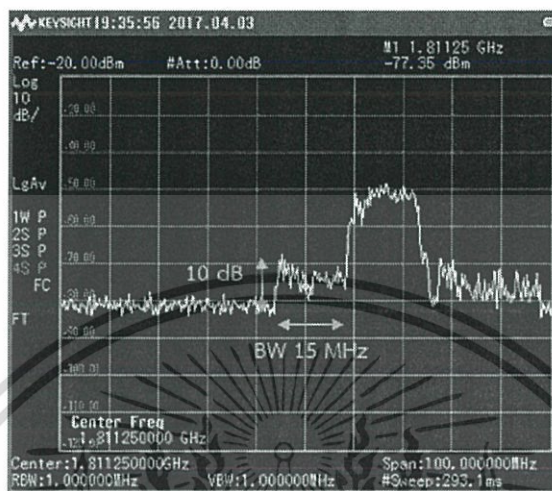
รูปที่ 4.24 สเปกตรัมย่านความถี่ 850 MHz (TRUE) หลังส่งสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 4.23 และ 4.24 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณย่านความถี่ 850 MHz (TRUE) แบนด์วิดท์เท่ากับ 15 MHz ผลต่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณโทรศัพท์ (SNR) เท่ากับ  $50 - 30 = 20$  dB

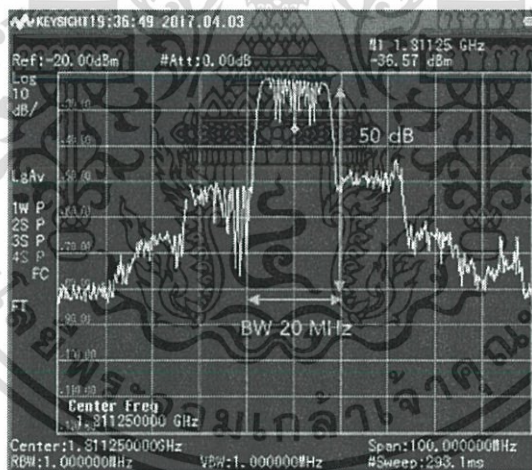
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



#### 4.2.9 เครือข่าย TRUE ความถี่ย่าน 1800 MHz



รูปที่ 4.27 สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (TRUE) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน

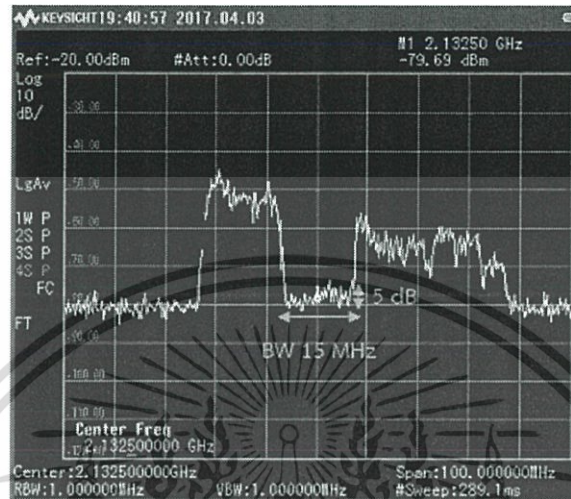


รูปที่ 4.28 สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (TRUE) หลังส่งสัญญาณรบกวน

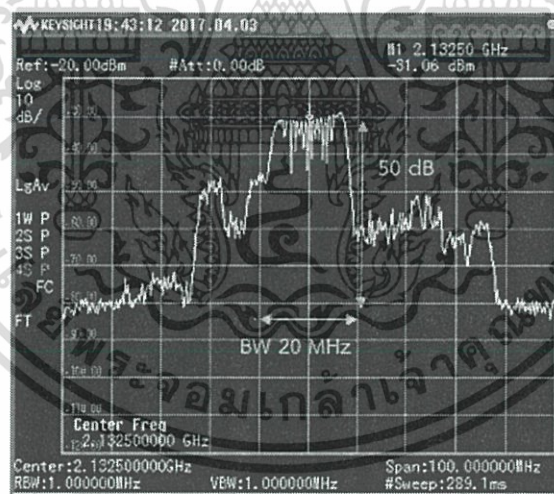
จากรูปที่ 4.27 และ 4.28 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณย่านความถี่ 1800 MHz (TRUE) แบนด์วิธเท่ากับ 15 MHz ผลต่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณโทรศัพท์ (SNR) เท่ากับ  $50 - 10 = 40$  dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.10 เครือข่าย TRUE ความถี่ย่าน 2100 MHz



รูปที่ 4.29 สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (TRUE) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน

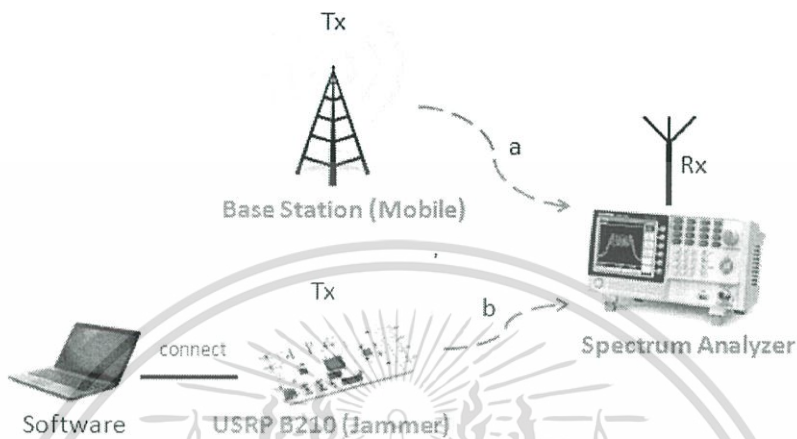


รูปที่ 4.30 สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (TRUE) หลังส่งสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 4.29 และ 4.30 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณย่านคลื่นความถี่ 2100 MHz (TRUE) แบนด์วิดท์เท่ากับ 15 MHz ผลต่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณโทรศัพท์ (SNR) เท่ากับ  $50 - 30 = 20$  dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

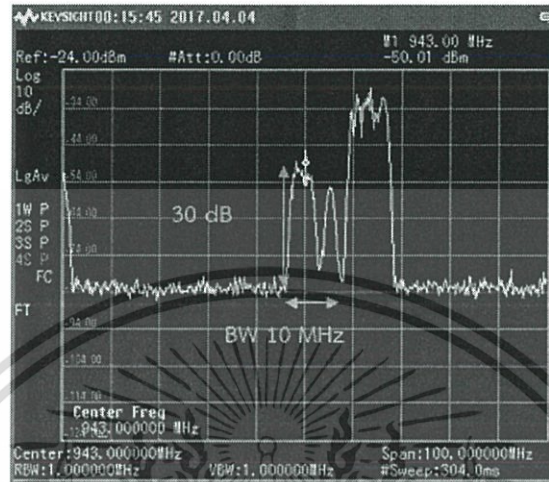
### 4.3 การวัดผลการรบกวนในแต่ละย่านของสัญญาณมือถือภายนอกอาคาร



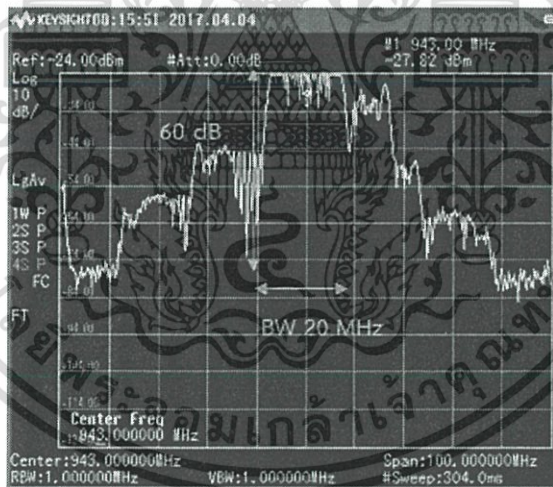
รูปที่ 4.31 การทดลองวัดกำลังของสัญญาณรบกวน เทียบกับสัญญาณมือถือ

จากการออกแบบในบทที่ 3 ทดลองรบกวนสัญญาณมือถือแต่ละย่านโดยใช้ USRP เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้ในการควบคุมซอฟต์แวร์โดยใช้สัญญาณรบกวนฟันเลื่อย (Saw Tooth) มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 20 MHz อัตราซิกค่าตัวอย่าง (Sampling rate) เท่ากับ 15 MHz ระยะทาง 1 เมตร ลดทอนสัญญาณ (Attenuation) เท่ากับ 0 dB ทำการทดลองดังรูปที่ 4.31 โดยทำการรับสัญญาณโทรศัพท์มือถือแต่ละย่าน (a) และรับสัญญาณรบกวน (b) จากนั้นทำการเก็บผลการทดลองได้ผลการทดลองแต่ละย่าน ดังนี้

### 4.3.1 เครือข่าย AIS ความถี่ย่าน 900 MHz



รูปที่ 4.32 สเปกตรัมย่านความถี่ 900 MHz (AIS) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน

