ระบบตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม
สำหรับการออกอากาศวิทยุ FM

A SYSTEM FOR DETECTING INAPPROPRIATE CONTENT
FOR FM RADIO BROADCAST

โดย

นางสาวไข่มุก มุ่งหวังกลาง

นายพีรวัส เอี่ยมมี

นางสาวอังคณา สุวรรณวิเวก

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม
สำหรับการออกอากาศวิทยุ FM

A SYSTEM FOR DETECTING INAPPROPRIATE CONTENT
FOR FM RADIO BROADCAST

โดย

นางสาวไข่มุก	มุ่งหวังกลาง	64010079
นายพีรวัส	เอี่ยมมี	64010618
นางสาวอังคณา	สุวรรณวิเวก	64011004

อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ. ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2567

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสมสำหรับการออกอากาศวิทยุ FM

A SYSTEM FOR DETECTING INAPPROPRIATE CONTENT FOR FM RADIO BROADCAST

ผู้จัดทำ

1. นางสาวไข่มุก มุ่งหวังกลาง 64010079
2. นายพีรวัส เอี่ยมมี 64010618
3. นางสาวอังคณา สุวรรณวิเวก 64011004

.....

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง “ระบบตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสมและการตรวจสอบสเปกตรัมสำหรับการออกอากาศวิทยุ FM” จะไม่สามารถเกิดขึ้นและสำเร็จลุลวงไปได้ หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ คือ รศ. ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนวทางการแก้ไขปัญหาตลอดระยะเวลาในการจัดทำปริญญานิพนธ์รวมทั้งสนับสนุนสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในระหว่างการจัดทำปริญญานิพนธ์ ขอขอบพระคุณในความห่วงใยและความหวังดีที่มีให้แก่คณะผู้จัดทำเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน อาทิ บิดา มารดา และเพื่อนนักศึกษาที่คอยสนับสนุน แนะนำช่วยเหลือ และให้กำลังใจแก่คณะผู้จัดทำเสมอมา จนกระทั่งปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาวไข่มุก มุ่งหวังกลาง
นายพีรวัส เอี่ยมมี
นางสาวอังคณา สุวรรณวิเวก
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสมสำหรับการออกอากาศ
วิทยุ FM
A SYSTEM FOR DETECTING INAPPROPRIATE
CONTENT FOR FM RADIO BROADCAST

โดย นางสาวไข่มุก มุ่งหวังกลาง 64010079
นายพีรวัส เอี่ยมมี 64010618
นางสาวอังคณา สุวรรณวิเวก 64011004

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง

บทคัดย่อ

คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ได้มีการเปลี่ยนระบบเป็นใบอนุญาตในวิทยุกระจายเสียง FM มีการออกข้อกำหนดการออกอากาศ และการป้องกันการรบกวนซึ่งกันและกัน อีกทั้งการเปลี่ยนผ่านของยุคสมัยทำให้สังคมเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่าง รวดเร็ว อาจทำให้ผู้คนละเลยถึงการใช้วาจาและการกระทำ การละเมิดกฎหมายโดยที่ตั้งใจและไม่ตั้งใจก็สามารถเกิดขึ้นได้ จึงได้จัดทำระบบตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม และการตรวจสอบสเปกตรัมสำหรับออกอากาศ วิทยุ FM ประกอบไปด้วยระบบการ ของสัญญาณ FM, การตรวจจับสเปกตรัมที่ไม่ได้มาตรฐาน กสทช. จากการ ตรวจสอบ เขียนซอฟต์แวร์ตรวจจับอัตโนมัติ, การตรวจสอบเนื้อหาของสถานีวิทยุกระจายเสียงจากระบบการตรวจจับโดยแปลงเสียงเป็นข้อความด้วยปัญญาประดิษฐ์ และระบบนำเข้าสัญญาณมากกว่า 1 ช่องสัญญาณวิทยุ

ABSTRACT

Office of The National Broadcasting and Telecommunications Commission has changed into a license system for FM radio broadcasting. They have to regulate both technical spectrum utilization and content broadcasting. Additionally, time flies so fast. Society is beginning to forget about manners and consequences. Violation of rules is inevitable. So, this project does exist to detect it. Our system can detect “exaggeration” in the advertisement of broadcasting services and spurious radiation spectrum by automatic software that runs 24/7, verifies the propriety of on-air content through voice-to-text AI detection, and makes multiple inputs simultaneously.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ I

บทคัดย่อ II

สารบัญ III

สารบัญรูป VI

สารบัญตาราง X

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 1

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 1

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 Raspberry Pi 5 2

2.2 RTL-SDR 4

2.3 การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing; NLP) 5

2.3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ในการประมวลผลภาษาธรรมชาติ 5

2.3.2 ความสำคัญและประโยชน์ของการประมวลผลภาษาธรรมชาติ 5

2.4 การถอดเสียงพูดเป็นข้อความ (Speech To Text) 6

2.4.1 ประเภทของการถอดเสียงพูดเป็นข้อความ 6

2.4.2 หลักการทำงานของเทคโนโลยี Speech to Text 6

2.5 มาตรฐานทางเทคนิคเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงระบบเอฟเอ็ม 7

2.5.1 มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียง (Transmitter Standard) 7

2.5.2 การแพร่นอกแถบ (Out-of-band Emission) 8

2.6 พระราชบัญญัติ การประกอบกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์ 10

2.7 Pre-trained model ที่แปลง Speech-to-Text 10

2.7.1 Thonburian Whisper 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

3.1 การออกแบบ 17
3.1.1 การออกแบบการตรวจจับการแพร่แปลกปลอมของสเปกตรัม 17
3.1.2 การออกแบบการถอดเสียงเป็นข้อความ 30
3.1.3 การออกแบบการตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม 36
3.1.4 การออกแบบการรายงาน 40
3.1.5 การออกแบบการเชื่อมต่อระหว่างลูกข่ายและแม่ข่าย 47
3.1.6 การออกแบบแอปพลิเคชันและเว็บแอปพลิเคชัน 49
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 55
3.2.1 โปรแกรม MATLAB 55
3.2.2 โปรแกรม Simulink 55
3.2.3 ภาษาไพธอน (Python) 56
3.2.4 ภาษา HTML 56
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง 56
3.3.1 การทดสอบการตรวจจับสเปกตรัม 56
3.3.2 การทดสอบการถอดเสียงเป็นข้อความ 56
3.3.3 การทดสอบการตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม 56
3.3.4 การทดสอบการประเมินประสิทธิภาพของระบบการตรวจจับเนื้อหา 56
3.3.5 การทดสอบการขึ้นเว็บเซิร์ฟเวอร์ด้วย IIS 56
3.3.6 การทดสอบการใช้งานบนเว็บแอปพลิเคชัน 56

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบการตรวจจับสเปกตรัม 57
4.1.1 การทดลองในแผนภาพการรับสเปกตรัม 57
4.1.2 การกำเนิดเส้นสเปกตรัมมาตรฐานของกสทช. 58
4.1.3 การเปรียบเทียบสเปกตรัมผ่านการลบกัน 60
4.1.4 การทดสอบการแพร่นอกแถบจำลอง 60
4.1.5 การทดสอบการตรวจจับการแพร่นอกแถบด้วยแอปพลิเคชันบนไคลเอนต์ 61
4.2 การทดสอบการถอดเสียงเป็นข้อความ 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

4.2.1 การคำนวณอัตราความผิดพลาดของคำที่ได้จากการถอดเสียงเป็นข้อความ (WER; Word Error Rate) 65
4.2.2 การทดสอบโมเดลการถอดเสียงเป็นข้อความที่เลือกใช้ 77
4.3 การทดสอบการตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม 79
4.4 การทดสอบการประเมินประสิทธิภาพของระบบการตรวจจับเนื้อหา 80
4.5 การทดสอบการขึ้นเว็บเซิร์ฟเวอร์ด้วย IIS 82
4.6 การทดสอบการใช้งานบนเว็บแอปพลิเคชัน 83

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลการทดลอง 85
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 86

บรรณานุกรม **87**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของ Raspberry Pi 5 2
รูปที่ 2.2 RTL-SDR 4
รูปที่ 2.3 ขอบเขตการแพร่นอกแถบ 9
รูปที่ 2.4 การทำงานของโมเดล Whisper-small 12
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างของ Log-Mel spectrogram ของเสียงที่จับได้จากวิทยุกระจายเสียง FM 13
รูปที่ 2.6 กราฟฟังก์ชันของ GELU 14
รูปที่ 2.7 การทำงานของ Encoder Block 15
รูปที่ 2.8 การทำงานของ Decoder Block 16
รูปที่ 3.1 ระบบภาพรวมการออกแบบปริญญานิพนธ์โดยรวม 17
รูปที่ 3.2 บล็อกการทำงานโปรแกรมจัดการภายในเครื่องลูกข่าย 18
รูปที่ 3.3 บล็อกการทำงานของ FM Spectrum Detector 18
รูปที่ 3.4 บล็อกของสเปกตรัมที่ได้รับ 21
รูปที่ 3.5 บล็อกของฟังก์ชันการเฉลี่ย 21
รูปที่ 3.6 บล็อกการแปลงเชิงเส้นเป็นยกกำลัง 22
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างโค้ดที่คงค่าตัวแปรไว้ 22
รูปที่ 3.8 บล็อกการตรวจจับค่าสูงสุดของสเปกตรัม 23
รูปที่ 3.9 การทำงานของการตรวจจับขนาดสูงสุด 23
รูปที่ 3.10 บล็อกการกำเนิดสเปกตรัมข้อจำกัด 24
รูปที่ 3.11 การทำงานของตัวกำเนิดสเปกตรัม ส่วนที่ 1 24
รูปที่ 3.12 การทำงานของตัวกำเนิดสเปกตรัม ส่วนที่ 2 24
รูปที่ 3.13 การทำงานของตัวกำเนิดสเปกตรัม ส่วนที่ 3 25
รูปที่ 3.14 บล็อกการเลือกสเปกตรัมเฉพาะส่วน 26
รูปที่ 3.15 บล็อกการหักลบสเปกตรัม 27
รูปที่ 3.16 บล็อกการทำงานตรวจจับ CNR และการเฉลี่ย CNR 27
รูปที่ 3.17 บล็อกการวิเคราะห์สเปกตรัม 28
รูปที่ 3.18 บล็อกการทำช่วงค่าของCNR 28
รูปที่ 3.19 บล็อกการนอร์มอลไลซ์ 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 3.20 บล็อกของ Out_of_band_new 29
รูปที่ 3.21 แผนภาพในการทำงานโดยรวมของการตรวจจับเนื้อหาในวิทยุกระจายเสียง FM 30
รูปที่ 3.22 บล็อกการดีมอดดูเลต FM 30
รูปที่ 3.23 ระบบการแปลงเสียงเป็นข้อความ 31
รูปที่ 3.24 บล็อกการทำงานของ *audio_container* 31
รูปที่ 3.25 บล็อกภายในระบบแปลงเสียงเป็นข้อความ 31
รูปที่ 3.26 บล็อกการทำงานของ *Speech2Text_Py_block* 32
รูปที่ 3.27 บล็อกการทำงานของ *audio_writer* 32
รูปที่ 3.28 Flow การทำงานของการถอดข้อความจากเสียงพูดภาษาไทย 34
รูปที่ 3.29 แผนภาพการทำงานของกาตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม 36
รูปที่ 3.30 ตัวอย่างคำหยาบคาย 37
รูปที่ 3.31 ตัวอย่างคำที่ไม่อนุญาตในการใช้โฆษณา 37
รูปที่ 3.32 ระบบการตรวจจับคำที่ไม่เหมาะสม 38
รูปที่ 3.33 บล็อกของ *SWEAR_TRUST* 38
รูปที่ 3.34 ระบบการรายงานของสเปกตรัม *Spectrum_Report_Gateway* 41
รูปที่ 3.35 บล็อกการทำงาน *spct_checker* 42
รูปที่ 3.36 ฟังก์ชันภายในระบบ *Spectrum_Report_Gateway* 42
รูปที่ 3.37 บล็อกของ *Duplicate_checker* 42
รูปที่ 3.38 บล็อกของ *Image_reporter_loggerr* 43
รูปที่ 3.39 ระบบการรายงานในส่วนของเนื้อหา 44
รูปที่ 3.40 แผนภาพการทำงานภายใน *Audio_detector_gateway* 44
รูปที่ 3.41 บล็อกของ *second_gate* 45
รูปที่ 3.42 บล็อกของ *flag_checker* 45
รูปที่ 3.43 บล็อก *audio_gateway* 46
รูปที่ 3.44 แผนภาพตัวอย่างการทำงานของ Syncthing 47
รูปที่ 3.45 แผนภาพการเชื่อมต่อกันระหว่างแม่ข่ายและลูกข่าย 47
รูปที่ 3.46 หน้าต่างของแอปพลิเคชันของไคลเอนต์ 50
รูปที่ 3.47 ปุ่มควบคุมการเปิด - ปิดโมเดล 50
รูปที่ 3.48 ตัวควบคุมความถี่กลาง 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 3.49 ตัวควบคุมการพล็อตภายในแอปพลิเคชัน 51
รูปที่ 3.50 ตัวควบคุมการกำเนิดสเปกตรัมแพร่นอกแถบ 51
รูปที่ 3.51 ฟอร์มเพื่อการอัพเดทสถานที่ปัจจุบันของไคลเอนต์ 51
รูปที่ 3.52 ป้ายกำกับแสดงช่วงของ CNR และ CNR เฉลี่ย 52
รูปที่ 3.53 ส่วนแสดงผลของเนื้อหา 52
รูปที่ 3.54 ส่วนการเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ 52
รูปที่ 3.55 แผนภาพศูนย์กลางสั่งการไปยังโน้ดต่าง ๆ 53
รูปที่ 3.56 แผนภาพการทำงานของเว็บเซิร์ฟเวอร์ 53
รูปที่ 3.57 ตัวอย่างการสร้างไฟล์ไว้สำหรับการขึ้นเว็บเซิร์ฟเวอร์ 54
รูปที่ 3.58 ตัวอย่างไฟล์ที่ MATLAB Application สร้างขึ้นมา 54
รูปที่ 3.59 ตัวอย่างหน้าเว็บของปริญญานิพนธ์ผู้จัดทำ 54
รูปที่ 3.60 ตัวอย่างหน้าเว็บแอปพลิเคชัน 55
รูปที่ 4.1 สเปกตรัมที่ไม่มีการเฉลี่ย 57
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมที่ผ่านกระบวนการเฉลี่ย 57
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบกันระหว่างสเปกตรัมที่ไม่ผ่านกระบวนการและที่ผ่านกระบวนการ 58
รูปที่ 4.4 เส้นสเปกตรัมมาตรฐาน 58
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบสเปกตรัมกับสเปกตรัมมาตรฐานกสทช. 59
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างค่าสเปกตรัมเมื่อผ่านการลบกัน 60
รูปที่ 4.7 สเปกตรัมการแพร่นอกแถบจำลอง 60
รูปที่ 4.8 สเปกตรัมเมื่อถูกการแพร่แปลกปลอมจำลอง 61
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการควบคุมด้วยแอปพลิเคชัน 61
รูปที่ 4.10 ตัวอย่างการเปลี่ยนความถี่ 62
รูปที่ 4.11 ตัวอย่างการตรวจจับแพร่นอกแถบ 62
รูปที่ 4.12 การรายงานผลในไฟล์ .csv 63
รูปที่ 4.13 รูปภาพที่ระบบรายงานเก็บไว้ 63
รูปที่ 4.14 การตรวจสเปกตรัม FM ของวิทยุท้องถิ่น 64
รูปที่ 4.15 ระยะเวลาในการทำงานของโมเดล Thonburian-med-combined 77
รูปที่ 4.16 ระยะเวลาในการทำงานของโมเดล Thonburian-distilled-med-combined 77
รูปที่ 4.17 ระยะเวลาในการทำงานของโมเดล Thonburian-small-combined 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.18 การแสดงผลข้อความที่ถอดได้จากเสียง 78
รูปที่ 4.19 การแสดงผลการแปลงเป็นข้อความ 78
รูปที่ 4.20 ผลลัพธ์ของการทดสอบการตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม 79
รูปที่ 4.21 ตัวอย่างตรวจจับคำที่ไม่เหมาะสม 79
รูปที่ 4.22 ตัวอย่างการตรวจจับคำที่ไม่เหมาะสม 2 79
รูปที่ 4.23 เมทริกซ์ความสับสน 80
รูปที่ 4.24 การเพิ่มหน้าเว็บ 1 82
รูปที่ 4.25 การเพิ่มหน้าเว็บ 2 83
รูปที่ 4.26 แสดงข้อมูลปริญญานิพนธ์ 83
รูปที่ 4.27 แสดงสมาชิก 84
รูปที่ 4.28 การเรียกใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน 84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของ Raspberry Pi 5 2
ตารางที่ 2.2 ขอบเขตการแพร่นอกแถบ 9
ตารางที่ 2.3 ประสิทธิภาพแต่ละโมเดลของ Thonburian Whisper 11
ตารางที่ 2.4 การทดสอบเพื่อวัดความเร็วการอนุมานเฉลี่ยมาตรฐานบนไฟล์เสียง 1 นาที โดยใช้โมเดลขนาดต่าง ๆ 11
ตารางที่ 3.1 การแสดงฟังก์ชันการทำงานในการตรวจจับสเปกตรัม 19
ตารางที่ 3.2 สรุปการทำงานของฟังก์ชันภายในระบบ *audio2txt* 35
ตารางที่ 3.3 การแบ่งระดับความรุนแรงของคำหยาบคาย 39
ตารางที่ 3.4 ฟังก์ชันในการสื่อสารระหว่างไคลเอนต์กับเซิร์ฟเวอร์ 48
ตารางที่ 4.1 การคำนวณอัตราความผิดพลาดของคำที่ได้จากการถอดเสียงเป็นข้อความของแต่ละโมเดลของ Thonburian Whisper 65
ตารางที่ 4.2 การคำนวณอัตราความผิดพลาดของคำที่ได้จากการถอดเสียงเป็นข้อความของแต่ละโมเดล 76
ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์การประเมินของระบบ 81
ตารางที่ 4.4 สรุปประสิทธิภาพของระบบ 81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การออกอากาศของสถานีวิทยุกระจายเสียงยังคงเป็นสื่อที่มีผู้ฟังเป็นจำนวนมาก ทำให้การควบคุมเนื้อหาที่ออกอากาศนั้นมีความสำคัญเพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ฟังได้รับข้อมูลที่ไม่เหมาะสม และการตรวจสอบสเปกตรัม ช่วยให้การออกอากาศเหมาะสม ปลอดภัยต่อผู้ฟัง ป้องกันการรบกวนซึ่งกันและกัน และเป็นไปตามมาตรฐานตามที่กสทช. กำหนดไว้

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อเก็บข้อมูลและตรวจสอบการแพร่กระจายคลื่นของสถานีวิทยุกระจายเสียงปฏิบัติตามมาตรฐาน กสทช.

2) เพื่อเก็บข้อมูลและตรวจสอบสถานีวิทยุกระจายเสียงใช้คำที่ไม่อนุญาตในการโฆษณา

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์นี้ศึกษาและพัฒนาระบบตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสมและการตรวจสอบสเปกตรัมสำหรับการออกอากาศวิทยุ FM โดยการตรวจจับสเปกตรัม และเนื้อหาของช่องสัญญาณโดยการแปลงเสียงเป็นข้อความ และนำไปตรวจสอบโดยใช้การประมวลของปัญญาประดิษฐ์ พิจารณาใช้คำที่ไม่อนุญาตในการโฆษณา หรือไม่ได้อยู่ในมาตราฐานตามที่กสทช. กำหนดไว้ ก็จะเริ่มบันทึกเวลา วันที่ สถานที่ รูปร่างของสเปกตรัม และเนื้อหา ลงใน SD card ของ Raspberry Pi และส่งข้อมูลนี้ไปเก็บที่เซิร์ฟเวอร์เป็นฐานข้อมูล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้นำความรู้และแนวคิดมาประยุกต์ใช้งานจริงในการทำปริญญานิพนธ์

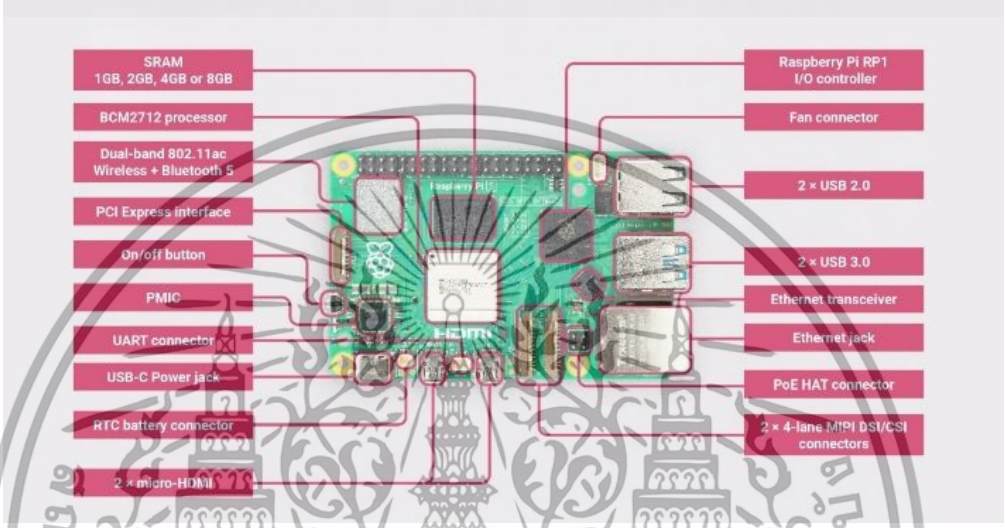
2) ได้เรียนรู้การถอดเสียงพูดเป็นข้อความ

3) ได้เรียนรู้การตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 Raspberry Pi 5



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของ Raspberry Pi 5

Raspberry Pi 5 เป็น Single Board คอมพิวเตอร์จากมูลนิธิ Raspberry Pi ในสหราชอาณาจักรเพื่อส่งเสริมการสอนวิทยาการคอมพิวเตอร์ขั้นพื้นฐานในโรงเรียนและประเทศกำลังพัฒนา ใช้ชิป Broadcom BCM2712 Quad-Core ARM Cortex-A76 ความเร็ว 2.4 GHz มีหน่วยความจำ LPDDR4X-4267 ขนาด 8 GB มาพร้อมชิป Wireless LAN แบบ Dual-Band รองรับ 2.4 GH และ 5 GHz พร้อมรองรับ Bluetooth 5.0 BLE มีพอร์ต LAN รองรับ Gigabit Ethernet พอร์ต USB 3.0 Host Type A จำนวน 2 พอร์ต และ USB 2.0 Host Type A จำนวน 2 พอร์ต มีพอร์ต micro-HDMI จำนวน 2 พอร์ต รองรับการเชื่อมต่อจอ 4K60P with HDR support นอกจากนี้ยังมีการใช้ชิป RP1 สำหรับแยกควบคุมการทำงานของ GPIO และมีปุ่มเปิด/ปิด เพิ่มขึ้นมาเพื่อความสะดวก

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของ Raspberry Pi 5

SoC Type (Processor)	Broadcom BCM2712
Core Type	Cortex-A72 64-bit (ARMv8)
No. of Cores	Quad-Core
CPU Clock	1.5 GHz - 1.8 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GPU	Video Core VI
GPU Clock	500 MHz
Multimedia/Graphic	H.265 decode (4Kp60) H.264 decode (1080p60) H.264 encode (1080p30) OpenGL ES 1.1, 2.0, 3.0 Graphics
OS storage	microSD NVMe or SATA SSD (จาก USB3.0)
RAM	LPDDR4-3200: 8GB, 4GB, 2GB and 1GB
Ethernet (RJ45)	Gigabit Ethernet
USB Port	2x USB 3.0 2x USB 2.0
HDMI	2x micro-HDMI รองรับ Dual Display
Wi-Fi	802.11 b/g/n/ac (2.4GHz + 5GHz & shielded)
Bluetooth	5.0 + BLE (Shielded)
Antenna	PCB Antenna
GPIO	40-Pin Headers
Dedicated Port	No
Real Time Clock (RTC)	No
Power Button	No
Camera Port (CSI)	1x 2 lane MIPI Camera CSI Port
Display Port (DSI)	1x 2 lane MIPI Display DSI Port
PCIe Interface	No
Operating System	Raspberry Pi OS Bullseye (> 24 June 2019)
Dimension	85mm x 56mm
Power Input	USB-C 5V PSU (สูงสุด 3A) 5V via GPIO header (สูงสุด 3A) Power over Ethernet, requires PoE+ HAT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 RTL-SDR

รูปที่ 2.2 RTL-SDR

RTL-SDR คือ อุปกรณ์ที่สามารถใช้เป็นเครื่องสแกนวิทยุด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อรับสัญญาณวิทยุที่กำลังออกอากาศอยู่ในขณะนั้น

Software Defined Radio (SDR) คือ องค์ประกอบของวิทยุ เช่น ตัวมอดูเลเตอร์ (Modulator) ตัวดีมอดูเลเตอร์ (Demodulators) และตัวปรับจูน (Tuner) มักจะถูกทำในรูปแบบของฮาร์ดแวร์แอนะล็อก การถือกำเนิดของการประมวลผลสมัยใหม่และตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ทำให้ส่วนประกอบส่วนใหญ่เหล่านี้ ซึ่งเดิมทีต้องใช้ฮาร์ดแวร์ สามารถถูกทำในรูปแบบซอฟต์แวร์แทนได้ จึงเป็นที่มาของคำว่า Software Defined Radio สิ่งนี้ทำให้การประมวลผลสัญญาณเป็นเรื่องง่ายและทำให้สามารถผลิตวิทยุสแกนเนอร์แบบแถบกว้าง (wide band scanner radios) ที่มีต้นทุนต่ำได้

ข้อมูลทั่วไปของ RTL-SDR V3

- Bandwidth: สูงสุด 2.4 MHz
- ADC: RTL2832U 8-bits
- ความถี่: 500 kHz – 1766 MHz (500 kHz – 24 MHz in direct sampling mode)
- Typical Input Impedance: 50 Ω
- Typical Current Draw: 270 – 280 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing; NLP)

การประมวลผลภาษาธรรมชาติ เป็นแขนงหนึ่งของวิทยาการคอมพิวเตอร์ (Computer Science) และเป็นหนึ่งในเทคโนโลยี AI ซึ่งเกี่ยวกับการทำให้คอมพิวเตอร์สามารถตีความและเข้าใจภาษามนุษย์ ทำให้สื่อสารและวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ออกมาได้เหมือนกับภาษาที่มนุษย์ใช้

โดยทั่วไปการประมวลผลภาษาธรรมชาติ มีวิทยาการพื้นฐานที่ประกอบด้วย ภาษาศาสตร์เชิงคำนวณ (Computational Linguistics), แบบจำลองบนกฎพื้นฐานของภาษามนุษย์, แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) รวมถึงสถิติต่าง ๆ

การพัฒนาการประมวลผลภาษาธรรมชาติ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เครื่องจักรสามารถเข้าใจและแปลงข้อมูลภาษามนุษย์ให้อยู่ในรูปแบบที่คอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลได้, รวมถึงสร้างปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ผ่านภาษาธรรมชาติ

2.3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ในการประมวลผลภาษาธรรมชาติ

1) สัทวิทยา (Phonology) จะทำการระบุเสียงพูดและตัวอักษรที่เกี่ยวข้องกับภาษาที่ถูกพูดออกมา รับรู้เสียงและแปลงเป็นตัวอักษรตามที่ผู้พูดออกมา

2) สัณฐานวิทยา (Morphology) เกี่ยวกับการแยกคำออกจากประโยค, การวิเคราะห์คำเป็นส่วน ๆ, การระบุรากศัพท์ (root words) และคำที่ผันแปลง

3) วากยสัมพันธ์ (Syntax) ใช้ในการวิเคราะห์ประโยคและโครงสร้างภาษา เป็นขั้นตอนที่ใช้เพื่อตรวจสอบว่าคำหรือประโยคที่ใช้มีความสอดคล้องกับกฎภาษาหรือไม่ และช่วยให้การประมวลผลภาษาธรรมชาติทราบว่าคำหรือประโยคมีความหมายอย่างไร

4) อรรถศาสตร์ (Semantics) ใช้เพื่อวิเคราะห์ความหมายของคำหรือประโยคและเข้าใจความหมายทางนามธรรมและบ่งบอกในเนื้อหา การใช้อรรถศาสตร์ช่วยให้การประมวลผลภาษาธรรมชาติสามารถเข้าใจความหมายและความหมายนามธรรมของคำและประโยค

5) วัจนปฏิบัติศาสตร์ (Pragmatics) ควบคุมความหมายของคำหรือประโยคในบริบททางสังคม เป็นขั้นตอนที่คำนวณรูปแบบในการสื่อสาร เช่น การสร้างคำถามและการตอบ การใช้ภาษาในบริบทที่แตกต่างกัน

2.3.2 ความสำคัญและประโยชน์ของการประมวลผลภาษาธรรมชาติ

1) การเข้าใจภาษามนุษย์ การประมวลผลภาษาธรรมชาติช่วยเครื่องจักรในการเข้าใจภาษามนุษย์ทั้งภาษาพูดและข้อความ ซึ่งเปิดโอกาสให้เครื่องจักรเรียนรู้และปฏิสัมพันธ์กับมนุษย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูล การประมวลผลภาษาธรรมชาติช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่และรวบรวมข้อมูลจากหลายแหล่งให้มีประสิทธิภาพขึ้น โดยสามารถสกัดข้อมูลที่มีความหมายออกมาจากข้อความ

3) การทำนายแนวโน้ม การประมวลผลภาษาธรรมชาติช่วยในการทำนายแนวโน้มต่าง ๆ ทั้งในธุรกิจและสังคม เช่น การทำนายแนวโน้มราคาหุ้น, การทำนายสภาพอากาศ หรือการทำนายความคิดเห็นของลูกค้า

4) การจัดการข้อมูลเชิงภาษา การประมวลผลภาษาธรรมชาติช่วยในการจัดการข้อมูลที่เป็นข้อความหรือเอกสาร ทำให้สามารถค้นหาข้อมูลและสกัดข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ

5) การวิเคราะห์ความรู้สึกและความคิดเห็น การประมวลผลภาษาธรรมชาติช่วยในการวิเคราะห์ความรู้สึกและความคิดเห็นของคนจากสื่อสังคมออนไลน์ เช่น การวิเคราะห์ความรู้สึกต่อสินค้าหรือบริการ

2.4 การถอดเสียงพูดเป็นข้อความ (Speech To Text)

การถอดเสียงพูดเป็นข้อความ หรือ Speech to Text หรือ Automatic Speech Recognition (ASR) คือ เทคโนโลยีแปลงเสียงเป็นข้อความ โดยจะเป็นการแปลงภาษาพูดของมนุษย์ให้เป็นข้อความเขียนด้วยกระบวนการทางคอมพิวเตอร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้คอมพิวเตอร์หรือเครื่องมือต่าง ๆ สามารถรับรู้และเข้าใจภาษาพูดของมนุษย์ได้ ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อได้อย่างหลากหลาย