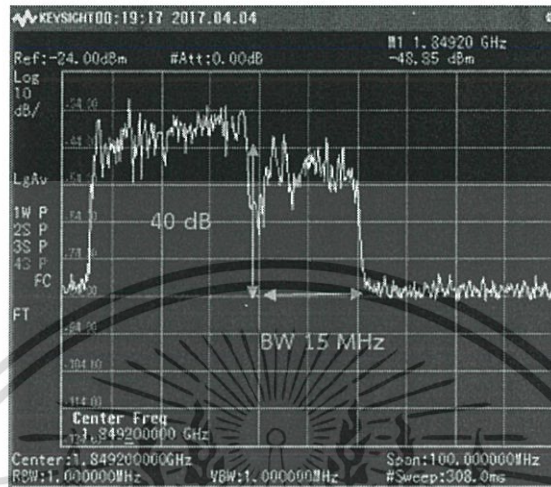


รูปที่ 4.33 สเปกตรัมย่านความถี่ 900 MHz (AIS) หลังส่งสัญญาณรบกวน

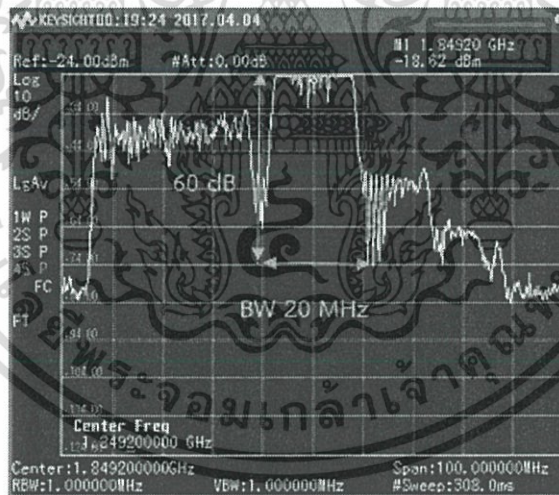
จากรูปที่ 4.32 และ 4.33 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณย่านความถี่ 900 MHz (AIS) แบนด์วิดท์เท่ากับ 10 MHz ผลต่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณโทรศัพท์ (SNR) เท่ากับ  $60 - 30 = 30$  dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.2 เครือข่าย AIS ความถี่ย่าน 1800 MHz



รูปที่ 4.34 สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (AIS) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน

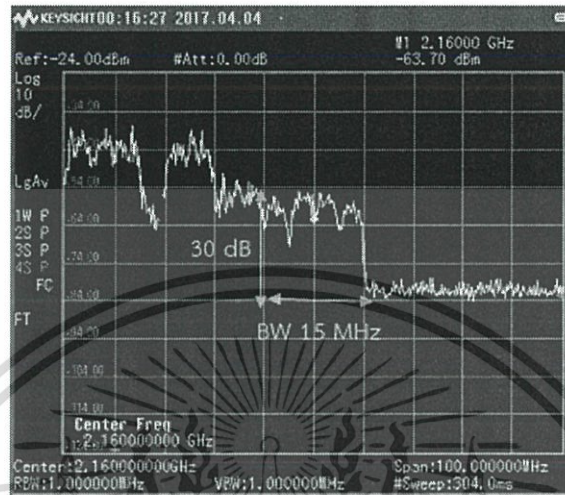


รูปที่ 4.35 สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (AIS) หลังส่งสัญญาณรบกวน

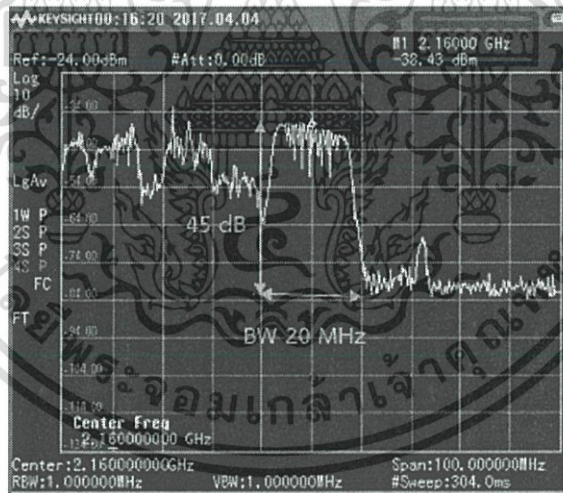
จากรูปที่ 4.34 และ 4.35 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณย่านความถี่ 1800 MHz (AIS) แบนด์วิธเท่ากับ 15 MHz ผลต่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณโทรศัพท์ (SNR) เท่ากับ  $60 - 40 = 20$  dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.3 เครือข่าย AIS ความถี่ย่าน 2100 MHz



รูปที่ 4.36 สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (AIS) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน

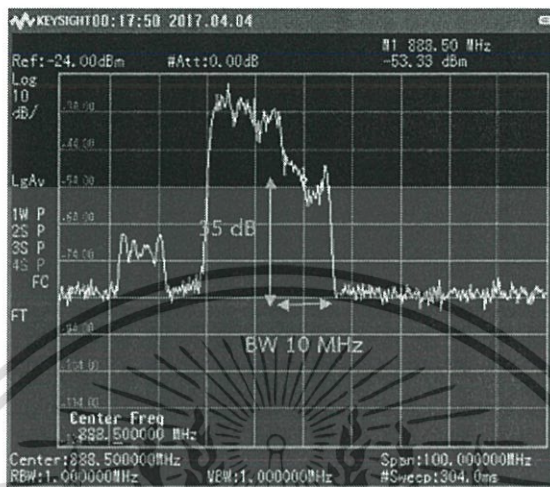


รูปที่ 4.37 สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (AIS) หลังส่งสัญญาณรบกวน

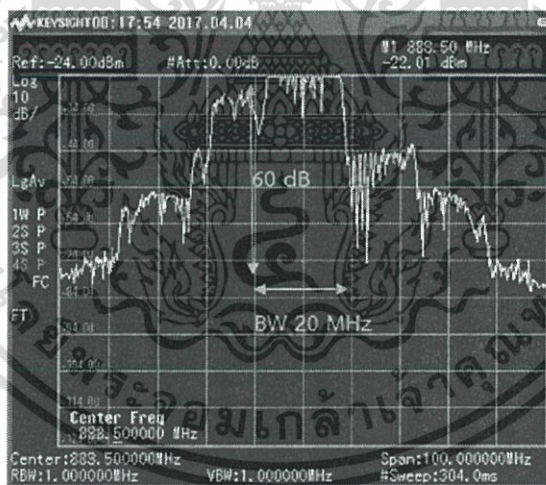
จากรูปที่ 4.36 และ 4.37 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณย่านความถี่ 2100 MHz (AIS) แบบดีวิตท์เท่ากับ 15 MHz ผลต่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณโทรศัพท์ (SNR) เท่ากับ  $45 - 30 = 15$  dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.4 เครือข่าย DTAC ความถี่ย่าน 850 MHz



รูปที่ 4.38 สเปกตรัมย่านความถี่ 850 MHz (DTAC) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน

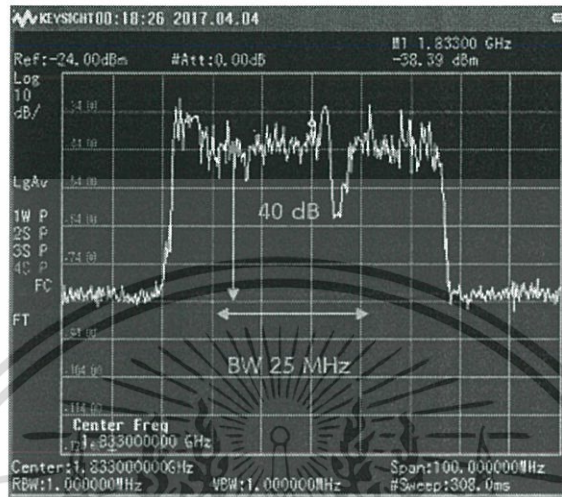


รูปที่ 4.39 สเปกตรัมย่านความถี่ 850 MHz (DTAC) หลังส่งสัญญาณรบกวน

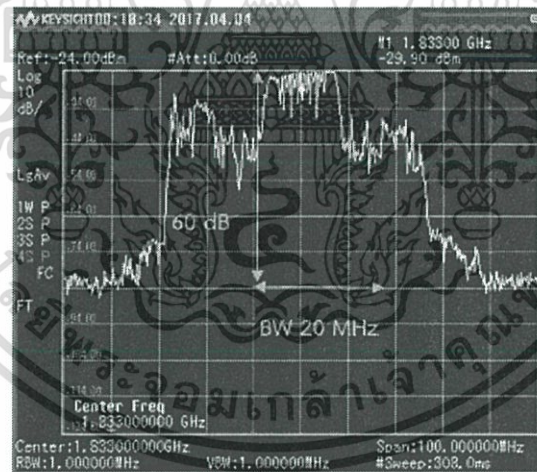
จากรูปที่ 4.38 และ 4.39 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณย่านความถี่ 850 MHz (DTAC) แบนด์วิดท์เท่ากับ 10 MHz ผลต่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณโทรศัพท์ (SNR) เท่ากับ  $60 - 35 = 25$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.5 เครือข่าย DTAC ความถี่ย่าน 1800 MHz



รูปที่ 4.40 สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (DTAC) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน

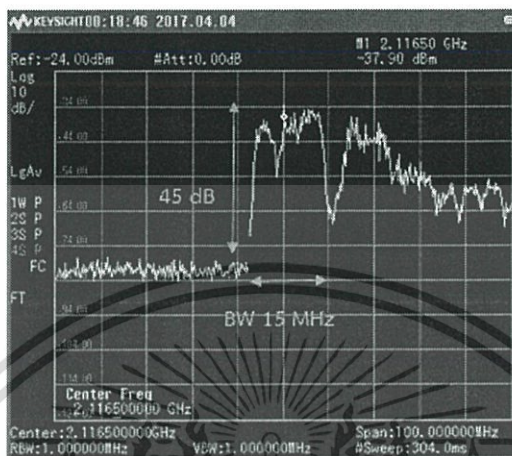


รูปที่ 4.41 สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (DTAC) หลังส่งสัญญาณรบกวน

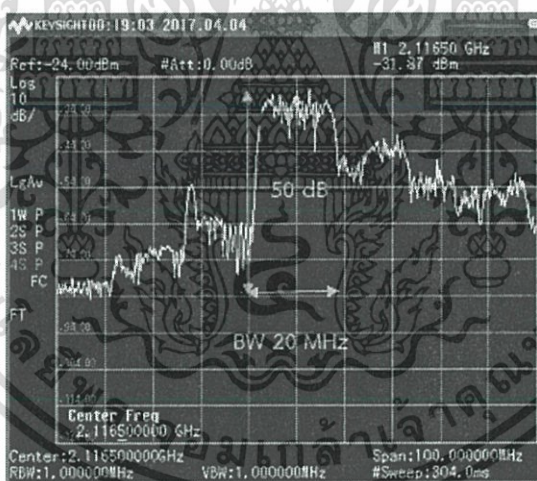
จากรูปที่ 4.40 และ 4.41 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณย่านความถี่ 1800 MHz (DTAC) แบนด์วิดท์เท่ากับ 25 MHz ผลต่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณโทรศัพท์ (SNR) เท่ากับ  $60 - 40 = 20$  dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.6 เครือข่าย DTAC ความถี่ย่าน 2100 MHz



รูปที่ 4.42 สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (DTAC) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน

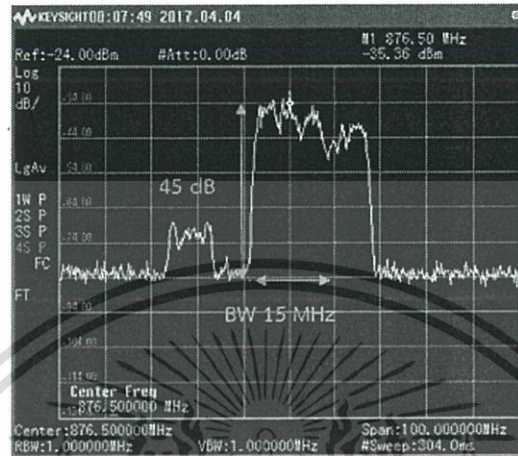


รูปที่ 4.43 สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (DTAC) หลังส่งสัญญาณรบกวน

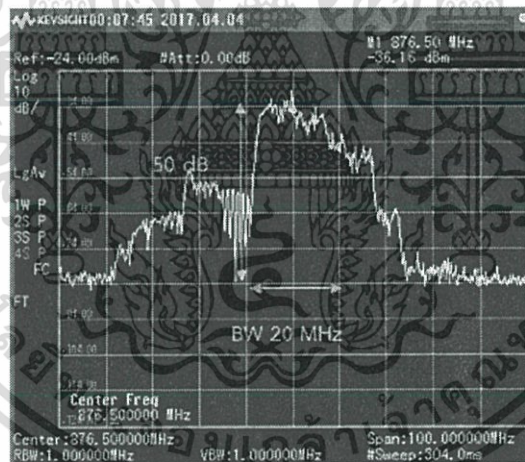
จากรูปที่ 4.42 และ 4.43 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณย่านความถี่ 2100 MHz (DTAC) แบนด์วิดท์เท่ากับ 15 MHz ผลต่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณโทรศัพท์ (SNR) เท่ากับ  $50 - 45 = 5$  dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.7 เครือข่าย TRUE ความถี่ย่าน 850 MHz



รูปที่ 4.44 สเปกตรัมย่านความถี่ 850 MHz (TRUE) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน

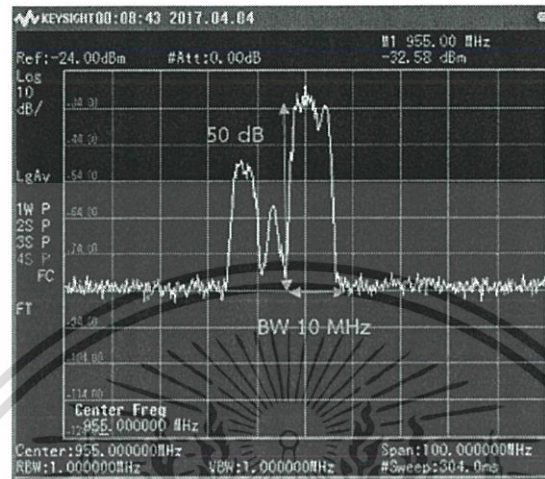


รูปที่ 4.45 สเปกตรัมย่านความถี่ 850 MHz (TRUE) หลังส่งสัญญาณรบกวน

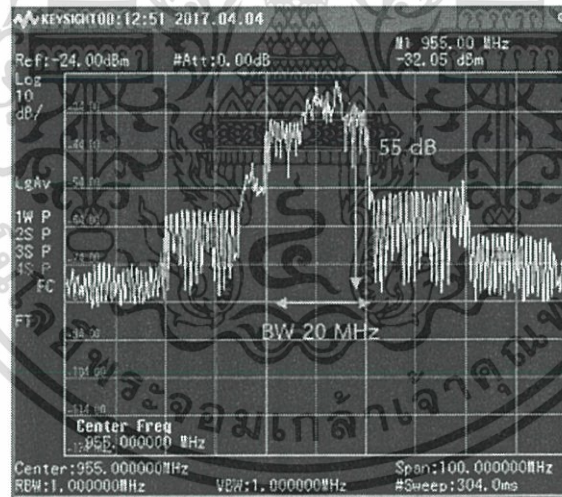
จากรูปที่ 4.44 และ 4.45 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณย่านความถี่ 850 MHz (TRUE) แบนด์วิดท์เท่ากับ 15 MHz ผลต่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณโทรศัพท์ (SNR) เท่ากับ  $50 - 45 = 5$  dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.8 เครือข่าย TRUE ความถี่ย่าน 900 MHz



รูปที่ 4.46 สเปกตรัมย่านความถี่ 900 MHz (TRUE) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน

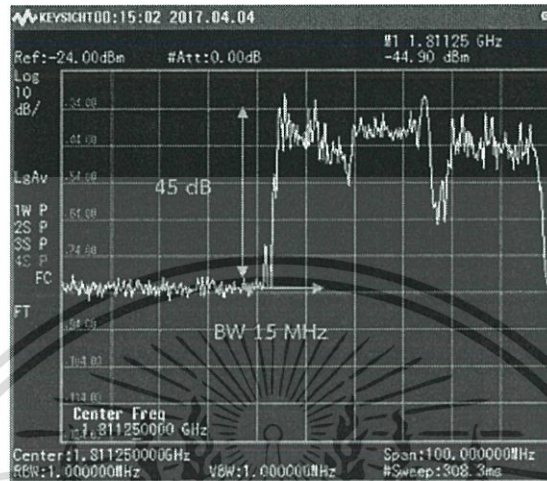


รูปที่ 4.47 สเปกตรัมย่านความถี่ 900 MHz (TRUE) หลังส่งสัญญาณรบกวน

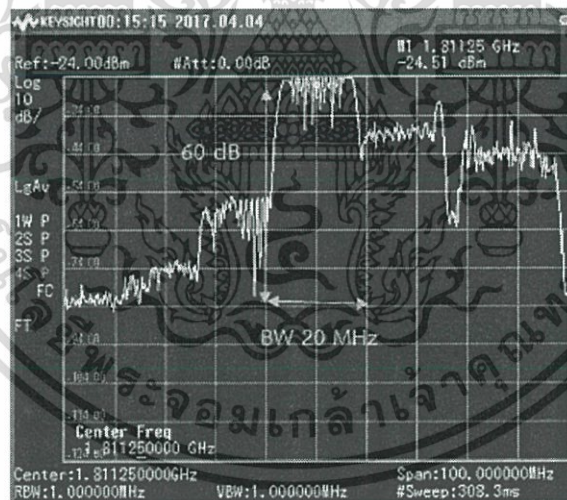
จากรูปที่ 4.46 และ 4.47 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณย่านคลื่นความถี่ 900 MHz (TRUE) แบนด์วิดท์เท่ากับ 10 MHz ผลต่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณโทรศัพท์ (SNR) เท่ากับ  $55 - 50 = 5$  dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.9 เครือข่าย TRUE ความถี่ย่าน 1800 MHz



รูปที่ 4.48 สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (TRUE) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน

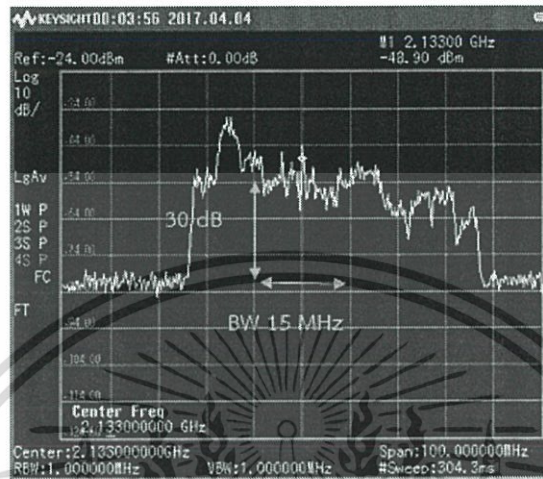


รูปที่ 4.49 สเปกตรัมย่านความถี่ 1800 MHz (TRUE) หลังส่งสัญญาณรบกวน

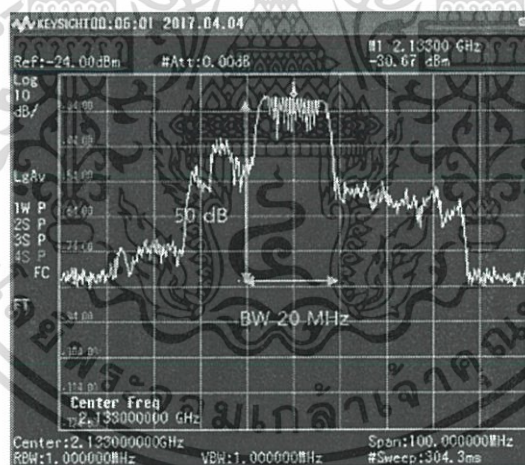
จากรูปที่ 4.48 และ 4.49 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณย่านความถี่ 1800 MHz (TRUE) แบนด์วิดท์เท่ากับ 15 MHz ผลต่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณโทรศัพท์ (SNR) เท่ากับ  $60 - 45 = 15$  dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.10 เครื่องข่าย TRUE ความถี่ย่าน 2100 MHz