โดยเทคโนโลยี Speech to Text นั้น ถือเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่พัฒนามาจาก AI หรือปัญญาประดิษฐ์ ที่พัฒนาขึ้นเพื่อการประมวลผลภาษาธรรมชาติ หรือ Natural Language Processing (NLP)

2.4.1 ประเภทของการถอดเสียงพูดเป็นข้อความ

ปัจจุบันการถอดเสียงพูดเป็นข้อความ (Speech to Text) มักพบได้ 2 รูปแบบ ได้แก่

1) การถอดเสียงพูดเป็นข้อความโดยการอัปโหลดไฟล์เสียง จากนั้นจะถอดเสียงพูดที่อยู่ในไฟล์ให้อยู่ในรูปตัวอักษร

2) การถอดเสียงพูดเป็นข้อความโดยการแปลงทันที จะถอดเสียงพูดในไฟล์เสียงให้อยู่ในรูปแบบตัวอักษรทันที พร้อมกับที่ไฟล์เสียงเล่นอยู่ด้วย

2.4.2 หลักการทำงานของเทคโนโลยี Speech to Text

1) การรับสัญญาณ โดยจากอุปกรณ์รับสัญญาณเสียงที่เชื่อมต่อหรืออยู่ในอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ไมโครโฟนบนโทรศัพท์มือถือ ไมโครโฟนที่มาพร้อมหูฟัง หรืออุปกรณ์เสียงอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การแปลงสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณดิจิทัลที่คอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลได้ โดยการแปลงคลื่นเสียงแอนะล็อกให้กลายเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งแบ่งได้เป็น 4 กระบวนการหลัก ดังนี้

- การสุ่มตัวอย่างสัญญาณ (Signal Sampling)
- การวัดปริมาณสัญญาณ (Signal Quantization)
- การเข้ารหัสสัญญาณดิจิทัล (Digital Encoding)
- การบีบอัดสัญญาณ (Signal Compression)

3) การวิเคราะห์สัญญาณดิจิทัลเพื่อดึงคุณลักษณะเสียง เพื่อจำแนกคุณลักษณะของเสียงโดยวิเคราะห์จากความถี่ ระยะเวลา และโทนเสียง

4) การจำลองภาษาโดยใช้โมเดลภาษา เพื่อวิเคราะห์ลำดับคุณลักษณะเสียง และคาดเดาคำหรือวลีที่พูดออกมา โดยอาศัยหลักการของการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing)

5) การแปลผลลัพธ์เป็นข้อความที่สมบูรณ์ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการคาดเดาของโมเดลภาษา มาแปลงเป็นแผนผังประโยค และปรับแก้ไขข้อผิดพลาดต่าง ๆ เพื่อแสดงผลเป็นข้อความที่สมบูรณ์ที่สุด

2.5 มาตรฐานทางเทคนิคเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงระบบเอฟเอ็ม

การกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงระบบเอฟเอ็มเพื่อให้มีความเหมาะสมต่อสภาพการณ์ทางเทคโนโลยี ป้องกันการรบกวนการใช้คลื่นความถี่ที่อาจจะเกิดขึ้นได้และเพื่อให้มาตรฐานทางเทคนิคของประเทศ มีความสอดคล้องกับข้อกำหนดของสากลมากขึ้น มาตรฐานทางเทคนิคนี้ กำหนดลักษณะทางเทคนิคขั้นต่ำของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงระบบเอฟเอ็ม (FM) ของสถานีวิทยุกระจายเสียงที่ได้รับการจัดสรรคลื่นความถี่ตามประกาศคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

2.5.1 มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียง (Transmitter Standard)

2.5.1.1 กำลังส่งที่กำหนด (Rated Output Power)

กำลังส่งที่กำหนด หมายถึงกำลังคลื่นพาห์ (Carrier Power) ของเครื่องส่งที่ต้องส่งไปยังขั้วต่อสายอากาศ กำลังคลื่นพาห์ที่วัดได้จากการทดสอบจะต้องมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน ± 0.5 dB ของกำลังส่งที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.2 การแพร่แปลกปลอม (Conducted Spurious Emission)

การแพร่แปลกปลอม หมายถึงการแพร่กระจายคลื่นที่ขั้วต่อสายอากาศที่ความถี่วิทยุใด ๆ ที่อยู่นอกเหนือจากแถบความถี่ที่จำเป็น (Necessary Bandwidth) และระดับกำลังของการแพร่แปลกปลอมนั้นยังสามารถถูกลดทอนได้โดยไม่มีผลกระทบกับข่าวสารที่ส่งไป ทั้งนี้หมายความรวมถึง

1) การแพร่ฮาร์มอนิก (Harmonic Emission) เป็นการแพร่แปลกปลอมซึ่งมีขนาดสเปกตรัมที่มีความถี่เป็นเท่าตัวของการแพร่ความถี่กลาง (Centre Frequency Emission)

2) การแพร่พาราซิติก (Parasitic Emission) เป็นการแพร่แปลกปลอมซึ่งถูกกำเนิดมาแบบไม่ได้ตั้งใจและเป็นอิสระต่อคลื่นพาห์ และความถี่ของตัวกำเนิดการสั่น

3) ผลจากการมอดูเลตระหว่างกัน (Intermodulation Product) การแพร่แปลกปลอมนี้เกิดขึ้นได้ระหว่าง การสั่นของคลื่นพาห์ซึ่งเป็นตัวกำเนิดคลื่นพาห์และการสั่นที่เกิดขึ้นเมื่อมีระบบการสื่อสารซึ่งใช้ตัวกำเนิดคลื่นตัวเดียวกัน

4) ผลจากการแปลงความถี่ (Frequency Conversion Product) การแพร่แปลกปลอมนี้ไม่นับรวมการแพร่ฮาร์มอนิก สามารถเกิดขนาดที่เป็นเท่าตัว บวกและ ลบ ของตัวความถี่กลางได้

กำลังของการแพร่แปลกปลอมต้องต่ำกว่าค่ากำลังคลื่นพาห์ (Carrier Power) ในขณะที่ไม่มีการมอดูเลต อย่างน้อยที่สุดตามสูตรค่านวณที่กำหนด ดังนี้

46 + 10 log P หรือ 70 dBc โดยให้เลือกใช้ค่าที่ต่ำกว่า

โดยที่ P หมายถึง กำลังส่งที่กำหนด

2.5.2 การแพร่นอกแถบ (Out-of-band Emission)

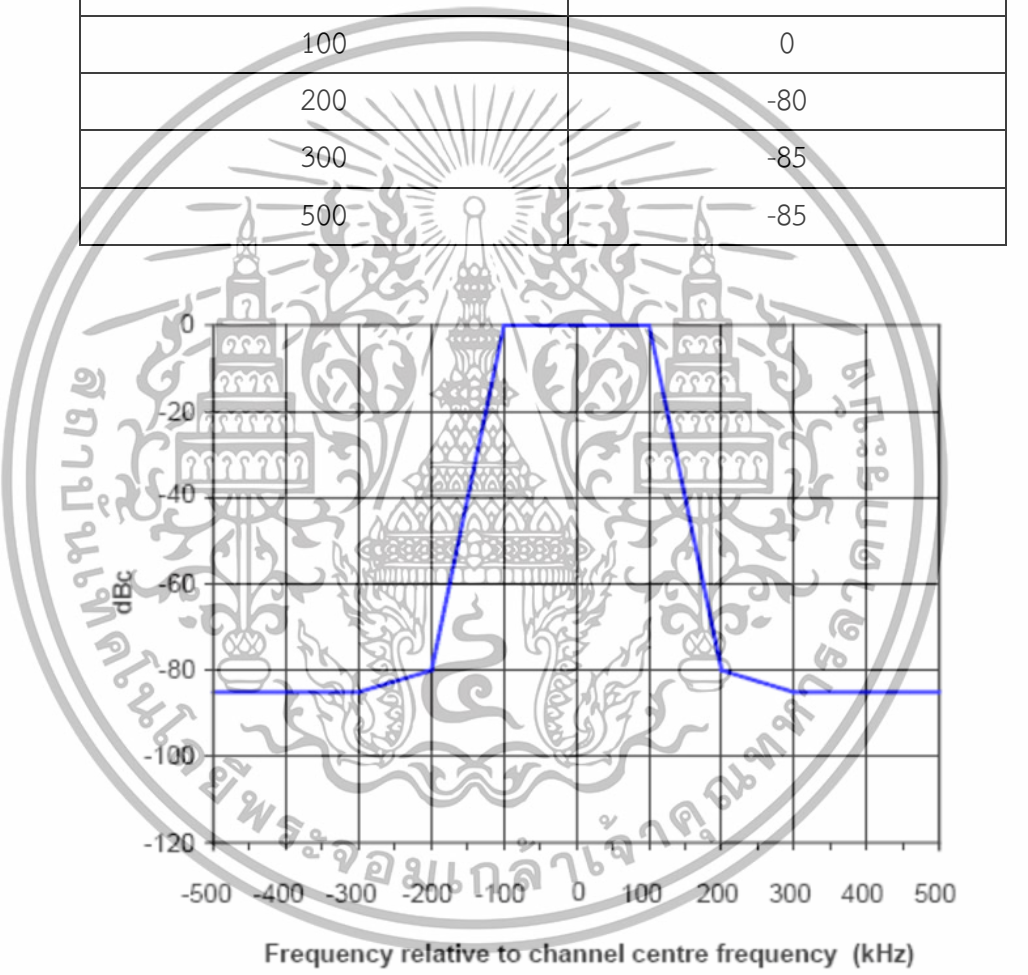
การแพร่นอกแถบ หมายถึงการแพร่ที่ขั้วต่อสายอากาศที่ความถี่วิทยุใด ๆ ที่อยู่นอกเหนือแถบความถี่ที่จ่าเป็น (Necessary Bandwidth) ในขณะที่มีการมอดูเลตความถี่เสียงตามที่กำหนดโดยไม่รวมถึงการแพร่แปลกปลอม (Spurious Emission) การแพร่นอกแถบต้องอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดตาม[4]

ตารางที่ 2.2 และที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ขอบเขตการแพร่นอกแถบ

ระยะห่างจากความถี่คลื่นพาห์ (kHz)	ระดับกำลัง (dBc)
-500	-85
-300	-85
-200	-80
-100	0
100	0
200	-80
300	-85
500	-85



รูปที่ 2.3 ขอบเขตการแพร่นอกแถบ

2.5.2.1 ค่าผิดพลาดทางความถี่ (Frequency Error)

ค่าผิดพลาดทางความถี่ หมายถึงค่าแตกต่างระหว่างความถี่คลื่นพาห์ในขณะที่ไม่มีการมอดูเลตกับความถี่ที่ระบุ (Nominal Frequency) ของภาคเครื่องส่ง

ค่าผิดพลาดทางความถี่ต้องไม่เกิน ± 2 กิโลเฮิรตซ์ (kHz) ของความถี่คลื่นพาห์ในขณะที่ไม่มีการมอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.2 ค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ (Frequency Deviation)

ค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ หมายถึงค่าแตกต่างที่มากที่สุดระหว่างความถี่ขณะใดขณะหนึ่ง (Instantaneous Frequency) เมื่อมีการมอดูเลตกับความถี่คลื่นพาห์ในขณะที่ไม่มีการมอดูเลต โดยค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ต้องไม่เกิน ± 75 กิโลเฮิรตซ์ (kHz)

2.6 พระราชบัญญัติ การประกอบกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์

การเฝ้าระวังเนื้อหารายการผิดกฎหมายผู้บริโภคสื่อวิทยุ เนื่องจากประเทศไทยมีการตรากฎหมายในพระราชบัญญัติการประกอบกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์ - พ.ศ.2551 มาตรา 37 ว่าด้วย “มาตรา๓๗ ห้ามมิให้ออกอากาศรายการที่มีเนื้อหาสาระที่ก่อให้เกิดการล้มล้างการปกครองในระบอบประชาธิปไตยอันมีพระมหากษัตริย์ทรงเป็นประมุข หรือที่มีผลกระทบต่อความมั่นคงของรัฐ ความสงบเรียบร้อยหรือศีลธรรมอันดีของประชาชน หรือมีการกระทำซึ่งเข้าลักษณะลามกอนาจารหรือมีผลกระทบต่อการให้เกิดความเสื่อมทรามทางจิตใจหรือสุขภาพของประชาชนอย่างร้ายแรง

ผู้รับใบอนุญาตมีหน้าที่ตรวจสอบและให้ระงับการออกอากาศรายการที่มีลักษณะตามวรรคหนึ่งหากผู้รับใบอนุญาตไม่ดำเนินการให้กรรมการซึ่งคณะกรรมการมอบหมายมีอำนาจสั่งด้วยวาจา หรือเป็นหนังสือให้ระงับการออกอากาศรายการนั้นได้ทันทีและให้คณะกรรมการสอบสวนข้อเท็จจริงกรณีดังกล่าวโดยพลัน

ในกรณีที่คณะกรรมการสอบสวนแล้วเห็นว่าการกระทำดังกล่าวเกิดจากการละเลยของผู้รับใบอนุญาตจริง ให้คณะกรรมการมีอำนาจสั่งให้ ผู้รับใบอนุญาตดำเนินการแก้ไขตามที่สมควรหรืออาจพักใช้หรือเพิกถอนใบอนุญาตก็ได้

2.7 Pre-trained model ที่แปลง Speech-to-Text

2.7.1 Thonburian Whisper

โมเดล Thonburian Whisper เป็นโมเดลถอดความจากเสียงพูดภาษาไทยจากบริษัท ลูลู่ เทคโนโลยี จำกัด (looloo technology) ร่วมกับ อ.ดร.ฐิติพัทธ อัชชะกุลวิสุทธิ์, อติรุจ บริบาลบุรีภัณฑ์ และ Mr. Zaw Htet Aung คณะวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล พัฒนาโมเดลถอดความเสียงพูดภาษาไทย (Automatic Speech Recognition, ASR) ใช้ชื่อว่า ธนบุเรี่ยนวิสเปอร์ (Thonburian Whisper) ที่พัฒนาเพิ่มเติมจากโมเดล Whisper ของ OpenAI ระหว่างงาน Hugging face Whisper Fine-tuning

โมเดลถูกนำมาเรียนรู้เพิ่มเติมด้วยข้อมูลเปิดภาษาไทย ได้แก่ Common voice ที่เป็นชุดข้อมูลเปิดจากการบริจาคเสียงภาษาไทย, ข้อมูลเปิดของ Gowajee โดยบริษัท Gowajee, และข้อมูลเปิดของ Thai Elderly Dataset โดยบริษัท VISAI และ Data Wow ที่มีข้อความเสียงรวมความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยาวกว่า 161 ชั่วโมงเพื่อให้ทำงานได้ดีกับภาษาไทย โดย Thonburian Whisper มีขนาด 770 ล้านพารามิเตอร์ วัดผลด้วยข้อมูลชุดเทสของ Common voice 11 ได้ความผิดพลาดระดับคำ (Word error rate, WER) เท่ากับ 9.17 ทัดเทียมโมเดล ASR ในปัจจุบัน

ตารางที่ 2.3 ประสิทธิภาพแต่ละโมเดลของ Thonburian Whisper

โมเดล	WER (Commonvoice 13)
Thonburian Whisper (small)	11.0
Thonburian Whisper (medium)	7.4
Thonburian Whisper (large-v2)	7.6
Thonburian Whisper (large-v3)	6.5
Distilled Thonburian Whisper (small)	11.2
Distilled Thonburian Whisper (medium)	7.6
Distilled Thonburian Whisper (large)	6.82
Thonburian Whisper (medium-timestamps)	15.57

โดยที่ WER คืออัตราความผิดพลาดของคำที่ได้จากการถอดเสียงเป็นข้อความ

ตารางที่ 2.4 การทดสอบเพื่อวัดความเร็วการอนุมานเฉลี่ยมาตรฐานบนไฟล์เสียง 1 นาที โดยใช้โมเดลขนาดต่าง ๆ

โมเดล	ความจุที่ใช้ (MB)	Inference time (sec / 1 min)	จำนวนพารามิเตอร์
Thonburian Whisper (small)	931.93	0.50	242M
Thonburian Whisper (medium)	2923.05	0.83	764M
Thonburian Whisper (large)	6025.84	1.89	1540M
Distilled Thonburian Whisper (small)	650.27	4.42	166M
Distilled Thonburian Whisper (medium)	1642.15	4.36	428M
Distilled Thonburian Whisper (large)	3120.05	4.25	809M

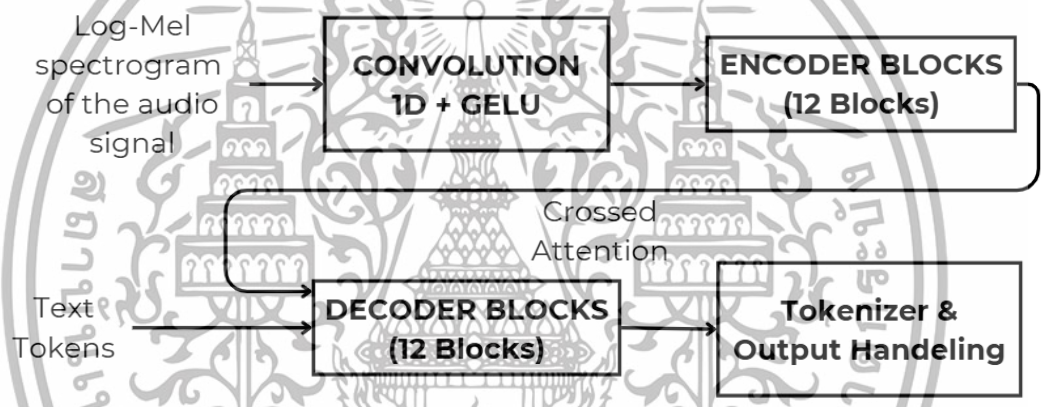
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thonburian Whisper (Standard Models) โมเดลเหล่านี้เป็นเวอร์ชันปรับแต่งของ Whisper ของ OpenAI ซึ่งเหมาะสมสำหรับ ASR ของไทย

1. Small: ประสิทธิภาพที่สมดุลพร้อมความต้องการทรัพยากรที่ต่ำ
2. Medium: ทางเลือกที่ดีที่สุดระหว่างความแม่นยำและทรัพยากรขนาดพอดี
3. Large-v2/v3: ความแม่นยำสูงสุด แต่ใช้ทรัพยากรมากขึ้น

Distilled Thonburian Whisper Models โมเดลเหล่านี้เป็น Distilled Thonburian Whisper ขนาดใหญ่กว่าซึ่งให้ประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

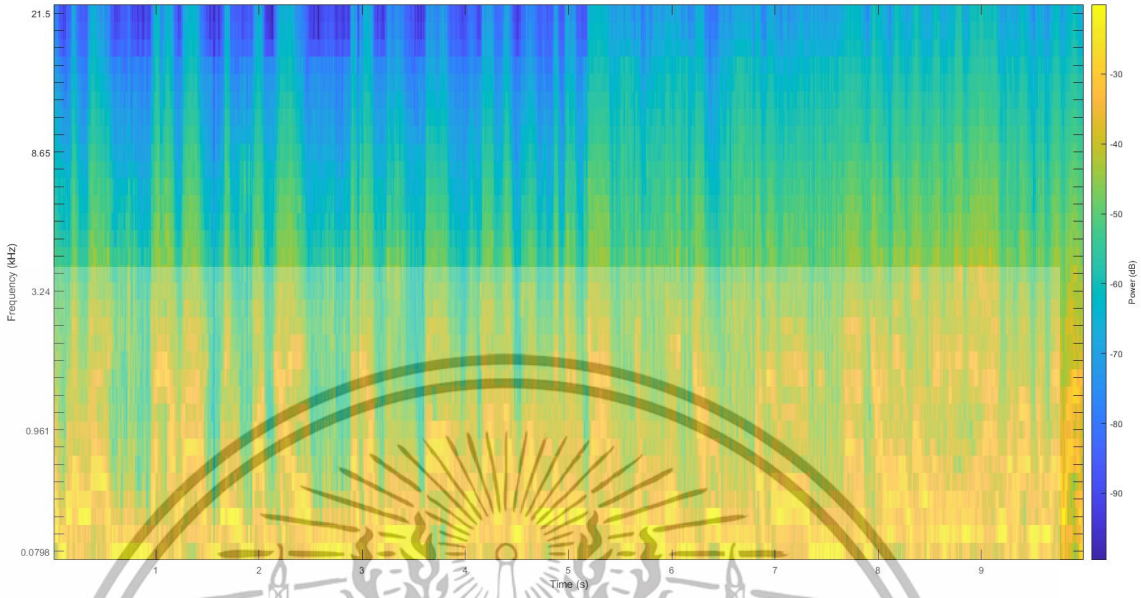
1. Distilled Medium: ถอดรหัส 4 ชั้น มาจากโมเดล Medium Whisper ASR
2. Distilled Small: ถอดรหัส 4 ชั้น มาจากโมเดล Small Whisper ASR



รูปที่ 2.4 การทำงานของโมเดล Whisper-small

โดย Thonburian Whisper (small) นั้นเป็นโมเดลที่ถูกฝึกเพื่อให้คุ้นเคยกับภาษาไทยมากขึ้นโดยใช้โมเดล Whisper small รูปแบบบล็อกนี้ของโมเดลนี้นั้นเป็นเหมือนกันถ้าไม่ใช่ Distilled model แต่จะแตกต่างกันที่จำนวนบล็อกของ Decoder/ Encoder blocks จากรูปที่ 2.4 นั้นเริ่มจากการเตรียมข้อมูลล่วงหน้า (preprocess) โดยแปลงรูปคลื่นของเสียงพูดให้กลายเป็นรูปแบบ *Log-Mel spectrogram*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างของ Log-Mel spectrogram ของเสียงที่จับได้จากวิทยุกระจายเสียง FM

โดย Log-Mel spectrogram โดยแรกเริ่มเดิมทีการที่จะทำให้โมเดลรู้จักกับคำเสียงพูดนั้นต้องอาศัยการได้ยินเสียงของมนุษย์โดยเสียงนั้นคือการคลื่นสั่นสะเทือนเชิงกลโดยต้องมีตัวกลางค่อยนำพาคลื่อนสั่นสะเทือนเข้าไปยังอุปกรณ์รับคลื่อนเสียง เช่น หูของมนุษย์ โดยเสียงนั้นจะเป็น continuous signal ซึ่งในแต่ละช่วงเวลาใน continuous signal จะมีค่าเป็นอนันต์แต่คอมพิวเตอร์นั้นต้องอาศัยที่เป็น discrete signal ซึ่งคอมพิวเตอร์นั้นจะคอยสุ่มตัวอย่างของคลื่นเสียงโดยปกติจะมีความถี่สุ่มตัวอย่างประมาณ 44,100 Hz เมื่อได้คลื่อนเสียงเข้ามาจะพบว่าภายในคลื่นเสียงจะมีองค์ประกอบความถี่ที่หลากหลายและมีขนาดที่ไม่แน่นอนทำให้เกิดเอกลักษณ์ของเสียง คำพูดในแต่ละคลื่นเสียงโดยจะดึงเอกลักษณ์เสียงจากความถี่ที่ปล่อยออกมาแต่เท่านั้นยังไม่พอเพราะสเปกตรัมเสียง มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเสียงคำพูดที่เปลี่ยนไปตามเวลา ถ้าจะแสดงเอกลักษณ์ของเสียงในช่วงเวลาดังกล่าว จึงแสดงเป็น spectrogram โดยที่แกน x นั้นเป็นเวลา และ แกน y เป็นความถี่ spectrogram จะแสดงสีเพื่อแสดงขนาด หรือ Amplitude เป็นขนาดของความถี่แต่ละความถี่ที่แสดงออกมาในแต่ละช่วงเวลา แต่ว่าขนาด Logarithms ปกติก็ยังไม่ได้ออกแบบตามการได้ยินมนุษย์จึงต้องมีการแปลงเป็นหน่วยของเมล โดยปกติมนุษย์จะได้ยินเสียงเชิงหน่วย Log เช่นว่า มนุษย์ปกติสามารถแยกเสียงระหว่าง 100 Hz ถึง 200 Hz ได้แต่ไม่สามารถที่จะแยกเสียงระหว่าง 10,200 Hz ถึง 10,300 Hz ได้ Mel จึงสามารถแทนการได้ยินของมนุษย์ได้

จากรูปที่ 2.4 นั้นเมื่อได้ข้อมูลที่แสดงถึงการได้ยินเสียงของมนุษย์ได้เข้าที่ Block ของ 1D Convolution layer โดยภายใน Whisper นั้นจะมี 2 layer ของ 1D Convolution layer โดยจะนำเข้า ลำดับข้อมูล 1 มิติ โดยภายในนั้นจะมีการฟิลเตอร์คอนโวลูชัน โดย kernel size เป็นขนาด

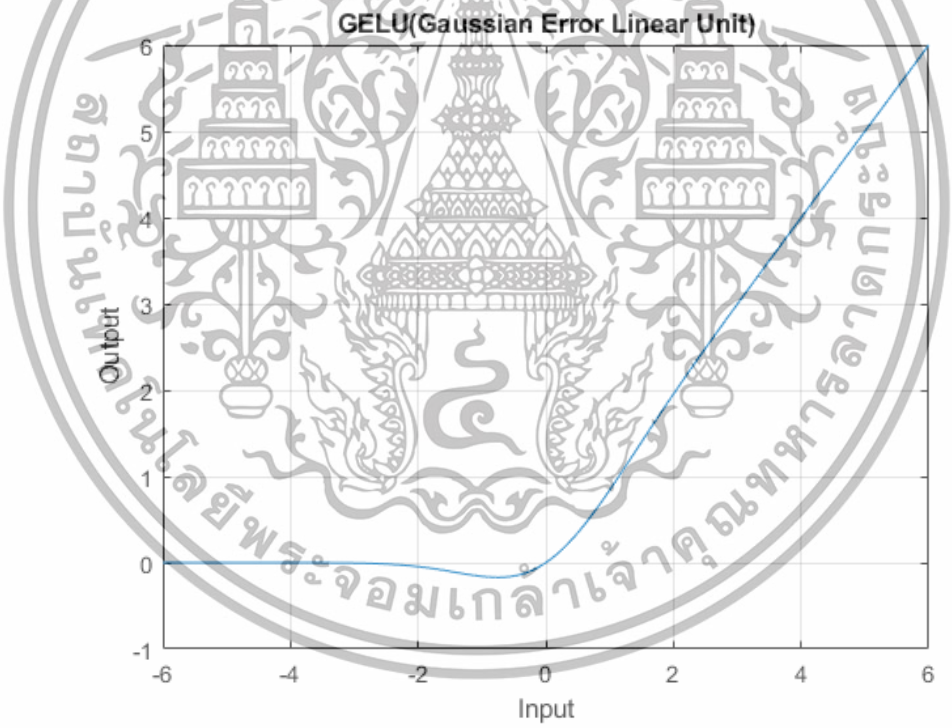
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 x 1 และ stride มีค่าเป็น 1 แปลว่าจะมีขนาดบล็อกไว้คอนโวลูชันฟิลเตอร์เป็น 3 x 1 จะมีการ step ค่าไปทีละ 1 ค่าจากนั้นจะเข้าสู่ Activation Function โดยใช้ GELU(Gaussian Error Linear Unit) ซึ่งเป็น ฟังก์ชันกระตุ้นแบบไม่เชิงเส้นโดยจะคัดเลือกคุณลักษณะสำคัญของเอาต์พุตของเลเยอร์คอนโวลูชันอย่างละเมียด เนื่องจากว่าการใช้ GELU นั้นจะยังสนใจอินพุตแม้ว่าจะมีค่าที่เล็กน้อยยังสามารนำไป weight ได้อีกทั้งยังสามารถช่วยรักษาคุณลักษณะของ input spectrogram ได้อีก

โดยสมการของ GELU เป็นดังนี้

$$GELU(x) = x \cdot \Phi(x) \tag{2.1}$$

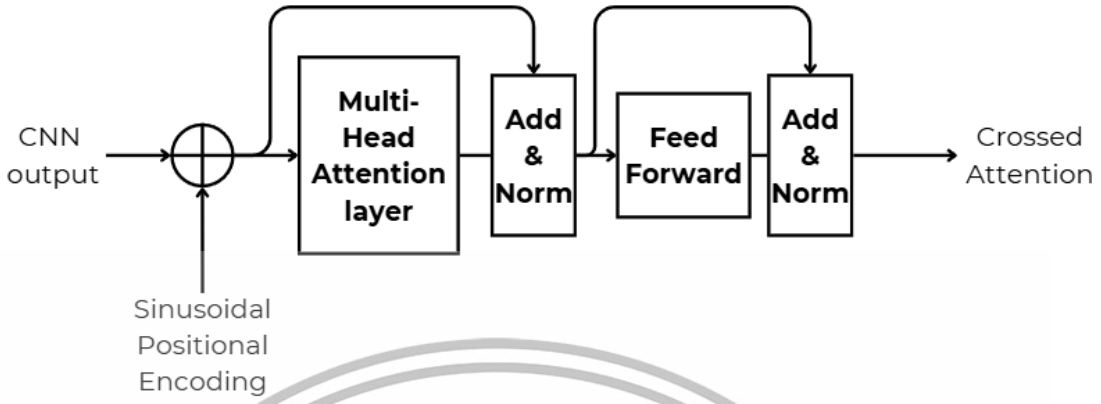
โดย $\Phi(x)$ นั้นเป็นฟังก์ชันการกระจายตัวของเกาส์เซียน (Gaussian) แบบสะสม (Cumulative)และกราฟตัวอย่างของ GELU สามารถดูได้จากรูปที่ 2.6 กราฟฟังก์ชันของ GELU



รูปที่ 2.6 กราฟฟังก์ชันของ GELU

จากนั้นผลลัพธ์ของการตัดสินใจด้วยฟังก์ชันกระตุ้นนี้จะไปส่งออกไปยัง Encoder Block โดยจะแสดงบล็อกการทำงานของ Encoder ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การทำงานของ Encoder Block

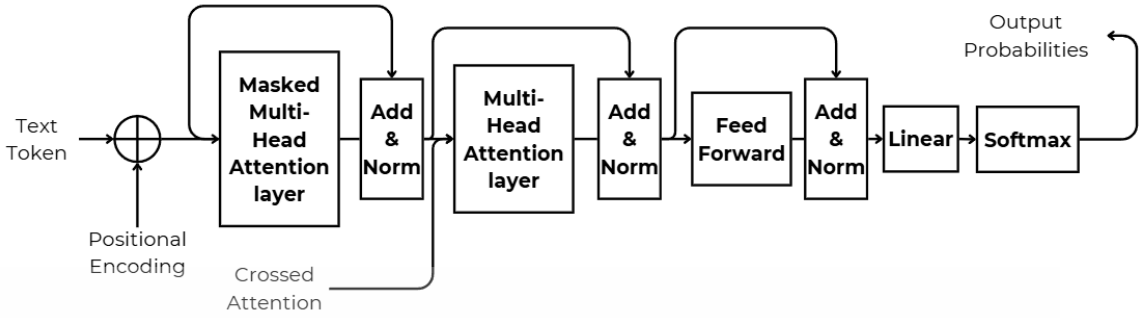
โดยเริ่มจากการทำ Sinusoidal Positional Encoding เนื่องจากใน Transformers ซึ่งเป็นสถาปัตยกรรมการเรียนรู้เชิงลึกรูปแบบหนึ่งไม่เหมือนกับ RNNs เพราะไม่สามารถรับรู้ลำดับข้อมูลที่เข้ามาได้จึงได้มีการเข้ารหัสเพื่อรับรู้ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในข้อมูล จากนั้นนำเข้าไปยัง Multi-Head Attention Layer ซึ่งเป็นการใช้การ Attention ซึ่งเป็นการโฟกัสเฉพาะคำในการทำงานของ NLP (Natural Language Processing) นำ Attention มาต่อขนานกันเพื่อใช้ในหลาย ๆ คำเชื่อมต่อถึงกัน จากนั้นมีการใช้แนวคิดของ Self-Attention คือ นำคำทุกคำในประโยคมาเปรียบเทียบกันเอง ให้โมเดลเรียนรู้ และเลือกเองว่าจะสนใจคำไหน เมื่อไร ด้วยการแปลง Input เป็น 3 เวกเตอร์ คือ

- Q - Query ซึ่งเอาไว้จับคู่ กับ Key
- K - Key ซึ่งเอาไว้จับคู่ กับ Query
- V - Value คือค่าที่จะนำไปเข้าร่วมจากสัดส่วน Score ผลลัพธ์การจับคู่ของสองเวกเตอร์

การคำนวณเวกเตอร์ Q, K และ V จะคำนวนจากการคูณ Input เข้ากับ Weight Matrix WQ, WK, WV หรือก็คือ Linear Layer ธรรมดานี่เอง โดย Weight เหล่านั้นก็จะเป็น Learned Parameter ที่โมเดลจะเรียนรู้ขึ้นมาเอง จากการเทรนด้วยวิธีการลดเกรเดียนต์(Gradient Descent)

จากบล็อก Add & Norm นั้นจะทำการเพิ่ม output จากการทำ Multi-Head Attention เพื่อเพิ่มความสม่ำเสมอในการฝึกข้อมูลจกานั้นทำการใช้ Feed Forward ซึ่งเป็นการเรียนรู้เชิงลึกซึ่งในทีนี้ทาง Transformer ไม่ได้บอกรายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างนี้จากนั้นส่งออกเพื่อนำข้อมูลนี้เข้าไปจับคู่กับทางฝั่งของ Decoder Block โดยเรียกว่า การ Crossed Attention ดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การทำงานของ Decoder Block

โดย decoder block มีหน้าที่ในการสร้างคำพูดขึ้นมาจากข้อมูลนำเข้าต่าง ๆ ซึ่งจะมีการนำเข้า Text Token ซึ่งมีอยู่ภายในโมเดลและคุณลักษณะเสียงที่ถูกเข้ารหัสที่ข้ามมาจาก Encoder Block โดยจะเข้ามาภายใน Masked Multi-Head Attention Layer ซึ่งจะทำงานคล้ายคลึงกับทาง Multi-Head attention layer แต่มีการจำกัดเพื่อไม่ให้โมเดลได้เห็นข้อความในตำแหน่งของอนาคตเพื่อคงความแม่นยำภายในโมเดลจากนั้นก็ทำเหมือนกับที่ Encoder ได้อธิบายไว้ จากนั้นได้ทำการเข้า SoftMax เพื่อหาความน่าจะเป็นของโทเคนนั้น ๆ จากนั้นความน่าจะเป็นเข้าการจัดการโทเคนและจัดการข้อมูลเพื่อให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นคำพูดที่มนุษย์สามารถเข้าใจได้

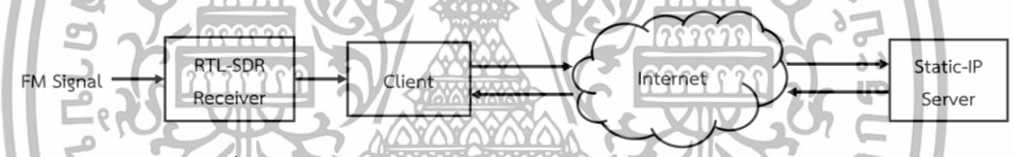
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

3.1 การออกแบบ

3.1.1 การออกแบบการตรวจจับการแพร่แปลกปลอมของสเปกตรัม

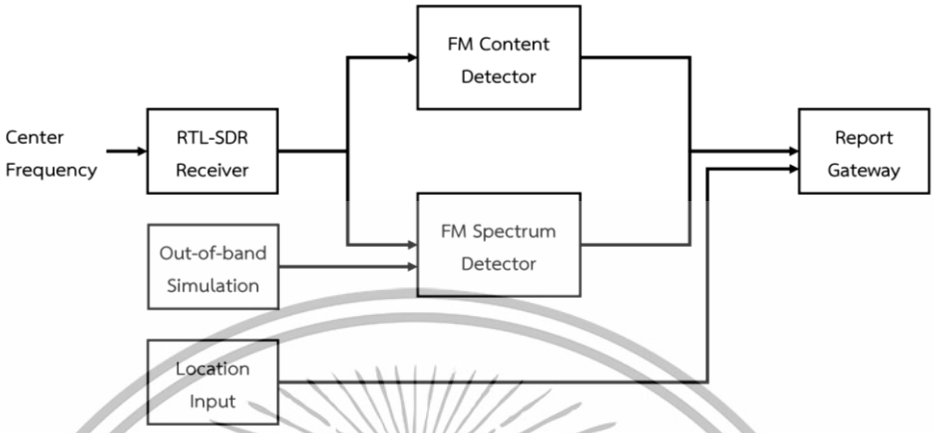
ปริญญานิพนธ์นี้นำเอาเทคโนโลยี “ซอฟต์แวร์เป็นผู้กำหนดวิทยุ” (Software Define Radio) เข้ามาใช้ในการตรวจจับการแพร่แปลกปลอมของเสาส่งสัญญาณวิทยุ FM เพื่อป้องกันการรบกวนซึ่งกันและกันในแต่ละสถานี ซอฟต์แวร์เป็นผู้กำหนดวิทยุสามารถนำข้อมูลจากสัญญาณ FM เข้ามาประมวลผลได้ทันทีและมีความสะดวกในการใช้งาน โดยการนำข้อมูลเข้ามาคำนวณต่าง ๆ ในทางคณิตศาสตร์ เพื่อแยกแยะว่า ณ สถานีช่องใดของ วิทยุ FM นั้นมีการแพร่แปลกปลอมรวมถึงมีการเก็บข้อมูลการแพร่แปลกเก็บเข้าเซิร์ฟเวอร์ซึ่งประกอบไปด้วย รูปภาพของสเปกตรัมที่เกิดการแพร่แปลก วันที่ เวลา สถานที่ คำพูด และเสียงพูด ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ระบบภาพรวมการออกแบบปริญญานิพนธ์โดยรวม

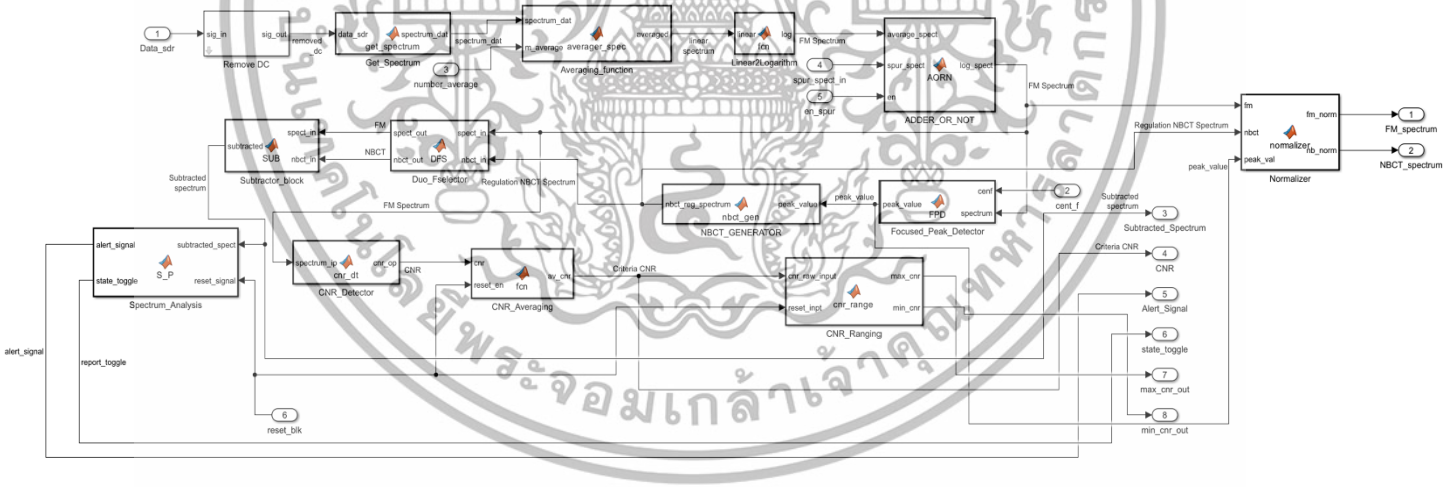
การออกแบบโดยภาพรวมนั้นโดยเริ่มจากการนำเข้าสัญญาณวิทยุ FM เข้ามาภายในระบบด้วยอุปกรณ์ ซอฟต์แวร์เป็นผู้กำหนดวิทยุ ด้วยการสื่อสารผ่าน USB (ยูเอสบี) จาก Client (ลูกข่าย) นั้นจะทำการใช้โปรแกรม MATLAB (แมทแลป) Simulink (ซิมมูลิงก์) และ MATLAB App Designer (แมตแลปแอปดีไซน์เนอร์) ในการทำงานวิเคราะห์ข้อมูลจากวิทยุ FM สามารถกำหนดสั่งการวิทยุในการตรวจสอบต่าง ๆ จากนั้นส่งข้อมูลข้ามเครือข่ายเพื่อไปยังแม่ข่าย อีกทั้งสามารถส่งคำสั่งมายังลูกข่ายเพื่อตรวจสอบลูกข่ายและควบคุมได้เมื่อมีการเชื่อมต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 บล็อกการทำงานโปรแกรมจัดการภายในเครื่องลูกข่าย

ในการทำงานภายโปรแกรมของเครื่องลูกข่ายจะค่อยทำงานทั้งหมดในการตรวจจับทั้งสเปกตรัมและเนื้อหาภายในวิทยุ FM ไปพร้อม ๆ กันแบบขนานกันโดยในเนื้อหาส่วนนี้จะเน้นไปยังการตรวจจับทางสเปกตรัม (FM Spectrum Detector) ว่ามีการทำงานอย่างไร



รูปที่ 3.3 บล็อกการทำงานของ FM Spectrum Detector

มีการทำงานของ Function หลาย ๆ ตัวเพื่อที่จะทำให้ผลลัพธ์ในการทำงานเป็นไปตามที่ผู้จัดทำคาดหวังไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การแสดงฟังก์ชันการทำงานในการตรวจจับสเปกตรัม

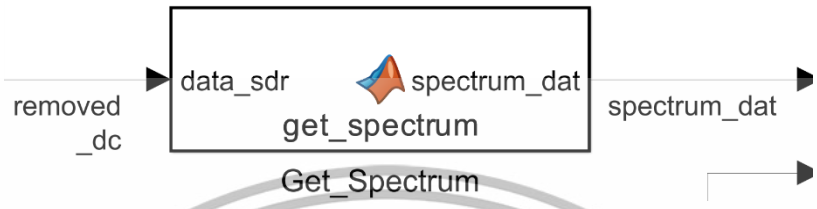
Function	Inputs	Outputs	Description
Remove DC	Data_sdr (4096 x 1) single	Removed_DC (4096 x 1) single	การกรองไฟกระแสสลับออกเพื่อลบสัญญาณรบกวน
Get_Spectrum	Removed_DC (4096 x 1) single	Linear spectrum (1024 x 1) single	ทำการแปลงสัญญาณในทางเวลาให้เป็นสัญญาณในทางความถี่พร้อมกับการลดจำนวนตัวอย่างลง
Averaging_function	spectrum_dat (4096 x 1) single m_average double	averaged (1024 x 1) single	ทำการเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นภายในสเปกตรัม
Linear2Logarithms	Linear spectrum (1024 x 1) single	FM Spectrum (1024 x 1) single	การแปลงตัวเลขในหน่วยเชิงเส้นให้กลายหน่วยเชิงลอการิทึมในหน่วย dBm
ADDER_OR_NOT	FM Spectrum (1024 x 1) single Spur_spect_in (1024 x 1) single En_spur (double)	FM Spectrum (1024 x 1) single	เป็นการตัดสินใจการเพิ่มสัญญาณที่ทำให้เกิดการเกินนอกแบนท์วิชที่จำเป็นของความถี่กลางที่ตรวจสอบ
Focused_Peak_Detector	cent_f (double) FM Spectrum (1024 x 1) single	Peak_value (single)	ฟังก์ชันที่ทำการหากำลังที่สูงสุดในความถี่กลางนั้น ๆ
NBCT_Generator	Peak_value (single)	Regulation NBCT Spectrum (1024 x 1) single	ผลิตสเปกตรัมที่เป็นข้อจำกัดของกำลังเกินความกว้างของสเปกตรัมที่ตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duo_Fselector	spect_in (1024 x 1) single nbct_in (1024 x 1) single	spect_out (106 x 1) single nbct_out (106 x 1) single	ทำการลดจำนวนสเปกตรัมให้เหลือแค่ส่วนตรงกลางความถี่ของสเปกตรัมและสเปกตรัมจำกัดความกว้างความถี่
Subtractor_block	spect_in (1024 x 1) single nbct_in (1024 x 1) single	subtracted (106 x 1) single	เป็นการหักลบของสเปกตรัมโดยให้ข้อจำกัดตั้งหักลบด้วยสเปกตรัมในช่วงเวลานั้น
Spectrum_Analysis	subtracted_spect (106 x 1) single	alert_signal (double) state_toggle (double)	เป็นการวิเคราะห์สเปกตรัมที่หักลบกันเพื่อตัดสินใจว่าสเปกตรัมที่รับเข้ามานั้นมีการแพร่นอกแถบ
CNR_Detector	spectrum_ip (1024 x 1) single	cnr_op (single)	คำนวณค่า CNR จากสเปกตรัมที่ตรวจสอบ
CNR_Averaging	cnr (single) reset_en (double)	av_cnr (single)	ทำการ Moving Average ค่า CNR เพื่อทำให้ค่ามีความจำเพาะในแต่ละสเปกตรัม
CNR_Ranging	cnr_raw_input (single) reset_inpt (double)	max_cnr (single) min_cnr (single)	ทำงานโดยการสร้างช่วงของสเปกตรัมเพื่อในการศึกษาลักษณะจำเพาะในแต่ละสเปกตรัม
Normalizer	fm (1024 x 1) single nbct (1024 x 1) single peak_val single	fm_norm (1024 x 1) single nb_norm (1024 x 1) single	ทำการนอร์มอลไลซ์สเปกตรัมทำให้ค่าสูงสุดของช่วงความถี่กลางให้เท่ากับศูนย์เสมอ

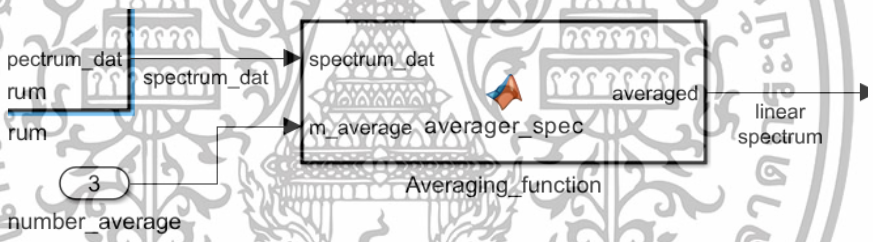
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเริ่มจากการนำเข้าข้อมูลของ “Data_sdr” เป็นการนำเข้าข้อมูลดิบของ เครื่องรับจาก RTL-SDR เข้ามาจากนั้นทำการกรอง ไฟกระแสตรงออกเพราะไม่ได้ใช้ในการทำงานจากนั้นเข้าสู่การทำงานของ “Get Spectrum” ในการดึงข้อมูลในโดเมนความถี่



รูปที่ 3.4 บล็อกของสเปกตรัมที่ได้รับ

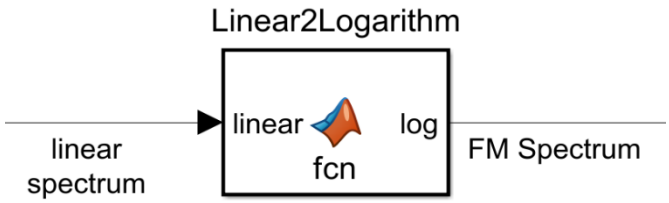
โดยนำเข้าข้อมูลจาก RTL-SDR ที่ถูกกรองไฟตรงออกไปจากนั้นจะทำการแปลงข้อมูลทางเวลาให้เป็นความถี่และทำการแปลงตัวอย่างค่าให้กลายเป็น 1024 เพื่อลดการทำงานของคอมพิวเตอร์จากนั้นทำการหาขนาดและเปลี่ยนตำแหน่งให้เป็นสเปกตรัมด้านลบและด้านบวกจึงได้สเปกตรัมที่ออกมา



รูปที่ 3.5 บล็อกของฟังก์ชันการเฉลี่ย

การทำงานของบล็อกนี้โดยเริ่มจากการสร้างตัวแปรที่สามารถจดจำค่าตัวแปรไว้ได้ถึงแม้มีการทำงานซ้ำ persistent ไว้เพื่อเก็บค่าสเปกตรัมจากนั้นประกาศเอาต์พุตไว้เพื่อเป็นการประกาศขนาดที่คงที่เพราะว่า ในโปรแกรม Simulink นั้นแนะนำในการทำงานแบบ ขนาดคงที่เสมอโดยในการเลื่อนค่านั้นมีการกำหนดขนาดสูงสุดที่ตัวแปรสามารถเก็บไว้ได้ในที่นี้จะเก็บสเปกตรัมที่ไว้เฉลี่ยได้ 128 ค่าจากนั้นโปรแกรมจะทำการเก็บสเปกตรัมขนาด 1024 ไว้ในตัวแปรที่เก็บได้ 128 ค่าโดยเมื่อเก็บค่าครบ 128 ค่า แล้วทำ First In First Out ทำการดึงค่าเก่าสุดออกและเอาค่าใหม่มาแทนจากนั้นทำการเฉลี่ยเมื่อจำนวนที่เก็บเข้ามาได้มีครบตามจำนวนการเฉลี่ยในที่นี้คือ 32 ค่าเพียงเท่านี้เมื่อทำงานไปเรื่อย ๆ จะพบว่าสัญญาณรบกวนในตอนแรกได้หายไปและสามารถสังเกตสเปกตรัมได้เทียบเท่ากับการใช้เครื่อง Spectrum Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 บล็อกการแปลงเชิงเส้นเป็นยกกำลัง

รูปที่ 3.6 เป็นการแปลงหน่วยจากเชิงเส้นเป็นหน่วยยกกำลัง dBm โดยใช้สูตร

$$\log = 20 \times \log_{10}(\frac{linear}{50}) \quad (3.1)$$

เพื่อให้ได้กำลังของสเปกตรัมในหน่วยของ dBm เนื่องจากหน่วยเชิงเส้นมีจำนวนที่น้อยและสูงที่ต่างกันมากจึงทำให้มนุษย์สามารถสังเกตได้ง่ายขึ้นด้วยการแปลงหน่วย

เมื่อมีการเขียนโปรแกรมที่มีการคงค่าตัวแปรเก็บไว้เมื่อเป็นโปรแกรมทั่วไปก็สามารถเขียนได้อย่างง่าย เช่นการเขียนฟังก์ชันเก็บเข้าตัวแปรที่กำหนดไว้แล้วนอกการวนซ้ำ แต่โปรแกรม Simulink นั้นเป็นโปรแกรมที่มีการวนซ้ำทุก ๆ การทำงาน เพราะฉะนั้นแล้วการประกาศตัวแปรซ้ำจะทำให้ตัวแปรไม่มีการเก็บค่าเนื่องจากจะทำงานใหม่ทุก ๆ ครั้ง ทาง MATLAB จึงมีการประกาศการเก็บค่าตัวแปรชนิดพิเศษที่จะคงค่าตัวแปรเก็บไว้ไม่ได้รับผลกระทบจากการทำใหม่ซ้ำ ๆ ของ Simulink คือ persistent เป็นตัวแปรที่มีประโยชน์อย่างมาก ในการทำโปรแกรมแบบมีการเก็บข้อมูลเดิมมาใช้งานและการนับจำนวนการทำงานต่าง ๆ

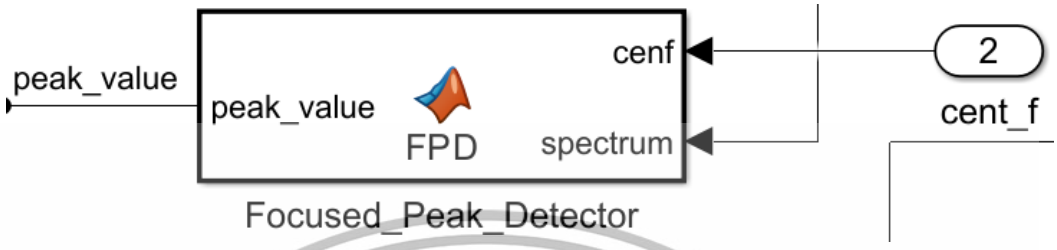
```
persistent carrier ; persistent window_counter
if isempty(carrier)       % Create an empty list to get value of spec
    carrier = [];         % Create a persistent variable to make it i
end

if isempty(window_counter) % Create counter to count index of window
    window_counter = 0;    % Set initialize into 0 first
end
```

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างโค้ดที่คงค่าตัวแปรไว้

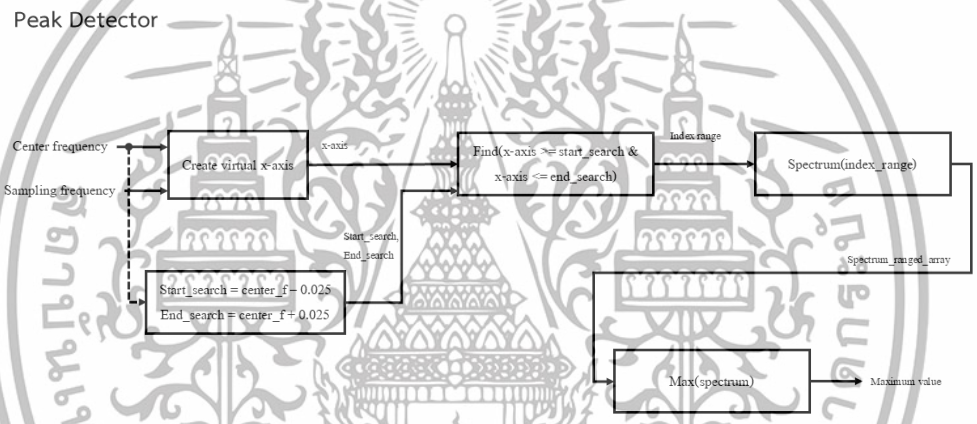
จากรูปที่ 3.7 ตัวอย่างการใช้งาน persistent ต้องมีการประกาศตัวแปรโดยมีคำว่า “persistent” ตามด้วยชื่อตัวแปร จากนั้นจึงเขียน if...else ในการเริ่มต้นตัวแปรนี้ เช่น isempty(variable) คือ การตรวจสอบว่าในเริ่มต้น ตัวแปรชื่อนี้เป็นค่าว่างเพราะไม่มีการประกาศค่าของตัวแปร จะกลายเป็น ตัวแปรอาร์เรย์เปล่า หรือ เท่ากับ 0 ได้ในกรณีที่เป็นตัวแปรเก็บการนับเมื่อได้รับข้อมูลสเปกตรัมที่เหมือนกันกับ เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม แล้วจึงสามารถนำข้อมูลเข้าไปทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณดังรูปที่ 3.6 แสดงถึงภาพรวมในการทำเปรียบเทียบกับเส้นมาตรฐานการป้องกันการเกิดการแพร่นอกแถบในรูปที่ 2.3



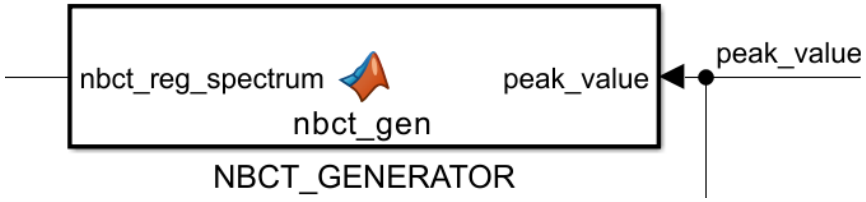
รูปที่ 3.8 บล็อกการตรวจจับค่าสูงสุดของสเปกตรัม



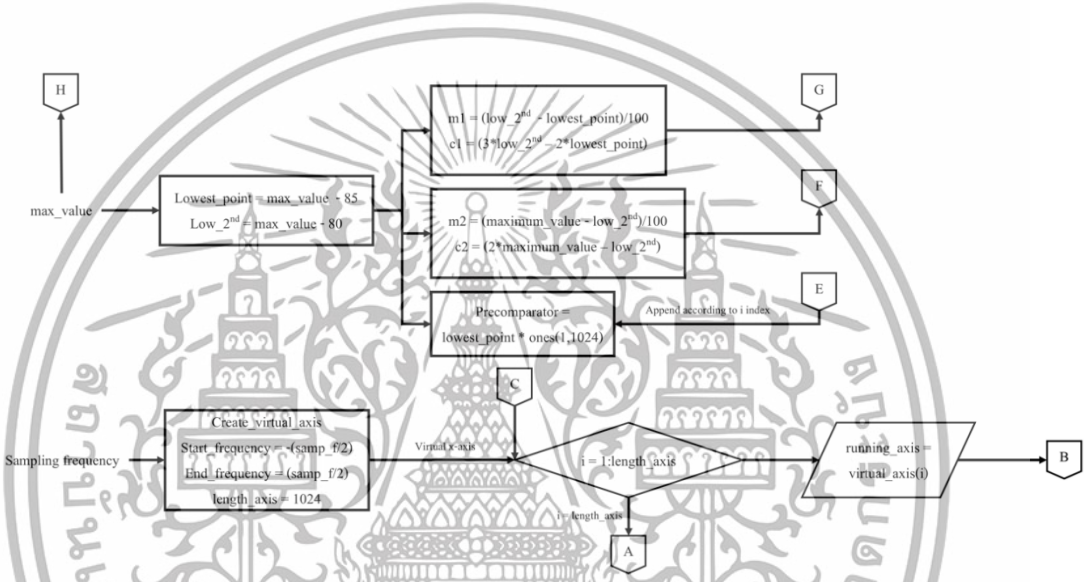
รูปที่ 3.9 การทำงานของการตรวจจับขนาดสูงสุด

ตัวตรวจจับขนาดสูงสุด (Peak Detector) ดังรูปที่ 3.9 โดยจะมีการสร้างแกนความถี่สังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อจำลองการเลือกช่วงความถี่ที่ใกล้เคียงกับความถี่กลางโดยจะเลือกจากความถี่กลาง เลือกในความกว้างแถบความถี่คือ 50kHz เพื่อไม่ให้เข้าไปใช้ค่ามากที่สุดของช่วงความถี่ที่ขอบ จากนั้นใช้ฟังก์ชัน find ในแกนความถี่สังเคราะห์ที่ได้คำนวณไว้จาก ความถี่กลาง (Center frequency) และความกว้างแถบความถี่หรือ ความถี่การสุ่มตัวอย่าง (Sampling frequency) โดยฟังก์ชัน find นี้จะให้ผลลัพธ์เป็นข้อมูลดัชนี (index) เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งของข้อมูลภายในตัวแปรที่เป็นอาร์เรย์ ใช้ในการระบุตำแหน่งของข้อมูลของสเปกตรัมโดยเงื่อนไขคือในช่วงความถี่กลางที่ได้กล่าวไปแล้วเมื่อได้ ดัชนีของข้อมูลที่ต้องการเข้าไปทำการหาค่ามากที่สุดก็นำ ดัชนีเข้าไปใช้กับข้อมูลสเปกตรัม และใช้ฟังก์ชันการหาค่าสูงสุด Max() จึงได้ค่าสูงสุดของสเปกตรัมของความถี่กลางที่ต้องการค้นหา

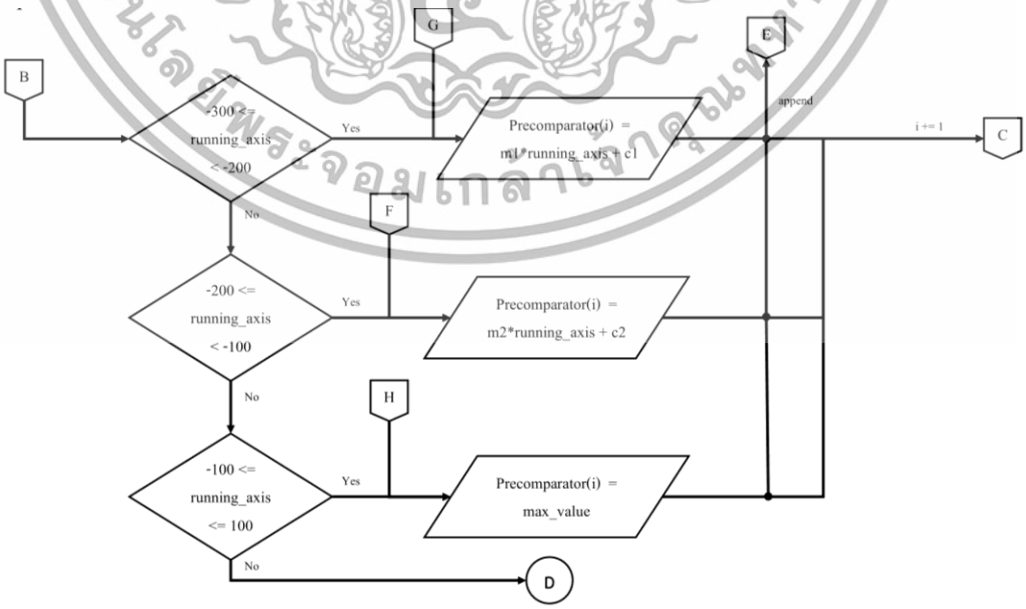
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 บล็อกการกำเนิดสเปกตรัมข้อจำกัด