รูปที่ 4.50 สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (TRUE) ก่อนส่งสัญญาณรบกวน



รูปที่ 4.51 สเปกตรัมย่านความถี่ 2100 MHz (TRUE) หลังส่งสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 4.50 และ 4.51 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณย่านความถี่ 1800 MHz (TRUE) แบนด์วิดท์เท่ากับ 15 MHz ผลต่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณโทรศัพท์ (SNR) เท่ากับ  $50 - 30 = 20$  dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ผลการทดลองรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

จากผลการทดลองที่ 4.2 และ 4.3 นำข้อมูลที่ได้รับมาออกแบบการทดลองรบกวนสัญญาณอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ โดยกำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุมดังนี้

ตัวแปรต้น

- ระยะห่างระหว่างเครื่องรบกวนกับโทรศัพท์ หรือเครื่องวัดสเปกตรัม (Spectrum Analyzer)

ตัวแปรตาม

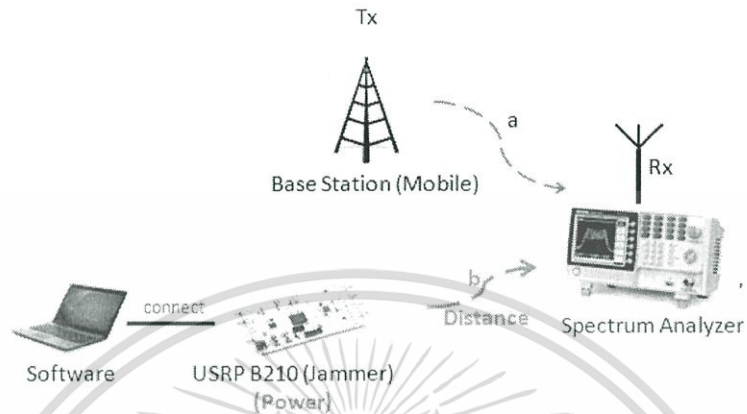
- กำลังของสัญญาณรบกวนเทียบกับสัญญาณมือถือ
- เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนย่านความถี่

ตัวแปรควบคุม

- โทรศัพท์มือถือที่ใช้ทดลอง
- เครื่องข่ายโทรศัพท์มือถือ
- คอมพิวเตอร์ สายอากาศ และ USRP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.1 กำลังสัญญาณรบกวนเทียบกับสัญญาณโทรศัพท์มือถือ



รูปที่ 4.52 การทดลองกำลังสัญญาณรบกวนเทียบกับสัญญาณมือถือ

จากรูปที่ 4.52 กำหนดค่าสัญญาณรบกวนแบนด์วิดท์ = 20 MHz ความถี่พื้นเลื้อย 50 kHz อัตราซีกค่าตัวอย่าง (Sample Rate) 15 MHz ทำการทดลองวัด ใช้ระยะทาง (b) 2 ระยะ โดยวัดภายในอาคาร และนอกอาคาร ใช้เครื่องวัดเสกปรังรับสัญญาณรบกวนเทียบกับสัญญาณโทรศัพท์ โดยผลต่างกำลังของสัญญาณที่ได้รับเทียบกับสัญญาณโทรศัพท์ที่ได้กำลังสัญญาณรบกวนแสดงดังตารางที่ 4.4 และ 4.5

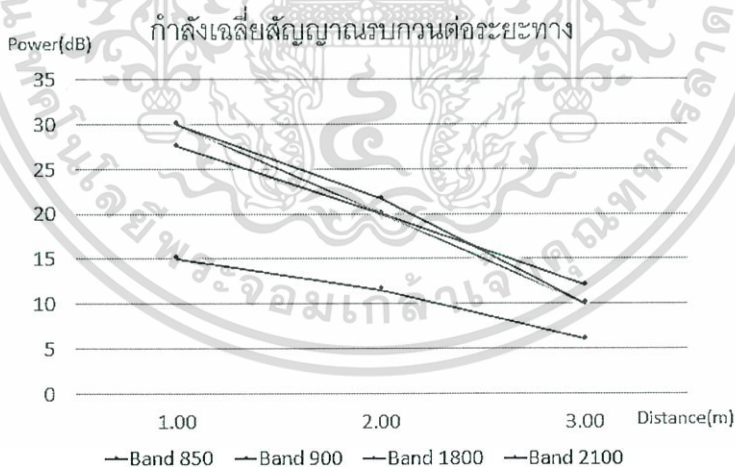
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองกำลังสัญญาณรบกวน เทียบกับระยะห่าง (ในอาคาร)

ย่านความถี่ TRUE	Center Freq (MHz)	ระยะ 1 เมตร	ระยะ 2 เมตร
850 MHz	876.5	20 dB	15 dB
900 MHz	955	15 dB	10 dB
1800 MHz	1811.25	-	-
2100 MHz	2133	20 dB	15 dB

ย่านความถี่ DTAC	Center Freq (MHz)	ระยะ 1 เมตร	ระยะ 2 เมตร
850 MHz	888.5	10 dB	8 dB
1800 MHz	1833	30 dB	20 dB
2100 MHz	2116.5	20 dB	15 dB

ย่านความถี่ AIS	Center Freq (MHz)	ระยะ 1 เมตร	ระยะ 2 เมตร
900 MHz	943	40 dB	30 dB
1800 MHz	1849.2	-	-
2100 MHz	2160	50 dB	35 dB

จากตารางที่ 4.4 ได้ผลการทดลองกำลังของสัญญาณของย่านต่าง ๆ นำมาพล็อตกราฟ แสดงผลการทดลองกำลังเฉลี่ยต่อระยะทาง ดังรูปที่ 4.53



รูปที่ 4.53 ผลการทดลองกำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนต่อระยะทาง (ในอาคาร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองกำลังสัญญาณรบกวนเทียบกับระยะห่าง (นอกอาคาร)

ย่านความถี่ TRUE	Center Freq (MHz)	ระยะ 1 เมตร	ระยะ 2 เมตร
850 MHz	876.5	5 dB	-
900 MHz	955	5dB	-
1800 MHz	1811.25	-	-
2100 MHz	2133	20 dB	15 dB

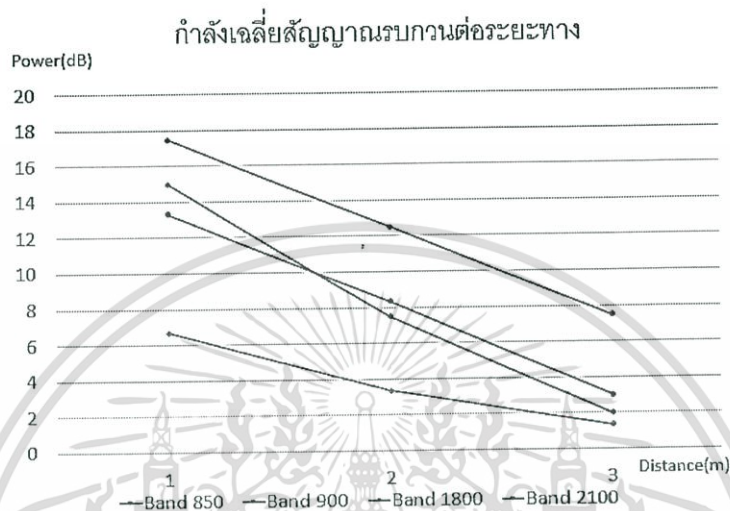
ย่านความถี่ DTAC	Center Freq (MHz)	ระยะ 1 เมตร	ระยะ 2 เมตร
850 MHz	888.5	25 dB	15 dB
1800 MHz	1833	20 dB	10 dB
2100 MHz	2116.5	5 dB	-

ย่านความถี่ AIS	Center Freq (MHz)	ระยะ 1 เมตร	ระยะ 2 เมตร
900 MHz	943	30 dB	25 dB
1800 MHz	1849.2	-	-
2100 MHz	2160	15 dB	10 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

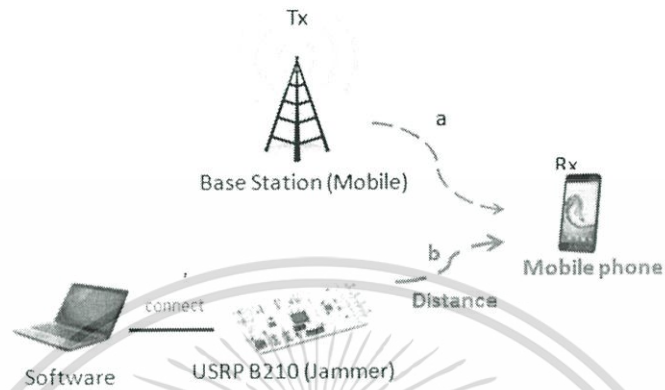
จากตารางที่ 4.5 ได้ผลการทดลองกำลังของสัญญาณของย่านต่าง ๆ นำมาพล็อตกราฟ แสดงผลการทดลอง กำลังเฉลี่ยต่อระยะทาง ดังรูปที่ 4.54