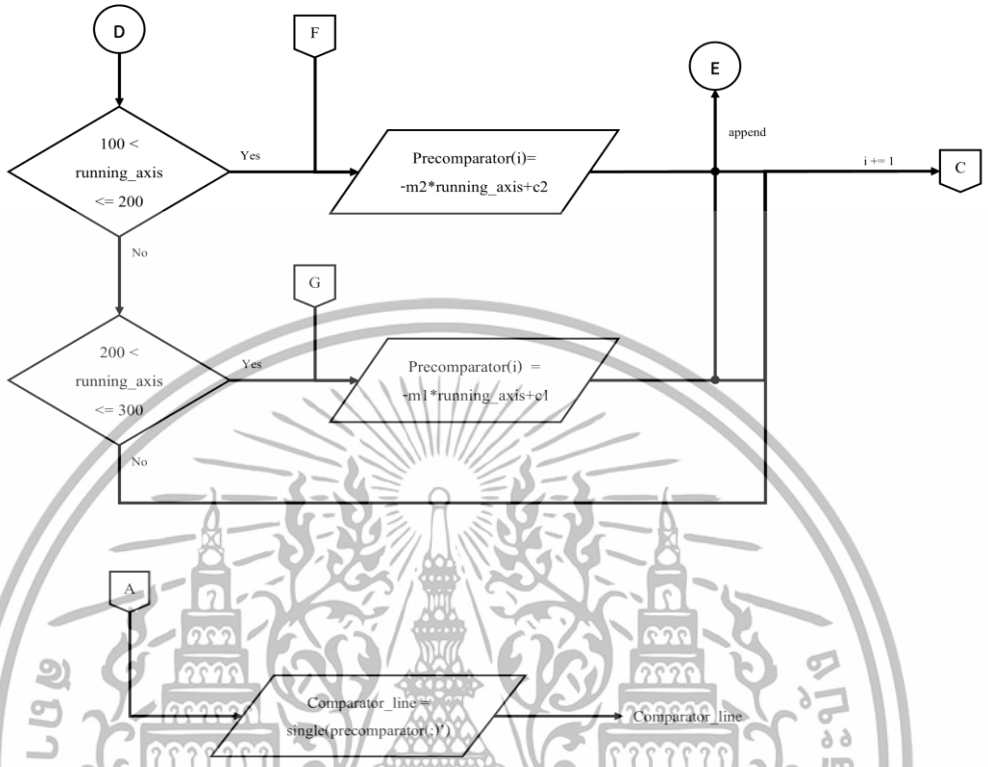


รูปที่ 3.11 การทำงานของตัวกำเนิดสเปกตรัม ส่วนที่ 1



รูปที่ 3.12 การทำงานของตัวกำเนิดสเปกตรัม ส่วนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 การทำงานของตัวกำเนิดสเปกตรัม ส่วนที่ 3

จากรูปที่ 3.11 ถึงรูปที่ 3.13 คือแผนภาพตัวให้กำเนิดสเปกตรัม หมายถึงสเปกตรัมที่เป็นมาตรฐานของทางกสทช.ที่กำหนดเส้นไม่สามารถเกินเส้นขอบจากรูปที่ 2.3 เนื่องจากมีการคำนวณที่ค่อนข้างมากจึงมีหลายส่วนของภาพ การสร้างเส้นมาตรฐานของทางกสทช.นั้นสร้างจากค่าที่มากที่สุดของสเปกตรัมเนื่องจากเส้นมาตรฐานนั้นได้ใช้การหารด้วยค่าที่สูงสุด ค่าจึงมีสูงสุดที่ 0 dBc ใช้หน่วยเป็น ลอการิทึมจึงมีค่าเป็น 0 จึงต้องใช้ค่าสูงสุดในการคำนวณค่าของเส้นมาตรฐานภายในเช่น ค่าที่เป็น -80 dBc และ -85 dBc จึงต้องปรับค่าโดยนำค่าที่มากที่สุดลบกับค่าเหล่านี้ จากนั้นจึงสร้างตัวแปรอาร์เรย์โดยสร้างให้มีความยาวข้อมูลเท่ากับข้อมูลสเปกตรัม FM โดยการสร้างฟังก์ชัน ones ซึ่งเป็นการสร้างเมทริกซ์ 1 เป็นขนาดเท่ากับที่กล่าวไปแล้วคูณด้วยค่าที่ต่ำที่สุดของฟังก์ชันนี้คือ ค่าที่มากที่สุดของสเปกตรัม ลบกับ 85 dB จากนั้นเริ่มเข้าสู่กระบวนการทางคณิตสาตร์โดยการสร้างสมการเชิงเส้นที่ใกล้เคียงกับรูปที่ 2.3 โดยสมการนี้จะมี 2 สมการคือ

$$y_1 = 0.05x + max - 70 \quad (3.2)$$

$$y_2 = 0.80x + max + 80 \quad (3.3)$$

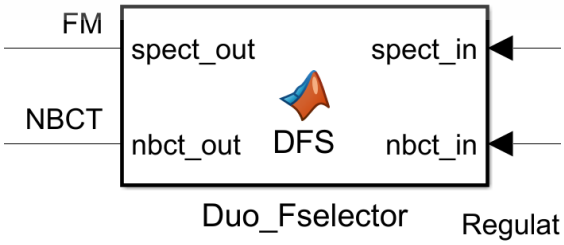
$$y_3 = -0.05x + max - 70 \quad (3.4)$$

$$y_4 = -0.80x + max + 80 \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย max คือค่าสูงสุดที่ตัวตรวจจับค่าที่สูงสุดตรวจจับได้ และค่า x คือความถี่ในหน่วย kHzณ ขณะนั้น สมการที่ 3.1 นั้นเป็นสมการที่อยู่ในช่วงความถี่ -300 kHz ถึง -200 kHz จากรูปที่ 2.3 จะมีค่ากำลังตั้งแต่ -85 dBc ถึง -80 dBc และสมการที่ 3.2 จะถูกใช้ในช่วงความถี่ตั้งแต่ -200 kHz ถึง -100 kHz มีค่ากำลังตั้งแต่ -80 dBc ถึง 0 dBc สาเหตุที่กล่าวถึง 2 สมการนี้ สมการที่ 3.1 และ 3.2 นั้น เป็นสมการที่ใช้ในการสร้างเส้นมาตรฐานสำหรับการป้องกันการแพร่นอกแถบจากรูปที่ 3.11 นั้นมีการกำหนดตัวแปร ความชัน และค่าคงที่สำหรับสมการเพื่อเตรียมพร้อมในการเข้าไปแทนที่ค่าเหล่านั้นเข้าไปในตัวแปรอาร์เรย์ Precomparator ในขณะนั้นมีการสร้างแกนความถี่สังเคราะห์โดยจะมีการให้ส่วนตรงความถี่นั้นเท่ากับ 0 Hz และใช้ในการวนซ้ำทางโปรแกรมโดยการวนซ้ำนั้นจะมีการวนซ้ำโดยจะมีการดึงข้อมูลแกนค่าความถี่ ตั้งแต่ -1200 kHz จนถึง 1200 kHz เป็นจำนวน 1024 ค่า

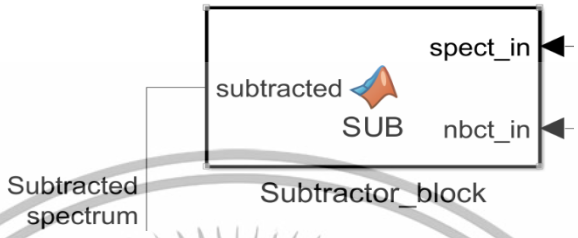
โดยการวนซ้ำนั้นเมื่อค่าของความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ -300 kHz และน้อยกว่า -200 kHz ค่าของ Precomparator ในแต่ละดัชนีจะถูกแทนที่ด้วย ค่าสมการที่ 3.1 ต่อมาเมื่อมีความถี่ที่มากกว่าเท่ากับ -200 kHz และน้อยกว่า -100 kHz ก็จะถูกแทนที่ด้วยค่าจากสมการที่ 3.2 ต่อมาเมื่อความถี่มากกว่าเท่า -100 kHz และน้อยกว่าเท่ากับ 100 kHz จะถูกแทนที่ด้วย ค่าที่มากที่สุดที่ตัวตรวจจับค่าที่มากที่สุดของสเปกตรัม ต่อมาเมื่อความถี่มีค่ามากกว่า 100 kHz และน้อยกว่าเท่ากับ 200 kHz ค่าจะถูกแทนที่ด้วยสมการที่ 3.4 และเมื่อความถี่ที่มีค่ามากกว่า 200 kHz และน้อยกว่าเท่ากับ 300 kHz จะถูกแทนที่ด้วยค่าจากสมการที่ 3.3 กระบวนการดังกล่าวนี้อ้างอิงถึงError! Reference source not found. และรูปที่ 3.10 เมื่อเสร็จสิ้นการวนซ้ำในแต่ละรอบนั้นจะมีการบวกเพิ่มจำนวนค่าดัชนีทีละ 1 ค่าตลอดการวนซ้ำ เมื่อการวนซ้ำจบกระบวนการจะส่งตัวแปรอาร์เรย์ที่ถูกแทนที่จากกระบวนการดังที่ได้กล่าวมาแล้วมีการแปลงค่าให้เป็น single type และมีการสลับมิติ (Transpose) จากกระบวนการที่กล่าวมาทั้งหมด คือการกำเนิดเส้นมาตรฐานของกสทช โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าสูงที่สุดตามค่าของสเปกตรัมตลอดเวลาจึงมีความแม่นยำในการตรวจสอบตรงตามทฤษฎีตามรูปที่ 2.3



รูปที่ 3.14 บล็อกการเลือกสเปกตรัมเฉพาะส่วน

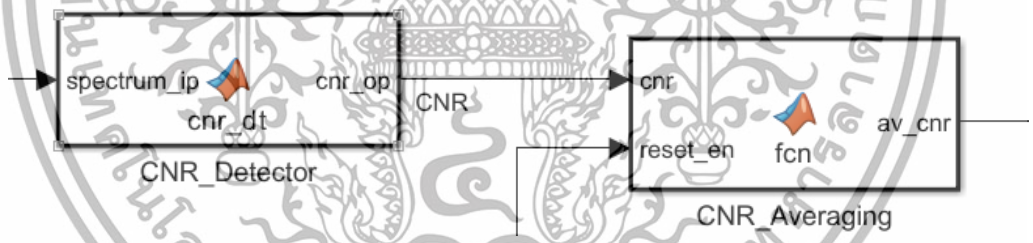
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานในส่วนนี้จะทำการเลือกช่วงความถี่ของสเปกตรัมทั้งสองในช่วง -125 kHz ถึง 125 kHz ซึ่งคืออยู่ในช่วงช่องสัญญาณของ FM และแปลงออกมาจะเหลือสเปกตรัมขนาดละ 106 x 1 เท่านั้น



รูปที่ 3.15 บล็อกการหักลบสเปกตรัม

การทำงานดังรูปที่ 3.15 จะนำเข้าสเปกตรัมและข้อจำกัดการแพร่นอกแถบจากนั้นตั้งข้อจำกัดลบด้วยสเปกตรัมเพื่อตรวจหาว่าสเปกตรัมที่ตรวจสอบเกินค่ากำหนดจะให้ผลเป็นลบเสมอ จึงจะสามารถตรวจสอบได้โดยจะนำเข้า *spect_in* และ *nbct_in* ที่เป็นสเปกตรัมของ FM และข้อจำกัดการแพร่นอกแถบที่ผ่านการเลือกสเปกตรัมที่ต้องการตรวจสอบแล้ว

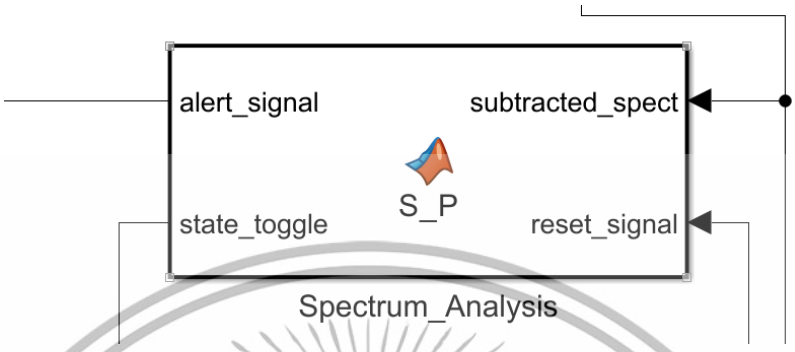


รูปที่ 3.16 บล็อกการทำงานตรวจจับ CNR และการเฉลี่ย CNR

รูปที่ 3.16 บล็อกการวิเคราะห์สเปกตรัม มีการนำเข้าตัวแปรสเปกตรัมที่ลบกัน และตัวเลขในการเริ่มการตรวจใหม่ และส่งออกค่าที่เป็นสัญญาณเตือนและตัวกำหนดการทำงาน โดยเริ่มจากการสร้างตัวแปรเก็บค่าไว้ที่ 4096 ตั้งให้เป็น 0 ทั้งหมดค่าในการเก็บตัวอย่างที่มากขึ้นเพื่อความแม่นยำในการตรวจสอบจากนั้นทำการตรวจสอบตรงขอบที่เป็นส่วนที่มีความชันและจะเก็บข้อมูลถ้าเกิดมีการติดลบของสเปกตรัมที่หักล้างแล้วจะเก็บค่าที่เป็น 1 ไว้ในตัวแปร 4096 ค่าจากนั้นเมื่อทำการเก็บตัวอย่างเสร็จสมบูรณ์ครบ 4096 ถ้าตรวจจับว่าไม่น้อยกว่า 0 จะไม่ใส่ตัวเลขนั้นไปต่อมาเป็นตรวจจับว่ามีค่าที่เกินกำหนดเกินกว่าครึ่งนึงของ 4096 นั้นแปลว่าเกิดการแพร่นอกแถบจริง จึงจะส่งออกค่าการเตือน alert_signal ให้กลายเป็น 1 และ การทำงานของบล็อกต่อไป state_toggle คือ 1 เช่นกัน ถ้าไม่มีอะไร alert_signal จะได้เป็น 0 ไม่มีการเตือนส่งไปและ state_toggle เป็น 1

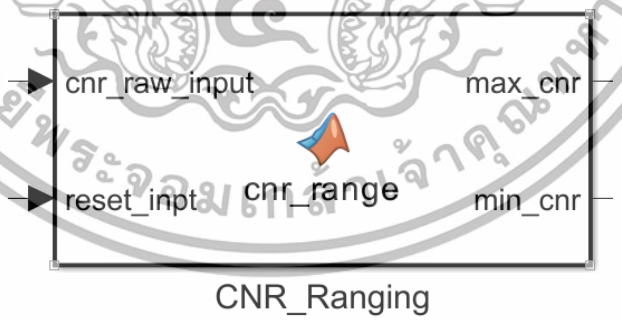
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมือนเดิมเนื่องจากทำงานโปรแกรมครบจำนวน 4096 ค่าแต่ถ้ายังไม่มีการทำงานใด ๆ หรือการทำงานไม่ถึง 4096 ค่านั้นจะส่งค่า alert_signal เป็น -1 และ state_toggle เป็น 0



รูปที่ 3.17 บล็อกการวิเคราะห์สเปกตรัม

บล็อกการทำงานตรวจจับหา CNR มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นตัวเลือกในการตัดสินใจในการรายงานว่า สเปกตรัมนี้เกิดการแพร่นอกแถบจริงเนื่องจากเมื่อค่ากำลังสเปกตรัมมีค่าต่ำมากหรือไม่มีสถานีอยู่ที่ความถี่นั้นเลย ทำให้การตรวจจับผิดเพี้ยนไปเนื่องจากข้อจำกัดจมอยู่กับสัญญาณรบกวนระดับพื้นจึงต้องมีการตรวจหาค่า CNR ในการตรวจจับโดยการตรวจจับ CNR จะเริ่มจากการวัดค่ากำลังจากความถี่หักลบกับสัญญาณรบกวนระดับพื้นเพื่อหาค่า CNR จากนั้น การทำงานนี้ยังไม่เพียงพอ เนื่องจากค่า CNR นั้นก็มีสัญญาณรบกวนของตัวเองเนื่องจากสถานีวิทยุ FM มีการเปลี่ยนแปลงของกำลังตลอดเวลาการออกอากาศจึงทำให้ค่ามีความต่างกันสูงจึงต้องมีการเฉลี่ยเพื่อแสดงเอกลักษณ์ของสเปกตรัมนั้นให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

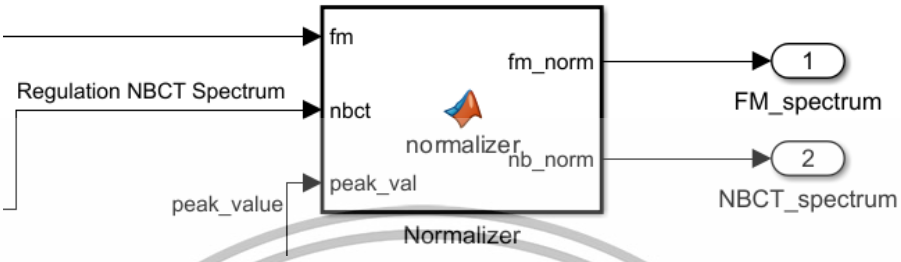


รูปที่ 3.18 บล็อกการทำช่วงค่าของCNR

รูปที่ 3.18 ไม่ได้มีส่วนในการทำงานภายในของระบบเลย เป็นช่วงที่ผู้จัดทำใช้สังเกตและแบ่งช่วงเพื่อหาช่วงที่ระบบสามารถตรวจจับการแพร่แปลกปลอมได้และเนื้อหาการแพร่แปลกปลอมได้โดยจะทำงานมีการสร้างตัวแปรเก็บความจำเก็บค่าที่มากที่สุดและน้อยที่สุดก่อนจากนั้นนำค่าใหม่ ๆ เข้ามามาเปรียบเทียบโดยถ้ามากกว่าค่าที่มากที่สุดเดิมก็จะแทนที่ค่าเดิมเป็นค่า

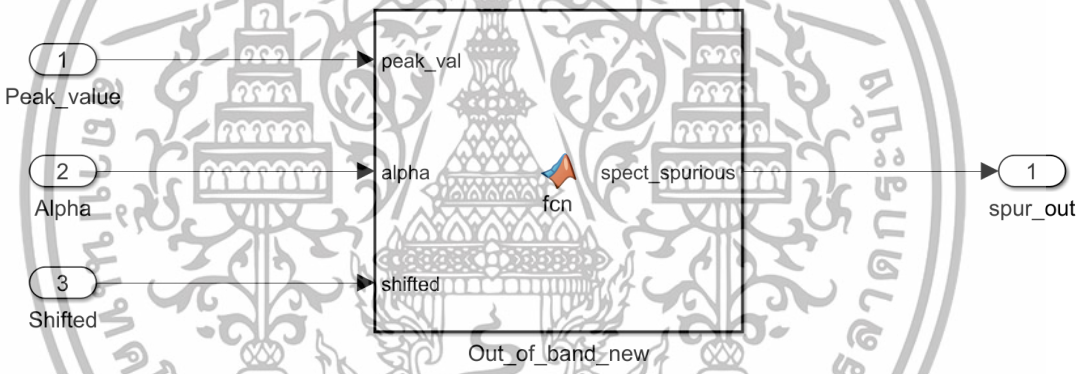
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใหม่และถ้าน้อยกว่าค่าเดิมนั้นก็จะแทนที่เป็นค่าใหม่จึงได้ช่วงมาคร่าว ๆ โดยจะนำเข้า CNR ที่มาจากการเฉลี่ย และค่าการเริ่มใหม่ ส่งออกค่ามากที่สุดและน้อยที่สุดของ CNR



รูปที่ 3.19 บล็อกการนอร์มอลไลซ์

รูปที่ 3.19 การนำเข้าสเปกตรัมทั้งสองและค่าสูงสุดในแต่ละครั้งจากนั้นนำค่าสเปกตรัมทั้งสองมาหักลบกับค่าสูงสุดค่าจะโดน offset เหลือ 0 จะส่งออกสเปกตรัมทั้งสองที่มีขนาดสูงสุด 0 dB



รูปที่ 3.20 บล็อกของ Out_of_band_new

บล็อกรูปที่ 3.20 นั้นเป็นบล็อกฟังก์ชันภายในการทำงานของการจำลองการแพร่นอกแถบโดยจะนำเข้าข้อมูลคือ *Peak_value* ค่าสูงสุดของสเปกตรัมแปลกปลอม *Alpha* เป็นตัวแปรที่คอยควบคุมความแปรปรวนของสเปกตรัม และ *Shifted* คือระยะห่างจากศูนย์กลางเมื่อมีมากขึ้นก็จะห่างจากศูนย์กลางมากขึ้นโดนอัลกอริทึมนั้นเริ่มจากการสร้าง เส้นเสมือน Gaussian โดยใช้ฟังก์ชัน *gausswin(L,alpha)* โดย *L* คือจำนวนข้อมูล และ *alpha*คือปัจจัยความกว้างและมีสูตรในการสร้างของฟังก์ชันนี้คือ

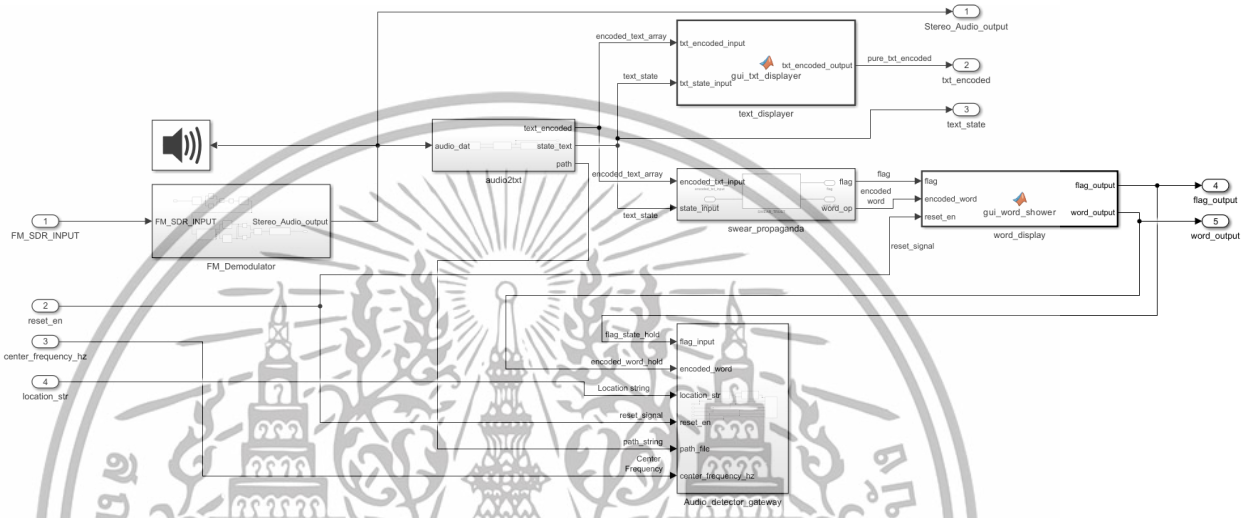
$$w(n) = e^{-\frac{1}{2}(\alpha \cdot \frac{n}{(L-1)/2})^2} \tag{3.6}$$

เพื่อที่จะทำให้สเปกตรัมเดิมที่ลักษณะคล้ายคลึงกับ *Gaussian Distribution* จึงได้เพิ่มคู่เพิ่มกำลังให้เกินแบนด์วิชทั้งสองฝั่งจึงสามารถจำลองการแพร่นอกแถบได้ระดับหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

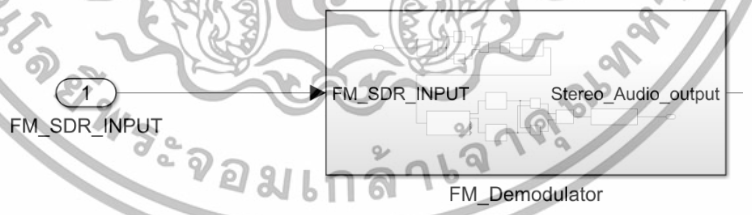
3.1.2 การออกแบบการถอดเสียงเป็นข้อความ

การออกแบบการถอดเสียงเป็นข้อความเป็นการออกแบบเพื่อให้เสียงที่ได้รับในวิทยุFM ที่กำลังออกอากาศนั้นสามารถแปลงเป็นข้อความได้ความแม่นยำในการแปลงนั้นขึ้นอยู่กับโมเดลการจดจำเสียงพูดอัตโนมัติที่นำเข้ามา



รูปที่ 3.21 แผนภาพในการทำงานโดยรวมของการตรวจจับเนื้อหาในวิทยุกระจายเสียง FM

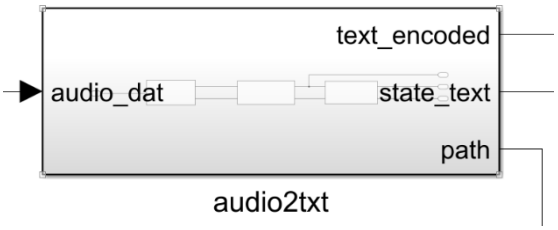
รูปที่ 3.21 แสดงให้เห็นว่าแต่ละระบบที่เกี่ยวข้องเชื่อมโยงตั้งแต่นำเข้าข้อมูลจนถึงข้อความที่ตรวจจับได้ว่ามีกระบวนการใดบ้าง



รูปที่ 3.22 บล็อกการดีมอดดูเลต FM

รูปที่ 3.22 นำเข้าข้อมูลจาก RTL-SDR เข้ามาโดยมีขนาด 4096 x 1 โดยกระบวนการจะทำการดีมอดดูเลตถอดเสียงที่เป็นเนื้อหาภายในคลื่นพาห์จึงได้ข้อมูลเสียงที่อยู่ภายในถอดออกมาได้เป็นเสียงสเตอริโอ (มีเสียงทั้งซ้ายและขวา) มีขนาด 1600 x 2 เพื่อนำไปประมวลผลต่อไปยังบล็อกต่อไป

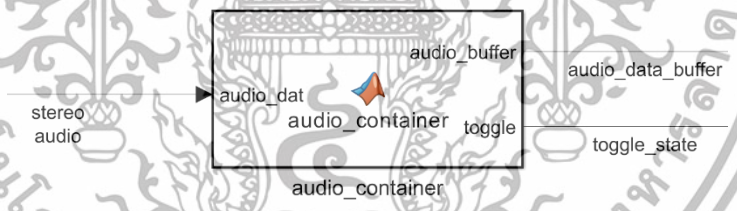
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 ระบบการแปลงเสียงเป็นข้อความ

ภายในระบบการแปลงเสียงเป็นข้อความจะมีฟังก์ชันการทำงานซ่อนอยู่ภายในเพื่อจัดหานำเสียงให้กลายเป็นข้อความโดยจะนำเข้าข้อมูลเสียงที่มีขนาด 1600 x 1 จากนั้นจะส่งออกข้อความที่ถูกเข้ารหัสขนาดคงที่ 1 x 500 ส่งออกสถานะที่คอยกำหนดการทำงานในบล็อกต่อไป และส่งที่อยู่ของไฟล์เสียงที่พึ่งบันทึกเสร็จสิ้นไป

รูปที่ 3.25 บล็อกภายในระบบแปลงเสียงเป็นข้อความ



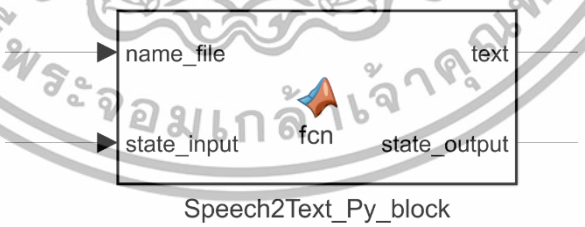
รูปที่ 3.24 บล็อกการทำงานของ *audio_container*

การทำงานของรูปที่ 3.24 มีการกำหนดจำนวนความยาวของเสียงในหน่วยของวินาที โดยวินาทีนี้จะเป็นการกำหนดขนาดของบัฟเฟอร์ที่ใช้ในการส่งและจำนวนลูปก่อนส่งจากนั้นจะมีการกำหนด ตัวแปรไว้เก็บข้อมูลของเสียงโดยกำหนดเป็นอาร์เรย์ศูนย์ โดยคำสั่ง *zeros()* และกำหนดจำนวนลูปเริ่มต้นให้เป็น 0 เมื่อมีการรันโปรแกรมค่าลูปจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนข้อมูลทีละ 1600 ค่า จากนั้นถึงช่วงเวลาตัดสินใจในการส่งออกข้อมูล เมื่อจำนวนลูปเกินกว่าที่กำหนดไว้ *n_loop >= n_loop_max* จะส่งออกอาร์เรย์ที่เก็บค่าไว้และส่งออกค่าของ *toggle* คือค่ากำหนดการทำงานของบล็อกต่อไป และล้างอาร์เรย์และตัวแปร *n_loop* ให้เป็นเหมือนเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.27 บล็อกการทำงานของ *audio_writer*

การทำงานของรูปที่ 3.27 เริ่มจาก *coder.extrinsic("function")* เป็นการข้ามฟังก์ชันภายในวงเล็บจาก Generated Code เช่น C/C++ ในการทำงานของ Simulink และให้ฟังก์ชันดังกล่าวไปทำงานบนสภายพแวดล้อมของ MATLAB (MATLAB Environment) แทน เนื่องจากหลายฟังก์ชันของ MATLAB ไม่ได้รวมอยู่ใน Code Generation ของ Simulink เช่นการทำงานในภาษา Python หรือ ฟังก์ชันที่ 3.4 จากนั้นจะมีการตั้งจำนวนของไฟล์เสียงว่า จะมีการทำซ้ำได้เท่าไร เช่น กำหนด 3 ไฟล์เสียง ไฟล์จะมีแค่ 3 ไฟล์เท่านั้นเมื่อการเขียนไฟล์ไปเรื่อย ๆ เมื่อเกินกว่ากำหนดไฟล์จะเขียนทับไฟล์แรกและวนเวียนต่อไปจากนั้นจะนำจำนวนตัวเลขไปแปลงเป็นสตริง เพื่อนำไปเป็นตั้งชื่อไฟล์ตามที่ตัวแปร *filename_test* ต่อมาจะมีการจัดการเกี่ยวกับโฟลเดอร์หรือไดเรกทอรี (Directory) โดยจะมีการกำหนดชื่อไดเรกทอรีโดยตัวแปร *dir_audio* ถ้ายังไม่มีไดเรกทอรีนั้นอยู่ในกรณีที่เปิดการทำงานครั้งแรกจะมีการสร้างไดเรกทอรีโดยอัตโนมัติด้วย *mkdir ("Directory")* มาถึงการตัดสินใจโดยค่า *state* ที่รับจากการส่งออกค่าของบล็อกการทำงานของ *audio_container* เมื่อค่า *state_input* มีค่าเป็น 1 จะนำข้อมูลบัฟเฟอร์เสียงจาก *audio_container* ไดเรกทอรีของไฟล์เสียง และความถี่การสุ่มตัวอย่างมาเขียนเป็นไฟล์เสียงนามสกุล .wav จากนั้นส่งข้อมูลของไดเรกทอรีของไฟล์เสียงนั้น ๆ และค่า *state* ส่งออกไปยังบล็อกการทำงานต่อไป



รูปที่ 3.26 บล็อกการทำงานของ *Speech2Text_Py_block*

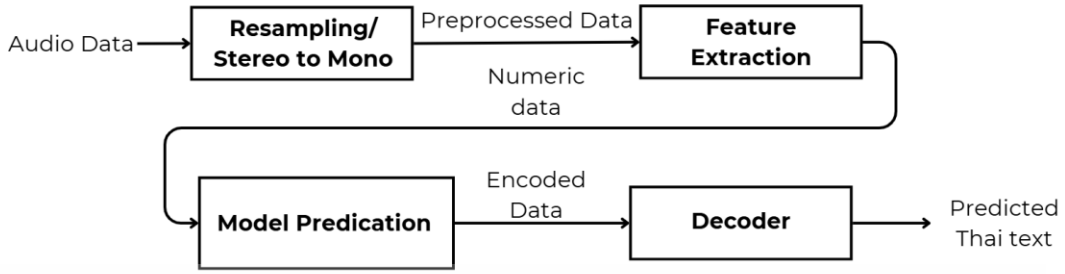
การทำงานเริ่มต้นด้วยการเมินฟังก์ชันใน Code Generation ซึ่งฟังก์ชันนั้นคือฟังก์ชันที่เขียนขึ้นมาเองโดยเป็นไฟล์สกุล .m ไว้เพื่อกันการขัดการทำงานใน Simulink จากนั้นทำงานกำหนดค่าส่งออกของบล็อกโดย *text* ที่ส่งออกคือค่า 32 คูณกับอาร์เรย์ขนาด 1 x 500 ซึ่งค่า 32 ซึ่งเป็นเลขฐานสิบของเลขฐานสิบหก *0x0020* ซึ่งจะตรงกับ Unicode point และ Unicode Transform Format – 8 bit (UTF-8) เป็นเว้นวรรค“ ” เพื่อส่งออกค่าเปล่าออกไปเมื่อไม่มีการทำงานใด ๆ หรือ *state_input* ไม่เท่ากับ 1 และส่งออก *state_output* เป็น 0 ไปก่อนเมื่อมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานเกิดขึ้นหรือ *state_input* เท่ากับ 1 จะนำข้อมูลไดเรกทอรีของไฟล์เสียงนั้น ๆ เข้ามาแปลงเป็นข้อมูลสตริงเพื่อให้แน่ใจว่าการทำงานปกติจากนั้นจะนำไดเรกทอรีไปป้อนเข้ากับฟังก์ชัน *thon_small_run(name _file)* จากนั้นนำข้อความจากฟังก์ชันนั้นเข้าฟังก์ชัน *pad(text,limit)* เพื่อเป็นการเติมเว้นวรรคให้ครบตามจำนวนของขนาด 1 x 500 เพื่อให้ได้ขนาดข้อมูลที่คงที่ จากนั้นจะเข้ารหัสข้อความให้กลายเป็นตัวเลขฐานสิบด้วยฟังก์ชัน *double()* ด้วยการเข้ารหัสยูนิโคด (Unicode) ซึ่งเป็นมาตรฐานการเข้ารหัสตัวอักษรสากลที่กำหนดให้แต่ละรหัสนั้นแทนทุกตัวอักษรในแต่ละระบบการเขียนต่าง ๆ ตัวอักษรไทยได้เป็นหนึ่งในมาตรฐานยูนิโคดในเดือน ตุลาคม ปี พ.ศ. 2534 ด้วยการปล่อยเวอร์ชัน 1.0 บล็อกยูนิโคดของตัวอักษรไทยนั้นอยู่ในช่วง U+0E00 ถึง U+0E7F โดยบล็อกยูนิโคดนี้อ้างอิงจาก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 620-2533 ซึ่งก็คือ รหัสสำหรับอักขระไทยที่ใช้กับคอมพิวเตอร์ เพิ่มเติมคือสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้นิยามมาตรฐานสำหรับการเข้ารหัส 8 บิตสำหรับอักขระไทยด้วยมอก. 620 ซึ่งตัวอักษรที่เข้ารหัสนี้สามารถถูกแปลงเป็น ยูนิโคดและยูทีเอฟ-8 ได้หลังจากการสาธยายเรื่องการเข้ารหัสมาเพื่อให้สัญญาณที่ส่งออกมาจากบล็อกเป็นตัวเลขที่โปรแกรม Simulink สามารถส่งค่าออกได้และส่งออกพร้อมกับค่า *state_output* ที่เป็น 1 เพื่อให้บล็อกถัดไปรับรู้การทำงานอีกด้วย

ภายในฟังก์ชัน *thon_small_run* ที่อยู่ภายในบล็อกรูปที่ 3.26 การทำงานของสคริปต์นี้จะทำงานโดยการเมินข้อจำกัดของ Code Generation เหมือนบล็อกที่ผ่านมาโดยเมินคำสั่งที่ใช้กับการนำเข้าไลบรารี่ของไพธอนเข้ามาเพราะไพธอนไม่ได้อยู่ใน Code Generation จากนั้นมีการเพิ่มที่อยู่ของไฟล์ด้วยการใช้คำสั่ง *addpath("execute_directory")* เพื่อเพิ่มที่ในการรันคำสั่งภายในสภาพแวดล้อมของ MATLAB เพื่อป้องกันการหาสคริปต์ไม่เจอภายในโปรแกรม อีกทั้งยังเพิ่มเส้นทางในการรันสคริปต์ของไพธอน เพื่อให้ไพธอนรับรู้การมีอยู่ของสคริปต์ด้วย *py.sys.path().append ("python_execute_directory")* จากนั้นทำการนำเข้าโมดูลไพธอนสคริปต์ด้วย *py.importlib.import_module("python.py")* เป็นการนำเข้าไฟล์ไพธอนสคริปต์ทั้งไฟล์เข้ามาจากนั้นทำการเรียกใช้ฟังก์ชันภายในโมดูลนั้นด้วย*py.importlib.import_module ("python.py").function(input)* จากนั้นแปลงให้กลายเป็นข้อมูลสตริงของ MATLAB และส่งออกสตริงนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 Flow การทำงานของการถอดข้อความจากเสียงพูดภาษาไทย

การทำงานของสคริปต์ไพธอนที่สคริปต์ *thon_small_run* เรียกนั้นจะแปลงเสียงให้กลายเป็นคำพูดด้วยพรีเทรนโมเดล (pre-trained model) โดยการนำเข้าไลบรารี่ *torch* ในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำนายของโมเดล *transformers* ที่นำเข้า *AutoProcessor* และ *AutoModelForSpeechSeq2Seq* ในการจัดการตัวโพรเซสเซอร์และโมเดล *librosa* ไว้สำหรับการจัดการไฟล์เสียงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำนายของโมเดล และ gc (Garbage Collector) ไว้สำหรับลบข้อมูลที่ยังค้างคาภายในหน่วยความจำ ต่อมาเป็นการเก็บตัวแปรที่อยู่ไฟล์ของโมเดลและโพรเซสเซอร์ ในการทำนายและใช้โมเดลที่มีประสิทธิภาพและความรวดเร็วต้องคำนวณผ่านตัวการ์ดจอซึ่งเป็นเป็นโพเซสเซอร์ที่คำนวณแบบขนานกันและมีคอร์ในการคำนวณมากกว่าหน่วยประมวลผลอย่างซีพียูมากกว่าหลายเท่าตัวจึงกำหนดให้โมเดลทำงานผ่านการ์ดจอด้วย *mode.to(device)* อีกทั้งยังการกำหนดเส้นทางไว้แล้วถ้าอุปกรณ์ที่ใช้งานนั้นมีการ์ดจอหรือไม่มีถ้ามีจะกำหนดให้เป็น “cuda” แต่ถ้าไม่มีจะให้ซีพียูคำนวณแทนจากนั้นเป็นส่วนการเตรียมข้อมูลไฟล์เสียงก่อนนำเข้าระบบการแปลงต้องมีการกำหนดที่อยู่ไฟล์เสียงก่อนจากนั้นทำการนำเข้าไฟล์เสียง แปลงความถี่สุ่มตัวอย่างจาก 48,000Hz เป็น 16,000Hz และแปลงเสียง Stereo ให้เป็น Mono ด้วย *librosa.load (“audio_path”,sr=16000,mono=True)* เนื่องจากโมเดลนี้ทำงานได้ดีที่สุดบนความถี่สุ่มตัวอย่าง 16,000 Hz จากนั้นส่งไฟล์เสียงเข้าไปที่ตัวแปรโพเซสเซอร์ของโมเดลเพื่อทำการโพรเซสข้อมูลที่ป้อนเข้ามาก่อน จากนั้นทำให้โพเซสเซอร์ทำงานบนการ์ดจอได้ด้วยการแปลงข้อมูลเป็น float Cuda จากนั้นนำตัวแปรเข้าไปในการทำนายโมเดล จากนั้นก็ถอดรหัสโมเดลออกมาก็สามารถได้ข้อมูลที่เป็น list ของข้อความที่ถูกถอดออกจากเสียงจากนั้นจึงส่งออกค่าสตริงที่ถอดจาก listแล้วเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สรุปการทำงานของฟังก์ชันภายในระบบ *audio2txt*

Functions	Inputs	Outputs	Description
audio_container	**audio_dat** (1600 x 2) single	**audio_buffer** (1600 x 1) single **toggle** double	เก็บรวบรวมข้อมูลเสียงให้ครบตามเวลาที่กำหนดและส่งออกอาร์เรย์เสียงไปยังบล็อกต่อไป
audio_writer	**audio_buffer** (1600 x 1) single **state_input** double	**path** string **state** double	ทำการเขียนไฟล์วนซ้ำจำนวนตามที่กำหนดอีกทั้งกำหนดที่อยู่ของไฟล์นั้นและส่งออกที่อยู่และกำหนดการทำงานของบล็อกต่อไป
Speech2Text_Py_block	**name_file** string **state_input** double	**text** (500x1) char **state_output** double	รับค่าชื่อไฟล์เข้ามาเพื่อชี้ไฟล์ที่ต้องการแปลงให้เป็นข้อความเมื่อแปลงเสร็จสิ้นแล้วจะส่งออกคำพูดที่ได้และกำหนดการทำงานของบล็อกต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การออกแบบการตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม

การตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม เพื่อตรวจสอบเนื้อหาของสถานีวิทยุกระจายเสียง ว่ามีเนื้อหาที่ไม่อนุญาตในการโฆษณาหรือไม่ โดยการจากการนำเข้าไฟล์เสียงแล้วถอดเสียงให้เป็นข้อความ จากนั้นตรวจสอบว่ามีที่ไม่อนุญาตในการโฆษณาหรือไม่ ถ้ามีจะแสดงผลคำ ๆ นั้น และเก็บบันทึกข้อมูลไว้ในระบบ ดังรูปที่ 3.29

รูปที่ 3.29 แผนภาพการทำงานของกาตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม

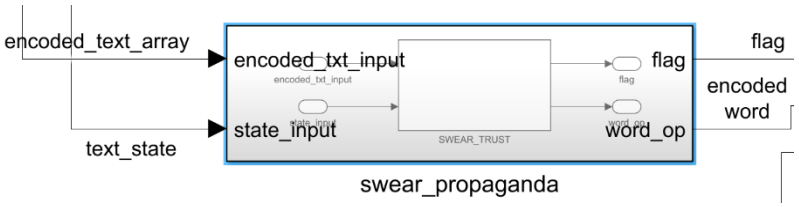
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีตัวอย่างคำ ได้แก่ คำหยาบคาย เช่น เฮงซวย, ปลัดส้นตีน, ระยำ, ไอ้ระยำ, ไอ้เบื๊อก, ไอ้ตัวแสบ, อีตอแหล, จัญไร, ชาติชั่ว, ชาติหมา และคำที่ไม่อนุญาตในการใช้โฆษณา เช่น ที่สุดในโลก, เห็นผลทันที, หายไว, ขาวไว, ครีมผิวขาว, ชะลอความแก่, ดูอ่อนกว่าวัย, แก้ผมร่วง, แก้ผมหงอก, ช่วยการดื้อยา ซึ่งประเภทของคำหยาบคายและคำที่ไม่อนุญาตในการใช้โฆษณาจะถูกเก็บไว้ในรูปแบบของไฟล์ .txt (Text File Document) ดังรูปที่ 3.30 และรูปที่ 3.31

รูปที่ 3.30 ตัวอย่างคำหยาบคาย

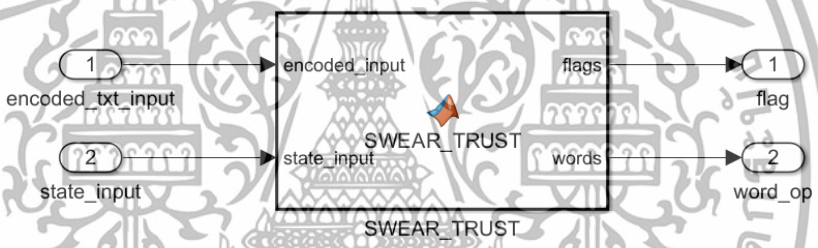
รูปที่ 3.31 ตัวอย่างคำที่ไม่อนุญาตในการใช้โฆษณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.32 ระบบการตรวจจับคำที่ไม่เหมาะสม

โดยจะนำเข้าข้อความที่เข้ารหัสและกำหนดการทำงานจากนั้นก็ทำงานภายในบล็อกจากนั้นส่งออกค่าเป็น *flag* และ *encoded word* คือตัวเลขที่บ่งบอกว่าคำตรวจจับได้นั้นคืออะไรและคำพูดที่ระบบตรวจจับได้



รูปที่ 3.33 บล็อกของ *SWEAR_TRUST*

การทำงานของบล็อกนี้จะตั้งตัวแปรเก็บการเข้ารหัส 32 ไว้จำนวน 32 ตัวเพื่อรองรับคำที่เข้ารหัสที่ต้องส่งออกจากบล็อกนี้จากนั้นจะทำการส่งออกค่าเปล่าและค่า *flag* เท่ากับ -1 เข้าไปก่อนแต่เมื่อมีการกำหนดการทำงานจากบล็อกที่แล้ว จะกำหนดให้ *flag* เท่ากับ 0 เป็นค่าเริ่มต้นจากนั้นจะแปลงข้อความเข้ารหัสให้เป็นตัวอักษรด้วย *char(encoded)* จากนั้นเรียกสคริปต์ภายนอกชื่อว่า *ten_time* และ *flag_time* โดย *ten_time* นั้นจะทำการนำเข้าข้อความและให้คำพูดไม่เหมาะสมเป็นค่าส่งออกให้ไม่ว่าจะเป็นคำหยาบคายหรือโฆษณาชวนเชื่อ และ *flag_time* จะนำเข้าข้อความและส่งออกเป็นตัวเลขแทนด้วย 0 คือ คำพูดปกติ, 1 คือ คำหยาบคาย และ 2 คือ โฆษณาชวนเชื่อโดยสองสคริปต์มีการทำงานที่คล้ายคลึงเพียงแต่ต่างกันแค่การส่งออกแตกต่างกัน

โดยสคริปต์ทั้งสองคือ *ten_time* และ *flag_time* นั้นจะนำเข้าข้อความดังกล่าวและนำคำพูดหยาบคายและโฆษณาชวนเชื่อเข้าไปตรวจสอบในประโยคเหล่านั้นว่ามีตรงกันไหมซึ่งจะเป็นวิธีการที่ตรงไปตรงไปถ้าเจอคำที่มีอยู่ในไฟล์ข้อมูลก็ถือว่าตรวจเจออาจจะเกิดการละหลวมของระบบเพราะฉะนั้นเมื่อระบบตรวจเจอจะต้องให้มนุษย์ตรวจสอบอีกครั้งเพื่อเป็นการยืนยันการรายงาน

การออกแบบการตรวจจับคำหยาบคายโดยมีการออกแบบเพิ่มเติมจากระบบเดิมโดยการแบ่งระดับความรุนแรงของคำหยาบคายเป็น 3 ระดับ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ระดับเบา ใช้ในเชิงหยอกล้อ หรือคำสบถทั่วไป ส่วนมากใช้ในการพูดคุยเล่นกันภายในกลุ่มเพื่อน แต่ไม่สุภาพ

2. ระดับกลาง ใช้ในเชิงดูถูกหรือการด่าทอจริงจังเริ่มเป็นคำหยาบที่มีผลกระทบเชิงลบต่อผู้อื่นอย่างจริงจัง

3. ระดับรุนแรง เป็นคำพูดที่มีความหมายรุนแรงมีผลกระทบอย่างสูง เป็นคำที่ใช้ในการดูหมิ่นเหยียดหยาม และแสดงความเกลียดชังอย่างรุนแรง

ตารางที่ 3.3 การแบ่งระดับความรุนแรงของคำหยาบคาย

ระดับเบา	ระดับกลาง	ระดับรุนแรง
กู	ตอแหล	ไอ้เหี้ย
มึง	อีตอแหล	อีเหี้ย
แม่ง	เฮงซวย	อีสัตว์
เสือก	ปลัดส้นตีน	ไอ้สัส
ไม่เสือก	ระยำ	ไอเหี้ย
ไม่เสือกดิ	ไอ้ระยำ	ไอ้ควย
ไม่เสือกนะ	ควาย	เย็ดแม่
ไม่ต้องเสือก	อีควาย	เย็ด
ไม่ต้องเสือกสักเรื่อง	ไอ้ควาย	ไอ้สัด
ไม่เสือกสักเรื่อง	สถุล	อีดอกทอง
เสือกไรด้วย	สัด	ดอกทอง
เสือกไรด้วยวะ	สันดาน	ไอ้ดอกทอง
เสือกนะ	ชาติชั่ว	อีดอก
กวนตีน	จัญไร	อีร้อยควย
กวนส้นตีน	ชิงหมาเกิด	อีโสเภณี
ไอ้เบื๊อก	ห่า	อีร่าน
ไอ้ตัวแสบ	อัปรีย์	ผู้หญิงต่ำ ๆ
ไอ้โง่	หน้าหี	ช้างเย็ด
ตีน	หน้าควย	หน้าส้นตีน
ไอ้เข้	อีหน้าหี	ไอ้ขี้หมา
แม่มึง	อีหน้าควาย	อีดอกทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

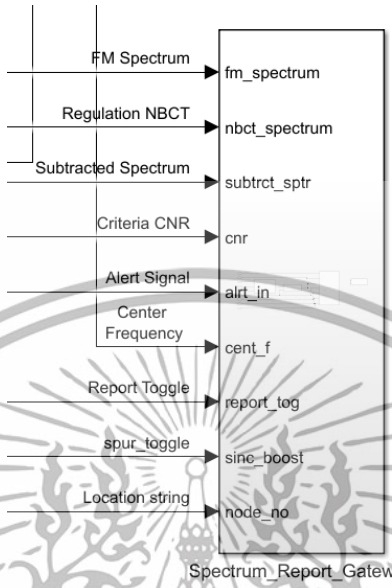
พ่อมึง	อีหน้าหมา	อีระยำ
แดก	อีสัตว์	แรด
	อีสัด	ใจหมา
	อีช้างเย็ด	อีอับปรีย์
	ลูกโสเภณี	อีกะหรี่
	ลูกอีสาด	อีหมา
	ลูกอีดอกทอง	อีห่า
	ไอ้ส้นตีน	แม่เย็ด
	พ่อมึงตาย	ยัดแม่
	แม่มึงตาย	ล่อกัน
	ไอ้หน้าโง่	อัดตูด
	พระหน้าผี	อัดถั่วดำ
	พระหน้าเปรต	รูตูด
	มารศาสนา	แตด
	กระดอ	เศษนรก
	กระสัน	นรกแดกกบาล
	หัวดอ	ยิงกัน
	หัวควย	ตายห่า
		ขายตัว
		ลูกอีกะหรี่

3.1.4 การออกแบบการรายงาน

การรายงานนี้เป็นการรายงานไปยังแม่ค่ายว่ามีการตรวจจับทั้งในทางสเปกตรัมและเนื้อหาเพื่อบันทึกข้อมูลว่าระบบที่ผู้จัดทำขึ้นมาสามารถตรวจจับอะไรได้และเป็นบันทึกไว้สำหรับการรายงานในแจ้งเตือนผู้รับผิดชอบสถานีดังกล่าว โดยระบบที่ผู้จัดทำมามีชื่อว่า *Report Gateway*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

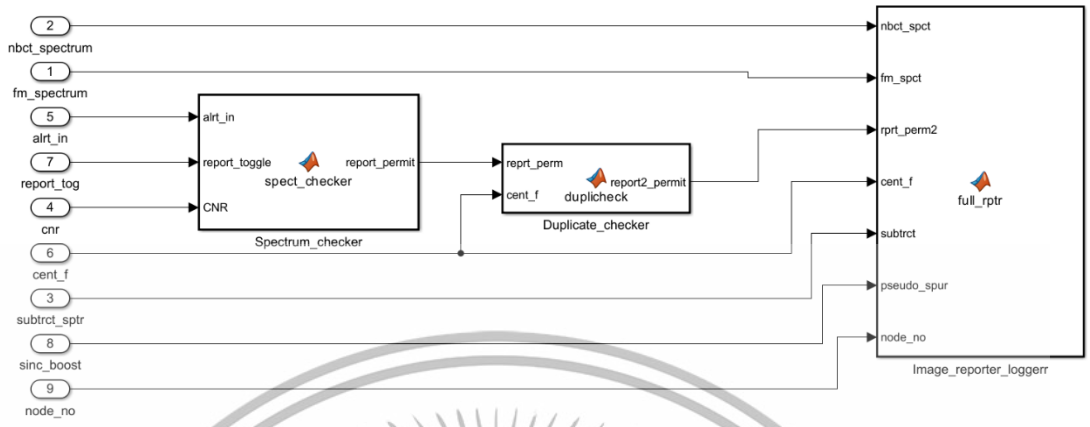
3.1.4.1 การออกแบบการรายงานสเปกตรัมการแพร่แปลกปลอม



รูปที่ 3.34 ระบบการรายงานของสเปกตรัม *Spectrum_Report_Gateway*

ระบบการรายงานดังรูปที่ 3.34 นั้นมีการนำเข้าข้อมูลและจุดประสงค์มีรายละเอียดดังนี้ *fm_spectrum* ใช้สำหรับการนำเข้าสเปกตรัม FM ที่ตรวจสอบไว้สำหรับภาพถ่าย, *nbct_spectrum* ใช้สำหรับการนำเข้าสเปกตรัมข้อจำกัดการแพร่นอกแถบไว้สำหรับภาพถ่าย, *subtract_sptr* ใช้สำหรับการหาค่าที่เกินออกมาว่ามีค่าเท่าไร, *cnr* ใช้สำหรับการตัดสินใจในการตรวจจับ, *alrt_in* เป็นสัญญาณบอกว่ามีการแพร่แปลกปลอม, *cent_f* เป็นความถี่กลางไว้สำหรับการตั้งชื่อไฟล์ภาพว่าสเปกตรัมที่ตรวจจับได้มาจากความถี่ไหน, *report_tog* เป็นการกำหนดว่ามีการรายงานเกิดขึ้นเหมือนการเปิดปิดการรายงาน, *sinc_boost* เป็นการเตือนว่าสเปกตรัมนี้มีการเพิ่มกำลังให้เกินแบนด์โดยความตั้งใจของผู้จัดทำภายในเครื่อง, *node_no* เป็นการนำเข้าที่อยู่ของเครื่องลูกข่าย ณ เวลานั้น

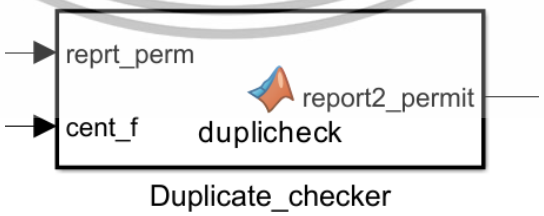
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.36 ฟังก์ชันภายในระบบ *Spectrum_Report_Gateway*

รูปที่ 3.35 บล็อกการทำงาน *spct_checker*

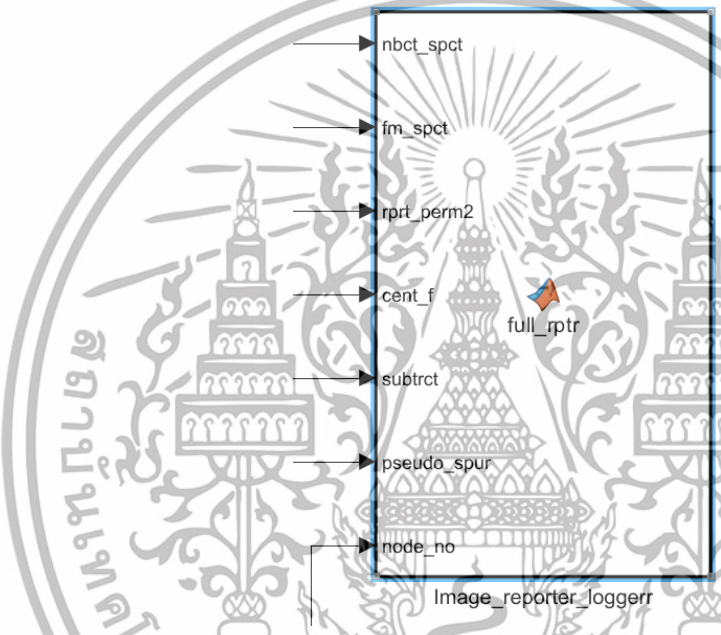
นำเข้าข้อมูล 3 ที่กล่าวไปแล้ว โดยจะตรวจสอบว่าจะต้องให้สัญญาณ *alrt_in* และ *report_toggle* นั้นมีค่าเป็น 1 เท่านั้นและค่า *CNR* จะต้องมากกว่า 15 dB ขึ้นไปเท่านั้นถึงส่งออก *report_permit* เป็น 1 เท่านั้นนอกนั้นเป็น 0 ทั้งหมดการทำงานเป็นเหมือนดังประตูผ่านด่านเงื่อนไขจะต้องครบถ้วนถึงผ่านไปได้



รูปที่ 3.37 บล็อกของ *Duplicate_checker*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานในส่วนนี้จะรับค่าจากเงื่อนไขแรกของรูปที่ 3.36 เมื่อเริ่มต้นการทำงานจะสร้างตัวแปรเก็บค่าเพื่อจดจำความถี่กลางที่ตรวจสอบ เมื่อค่าส่งออกจากรูปที่ 3.36 จะเทียบว่าความถี่กลางนี้คือความถี่ที่ตัวแปรเก็บค่าไว้แล้วถ้าไม่ใช่จะทำการให้ผ่านโดยการส่งออกค่า *report2_permit* และทำการจดจำความถี่กลางนั้น เพื่อป้องหากมีการแพร่นอกแถบเป็นเวลานานจะเกิดการตรวจซ้ำ ๆ กันจึงป้องกันการตรวจซ้ำ ๆ ที่มีความเร็วสูงที่เสี่ยงทำให้เกิดการรายงานที่ไม่มีประโยชน์และป้องกันการเขียนซ้ำจนทำให้เปลืองพื้นที่ทั้งแม่ข่ายและลูกข่าย



รูปที่ 3.38 บล็อกของ *Image_reporter_loggerr*

ฟังก์ชันที่รับค่าทั้งหมดเพื่อการรายงานเก็บเป็นไฟล์ภาพและการบันทึกข้อมูลเป็น log ในไฟล์สกุลของ .csv โดยจะบอกรายละเอียดการทำงานคร่าวๆ ดังนี้เริ่มจากการสร้างไดเรกทอรีของรูปภาพจากนั้นระบบจะทำการพล็อตสเปกตรัมทั้งสองแต่จะไม่มีการแสดงการพล็อตนั้นออกมาด้วย *figure('Visible', 'off')* ทำให้มีการพล็อตแต่ไม่มีการแสดงผลเพื่อป้องกันการรบกวนกับการทำงานของโปรแกรม จากนั้นจะทำการตั้งชื่อไฟล์เป็นรูปแบบดังนี้

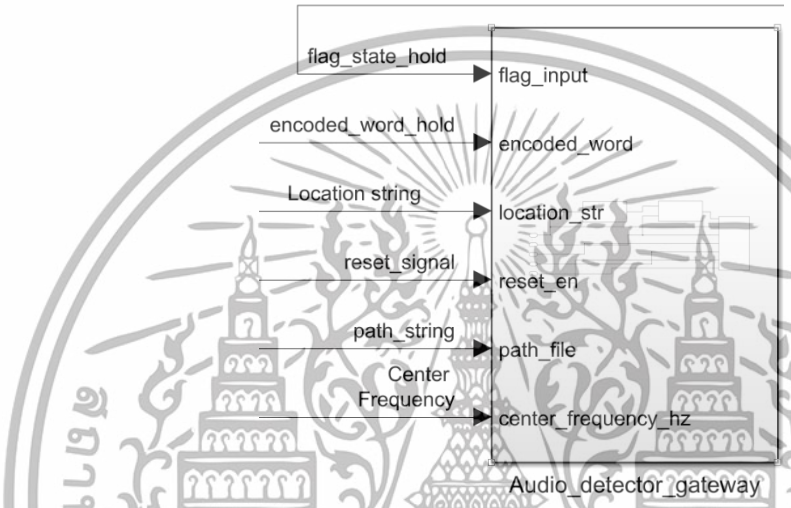
Spectrum_centf yyyymmdd_HHMMSS.png โดย *yyyymmdd* คือ ปี (คริสต์ศักราช) เลขเดือนวันที่, *HHMMSS* คือเลขชั่วโมง นาที และวินาทีรูปแบบ 24 ชั่วโมง และ *centf* คือความถี่กลางที่ตรวจจับได้

ต่อมาเป็นส่วนการบันทึกข้อมูลซึ่งจะเป็น Quick log จะทำให้มีการบันทึกข้อมูลที่รวดเร็วและไม่ต้องมีการทำเซิร์ฟเวอร์ฐานข้อมูล โดยจะมีหัวหรือ header ดังนี้ *Date, Time, Tag, Location, Max Exceed, Image path* แปลว่ามีการบันทึก วันที่ เวลา *Tag* คือการป้ายว่าข้อมูล