รูปที่ 4.54 ผลการทดลองกำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนต่อระยะทาง (นอกอาคาร)

จากรูปที่ 4.53 และ 4.54 แสดงให้เห็นว่า เมื่อระยะห่างของอุปกรณ์รบกวนมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้กำลังของสัญญาณรบกวนมีค่าลดลง และภายในอาคารการรบกวนสัญญาณทำได้ดีกว่าภายนอกอาคาร เพราะว่าภายนอกอาคารอุปกรณ์จะสามารถรับสัญญาณโทรศัพท์ได้ดีกว่าภายในอาคาร จากกราฟสามารถหาระยะทางที่กำลังสัญญาณรบกวนต่ำที่สุด เพื่อหาระยะทางการทำงานของอุปกรณ์ได้

#### 4.4.2 ระยะทางของอุปกรณ์รับกวนสัญญาณที่ส่งผลต่อโทรศัพท์มือถือ



รูปที่ 4.55 การทดลองวัดระยะทางเทียบกับเวลาการย้ายย่านความถี่โทรศัพท์

จากรูปที่ 4.55 ทำการทดลองวัดระยะทาง (b) ที่มีผลต่อเวลาการย้ายย่านของโทรศัพท์มือถือ ในการทดลองใช้มือถือเครือข่าย TRUE, DTAC, AIS แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองเวลาที่ใช้ในการย้ายย่านความถี่

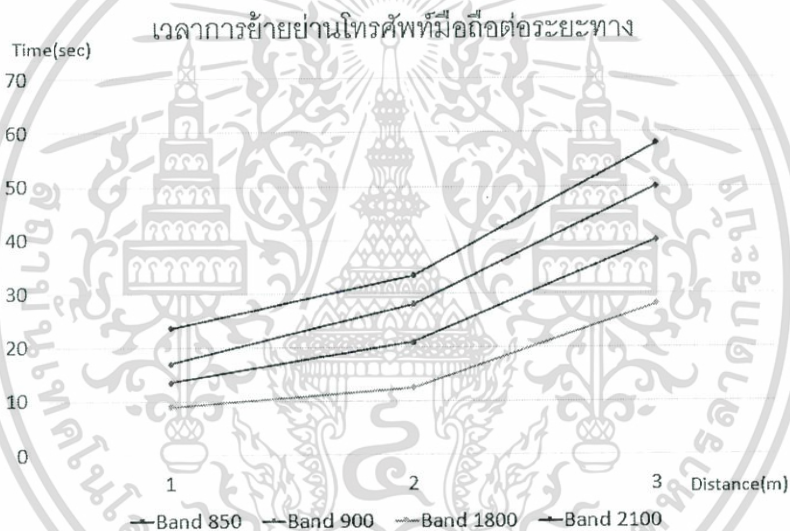
ย่านความถี่ TRUE	Center Freq (MHz)	ระยะ 1 เมตร	ระยะ 2 เมตร
850 MHz	876.5	22 sec	35 sec
900 MHz	955	16 sec	24 sec
2100 MHz	2133	16 sec	26 sec

ย่านความถี่ DTAC	Center Freq (MHz)	ระยะ 1 เมตร	ระยะ 2 เมตร
850 MHz	888.5	12 sec	21 sec
1800 MHz	1833	18 sec	25 sec
2100 MHz	2116.5	40 sec	50 sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่านความถี่ AIS	Center Freq (MHz)	ระยะ 1 เมตร	ระยะ 2 เมตร
900 MHz	943	11 sec	18 sec
1800 MHz	1849.2	-	-
2100 MHz	2160	15 sec	24 sec

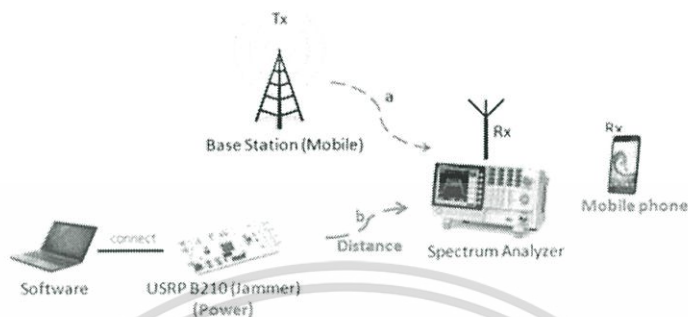
จากตารางที่ 4.6 นำผลการทดลองที่ระยะต่าง ๆ มาทำการพล็อตกราฟผลการทดลอง เวลาการย้ายย่านโทรศัพท์มือถือต่อระยะทาง ดังรูปที่ 4.56



รูปที่ 4.56 ผลการทดลองเวลาการย้ายย่านของโทรศัพท์มือถือต่อระยะทาง

จากรูปที่ 4.56 โทรศัพท์จะทำการย้ายย่านความถี่ขึ้นอยู่กับค่า  $E_c/I_0$  ของโทรศัพท์ที่ลดลง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อระยะทางมากขึ้นทำให้เวลาที่ใช้ในการย้ายย่านมีค่ามากขึ้น เพราะค่า  $E_c/I_0$  ของโทรศัพท์ลดลงช้ากว่าระยะทางที่อยู่ใกล้ ยกตัวอย่างเช่นย่านความถี่ 850 ของ True มีการใช้เวลาในการเปลี่ยนย่านมากกว่าย่านความถี่ 1800 เนื่องจากสถานที่ทำการทดลองอยู่ใกล้เซลล์คู่ล่าของคลื่น 850 มากกว่าทำให้สัญญาณแรงกว่า

#### 4.4.3 การทดลองวัดกำลังของสัญญาณ ที่ส่งผลต่อการตัดสัญญาณโทรศัพท์มือถือ



รูปที่ 4.57 การทดลองวัดกำลังของสัญญาณในการตัดสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

จากรูปที่ 4.57 ทำการทดลองวัดกำลังของสัญญาณที่น้อยที่สุดที่มีผลต่อการตัดสัญญาณโทรศัพท์มือถือ โดยกำหนดให้ระยะทาง (b) เท่ากับ 1 เมตร ในการทดลองใช้มือถือ TRUE, DTAC และ AIS แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองวัดกำลังของสัญญาณที่ส่งผลต่อการตัดสัญญาณโทรศัพท์มือถือในแต่ละย่านความถี่

	Frequency (MHz)	Before (dBm)	After (dBm)	Minimum Power (dB)
TRUE	850	-58	-39	≥ 19
	900	-64	-48	≥ 16
	2100	-80	-67	≥ 13
DTAC	850	-64	-48	≥ 16
	1800	-54	-37	≥ 17
	2100	-64	-48	≥ 16
AIS	900	-71	-56	≥ 15
	2100	-64	-48	≥ 16

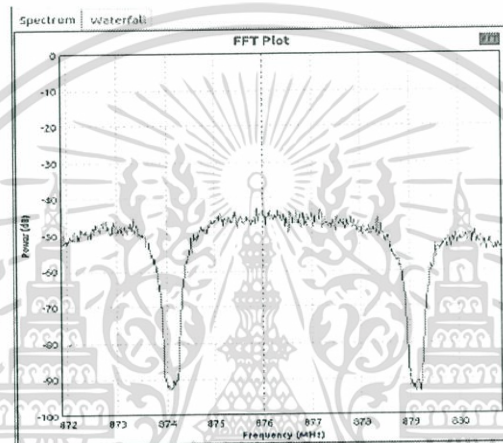
จากตารางที่ 4.7 ผลการทดลองวัดกำลัง ต้องใช้กำลังของสัญญาณรบกวนมากกว่าสัญญาณมือถือเฉลี่ย 16 dB จึงจะสามารถตัดสัญญาณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

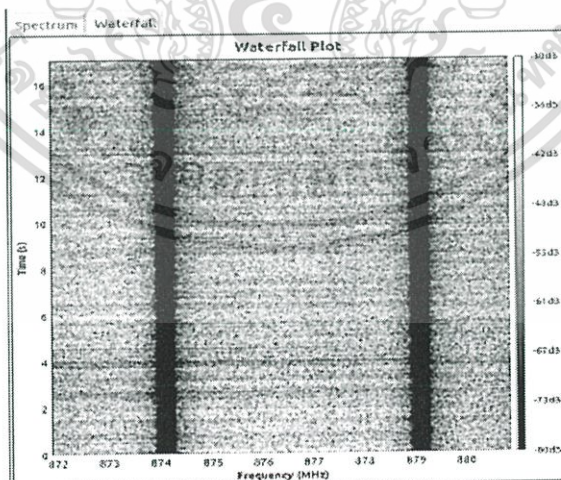
## 4.5 ผลการทดลองรับสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

### 4.5.1 ผลการรับสัญญาณมือถือโดยใช้โปรแกรม GNURadio

จากการออกแบบการทดลองในบทที่ 3 โดยตั้งค่าความถี่ที่รับ 870 MHz อัตราซีกค่าตัวอย่าง (Sample Rate) 9 MHz ทำการรับสัญญาณ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.58 และ 4.59



รูปที่ 4.58 สเปกตรัมของสัญญาณที่ได้รับ



รูปที่ 4.59 กราฟ Waterfall ของสัญญาณที่ได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.58 แสดงผลการทดลองรับสัญญาณย่านเครือข่ายข่ายโทรศัพท์มือถือ สามารถรับสัญญาณได้โดยกำลังของสัญญาณที่ความถี่ 876 MHz เท่ากับ 40 dB แสดงผลช่วงความถี่ ได้  $882-872 = 10$  MHz