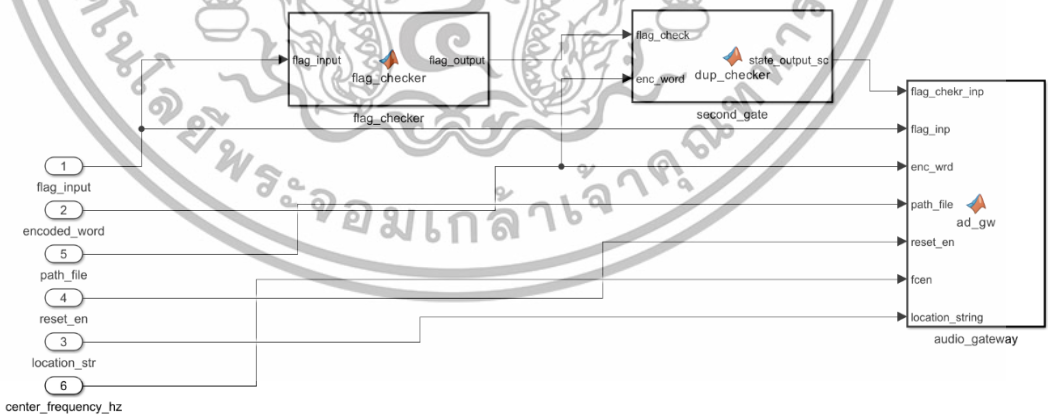
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรงนี้เป็นจริงหรือทดสอบผ่านการรับข้อมูลว่ามีการทำให้การแพร่นอกแถบจำลองถ้ามีจะขึ้นว่า *TEST* ทดสอบ แต่ถ้าไม่ใช่จะเป็นคำว่า REAL แทนจากนั้น Location คือ ที่อยู่ของลูกข่ายเช่น *Ladkrabang, Bangkok Max Exceed* คือค่าที่เกินออกมาจากข้อจำกัด และ *Image path* คือที่อยู่ไฟล์ภาพนั้นที่บันทึกเข้ามา และจะมีการเพิ่มข้อมูลเข้ามาเมื่อมีการกระตุ้นจากที่ได้กล่าวไปข้างต้น

3.1.4.2 การออกแบบการรายงานเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม



รูปที่ 3.39 ระบบการรายงานในส่วนของเนื้อหา



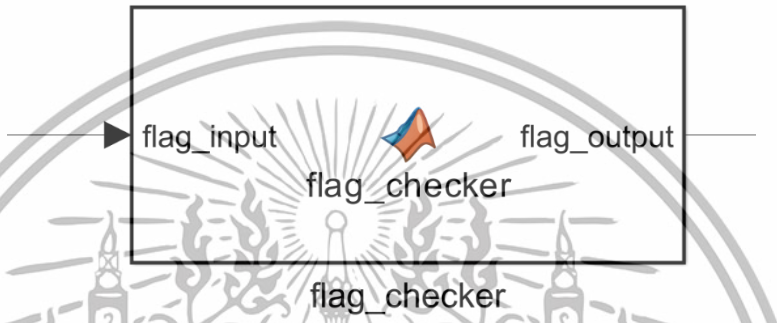
รูปที่ 3.40 แผนภาพการทำงานภายใน *Audio_detector_gateway*

ระบบการรายงานเนื้อหา *Audio_detector_gateway* จะนำเข้าข้อมูลวัตถุประสงค์ของระบบได้แก่ มีการนำเข้า *flag_state_hold* นำเข้าค่าของ *flag* แบบมีการค้างของสถานะ *encoded_word* นำเข้าข้อความเข้ารหัสแบบมีการค้างค่า *location_str* นำเข้าสถานที่ที่ตรวจจับ *reset_en* นำเข้าสัญญาณการเริ่มใหม่ *path_file* การนำเขาที่อยู่ไฟล์ และ *center_frequency_hz*

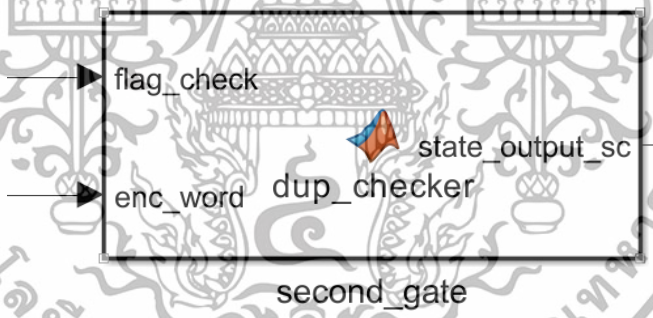
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเข้าความถี่กลางที่มีหน่วยเป็นเฮิร์ต วัตถุประสงค์คือการรายงานเมื่อตรวจจับได้ว่ามีการแสดงเนื้อหาที่ไม่เหมาะสมในการออกอากาศโดยจะไม่มีการรายงานที่ซ้ำกัน

จะทำงานโดยจะนำเข้าค่า *flag_input* ที่เมื่อเกิดคำไม่เหมาะสมเกิดขึ้นจะมีค่า คือ 1 คำหยาบคาย และ 2 คำโฆษณาชวนเชื่อ ถ้ามีค่าเหล่านี้จึงจะให้ผ่านเข้าไปได้เท่านั้นจะส่งออก *flag_output* ที่จะเป็น 1 เพื่อกำหนดการทำงานของบล็อกต่อไป



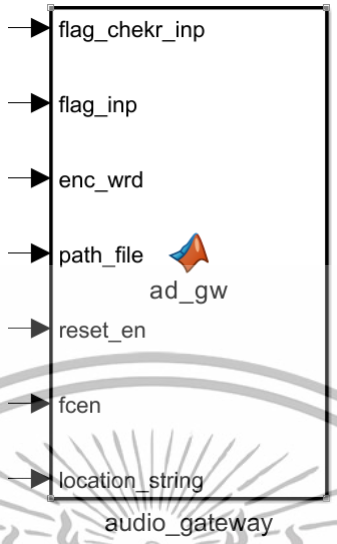
รูปที่ 3.42 บล็อกของ *flag_checker*



รูปที่ 3.41 บล็อกของ *second_gate*

การทำงานรูปที่ 3.41 โดยการสร้างตัวแปรเก็บค่าเพื่อจดจำว่าคำไหนนั้นซ้ำกับค่าเดิมที่เก็บอยู่เหมือนเกิดการซ้ำกันจะส่งค่า *state_output_sc* ให้เท่ากับ 0 เพื่อไม่ให้รายงานเพื่อป้องกันการรายงานซ้ำ ๆ ถ้าเกิดคำใหม่นั้นจะทำการบันทึกค่าลงภายในตัวแปรและส่งออกการอนุญาตให้ *state_output_sc* ให้เท่ากับ 1

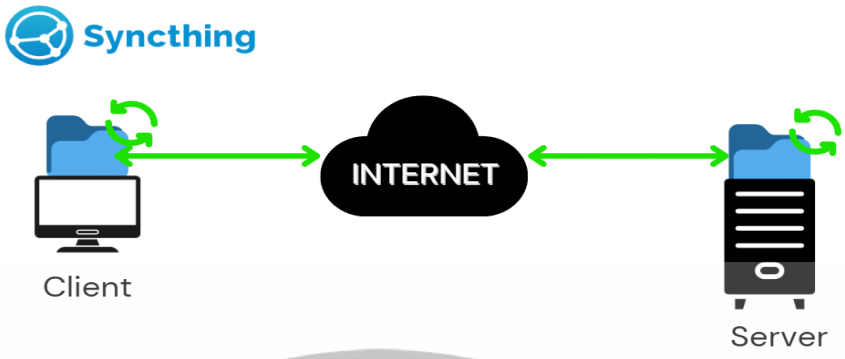
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.43 บล็อก *audio_gateway*

รูปที่ 3.43 เป็นบล็อกสุดท้ายที่ไม่มีค่าส่งออกเนื่องจากเป็นการทำงานครั้งสุดท้ายมีหน้าที่แค่การรายงานโดยการคัดลอกไฟล์เสียงที่ตรวจพบ และบันทึกลงเข้าไปใน Quick log ไฟล์สกุล .csv โดยเริ่มจากการสร้างไดเรกทอรีใหม่โดยถ้าไม่มีตั้งแต่เริ่มต้นเพื่อเก็บข้อมูลเสียงที่ตรวจจับได้ จากนั้นทำรูปแบบชื่อไฟล์เสียงโดยมีรูปแบบดังนี้ *Audio_centf_yyyymmdd_HHMMss* มีรูปแบบคล้ายคลึงกับการรายงานสเปกตรัม แต่แตกต่างกันที่ชื่อแรกเป็นคำว่า *Audio* แทนที่จะเป็น *Spectrum* จากนั้นทำการคัดลอกไฟล์ที่ข้อมูลนำเข้ามาจากนั้นมีการบันทึกข้อมูลโดยมีหัวเรื่องดังนี้ *Date, Time, Node, Tag, Word, Audio path* โดยจะบอกความหมายเรียงตามลำดับดังนี้ วันที่ เวลา สถานที่ *Tag* หรือ *Flag* แต่แทนที่จะเป็นตัวเลขจะเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษแทน เช่น *Swear* (คำหยาบคาย) และ *Propaganda* (คำที่ไม่อนุญาตในการใช้โฆษณา) คำพูดที่ตรวจจับได้หมายถึงคำหยาบใด ๆ หรือคำที่ไม่อนุญาตในการใช้โฆษณาใด ๆ ข้อควรระวังคือไม่ควรเปิดไฟล์ในแอปพลิเคชันที่ไม่มีการรองรับ UTF-8 มิฉะนั้นจะไม่สามารถมองเห็นภาษาไทยได้ และสุดท้ายเป็นที่อยู่ของไฟล์เสียงเพื่อในการค้นหาได้อย่างง่ายดาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

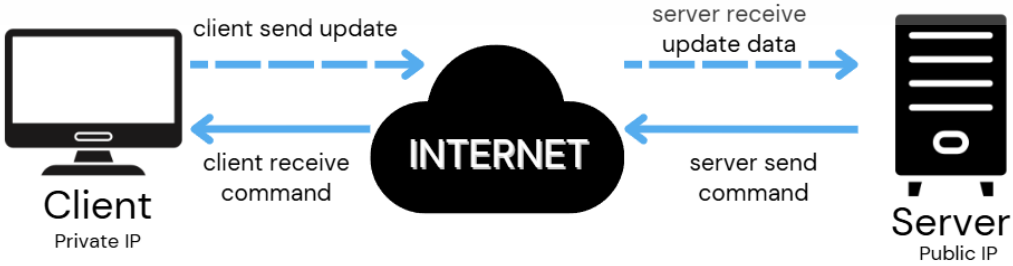


รูปที่ 3.44 แผนภาพตัวอย่างการทำงานของ Syncthing

เพื่อเป็นการส่งไฟล์รายงานจากโปรแกรมส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์ศูนย์กลางที่ได้เตรียมไว้ โดยการซิงค์ไฟล์แทนที่การส่งไฟล์รายไปโดยตรงโดย ซอฟท์แวร์ Syncthing ซึ่งเป็นโปรแกรมจัดการ การเชื่อมต่อระหว่างเครื่องที่แม้จะไม่ได้อยู่บนเครือข่ายเดียวกัน ถ้าอุปกรณ์ทั้งสองสามารถเข้าถึงอินเทอร์เน็ตก็สามารถซิงค์ไฟล์เข้าหากันได้โดยมีข้อดีคือ เมื่ออุปกรณ์ใดอุปกรณ์หนึ่งนั้นเกิดเครือข่ายล่มและมีการตรวจจับได้เครื่องจะสามารถทำงานได้อีกทีเมื่อมีการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตอีกครั้งป้องกันไฟล์รายงานสูญหายเมื่อถ้าใช้การส่งไฟล์ อีกทั้งยังใช้งานแบนด์วิชต่ำเนื่องจากจะทำงานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงไฟล์แม้กระทั่งเนื้อหาภายในไฟล์ด้วย

3.1.5 การออกแบบการเชื่อมต่อระหว่างลูกข่ายและแม่ข่าย

การเชื่อมต่อกันระหว่างลูกข่าย (Client) และ แม่ข่าย (Server) นั้นทางผู้จัดทำได้เขียนซอฟเก็ตของพอร์ต TCP เพื่อให้สามารถสื่อสารกันได้แบบถูกต้อง โดยจะให้แม่ข่ายนั้นส่งคำสั่งที่เป็นประโยคตายตัวซึ่งลูกข่ายถูกเขียนไว้ว่าต้องถอดรหัสยังไงกับคำสั่งและมีหน้าที่ทำอะไรเมื่อมีคำสั่งนี้เข้ามาแต่ทางลูกข่ายก็สามารถส่งคำสั่งและค่าในการอัพเดทเครื่องแม่ข่ายด้วยโดยแม่ข่ายจะมีไอพีแบบสาธารณะซึ่งทำให้แม้ลูกข่ายจะอยู่ที่ไหนก็ตามก็สามารถเข้าถึงแม่ข่ายได้การแสดงคำสั่งที่เซิร์ฟเวอร์กับไคลเอนต์ดังรูปที่ 3.45



รูปที่ 3.45 แผนภาพการเชื่อมต่อกันระหว่างแม่ข่ายและลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ฟังก์ชันในการสื่อสารระหว่างไคลเอนต์กับเซิร์ฟเวอร์

Direction	Function	Description
Server-to-Client	SMC_server_onn SMC_server_off	ส่งคำสั่งเปิด-ปิดโมเดลที่อยู่ในเครื่องไคลเอนต์
	CFC_server_lshift CFC_server_rshift CFC_server_manual_%value%	ส่งคำสั่งการเคลื่อนความถี่กลางและการสั่งให้อยู่ในความถี่กลางอยู่ตามที่กำหนดไว้
	SPC_server_onn SPC_server_off	สั่งการเพิ่มกำลังที่ทำให้เกิดการแพร่นอกแถบจำลอง
	SPT_server	การขอข้อมูลสเปกตรัม ณ ขณะนั้นเพื่อการพล็อตในหน้าของเซิร์ฟเวอร์และสัญญาณเตือนการแพร่นอกแถบ
	S2T_server	การขอข้อมูลของสัญญาณเตือนในเนื้อหา คำพูดที่ตรวจจับได้ และคำพูดที่แปลงได้ในช่วงเวลา ณ ขณะนั้น
Client-to-Server	MDS_Noden_%sim_stat%	ไคลเอนต์ส่งอัพเดทสถานะของโมเดลไปยังเซิร์ฟเวอร์ทุก ๆ ค่าเวลาสุ่ม
	CCF_Noden_%center_freq%	ไคลเอนต์ส่งอัพเดทว่าโมเดลของตัวเองอยู่ ณ ความถี่กลางความถี่ไหนไปยังเซิร์ฟเวอร์ทุก ๆ ค่าเวลาสุ่ม
	P2S_Noden_%arrays%	ไคลเอนต์ส่งค่าพล็อตทั้ง 3 ได้แก่ สเปกตรัม, สเปกตรัมข้อจำกัดการแพร่นอกแถบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		และ แกนความถี่ เมื่อเซิร์ฟเวอร์มีการร้องขอด้วยคำสั่ง SPT_server
	AGM_Noden_%Alert_value%	ไคลเอนต์ส่งค่าการแจ้งเตือนของสเปกตรัมไปยังเซิร์ฟเวอร์เมื่อเซิร์ฟเวอร์มีการร้องขอด้วยคำสั่ง SPT_server
	ASM_Noden_%flag%_%encoded_array%	ไคลเอนต์ส่งค่า flag และคำพูดที่ตรวจจับที่ถูกเข้ารหัสไปยังเซิร์ฟเวอร์เมื่อมีการร้องขอจากเซิร์ฟเวอร์ด้วยคำสั่ง S2T_server
	THT_Noden_%encoded_array%	ไคลเอนต์ส่งอาร์เรย์อักษรที่ถูกเข้ารหัสไปยังเซิร์ฟเวอร์เมื่อมีการร้องขอด้วยคำสั่ง S2T_server

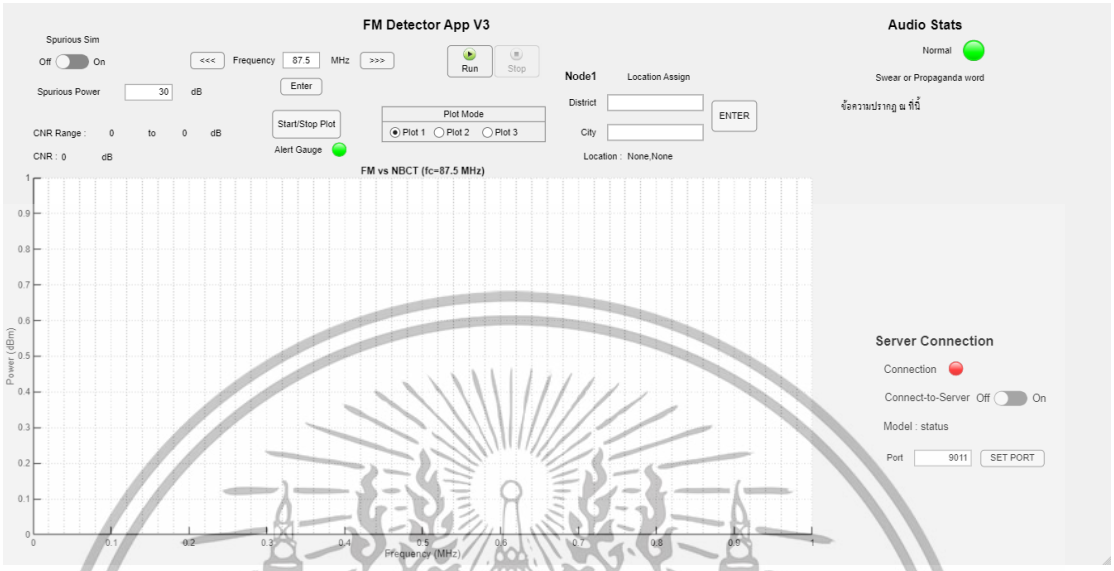
ตารางที่ 3.4 คือการสรุปสั้น ๆ ของคำสั่งที่ไคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์ใช้สื่อสารกัน ถึงแม้คำสั่งไม่สามารถออกแบบให้เป็นสามารถดูสเปกตรัมได้แบบเกือบ real-time เนื่องจากปัญหาทางด้านทรัพยากรของเครื่องเซิร์ฟเวอร์เนื่องจากมีการแบ่งปันทรัพยากรของเครื่องแบบ on-premise จึงไม่สามารถแยกความเสียหายที่เกิดขึ้นภายในการทำงานได้ มีฟังก์ชันบางตัวนั้นใช้คำว่า “ทุก ๆ ช่วงเวลาสุ่ม” นั้นเป็นเพราะการออกแบบของผู้จัดทำ เพราะเนื่องจากเป็นการส่งอัพเดทไปยังเซิร์ฟเวอร์โดยอัตโนมัติ จะทำงานทันทีเมื่อเชื่อมต่อระหว่างกันสำเร็จจึงใช้เวลาสุ่มเพื่อมิให้แพ็กเก็ตเกิดการซ้อนเข้าด้วยกันเวลาไปถึงเซิร์ฟเวอร์เนื่องจากแบนด์วิชที่ต่ำและความหน่วงของแพ็กเก็ต

3.1.6 การออกแบบแอปพลิเคชันและเว็บแอปพลิเคชัน

การออกแบบนี้เกิดจากที่ผู้จัดทำได้รู้ว่าเมื่อเปลี่ยนพารามิเตอร์ภายในโปรแกรม Simulink นั้นจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดเกิดขึ้นผู้จัดจึงได้พึ่งพาซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งเข้ามากับโปรแกรม MATLAB คือ MATLAB App Designer เป็นซอฟต์แวร์ไว้ออกแบบแอปพลิเคชัน ออกแบบ GUI และอีกทั้งยังสามารถทำงานร่วมกับ Simulink ได้อย่างไร้รอยต่อและยังไม่มีข้อจำกัด Coder Generation เหมือนของ Simulink อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6.1 การออกแบบแอปพลิเคชันบนไคลเอนต์

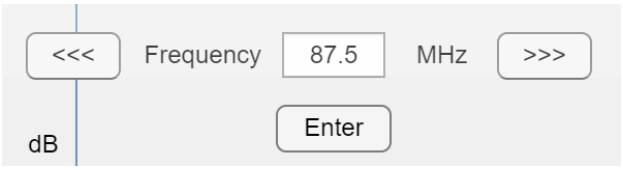


รูปที่ 3.46 หน้าต่างของแอปพลิเคชันของไคลเอนต์

จากหน้าต่างแอปพลิเคชันที่ใช้ในการควบคุมโมเดลและแสดงค่าที่โมเดลออกมาเพื่อให้สามารถสังเกตค่าที่เกิดขึ้นภายในระบบการตรวจจับโดยมีฟังก์ชันการทำงานดังนี้

รูปที่ 3.47 ปุ่มควบคุมการเปิด - ปิดโมเดล

ปุ่มควบคุมการเปิด – ปิดโมเดล ใช้สำหรับการเปิด – ปิดโมเดล ด้วยหน้าไคลเอนต์



รูปที่ 3.48 ตัวควบคุมความถี่กลาง

โดยการทำงานจะมีการเลื่อนไปทางซ้ายและขวาของความถี่ปัจจุบันโดยปุ่ม “<<<” นั้นจะขยับไปซ้ายของสเปกตรัม -0.25 MHz ถ้าขยับไปทางขวา “>>>” จะขยับแกนกลางสเปกตรัมไป +0.25 MHz และส่วนของช่องว่างที่สามารถใส่ความถี่ที่ต้องการกำหนดได้คือเป็นค่าที่สามารถใส่เข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

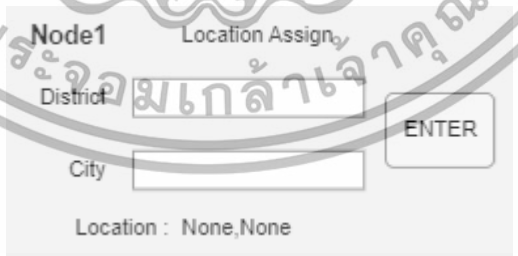
ไปและต้องกดปุ่ม *“Enter”* เป็นการเปลี่ยนความถี่ด้วยมือทั้งนี้ทั้งนั้นขนาดความถี่ที่ป้อนได้จะมีเพียงตั้งแต่ 87.5 ถึง 108 MHz เท่านั้น

รูปที่ 3.49 ตัวควบคุมการพล็อตภายในแอปพลิเคชัน

ตัวควบคุมรูปที่ 3.49 สามารถกด *“Start/Stop Plot”* เพื่อเริ่มหรือหยุดการพล็อตภายในแอปพลิเคชันอีกทั้งยังมี *“Plot Mode”* สามารถเปลี่ยนโหมดไปสังเกตสเปกตรัมที่เกี่ยวข้อง เช่น *“Plot 2”* จะแสดงการพล็อตของสเปกตรัมที่ทำให้เกิดการแพร่นอกแถบ เพื่อสังเกตพฤติกรรม และ *“Plot 3”* นั้นจะแสดงสเปกตรัมที่หักล้างกันระหว่างสเปกตรัมข้อจำกัดการแพร่นอกแถบกับสเปกตรัมที่สนใจ อีกทั้งยังแสดงสัญญาณเตือนเมื่อเกิดการแพร่นอกแถบขึ้น

รูปที่ 3.50 ตัวควบคุมการกำเนิด
สเปกตรัมแพร่นอกแถบ

เมื่อเลื่อนปุ่มไปยังฝั่งของ *“On”* จะเกิดการแพร่นอกแถบเทียมที่เป็นโปรแกรมจำลองภายในไคลเอนต์เอง อีกทั้งยังสามารถกำหนดกำลังสูงสุดของการแพร่นอกแถบได้



รูปที่ 3.51 ฟอร์มเพื่อการอัพเดทสถานที่
ปัจจุบันของไคลเอนต์

ฟอร์มช่องนี้ไว้สำหรับการอัพเดทสถานที่ของไคลเอนต์เมื่อไคลเอนต์ถูกมอบหมายตำแหน่งใหม่จากศูนย์กลางซึ่ง *“District”* คือ เขตเมืออยู่ในเมืองหลวงหรืออำเภอส่วน *“City”* คือจังหวัดที่อาศัยอยู่เมื่อกด *“Enter”* นั้นโมเดลจะอัพเดทตัวแปรภายในและแสดงผลที่ *“Location: ”*

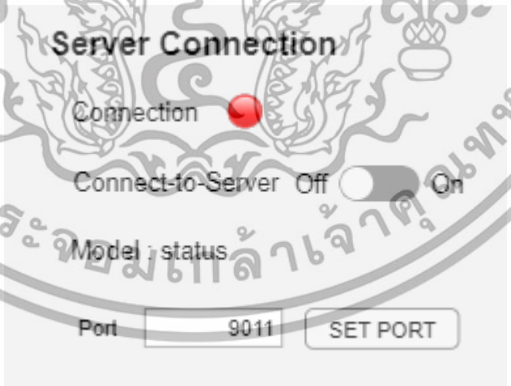
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.52 ป้ายกำกับแสดงช่วงของ CNR และ
CNR เฉลี่ย

รูปที่ 3.52 แสดงส่วนที่ส่งออกค่าจากโมเดลของไคลเอนต์เองเมื่อมีการกดพล็อต

รูปที่ 3.53 ส่วนแสดงผลของเนื้อหา

รูปที่ 3.53 เป็นการแสดงสัญญาณเตือนคำพูดที่ตรวจจับได้ และข้อความที่โมเดลถอดเสียงเป็นข้อความ



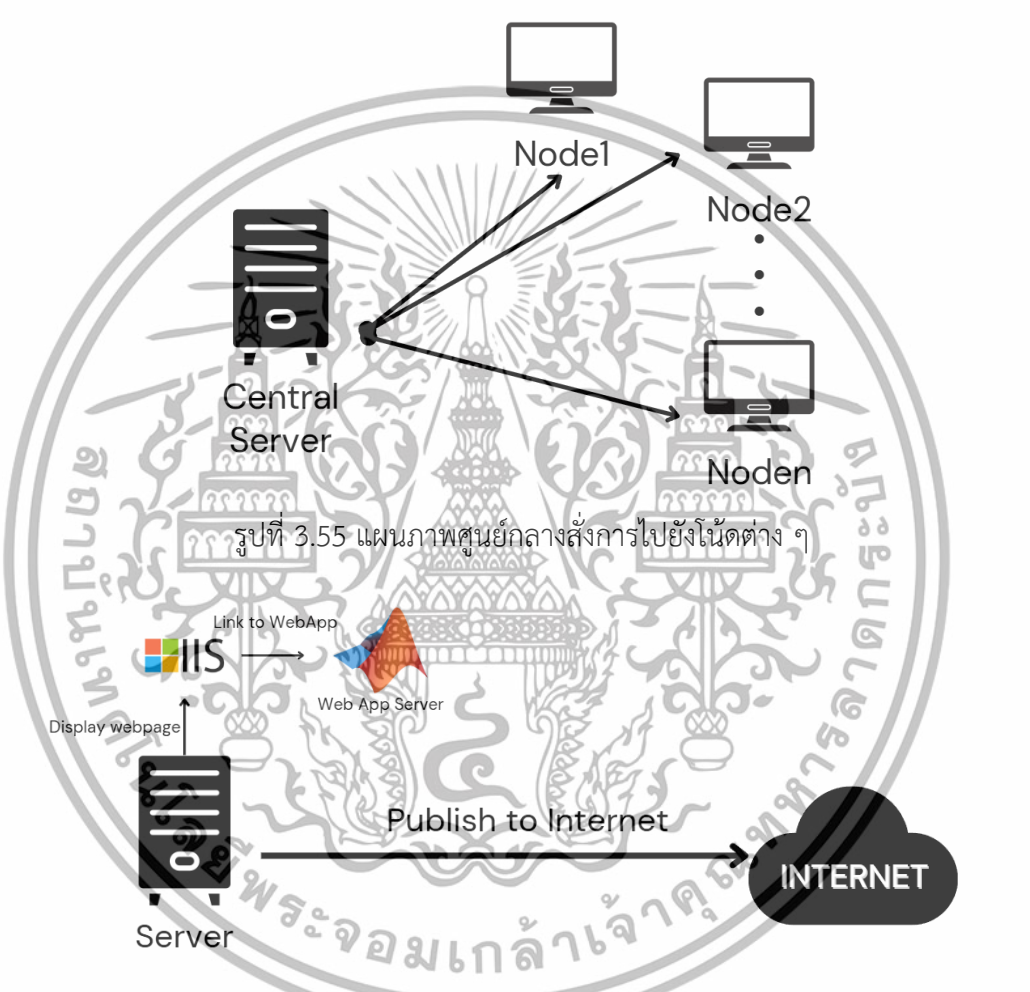
รูปที่ 3.54 ส่วนการเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์

ปุ่มสั่งการสามารถเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ได้และสามารถตั้งพอร์ตได้ตามที่ต้องการกำหนด แต่ต้องเป็นไปตามที่เซิร์ฟเวอร์ จึงจะสามารถใช้งานได้ และมีไฟแสดงสถานะว่ามีการเชื่อมต่ออยู่หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6.2 การออกแบบเว็บแอปพลิเคชันบนเซิร์ฟเวอร์

เนื่องด้วยจากการดำเนินแผนงานไว้ตั้งแต่ต้นว่าระบบของปริญญานิพนธ์นั้นจะต้องสามารถสังเกตการณ์และควบคุมจากส่วนกลางได้จึงมีการออกแบบเว็บแอปพลิเคชันเพื่อควบคุมไคลเอนต์หลายอุปกรณ์ในการทำงานแต่ทางผู้จัดทำมีเพียงแค่ 1 อุปกรณ์จึงต้องทำงานแบบ 1 ต่อ 1 ภายในปริญญานิพนธ์นี้

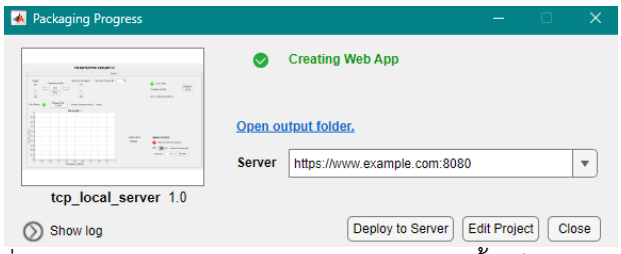


รูปที่ 3.55 แผนภาพศูนย์กลางสั่งการไปยังโน้ดต่าง ๆ

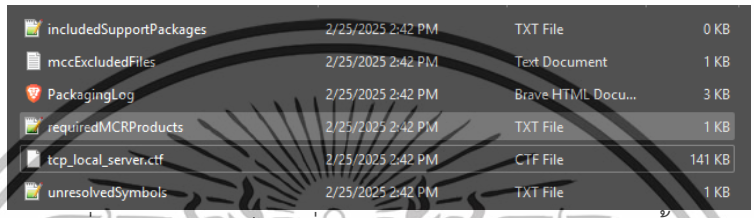
รูปที่ 3.56 แผนภาพการทำงานของเว็บเซิร์ฟเวอร์