จากรูปที่ 4.59 แสดงผลการทดลองรับสัญญาณโดยแสดงผลในรูปแบบ Waterfall plot ทำให้สังเกตเห็นสัญญาณเป็นช่วงได้ง่ายขึ้น โดยพื้นที่สีขาวแสดงสัญญาณที่มีกำลังสูง สีดำแสดงสัญญาณรบกวน

จากผลการทดลองอุปกรณ์ USRP-B210 สามารถรับสัญญาณเครือข่ายข่ายโทรศัพท์มือถือได้ แสดงว่าสามารถทำการค้นหาสัญญาณที่ใช้งานในย่านความถี่โทรศัพท์ได้

#### 4.5.1 ผลการออกแบบโปรแกรม ค้นหาสัญญาณ

จาก Flowchart การทำงานของโปรแกรมในรูปที่ 3.22 ออกแบบโปรแกรมค้นหาสัญญาณโดยสร้างจากไพธอน โดยการเพิ่มไลบรารี USRP ที่ใช้รับสัญญาณจากโปรแกรม GNURadio แสดงดังรูปที่ 4.60

```
from gnuradio import gr, eng_notation
from gnuradio import blocks
from gnuradio import audio
from gnuradio import filter
from gnuradio import fft
from gnuradio import uhd
from gnuradio.eng_option import eng_option
from optparse import OptionParser
import sys
import math
import struct
import threading
from datetime import datetime
import time
```

รูปที่ 4.60 ไลบรารีที่เรียกใช้ในโปรแกรมค้นหาสัญญาณ

gr, eng\_notation gr เป็นส่วนประกอบหลักโปรแกรม และ eng\_notation สำหรับแสดงตัวเลขชนิด string

blocks : ไฟล์ฟังก์ชันบล็อกของโปรแกรม GNURadio

audio : ไฟล์ฟังก์ชันเสียง ระหว่างโปรแกรม และคอมพิวเตอร์

filter : บล็อกกรองสัญญาณ และฟังก์ชันที่เกี่ยวข้อง

fft : บล็อก แปลงฟูเรียร์ และฟังก์ชันที่เกี่ยวข้อง

uhd : ไฟล์ฟังก์ชัน ไดรเวอร์ที่เชื่อมต่อระหว่าง USRP และ คอมพิวเตอร์

หลังจากนั้น ตั้งค่าโปรแกรมให้สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการค้นหา

สัญญาณ โดยใช้ฟังก์ชัน OptionParser แสดงดังรูปที่ 4.61

```
usage = "usage: %prog [options] min_freq max_freq"
parser = OptionParser(option_class=eng_option, usage=usage)
parser.add_option("-a", "--args", type="string", default="",
                  help="UHD device device address args [default=%default]")
parser.add_option("", "--spec", type="string", default=None,
                  help="Subdevice of UHD device where appropriate")
parser.add_option("-A", "--antenna", type="string", default=None,
                  help="select Rx antenna where appropriate")
parser.add_option("-s", "--smp-rate", type="eng_float", default=1e6,
                  help="set sample rate [default=%default]")
parser.add_option("-g", "--gain", type="eng_float", default=None,
                  help="set gain in dB (default is midpoint)")
parser.add_option("", "--tune-delay", type="eng_float",
                  default=0.25, metavar="SECS",
                  help="time to delay (in seconds) after changing frequency [default=%default]")
parser.add_option("", "--dwell-delay", type="eng_float",
                  default=0.25, metavar="SECS",
                  help="time to dwell (in seconds) at a given frequency [default=%default]")
parser.add_option("-b", "--channel-bandwidth", type="eng_float",
                  default=6.25e3, metavar="Hz",
                  help="channel bandwidth of fft bins in Hz [default=%default]")
parser.add_option("-l", "--lo-offset", type="eng_float",
                  default=0, metavar="Hz",
                  help="lo offset in Hz [default=%default]")
parser.add_option("-q", "--squell-threshold", type="eng_float",
                  default=None, metavar="dB",
                  help="squell threshold in dB [default=%default]")
parser.add_option("-F", "--fft-size", type="int", default=None,
                  help="specify number of FFT bins [default=smp_rate/channel_bw]")
parser.add_option("", "--real-time", action="store_true", default=False,
                  help="Attempt to enable real-time scheduling")
```

รูปที่ 4.61 ฟังก์ชันพารามิเตอร์ของโปรแกรมค้นหาสัญญาณ

จากรูปที่ 4.61 ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญคือกำหนดความถี่ขอบเขตการค้นหาสัญญาณ

เช่น ถ้าต้องการค้นหาความถี่ย่าน 874 – 878 MHz ต้องป้อนค่าความถี่ 874 MHz, 878 MHz

โปรแกรมสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้อีกเช่น การป้อนค่าไอพีของเครื่อง (สามารถตรวจจับอัตโนมัติได้) การเลือกช่องของสายอากาศที่รับ ตั้งค่าความแรง เป็นต้น แสดงตัวอย่างการใช้งานโปรแกรมโดยใช้คำสั่งต่อไปนี้

```
python usrp_spectrum_pat.py 874M 878M -A TX/RX > ~/log.txt
```

จากคำสั่งที่ใช้งาน ผู้ใช้งานใช้ชื่อโปรแกรม usrp\_spectrum\_pat.py กำหนดขอบเขตการค้นหาคความถี่ 874 – 878 MHz ใช้ช่องสายอากาศ TX/RX และเก็บผลลัพธ์ในไฟล์ log.txt แสดงดังรูปที่ 4.62

```
2017-02-28 13:35:49.178440 center_freq 874375000.0 freq 874493750.0 power_db 7.54078949593 noise_floor_db -111.533236019
2017-02-28 13:35:49.178472 center_freq 874375000.0 freq 874500000.0 power_db 7.73016144629 noise_floor_db -111.533236019
2017-02-28 13:35:49.178505 center_freq 874375000.0 freq 874506250.0 power_db 6.95254190737 noise_floor_db -111.533236019
2017-02-28 13:35:49.178544 center_freq 874375000.0 freq 874512500.0 power_db 7.90630730994 noise_floor_db -111.533236019
2017-02-28 13:35:49.178601 center_freq 874375000.0 freq 874518750.0 power_db 7.3839514293 noise_floor_db -111.533236019
2017-02-28 13:35:49.178639 center_freq 874375000.0 freq 874525000.0 power_db 6.01859202366 noise_floor_db -111.533236019
2017-02-28 13:35:49.178673 center_freq 874375000.0 freq 874531250.0 power_db 7.0618347377 noise_floor_db -111.533236019
2017-02-28 13:35:49.178705 center_freq 874375000.0 freq 874537500.0 power_db 8.2300876561 noise_floor_db -111.533236019
2017-02-28 13:35:49.178738 center_freq 874375000.0 freq 874543750.0 power_db 7.43403170741 noise_floor_db -111.533236019
2017-02-28 13:35:49.178771 center_freq 874375000.0 freq 874550000.0 power_db 7.16571335056 noise_floor_db -111.533236019
2017-02-28 13:35:49.178803 center_freq 874375000.0 freq 874556250.0 power_db 8.52673850165 noise_floor_db -111.533236019
2017-02-28 13:35:49.178836 center_freq 874375000.0 freq 874562500.0 power_db 10.1381150327 noise_floor_db -111.533236019
2017-02-28 13:35:49.178869 center_freq 874375000.0 freq 874568750.0 power_db 10.4586647209 noise_floor_db -111.533236019
2017-02-28 13:35:49.178901 center_freq 874375000.0 freq 874575000.0 power_db 10.0703777766 noise_floor_db -111.533236019
```

รูปที่ 4.62 ผลลัพธ์การค้นหาสัญญาณในช่วง 874 - 878 MHz

จากรูปที่ 4.62 แสดงข้อมูลที่ได้รับจากการค้นหาเริ่มจากทางซ้ายแสดงวันที่และเวลาจริงขณะที่ค้นหาสัญญาณ ค่าความถี่กลาง ความถี่ที่ค้นหาขณะนั้น กำลังของสัญญาณ และกำลังของสัญญาณรบกวน หลังจากนั้นนำผลลัพธ์จากการค้นหาสัญญาณมาประมวลผลและแสดงค่าความถี่ของสัญญาณที่ได้รับจากการค้นหาสัญญาณได้ดังรูปที่ 4.63

```
Performing center cooperation test... done
gain = 38.0
.
Scanner complete

Found Signal

freq 875.875 MHz to 876.225 MHz power 20.4995886569 dB
freq 876.375 MHz to 877.725 MHz power 21.8945859065 dB
freq 877.875 MHz to 878.225 MHz power 20.8495611937 dB

Finish
```

รูปที่ 4.63 ความถี่ที่ได้รับจากการค้นหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.63 แสดงช่วงความถี่ที่มีสัญญาณ กำลังของสัญญาณ โดยสามารถนำค่าความถี่นี้ไปกำหนดความถี่กลาง USRP-B210 เพื่อใช้ในการตัดสัญญาณที่ได้ออกแบบมาแล้ว

#### 4.5.2 ผลการทดลองค้นหาสัญญาณโดยใช้โปรแกรม

ทำการทดลองรับสัญญาณช่วงความถี่วิทยุ 94.5 – 96.75 MHz โดยใช้คำสั่ง

```
python usrp_spectrum_pat.py 94.5M 96.75M - A TX/RX
```

ได้ผลลัพธ์การค้นหา แสดงดังรูปที่ 4.64

```
-- Performing timer loopback test... pass
gain = 38.0
Scanner complete
Found Signal
freq 94.875 MHz to 95.225 MHz power 21.2122652585 dB
freq 96.375 MHz to 96.725 MHz power 23.4052850755 dB
Finish
```