รูปที่ 3.56 เป็นส่วนที่ผู้จัดทำได้พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันภายใน MATLAB App Designer จากนั้นนำแอปที่พัฒนามาแบ่งปันในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชันเมื่อทำการแบ่งปันเสร็จสิ้น MATLAB App Designer จะทำการสร้างไฟล์ที่ไว้ใช้ในการขึ้นเว็บสกุล .ctf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

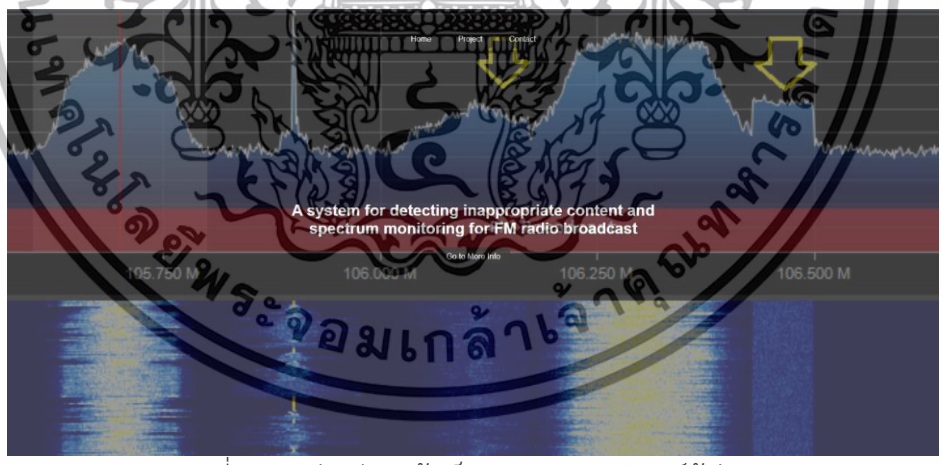


รูปที่ 3.57 ตัวอย่างการสร้างไฟล์ไว้สำหรับการขึ้นเว็บเซิร์ฟเวอร์



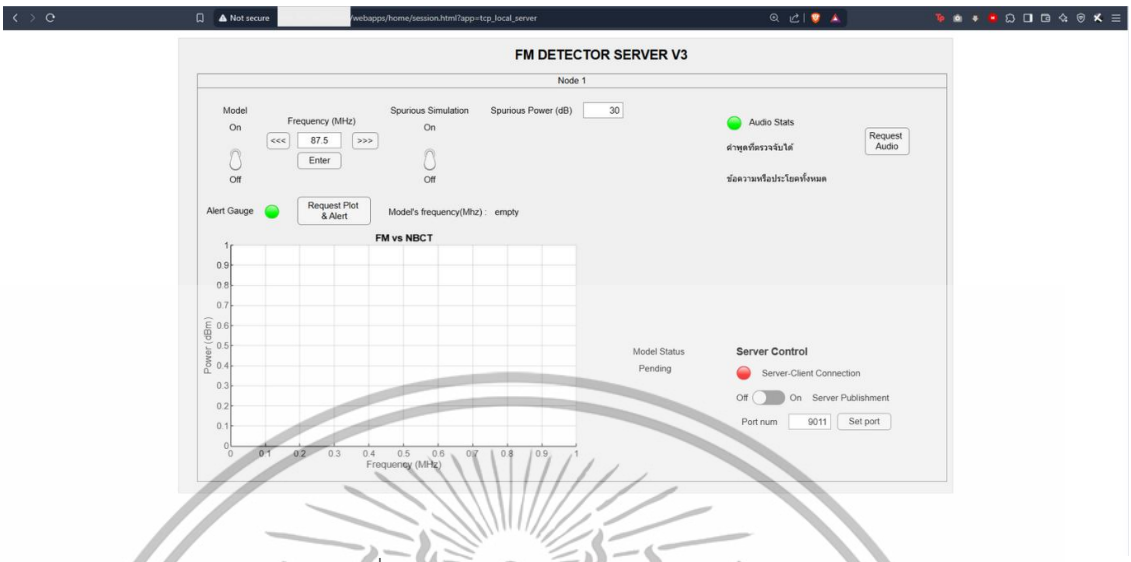
รูปที่ 3.58 ตัวอย่างไฟล์ที่ MATLAB Application สร้างขึ้นมา

จากนั้นนำไฟล์เหล่านี้ขึ้นไปยัง MATLAB Web Application ภายในเครื่องเซิร์ฟเวอร์ เพื่อส่งออกสู่โลกอินเทอร์เน็ต จากนั้นผู้จัดได้พัฒนาเว็บไซต์นามสกุลไฟล์ .html เพื่อใช้ในการแสดงผลตัวอย่างปริญญานิพนธ์และเป็นประตูสู่เว็บแอปพลิเคชันด้วยการลิงก์ URL ตามรูปที่ 3.59 ตัวอย่างหน้าเว็บของปริญญานิพนธ์ผู้จัดทำ



รูปที่ 3.59 ตัวอย่างหน้าเว็บของปริญญานิพนธ์ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.60 ตัวอย่างหน้าเว็บแอปพลิเคชัน

ผู้จัดทำขอสงวนหมายเลขไอพีเนื่องจากความปลอดภัยของปริญญานิพนธ์ของผู้จัดทำ โดยหน้าเว็บแอปพลิเคชันนี้จะอ้างอิงมาจากการควบคุมโมเดลของไคลเอนต์ส่วนมากมีหน้าที่เหมือนกันแต่สิ่งที่ต่างคือไม่สามารถเรียกการพล็อตของสเปกตรัมได้ทันเวลาเนื่องจากการใช้แบนด์วิชที่สูงและการไม่มีความสามารถมากพอของผู้จัดในการเขียนโปรแกรมเพื่อรองรับการสตรีมมิ่งของข้อมูลจึงออกแบบให้พล็อตและเรียกคำพูดได้ก็ต่อเมื่อมีการกดร้องขอเท่านั้น

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในปริญญานิพนธ์นี้ มีอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

3.2.1 โปรแกรม MATLAB

ใช้โปรแกรม MATLAB สำหรับเขียน Software automatic detects เพื่อตรวจจับสเปกตรัม

3.2.2 โปรแกรม Simulink

เป็นโปรแกรมที่พัฒนาโดยบริษัท MathWorks มีลักษณะเป็นเครื่องมือที่ทำงานควบคู่กับ MATLAB ใช้สำหรับการจำลองและวิเคราะห์ระบบที่มีความซับซ้อน โดยเฉพาะระบบที่สามารถแสดงในรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และระบบการควบคุมต่าง ๆ เช่น ระบบเครื่องกล ระบบไฟฟ้า และระบบควบคุมอัตโนมัติ โดย Simulink ช่วยผู้จัดทำให้สามารถเขียนโปรแกรม Software automatic detects ซึ่งมีพื้นมาจาก MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ภาษาไพธอน (Python)

ใช้ภาษา Python สำหรับการเขียน Speech to Text เพื่อการถอดเสียงพูดเป็นข้อความ

3.2.4 ภาษา HTML

ใช้ภาษา HTML สำหรับการเขียนหน้าอินเทอร์เฟสเพื่อเข้าใช้งานบนเว็บไซต์

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.3.1 การทดสอบการตรวจจับสเปกตรัม

การทดสอบการตรวจจับสเปกตรัมเป็นการทดลองเพื่อตรวจจับและตรวจสอบสเปกตรัมว่าอยู่ในขอบเขตที่กำหนดตามมาตรฐานของกสทช.ไว้หรือไม่

3.3.2 การทดสอบการถอดเสียงเป็นข้อความ

การทดสอบการถอดเสียงเป็นข้อความเป็นการทดลองเพื่อเลือกใช้ประเภทของโมเดลและการถอดเสียงเป็นข้อความ

3.3.3 การทดสอบการตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม

การทดสอบการตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสมเป็นการทดลองเพื่อตรวจสอบว่าระบบสามารถตรวจจับคำพูดที่ไม่เหมาะสมได้หรือไม่ เช่น คำหยาบคาย และคำที่ไม่อนุญาตในการใช้โฆษณา

3.3.4 การทดสอบการประเมินประสิทธิภาพของระบบการตรวจจับเนื้อหา

การทดสอบการประเมินประสิทธิภาพของระบบการตรวจจับเนื้อหาเป็นการทดลองเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของคำที่ได้จากการถอดเสียงเป็นคำพูด

3.3.5 การทดสอบการขึ้นเว็บเซิร์ฟเวอร์ด้วย IIS

การทดสอบการขึ้นเว็บเซิร์ฟเวอร์ด้วย IIS โดยใช้โปรแกรม IIS (Internet Information Services) โดยการเพิ่มไดเรกทอรีแบบจำลอง

3.3.6 การทดสอบการใช้งานบนเว็บแอปพลิเคชัน

การทดสอบการใช้งานบนเว็บแอปพลิเคชันเป็นการทดลองใช้งานบนเว็บไซต์และแอปพลิเคชันที่ทำงานบนเครื่องเซิร์ฟเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

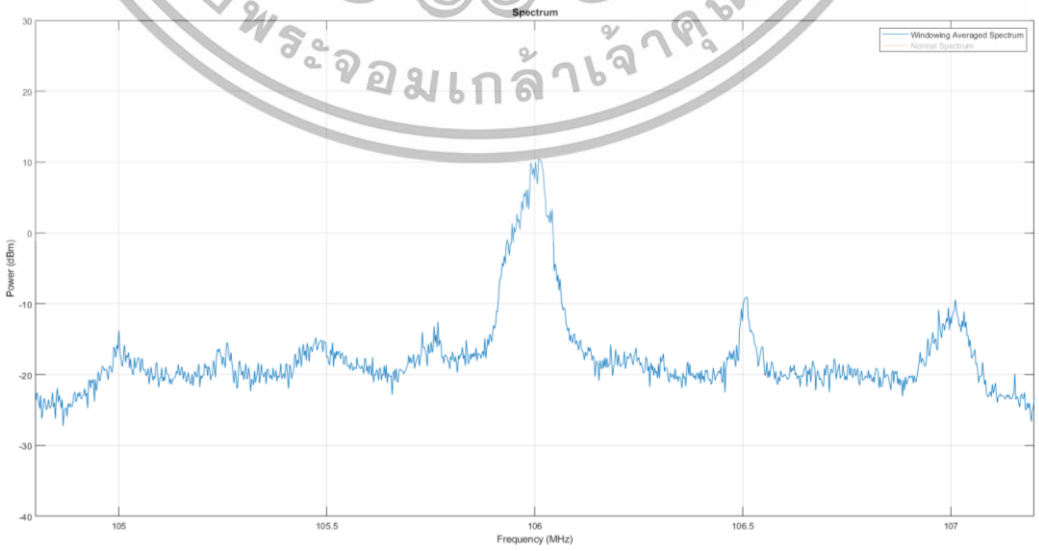
บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบการตรวจจับสเปกตรัม

4.1.1 การทดลองในแผนภาพการรับสเปกตรัม

รูปที่ 4.1 สเปกตรัมที่ไม่มีการเฉลี่ย

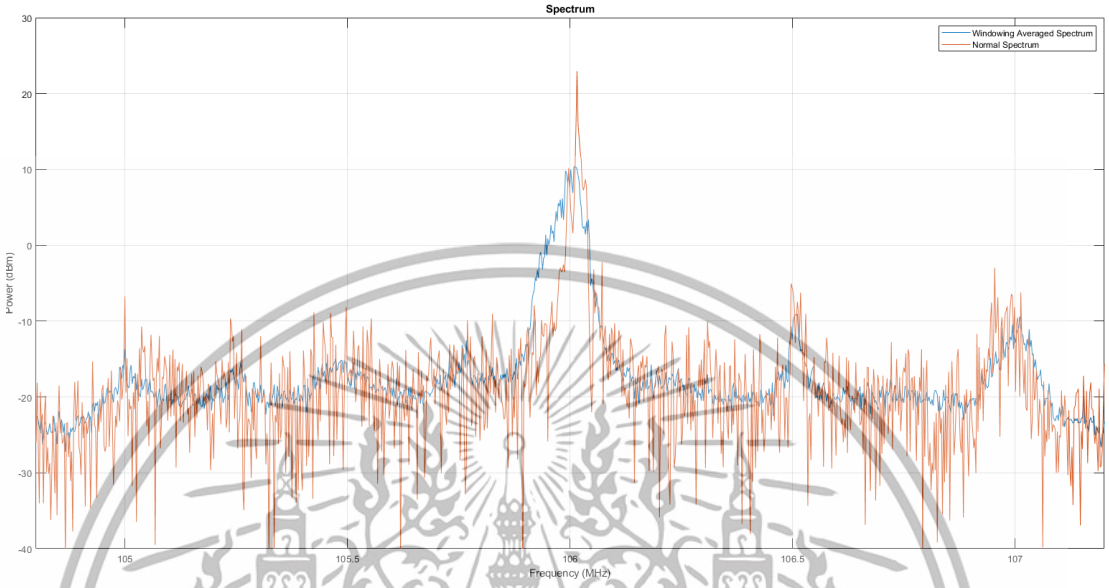
จากรูปที่ 4.1 สเปกตรัมที่รับเข้ามาเกิดสัญญาณรบกวนเข้ามามากเกินไปจึงยากต่อการนำข้อมูลนี้เข้าไปทำการคำนวณต่อเนื่องจากมีค่าสูงสุดและต่ำสุดต่างกันเกินไปจึงไม่สามารถแยกแยะได้ด้วยตาเปล่าเหมือนกับในเครื่องวิเคราะห์จึงมีการเข้าสู่การเฉลี่ยเคลื่อนที่



รูปที่ 4.2 สเปกตรัมที่ผ่านกระบวนการเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

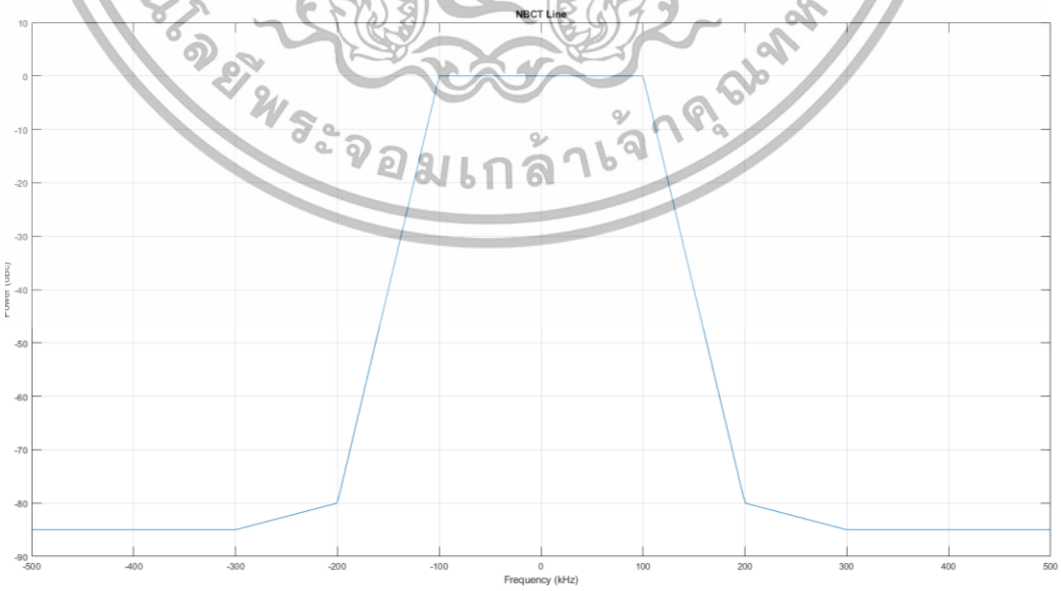
จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า สเปกตรัมที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวนั้นทำให้สเปกตรัมสังเกตได้ง่ายกว่าสัญญาณรบกวนน้อย โดยใช้จำนวนการเฉลี่ย (n) เป็นจำนวน 32 ชุด



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบกันระหว่างสเปกตรัมที่ไม่ผ่านกระบวนการและที่ผ่านกระบวนการ

รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบกันระหว่างสเปกตรัมธรรมดา และสเปกตรัมที่ผ่านการเฉลี่ยเคลื่อนที่เพื่อแสดงให้ชัดเจนว่าผลลัพธ์ในการทำการเฉลี่ยนั้นใกล้เคียงและมีพื้นฐานมาจากสเปกตรัมที่รับมา

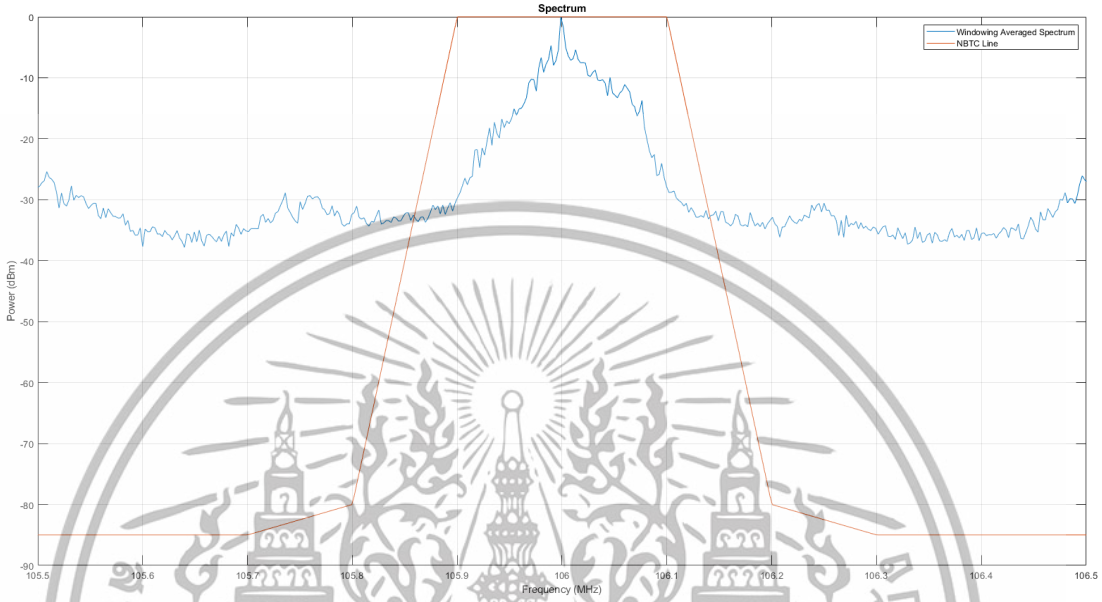
4.1.2 การกำเนิดเส้นสเปกตรัมมาตรฐานของกสทช.



รูปที่ 4.4 เส้นสเปกตรัมมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 นั้นเป็นการแสดงให้เห็นว่าสมการที่เกิดขึ้นและกระบวนการต่าง ๆ ภายในรูปที่ 3.11 ถึงรูปที่ 3.13 ให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกับรูปที่ 2.3 ซึ่งเป็นทฤษฎีได้อย่างแม่นยำ

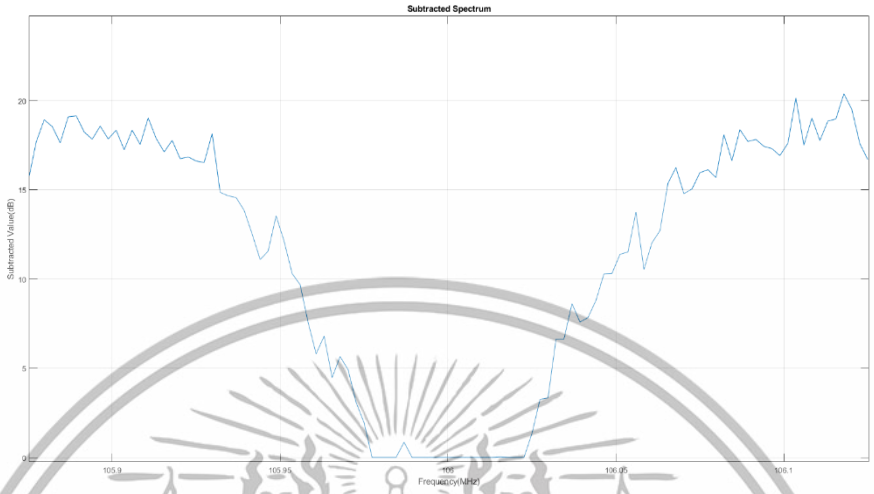


รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบสเปกตรัมกับสเปกตรัมมาตรฐานกสทช.

รูปที่ 4.5 เป็นการทำให้เห็นภาพในกระบวนการเปรียบเทียบสเปกตรัมทั้งสองจากรูปนั้นได้ทำการนอร์มอลไลซ์สเปกตรัมจึงมีจุดสูงสุดอยู่ที่ 0 dBm โดยการตรวจสอบสเปกตรัมมีจะการตรวจสอบส่วนตรงความถี่กลางเนื่องจากความซับซ้อนเมื่อมีการตรวจสอบหลาย ๆ ช่องสัญญาณมากกว่าหนึ่งช่องทำให้เกิดความสับสนทางตัวเลขเช่น พื้นที่ของเส้นมาตรฐานเกิดการซ้อนทับกันและการกำหนดการเริ่มต้นของการตรวจสอบนั้นเหมือนมีการเลื่อนความถี่ไปนั้นไม่สามารถกำหนดความถี่แรกเริ่มในการตรวจสอบและสุดท้ายได้รวมถึงเมื่อมีการพบเจอการแพร่แปลกปลอมนั้นจะมีการบันทึกเสียงและข้อความตัวอักษรภายในช่องสัญญาณเหล่านั้นอีกด้วยจึงเปลี่ยนเป็นวิธีการตรวจสอบแบบทีละความถี่เข้าไปแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การเปรียบเทียบสเปกตรัมผ่านการลบกัน

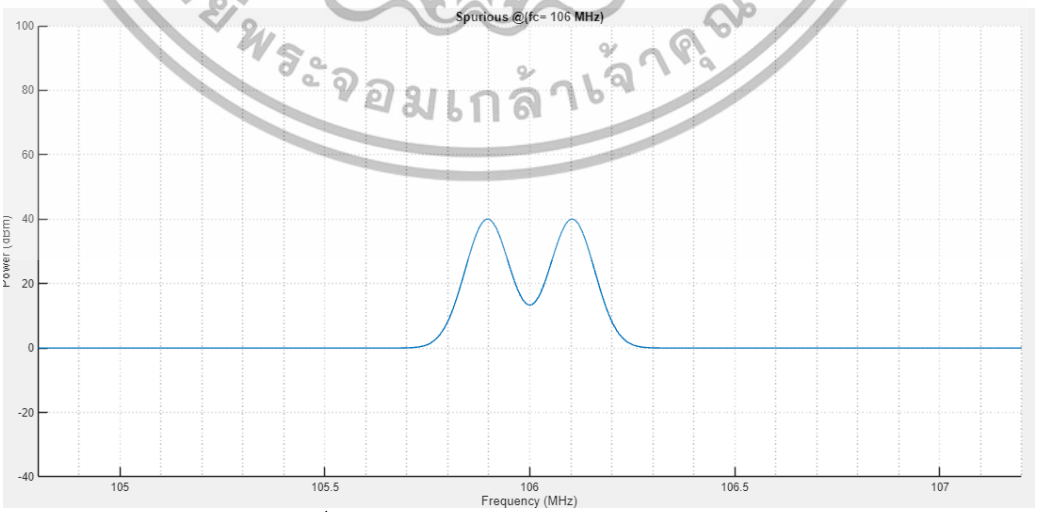


รูปที่ 4.6 ตัวอย่างค่าสเปกตรัมเมื่อผ่านการลบกัน

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อค่าปกติของสเปกตรัมที่ผ่านการลบกันนั้นมีขนาดที่ลดลง เนื่องจากผ่านกระบวนการที่กล่าวมาตั้งแต่ รูปที่ 3.6 ทั้งการเลือกความถี่ การกรองสิ่งแปลกปลอม และการนอร์มอลไลซ์ตัวอย่างเมื่อไม่พบการแพร่นอกแถบนั้นจะมีค่าที่เป็นบวกเสมอค่าที่ต่ำที่สุดจึงเป็น 0 dB ตามค่าสูงสุดของสเปกตรัม

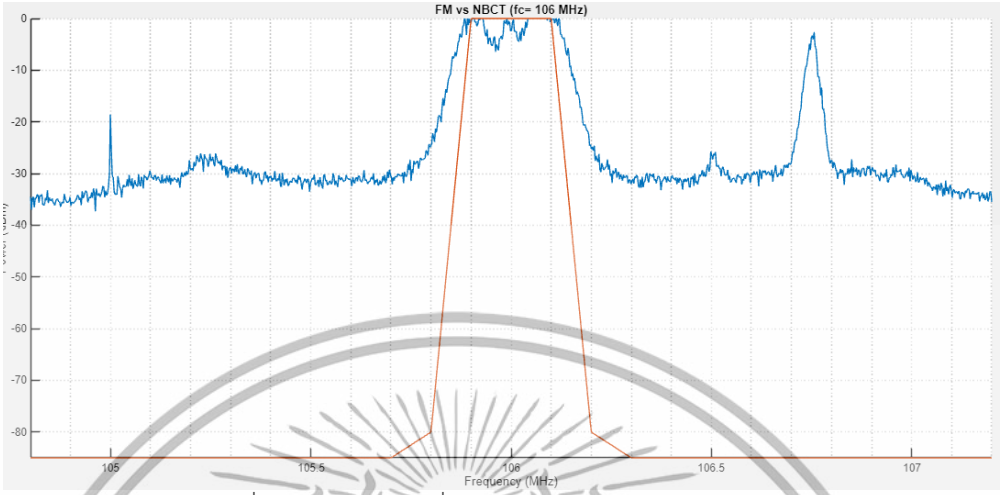
4.1.4 การทดสอบการแพร่นอกแถบจำลอง

ต่อจากนี้จะเป็นการทดสอบนำการแพร่นอกแถบแบบจำลองเพิ่มเข้าไปในสเปกตรัมที่สนใจ



รูปที่ 4.7 สเปกตรัมการแพร่นอกแถบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

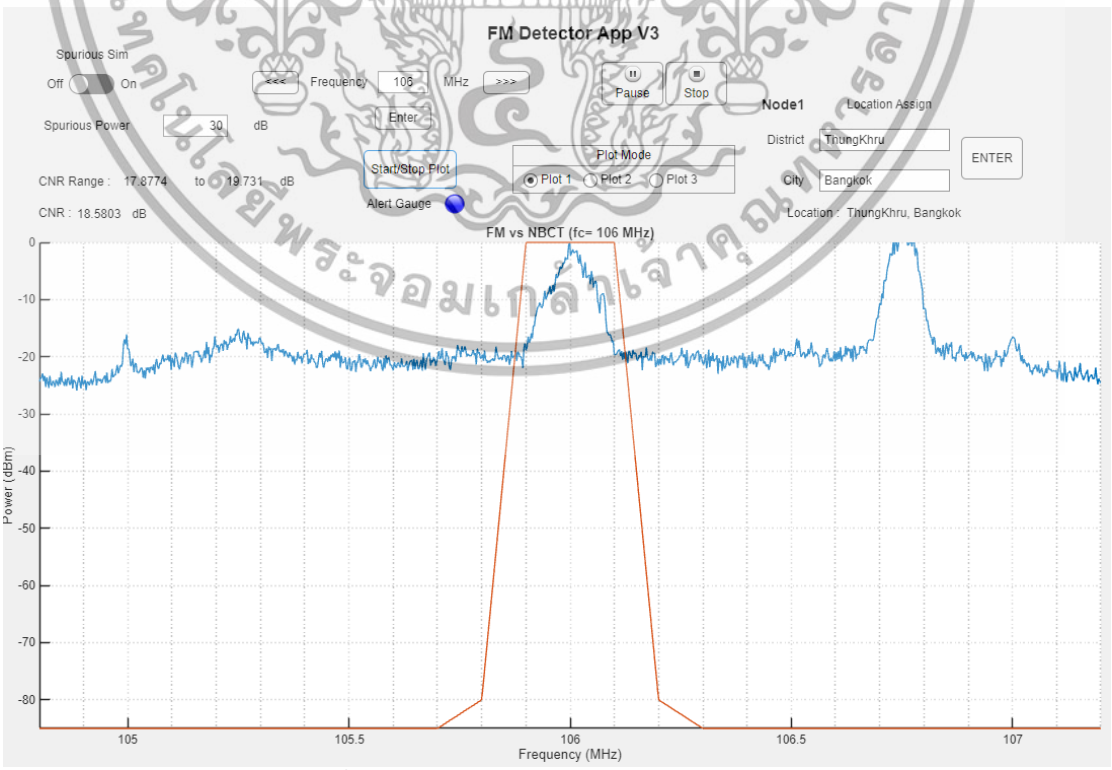


รูปที่ 4.8 สเปกตรัมเมื่อถูกการแพร่แปลกปลอมจำลอง

สังเกตจากรูปที่ 4.8 ได้ว่าจะมีการเพิ่มกำลังของสเปกตรัมเกินออกมาจากความถี่กลางอย่างชัดเจนและเกินกว่าสเปกตรัมข้อจำกัดการแพร่นอกแถบ

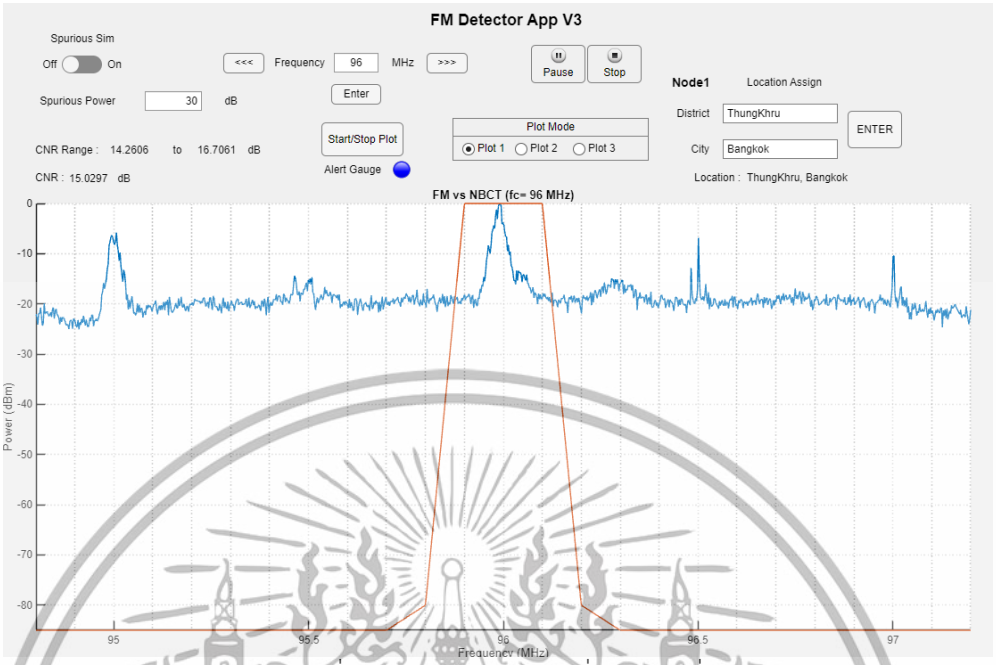
4.1.5 การทดสอบการตรวจจับการแพร่นอกแถบด้วยแอปพลิเคชันบนไคลเอนต์