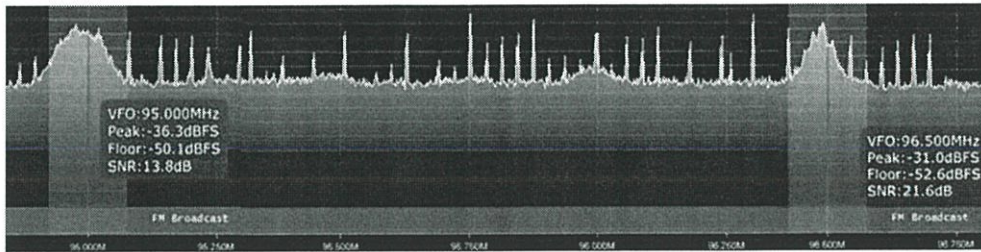
รูปที่ 4.64 ผลลัพธ์การค้นหาสัญญาณ 94.5 – 96.75 MHz โดยใช้โปรแกรม

จากรูปที่ 4.64 ผู้ใช้งานสามารถรับสัญญาณ ดังนี้

1. ความถี่ 94.875 – 95.225 MHz ขนาด 21.21 dB
2. ความถี่ 96.375 – 96.725 MHz ขนาด 23.41 dB

หลังจากนั้น ผู้จัดทำใช้ อุปกรณ์ RTL-SDR ตรวจสอบผลการทดลอง โดยใช้โปรแกรม

SDRSharp แสดงดังรูปที่ 4.65



รูปที่ 4.65 สเปกตรัมสัญญาณจาก RTL-SDR

จากรูปที่ 4.65 ความถี่สัญญาณที่ได้รับจาก RTL-SDR แสดงผลลัพธ์ดังนี้

1. ความถี่ 95.0 MHz ขนาดกำลังสัญญาณ =  $-36 - (-50) = 14$  dB
2. ความถี่ 96.5 MHz ขนาดกำลังสัญญาณ =  $-31 - (-52.6) = 21.6$  dB

จากผลการทดลองค้นหาสัญญาณจากโปรแกรม และค้นหาสัญญาณจาก RTL-SDR เปรียบเทียบผลลัพธ์ ความถี่ และขนาดมีความใกล้เคียง แต่เนื่องจากอุปกรณ์และสายอากาศแตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถทำการค้นหาสัญญาณได้

## 4.6 การทดสอบ User Interface

การทดสอบการทำงานของผลการแสดงผลหน้าจอ (User Interface) จากที่ทำการออกแบบการทำงานของโปรแกรม แบ่งส่วนการทำงานของอุปกรณ์ออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรก “SCAN” ค้นหาสัญญาณ และส่วนที่สอง “JAM” ทำการตัดสัญญาณ เมื่อใช้คำสั่งดังหมายเลข 1 ทำการเรียกการใช้งานหน้าหลักการแสดงผลหน้าจอ ออกมาได้ดังรูปที่ 4.66



รูปที่ 4.66 หน้าหลักการแสดงผลหน้าจอ

ในกรณีที่ผู้ใช้งานเริ่มเปิดใช้งานการแสดงผลหน้าจอ และไม่ได้ทำการเชื่อมต่อ USRP-B210 บนคอมพิวเตอร์ไลน์ (Command Line) จะทำการแจ้งเตือน ดังรูปที่ 4.67



รูปที่ 4.67 การแจ้งเตือนเมื่อไม่ได้ทำการเชื่อมต่อ USRP-B210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ผู้ใช้งานเปิดใช้งานการแสดงผลหน้าจอ และทำการเชื่อมต่อ USRP-B210 บนคอมพิวเตอร์ไลน์ จะทำการแจ้งเตือน ดังรูปที่ 4.68

```

angjit:~
angjit@jangjit:~$ python ./Desktop/Project/main.py
Linux; GNU C++ version 4.8.4; Boost_105400; UHD_003.009.005-0-g32951af2
Linux; GNU C++ version 4.8.4; Boost_105400; UHD_003.009.005-0-g32951af2
-- Loading firmware image: /usr/local/share/uhd/images/usrp_b200_fw.hex...
-- Detected Device: B210
-- Loading FPGA image: /usr/local/share/uhd/images/usrp_b210_fpga.bin... done
-- Operating over USB 2.
-- Detecting internal GPSDO.... No GPSDO found
-- Initialize CODEC control...
-- Initialize Radio control...
-- Performing register loopback test... pass
-- Performing register loopback test... pass
-- Performing CODEC loopback test... pass
-- Performing CODEC loopback test... pass
-- Asking for clock rate 16.000000 MHz...
-- Actually got clock rate 16.000000 MHz.
-- Performing timer loopback test... pass
-- Performing timer loopback test... pass
-- Setting master clock rate selection to 'automatic'.

-----
Device: B-Series Device
-----
Mboard: B210
revision: 4
product: 2
serial: F50042
FW Version: 8.0
FPGA Version: 13.0

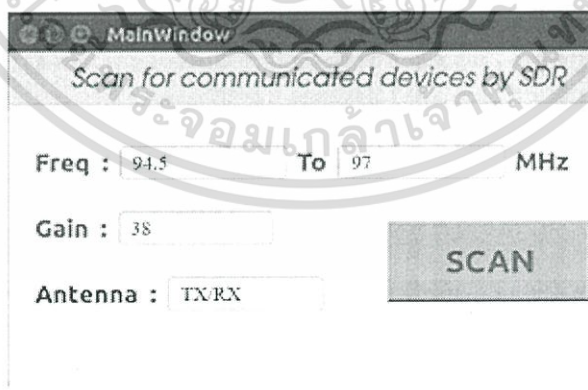
Time sources: none, internal, external, gpsdo
Clock sources: internal, external, gpsdo
Sensors: ref_locked

-----
RX DSP: 0
Freq range: -8.000 to 8.000 MHz
-----

```

รูปที่ 4.68 การแจ้งเตือนเมื่อเชื่อมต่อ USRP-B210

เมื่อผู้ใช้งานทำการกดปุ่มเลือกใช้งานในส่วนของ “SCAN” ค้นหาสัญญาณ จะแสดงผลหน้าจอ ออกมาดังรูปที่ 4.69



รูปที่ 4.69 การแสดงผลหน้าจอส่วนของ SCAN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ผู้ใช้งานป้อนค่าช่วงความถี่เริ่มต้น ความถี่สิ้นสุด และกดปุ่ม SCAN เพื่อทำการค้นหาสัญญาณที่มีการใช้งานอยู่ในบริเวณโดยรอบตัวอุปกรณ์ จากรูปที่ 4.69 ได้ป้อนค่าช่วงความถี่ที่ต้องการค้นหาสัญญาณตั้งแต่ช่วงความถี่ 88 MHz ถึง 108 MHz กำหนดกำลังขยายเท่ากับ 89 MHz และสายอากาศเป็น TX/RX จะแสดงผลการค้นหาสัญญาณบนคอมพิวเตอร์ไลน์ ดังรูปที่ 4.70

```
-- Performing timer loopback test... pass
gain = 38.0
.
.
Scanner complete

Found Signal

freq 94.875 MHz to 95.225 MHz power 21.2122652585 dB
freq 96.375 MHz to 96.725 MHz power 23.4952850755 dB

Finish
```

รูปที่ 4.70 การแสดงผลการค้นหาสัญญาณบนคอมพิวเตอร์ไลน์  
จากรูป 4.70 ทำการแสดงผลความถี่ที่มีการใช้งานออกมาดังรูปที่ 4.71 และเลือกกดปุ่ม “JAM” เพื่อทำการตัดสัญญาณความถี่ที่ต้องการ



รูปที่ 4.71 การแสดงผลความถี่ที่มีการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.71 แสดงผลความถี่ที่มีการใช้งานอยู่ในย่านความถี่ 95 และ 96.5 MHz เมื่อทำการกดปุ่ม “JAM” อุปกรณ์ USRP-B210 จะเริ่มทำการรบกวนสัญญาณ แสดงผลการรบกวนสัญญาณบนคอมพิวเตอร์ไลน์ ดังรูปที่ 4.72

```

Linux: GNU C++ version 4.8.4; Boost 105400; UHD 003.009.005-0-g32951af2
95000000.0
-- Detected Device: B210
-- Operating over USB 3.
-- Initialize CODEC control...
-- Initialize Radio control...
-- Performing register loopback test... pass
-- Performing register loopback test... pass
-- Performing CODEC loopback test... pass
-- Performing CODEC loopback test... pass
-- Asking for clock rate 16.000000 MHz...
-- Actually got clock rate 16.000000 MHz.
-- Performing timer loopback test... pass
-- Performing timer loopback test... pass
-- Setting master clock rate selection to 'automatic'.
-- Asking for clock rate 40.000000 MHz...
-- Actually got clock rate 40.000000 MHz.
-- Performing timer loopback test... pass
-- Performing timer loopback test... pass

```

รูปที่ 4.72 การแสดงผลการรบกวนสัญญาณบนคอมพิวเตอร์ไลน์

เมื่อผู้ใช้งานทำการกดปุ่มเลือกใช้งานในส่วนของ “JAM” ทำการตัดสัญญาณ จะแสดงหน้าแสดงผลหน้าจอ ออกมาดังรูปที่ 4.73



รูปที่ 4.73 การแสดงผลหน้าจอส่วนของ JAM

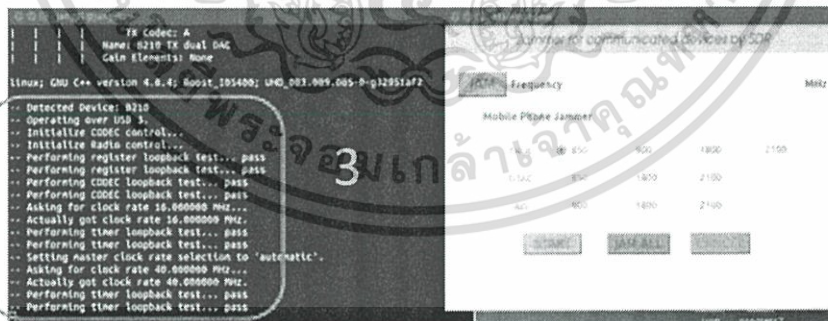
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตัดสัญญาณจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการกำหนดค่าความถี่ที่ทำการตัดสัญญาณ โดยสามารถป้อนค่าช่วงสัญญาณที่ต้องการตัดสัญญาณตามที่ใช้ใช้งานต้องการ แสดงดังรูปที่ 4.74 และในส่วนที่สองเป็นการตัดสัญญาณโทรศัพท์มือถือ ให้ผู้ใช้งานเลือกย่านความถี่โทรศัพท์มือถือ จะแสดง 3 เครือข่ายการใช้งานคือ TRUE, DTAC และ AIS โดยแต่ละเครือข่ายจะมีการใช้งานในย่านความถี่ต่าง ๆ ผู้ใช้งานสามารถเลือกย่านความถี่ที่ต้องการตัดสัญญาณได้ แสดงผลดังรูปที่ 4.75



รูปที่ 4.74 การตัดสัญญาณโดยป้อนค่าความถี่

จากรูปที่ 4.74 ทำการป้อนค่าที่จะทำการตัดสัญญาณความถี่ 876.5 MHz เมื่อกดปุ่ม “JAM” อุปกรณ์ USRP-B210 จะเริ่มทำการรบกวนสัญญาณแสดงผลการตัดสัญญาณดังหมายเลข 2



รูปที่ 4.75 การตัดสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

จากรูปที่ 4.75 ทำการตัดสัญญาณความถี่ TRUE 850 MHz เมื่อกดปุ่ม “START” อุปกรณ์ USRP-B210 จะเริ่มทำการรบกวนสัญญาณ แสดงผลการตัดสัญญาณดังหมายเลข 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

ชุดอุปกรณ์ค้นหาและตัดสัญญาณอุปกรณ์สื่อสาร โดยใช้ SDR เป็นการศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ SDR โดยการออกแบบซอฟต์แวร์ด้วยโปรแกรม GNU-Radio โปรแกรมสามารถออกแบบสัญญาณโดยใช้บล็อกไดอะแกรม ตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และแสดงผลเป็นแผนภูมิที่เข้าใจได้ง่าย (GUI) หลังจากการออกแบบทำการส่งสัญญาณรบกวน ผลการทดลองสามารถรบกวนสัญญาณแต่ละย่านได้

จากการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์ SDR ชุดค้นหาและตัดสัญญาณอุปกรณ์สื่อสารโดยใช้ SDR สามารถรบกวนสัญญาณได้ แต่ชนิดของสายอากาศที่มีกำลังการส่งสัญญาณน้อยเกินไป ล้วนส่งผลต่อการรบกวนสัญญาณระหว่างเครื่องรบกวนสัญญาณ (USRP-B210) กับสถานีฐาน หรืออุปกรณ์สื่อสาร และในส่วนของค้นหาสัญญาณสามารถระบุช่วงของสัญญาณ โดยกำหนดขอบเขตของสัญญาณที่ต้องการรับได้

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ถ้าหากต้องการสร้างสัญญาณรบกวนอุปกรณ์สื่อสารไม่ได้รับสัญญาณข้อมูลได้ ควรเลือกใช้เครื่อง SDR ที่สามารถส่งสัญญาณความถี่ได้หลายย่านความถี่พร้อมกันตามเครือข่ายสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ และถ้าจะนำไปใช้งานในการรบกวนสัญญาณระยะทางที่มากขึ้นนั้น ต้องมีอุปกรณ์ RF Amplifier ต่อจาก USRP-B210 ก่อนออกสายอากาศเพื่อให้มีกำลังการส่งสัญญาณรบกวนที่มากขึ้นเพื่อให้ได้ระยะการรบกวนสัญญาณที่ไกลขึ้นด้วย การใช้เทคโนโลยีมอดูเลตแบบเดียวกับสัญญาณเช่น WCDMA(3G) OFDM(4G) นำมาใช้เป็นสัญญาณรบกวน จะทำให้กำลังสัญญาณรบกวนใช้น้อยลง ทำให้ระยะการทำงานไกลขึ้น แต่ขึ้นอยู่กับความสามารถของอุปกรณ์ด้วย

ในกรณีของอุปกรณ์ค้นหาและตัดสัญญาณการสื่อสาร โดยใช้ SDR (USRP-B210) กับ Raspberry Pi 3 โดยความสามารถของ Raspberry Pi ทำให้การตั้งค่าอัตราการซีกค่าตัวอย่าง (Sample Rate) ได้ไม่เกิน 2 MHz ดังนั้น สัญญาณรบกวนที่ใช้งานผ่าน Raspberry Pi จะไม่สามารถตัดสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์เกิน 2 MHz ได้ ดังนั้นในอนาคตถ้ามีอุปกรณ์ที่สามารถรองรับความสามารถนี้ จะทำให้ตัดสัญญาณอุปกรณ์สื่อสารที่มีแบนด์วิดท์ประมาณ 20 MHz ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] จตุพร ด้วงทอง, จิรภูมิ บุตรโท. “ระบบค้นหาทิศทางคลื่นวิทยุโดยใช้เทคนิควิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2557.
- [2] Ettus Knowledge Base(KB) [ออนไลน์]  
[https://kb.ettus.com/Knowledge\\_Base](https://kb.ettus.com/Knowledge_Base) (วันที่สืบค้น: 15 พฤศจิกายน 2559).
- [3] GNU Radio Companion Waveform Generators [ออนไลน์]  
[http://www.ece.uvic.ca/~elec350/grc\\_doc/ar01s02s04.html](http://www.ece.uvic.ca/~elec350/grc_doc/ar01s02s04.html) (วันที่สืบค้น: 20 พฤศจิกายน 2559).
- [4] Qt creator [ออนไลน์].  
<http://www.thaieasyelec.com/> (วันที่สืบค้น: 20 พฤศจิกายน 2559).
- [5] Global System for Mobile Communication (GSM) [ออนไลน์]  
[www.ee.eng.cmu.ac.th/~tharadol/teach/ee442/442\\_50/442\\_50rp/4706236.doc](http://www.ee.eng.cmu.ac.th/~tharadol/teach/ee442/442_50/442_50rp/4706236.doc)  
(วันที่สืบค้น: 25 พฤศจิกายน 2559).
- [6] Spread Spectrum, CDMA and GPS [ออนไลน์]  
[http://alumni.cs.ucr.edu/~saha/stuff/cdma\\_gps.htm](http://alumni.cs.ucr.edu/~saha/stuff/cdma_gps.htm) (วันที่สืบค้น: 25 พฤศจิกายน 2559).
- [7] ศุภฤกษ์ แยมทิม, สุเทพ ปิ่นโรจน์ “Implementation of OFDM Transceiver for GNU Radio” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2558.

[8] ARFCN: Absolute Radio Frequency Channel Number [ออนไลน์]

<http://telecom10.blogspot.com/2015/05/arfcn.html> (วันที่สืบค้น: 30 พฤศจิกายน 2559).

[9] Fast Fourier Transform (FFT) [ออนไลน์]

<http://www.av.it.pt/conftele2009/papers/114.pdf> (วันที่สืบค้น: 3 ธันวาคม 2559).

[10] Sampling [ออนไลน์].

[http://iteiei.blogspot.com/2012/03/blog-post\\_29.html](http://iteiei.blogspot.com/2012/03/blog-post_29.html) (วันที่สืบค้น: 3 ธันวาคม 2559).

[11] Type jammer [ออนไลน์].

<http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/2588/1/2550-16-1.1.pdf>  
(วันที่สืบค้น: 15 ธันวาคม 2559).

[12] SONY VAIO E-Series (intel Core i7) [ออนไลน์].

<http://www.computershopper.com/laptops/reviews/sony-vaio-e-series-sve15116fxs> (วันที่สืบค้น: 15 ธันวาคม 2559).

[13] USRP Hardware Driver and USRP Manual [ออนไลน์].

[https://files.ettus.com/manual/page\\_usrp\\_b200.html](https://files.ettus.com/manual/page_usrp_b200.html) (วันที่สืบค้น: 15 ธันวาคม 2559).

[14] USB 3.0 Cable [ออนไลน์].

<http://www.ezzycom.com/products-page/usb-3-0-cable/> (วันที่สืบค้น: 20 ธันวาคม 2559).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[15] ORO072709-PNJ-01, 700 - 2700MHz, 9dBi, Omni Antenna [ออนไลน์].

<http://talung.gimyong.com/index.php?topic=376637.0> (วันที่สืบค้น: 20 ธันวาคม 2559).

[16] Spectrum Analyzer [ออนไลน์].

<http://www.irct.co.th/th/n9320b-rf-spectrum-analyzer-9-khz-3-ghz> (วันที่สืบค้น: 25 ธันวาคม 2559).

[17] Coaxial Cable SMA-Type N Connector [ออนไลน์].

<https://www.aliexpress.com/popular/n-type-sma.html> (วันที่สืบค้น: 25 ธันวาคม 2559).

[18] Raspberry Pi Model B+ [ออนไลน์].

<https://www.raspberrypi.org/blog/introducing-raspberry-pi-model-b-plus/>  
(วันที่สืบค้น: 25 ธันวาคม 2559).