การทดสอบนี้จะรวมการแสดงการแจ้งเตือนการตรวจจับสเปกตรัมที่การแพร่แปลกปลอมจำลองด้วยแอปพลิเคชันบนเครื่องไคลเอนต์ก่อน



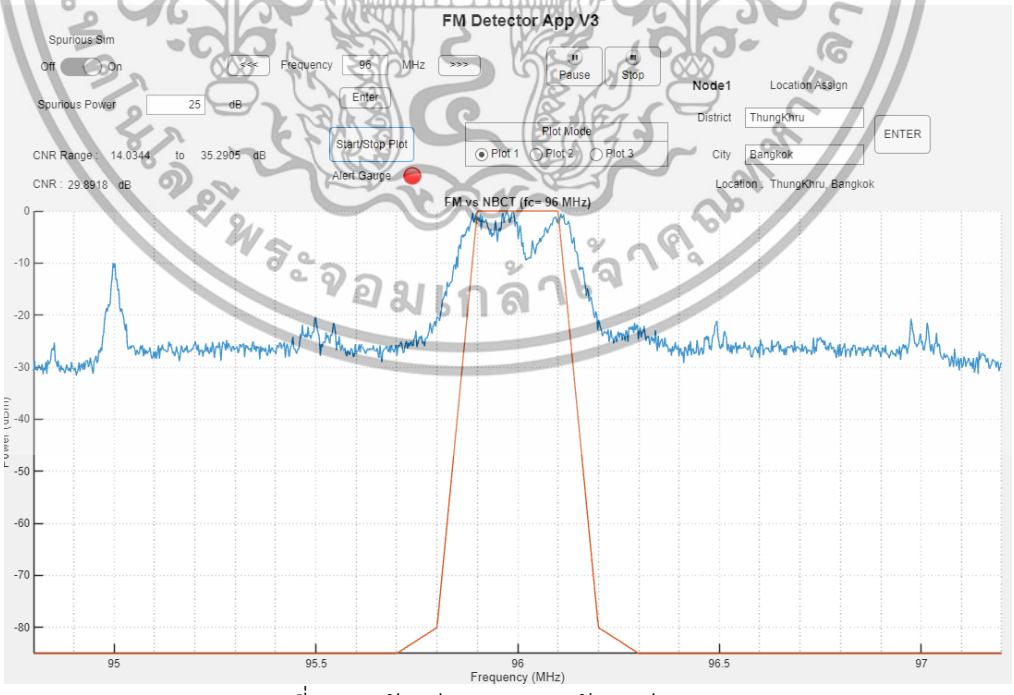
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการควบคุมด้วยแอปพลิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างการเปลี่ยนความถี่

การควบคุมเปลี่ยนความถี่ของ RTL-SDR ได้โดยไม่ต้องการเปิดปิดโมเดลสามารถเปลี่ยนผ่าน MATLABAPP ได้ทันทีต่อจากนี้จะทำการเพิ่มกำลังให้เกิดการแพร่นอกแถบโดยจะเปลี่ยนกำลังให้ประมาณ 25 dB



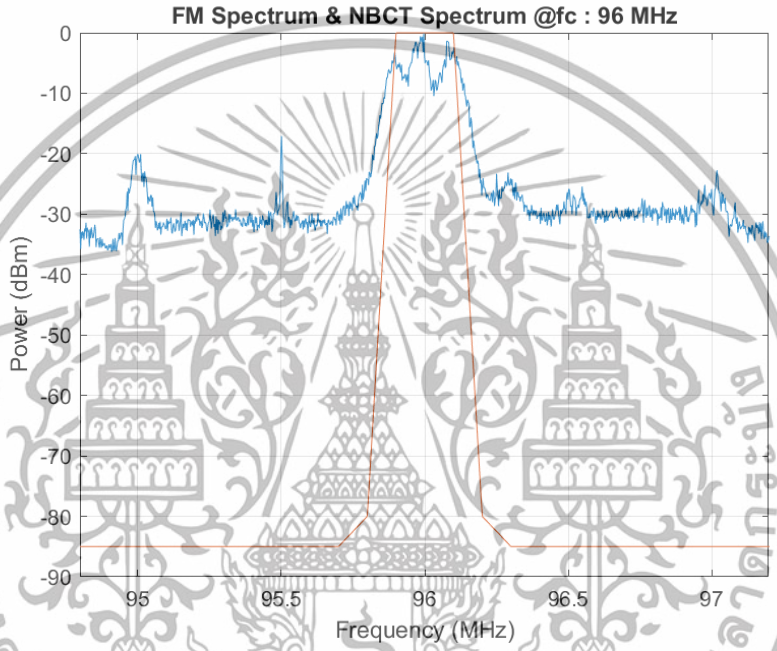
รูปที่ 4.11 ตัวอย่างการตรวจจับแพร่นอกแถบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามรูปที่ 4.11 จะสังเกตเห็นได้ว่าคำว่า *“Alert Gauge”* เปลี่ยนสีจากสีฟ้าเป็นสีแดง หลังจากการเลื่อนปุ่มของ *Spurious Sim* ไปทาง *On*

2/25/2025	16:44:01	TEST	ThungKhru Bangkok	2.577186	./Node_1/spectrum_log/spectrum_image/Spectrum_96_20250225_164401.png

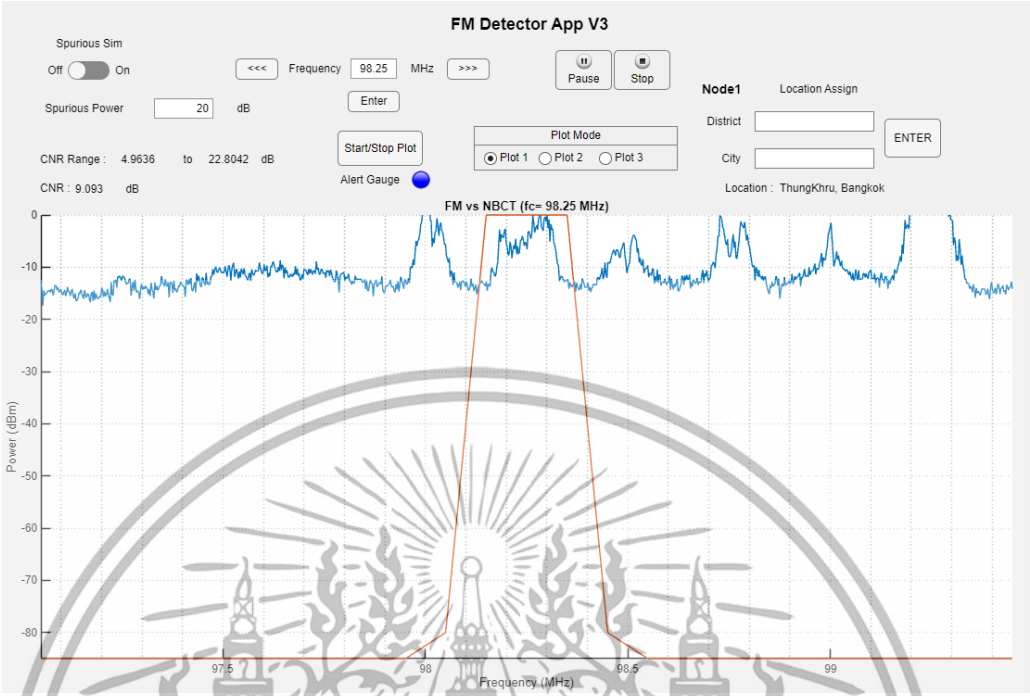
รูปที่ 4.12 การรายงานผลในไฟล์ .csv



รูปที่ 4.13 รูปภาพที่ระบบรายงานเก็บไว้

จากไฟล์ รูปที่ 4.12 นั้นจะเห็นว่ามีการบันทึก วัน เวลา แท็ก สถานที่ จำนวนที่เกินออกจากสเปกตรัมข้อจำกัดการแพร่นอกแถบ และที่อยู่ของไฟล์ภาพเมื่อตรวจสอบแล้วพบว่า แท็กนั้นเป็นคำว่า *TEST* นั้นจึงแปลว่ามีการทดสอบและตรวจสอบที่อยู่ของไฟล์ภาพจึงได้ภาพตามรูปที่ 4.13 และไฟล์รายงานนี้และรูปภาพได้ทำการซิงก์กับเซิร์ฟเวอร์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 การตรวจสเปกตรัม FM ของวิทยุท้องถิ่น

เนื่องจากผู้จัดทำได้ทดสอบชิ้นงานที่ละแวกที่อยู่ตนเองจึงได้เลือกวิทยุ FM คลื่น 98.25 MHz ซึ่งชื่อสถานี “บางมดสัมพันธ์” เป็นวิทยุชุมชนในพื้นที่เขตทุ่งครุเนื่องวิทยุชุมชนอาจเกิดปัญหาเรื่องการแพร่นอกแถบได้มากกว่าวิทยุที่มีการควบคุมได้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบการถอดเสียงเป็นข้อความ

4.2.1 การคำนวณอัตราความผิดพลาดของคำที่ได้จากการถอดเสียงเป็นข้อความ (WER; Word Error Rate)

การคำนวณอัตราความผิดพลาดของคำที่ได้จากการถอดเสียงเป็นข้อความ (WER; Word Error Rate) เป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$WER = \frac{\mathrm{S} + \mathrm{I} + \mathrm{D}}{\mathrm{N}} \quad (4.1)$$

โดยที่

S (Substations) คือคำที่ถูกแทนที่ไปจากคำเดิม แทนด้วยสัญลักษณ์

I (Insertions) คือคำที่ถูกเพิ่มขึ้นจากคำเดิม แทนด้วยสัญลักษณ์

D (Deletions) คือคำที่หายไปจากคำเดิม แทนด้วยสัญลักษณ์

N คือ จำนวนคำที่อ้างอิง

ตารางที่ 4.1 การคำนวณอัตราความผิดพลาดของคำที่ได้จากการถอดเสียงเป็นข้อความของแต่ละโมเดลของ Thonburian Whisper

ชื่อไฟล์ 99_test_1.wav / **โมเดล**	**ข้อความที่ผู้ฟังถอดได้**	WER			
		S	I	D	WER (%)
ข้อความที่ผู้ฟังถอดได้ (N = 28)	ในรายชื่อข้อมูลนักเตะมาเรียบร้อยแล้ว ตัวค่ายเหมือนกัน ตัวค่าย ตัวค่าย โธ่ ตะกี้ คุณหมูเอาให้ผม ช็อกเลยนะ เออผมงงจริง	-	-	-	-
Thonburian Whisper (small)	ในรายชื่อของผม แล้วเตะมาเรียบร้อยแล้ว ผมก็บอกว่าตัวข้างเหมือนกัน ตัวข้าง ตัวข้าง โธ่ ตะกี้คุณหมู่ เอาให้ผมมาช็อกเลยนะ เอ้า ผมโม่ง	10	5	0	53.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thonburian Whisper (medium)	หลายชื่อความรู้ แต่แตะมาเรียบร้อยแล้ว ผมต้องบอกว่าตัวข้างกันกันก็ตัวไง ตัวข้างตัวข้าง ตอนเมื่อกี้คุณหมูเล่าให้ผมช็อคเลยนะ	7	7	6	71.43
Thonburian Whisper (large-v2)	มีรายชื่อของคุณได้เตะมาเรียบร้อยแล้ว ตัวค่า ตั	4	60	22	307.14
Thonburian Whisper (large-v3)	มีรายชื่อคงวิญ แม็กเตะมาเรียบร้อยแล้ว ผมจะบอกว่าโดยข้างเหมือนกัน ตัวข้าง ตัวข้าง ตัวข้าง ตัวข้าง เมื่อกี้คือ เอาไว้ ผม ชอบกันก็เลยนะ พี่หนูหนึ่ง	6	20	7	117.86
Distilled Thonburian Whisper (small)	รายชื่อข้อมูลก็เตะมาเรียบร้อยแล้ว ผมก็บอกว่าตัวค่ากเหมือนกัน ตัวค่าตัวค่า ผมเมื่อกี้ขึ้นอยู่ เอาให้ผมมัน ช็อกเงอะนะ เอ้อ ผมมอง	8	12	5	89.29
Distilled Thonburian Whisper (medium)	มีหลายชื่อข้อมูลได้เตะมาเรียบร้อยแล้ว ผมก็บอกว่าตัวคาดตัวคาดตัวคาดตัวคาด ตัวกี้คุณหนูเอาให้ผมช็อกเลยนะ ผมลง	3	11	9	81.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อไฟล์ 106_test_1.wav / **โมเดล**	**ข้อความที่ผู้ฟังถอดได้**	WER			
		S	I	D	WER (%)
ข้อความที่ผู้ฟังถอดได้ (N = 22)	หลังจากนี้ไปเนี่ย เอ่อ ศิลปิน นักร้อง นักแสดงที่ทำการแสดงเนี่ย นะฮะ ห้าม ห้าม ห้ามดื่มนะฮะอาจารย์ คือ โดย ปกติเนี่ย	-	-	-	-
Thonburian Whisper (small)	หลังจากนี้ไปเนี่ย อ่า ศิลปิน นักร้อง นักแสดงที่ทำการแสดงเนี่ย นะฮะ ห้าม ห้าม ห้ามดื่ม นะครับอาจารย์ คือ โดย ปกติเนี่ย	0	0	0	0
Thonburian Whisper (medium)	หลังจากนี้ไปเนี้ย ศิลปิน นักร้อง นักแสดงที่ทำการแสดงเนี้ย ห้ามห้าม ห้ามกิ่ง อ่าจะอ่าน คือโดยปกติเนี้ย	2	3	6	50.00
Thonburian Whisper (large-v2)	หลังจากนี้ไปเนี่ย ศิลปินนักร้อง นักแสดงที่ทำการแสดงเนี่ย ห้ามดื่ม คือ โดยปกติเนี่ย	0	0	7	31.82
Thonburian Whisper (large-v3)	หลังจากนี้ไปเนี้ย เอ่อ ศิลปิน นักร้อง นักแสดง ที่ทำการแสดงเนี้ย นะฮะ ห้ามห้ามห้ามกลืม อ่าอาจารย์ คือ โดย ปกติเนี้ย	2	1	2	22.73
Distilled Thonburian Whisper (small)	หลังจากนี้ไปเนี้ย อ่า ศิลปินนักล้อม นักแสดงที่ทำการแสดงเนี้ย นะฮะ ห้าม	3	27	0	136.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ห้าม ห้าม ห้าม ห้าม ห้าม ห้าม ห้าม ห้าม คือ ดู ปกติ เนี้ย				
Distilled Thonburian Whisper (medium)	หลังจากนี้ไปเนี้ย เอ่อ สิงคปิน นักร้อง นักแสดงที่ทำการแสดงเนี้ย นะฮะ ห้าม ห้ามห้ามตื่น อาจารย์คือโดยปกติเนี้ย	2	0	2	18.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อไฟล์ 106_test_2.wav โมเดล	ข้อความที่ผู้ฟังถอดได้	WER			
		S	I	D	WER (%)
ข้อความที่ผู้ฟังถอดได้ (N = 33)	เนี่ย ให้ นะฮะ แต่ต่อจากนี้ไปเนี่ย ไม่ละ ห้ามละ ถ้าเกิดใครรับขึ้นมาเนี่ย จะทำให้ภาพลักษณ์ของ เอ่อ บริษัทก็ดีหรือกลุ่มศิลปิน หรือกลุ่มคนทำงานด้วยกัน	-	-	-	-
Thonburian Whisper (small)	ให้ นะฮะ แต่ตอนจากนี้ไป เนี่ย ไม่ละห้ามละ ถ้าเกิดใครรับขึ้นมา เนี่ย มันจะทำให้ภาพหลักของ เอ่อ บริษัทก็ดีหรือกลุ่มศิลปินหรือคนทำงานด้วยกัน	1	0	3	12.12
Thonburian Whisper (medium)	ให้ นะฮะ แต่ต่อจากนี้ไปเนี่ย ไม่ละห้ามละ ถ้าเกิดใครรับขึ้นมาเนี่ย มันจะทำให้ภาพรักของ อ่า บริษัท ก็ดี หรือ กลุ่มศิลปิน หรือคนทำงานด้วยกัน	1	0	2	12.12
Thonburian Whisper (large-v2)	ให้นะฮะแต่ตอนจากนี้ไปเนี่ยไม่แล้วห้ามแล้วถ้าเกิดใครรับขึ้นมาเนี่ยมันจะทำให้ภาพลักษณ์ของอ่าบริษัทกดีหรือกลุ่มศิลปินหรือคนทำงานด้วยกัน	3	1	2	18.18
Thonburian Whisper (large-v3)	ให้ แต่ ตอน จาก นิด ไป เนี่ย ไม่ ละ ห้าม ละ พระ โทษ ใคร ลับ ขึ้น มา เนี่ย มัน จะ ทำ ให้ ภาพ หลัก ของ บริษัท ก็ ดี หรือ กลุ่ม ศิลปิน หรือ คน ทำ งาน ด้วย กัน	6	1	5	36.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Distilled Thonburian Whisper (small)	เนี้ยให้นะฮะแต่ตอนจากนิดไปเนี้ยไม่ละห้ามแล้วถ้าใครรับขึ้นมาเนี้ยมันจะทำให้ภาพหลักของ อ่า บริษัทก็ดีหรือกลุ่มศิลปินหรือคนทำงานด้วยกัน	6	1	1	24.24
Distilled Thonburian Whisper (medium)	ให้นะฮะแต่ต่อจากนี้ไปเนี่ยไม่ละห้ามและถ้าหลบใครรับขึ้นมาเนี่ยมันจะทำให้ภาพหลักของอ่าบริษัทกัณฑีหรือกลุ่มสิงคปินหรือคนทำงานด้วยกัน	5	0	2	21.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อไฟล์ 1065_test_1.wav โมเดล	ข้อความที่ผู้ฟังถอดได้	WER			
		S	I	D	WER (%)
ข้อความที่ผู้ฟังถอดได้ (N = 71)	พื้นที่รับน้ำอยู่นะ แล้วก็ประสบน้ำทะเลหนุนทุกวัน ทุกปีด้วย ครับ คือจะเป็นแบบเนี้ยจนหมดฤดูฝนนั่นแหละ เออแล้วก็บอกฟังรายการเราเนี่ยผ่านทางแอปแบบติด ๆ ดับ ๆ อ่อครับ แล้วยังมีการพูดถึงท่านนายกด้วยบอกว่า ท่านนายกเนี่ยมานครอึดใจเดียวหายไปแล้ว อืม แล้วบอกว่าเบื้องต้นเนี่ยมีผู้เสียชีวิตนะจากเหตุไฟดูดเนี่ย	-	-	-	-
Thonburian Whisper (small)	เป็นพื้นที่รักน้ำอยู่แล้วแล้วก็ประสบน้ำทะเลหนุนทุกวันทุกปีด้วย ครับ คือจะเป็นแบบเนี้ยจนหมดฤดูฝนนั่นแหละ อ่อ เออแล้วก็บอกว่าฝั่งรายการเราเนี้ยผ่านทั้งแอปแบบติดติดดับดับ อ่อ แล้วยังมีการพูดถึงท่านนายกนี่บอกว่า อืม ท่านนายกเนี้ยมานครอุดใจเดียวหายไปแล้ว อืมแล้วบอกว่าเบื้องต้นเนี้ยมีผู้สื่อชีวิตนะจากเพจไฟดูดเนี้ย	11	4	1	22.54
Thonburian Whisper (medium)	ผู้ที่รับน้ำอยู่แล้วก็ประสบน้ำทะเลหนุนทุกวันทุกปีด้วย คือจะเป็นแบบนี้จนหมดฤดูฝนนั่นแหละ แล้วก็บอกว่าฟังรายการเราผ่านทางแอปแบบติดๆ ดับๆ แล้วยังมีการพูดถึงท่านนายกท่านนายกมานครอึดใจเดียวหายไป	5	1	12	25.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	แล้วบอกว่าบื้องต้นมีผู้สีชีวิตจากเผลตไฟดูด				
Thonburian Whisper (large-v2)	พื้นที่รักน้ำอยู่แล้ว แล้วก็ประสบน้ำทะเลหนุนทุกวัน ทุกปีด้วย คือจะเป็นแบบเนี้ยจนหมดฤดูฝนนั่นแหละ เออ แล้วก็บอกว่าฝั่งรายการเราเนี้ยผ่านทางแอปแบบติดติดดับดับ อ๋อ ครับ แล้วมีการพูดถึงท่านนายกด้วยบอกว่า อืม ท่านนายกเนี้ยมานครอึดใจเดียวหายไปแล้ว อืม แล้วบอกว่าเบื้องต้นเนี้ยมีผู้เสียชีวิตน่ะจากเหตุไฟดูดเนี้ย	10	2	2	19.72
Thonburian Whisper (large-v3)	มีพื้นที่รักน้ำอยู่แล้ว แล้วก็ประสบน้ำทะเลหนุนทุกวัน ทุกปีด้วย ครับ คือจะเป็นแบบนี้จนหมดฤดูฝนั่นแหละ แล้วก็บอกเขาฟังในการเราเนี่ย ผ่านทางเอฟแบบติดติดดับดับ แล้วยังมีการพูดถึงท่านนายกนึงบอกว่า ท่านนายกนึงมานครอึดใจเดียวหายไปแล้ว แล้วบอกว่าวิ้นต้นเนี่ยมีผู้สีชีวิตนะจากเพลีดไฟดูดเนี่ย	13	2	4	26.76
Distilled Thonburian Whisper (small)	เป็นพื้นที่รับน้ำอยู่แล้ว แล้วก็ประสบน้ำทะเลหนุนทุกวันทุกปีด้วย คือจะเป็นแบบเนี้ยจนหมดฤดูฝนนั่นแหละ เออ แล้วก็บอกว่าฝั่งรายการเราเนี่ยผ่านทางแอปแบบติดๆดับๆ อ๋อ ครับ แล้วมีการพูดถึงธนายกนี้บอกว่า ธนายกเนี่ยมานครอึดใจเดียวหายไปแล้ว แล้วบอกว่าวิ้นต้นเนี่ยมีผู้สีชีวิตนะจากเขตไฟดูดเนี่ย	7	2	2	15.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Distilled Thonburian Whisper (medium)	เป็นพื้นที่รักน้ำอยู่แล้ว แล้วก็ประสบน้ำทะเลหนุนทุกวัน ทุกปีด้วย คือจะเป็นแบบเนี้ยจนหมดฤดูฝนนั่นแหละ แล้วก็บอกว่าฝั่งรายการเราเนี่ยผ่านทางแอปแบบติดติดดับดับ แล้วมีการพูดถึงท่านนายกนี่บอกว่า ท่านนายกเนี่ยมานครอึดใจเดียวหายไปแล้ว แล้วบอกว่าบึ้งต้นเนี่ยมีผู้สีชีวิตนะจากเหตุไฟดูดเนี่ย	8	1	5	19.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อไฟล์ 1065_test_2.wav โมเดล	ข้อความที่ผู้ฟังถอดได้	WER			
		S	I	D	WER (%)
ข้อความที่ผู้ฟังถอดได้ (N = 38)	เห็นภาพไหมครับบ้านโค่นตัวเลยนะครับ โอ้ ปรากฏว่าเป็นครับ ก็ขออนุญาตนิดนึงครับ แค่บอกว่าอธิบายด้วยครับ หยากไย่ก็คือว่าสิ่งที่ทำให้บ้านเป็นแบบนี้ ไม่ใช่เรื่อง	-	-	-	-
Thonburian Whisper (small)	แผนพลาดนะครับ บ้านส่วนตัวอะไรอย่างงี้นะครับ ปรากฏว่าเป็นครับ ก็ขออนุญาตนึงนะครับ อันนี้ก็บอกว่าอธิบายนะครับ อย่างแรกก็คือ บางสิ่งที่กำไรบ้านทำแบบนี้ ไม่ใช่เรื่องใช่	9	7	3	50.00
Thonburian Whisper (medium)	บ้านโทรศัพท์ บ้านบันตัว ปรับผลบ้านเป็นครับ ก็คงไม่ยากที่นี้ครับ อันนี้แค่บอกว่าอธิบายนะครับ อย่างแรกก็คือว่าสิ่งที่ทำให้บ้านทำแบบนี้ไม่ใช่เรื่อง	17	1	4	57.89
Thonburian Whisper (large-v2)	บ้าน ส่วนตัว ปรากฏว่า ของไม่ยาก อธิบาย สิ่งที่ทำให้บ้าน ทำแบบนี้ ไม่ใช่เรื่อง	11	0	11	57.89
Thonburian Whisper (large-v3)	แห่งภาพนะครับ บ้านฟูนตัวนี้นะครับ โอ้โห ปรากฏบ้านแบนครับก็ของวิญาติด้วยครับ แบบว่าอธิบายนะครับ อย่างแรกก็คือว่าสิ่งที่ทำให้บ้านทำแบบนี้ไม่แค่เรื่อง	12	2	0	36.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Distilled Thonburian Whisper (small)	สังธาตุนะครับบ้านส้นตัวเลยนะครับ ปรากฏว่าเป็นครับก็ขออนุญาตนึงนะครับ อ่า อธิบายนะครับ จากแรกก็คือว่าสิ่งที่ต้องให้บ้านทำแบบนี้ไม่ใช่เรื่อง	8	1	3	31.58
Distilled Thonburian Whisper (medium)	เป็นภาพบ้านส้นตัวอะไรนะครับ โอ้ ปรากฏว่านะครับก็ขอไม่ยากเลยนะครับ อ่าท่านบอกว่าอธิบายนะครับอย่างแรกก็คือว่าสิ่งที่ทำให้บ้านทำแบบนี้ไม่ใช่เรื่องใช้	9	3	3	39.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การคำนวณอัตราความผิดพลาดของคำที่ได้จากการถอดเสียงเป็นข้อความของแต่ละโมเดล

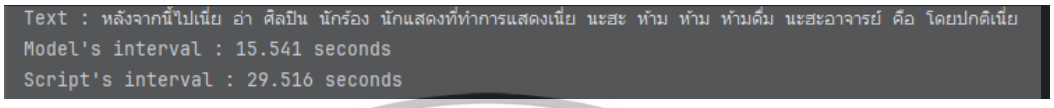
โมเดล	WER (%) ของแต่ละไฟล์เสียง					
	99_test_1.wav	106_Test 1.wav	106_Test 2.wav	1065_test_1.wav	1065_test_2.wav	เฉลี่ย
Thonburian Whisper (small)	53.57	0	12.12	22.54	50.00	27.646
Thonburian Whisper (medium)	71.43	50.00	12.12	25.35	57.89	43.358
Thonburian Whisper (large-v2)	307.14	31.82	18.18	19.72	57.89	86.95
Thonburian Whisper (large-v3)	117.86	22.73	36.36	26.76	36.84	48.11
Distilled Thonburian Whisper (small)	89.29	136.36	24.24	15.49	31.58	59.392
Distilled Thonburian Whisper (medium)	81.14	18.18	21.21	19.72	39.47	35.944

จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของอัตราความผิดพลาดของคำ (WER) ของโมเดล Thonburian Whisper (small) มีค่าต่ำที่สุด จึงควรเลือกใช้โมเดลดังกล่าวในการถอดเสียงเป็นข้อความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

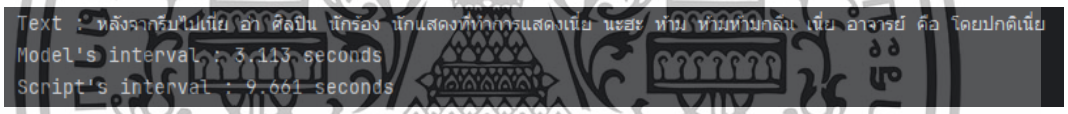
4.2.2 การทดสอบโมเดลการถอดเสียงเป็นข้อความที่เลือกใช้

โมเดล Thonburian Whisper (small) มีค่าเฉลี่ยของอัตราความผิดพลาดของคำ (WER) ต่ำที่สุด ซึ่งเหมาะสมกับคุณภาพของเสียงที่ได้มาจากสถานีวิทยุกระจายเสียงที่ไม่ค่อยดีมากนัก จึงเลือกใช้โมเดลดังกล่าวในการถอดเสียงเป็นข้อความ



รูปที่ 4.15 ระยะเวลาในการทำงานของโมเดล Thonburian-med-combined

รูปที่ 4.16 ระยะเวลาในการทำงานของโมเดล Thonburian-distilled-med-combined



รูปที่ 4.17 ระยะเวลาในการทำงานของโมเดล Thonburian-small-combined

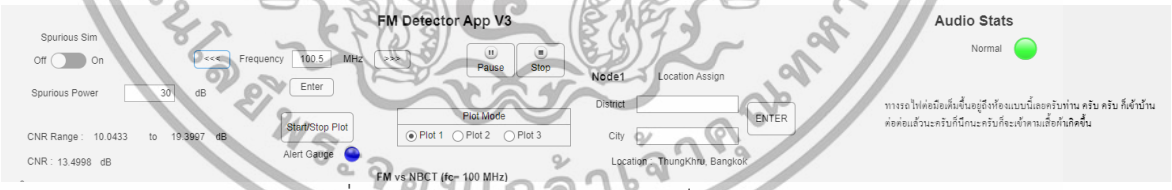
ปัญหาอีกอย่างในการใช้งานโมเดลถอดเสียงเป็นข้อความคือระยะเวลาในการประมวลผลของโมเดลจากรูปที่ 4.15 แม้ว่าโมเดลของ Thonburian-med-combined นั้นสามารถแปลงได้อย่างแม่นยำสามารถเข้าใจแต่กลับประสบปัญหาว่าใช้ระยะเวลาที่เกินเนื่องจากภายในไฟล์เดียวกันนี่ใช้ไฟล์เสียงความยาว 10 วินาทีเป็นไฟล์เสียงเดียวกันการประมวลผมนั้นกินเวลาไปเกินจะทำให้ความน่าจะเป็นในการตรวจเจอคำพูดที่ไม่เหมาะสมเกิดขึ้นจึงลดทอนความผิดพลาดในการตรวจจับเข้าไปอีกจึงใช้โมเดลที่ขนาดเล็กกว่าแทน โมเดลที่ถูกตัดออกมาบางส่วนเนื่องจาก โมเดล distilled-med เกิดข้อผิดพลาดแบบ Duplicated Error เกิดขึ้นจะสามารถทำให้กินพื้นที่บัฟเฟอร์มากเกินความจำเป็นและเกิดข้อผิดพลาดในการตรวจจับได้มากกว่าจึงได้เลือกโมเดลขนาดเล็กและรวดเร็วในการทำงานแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำงานของส่วนนี้เป็นการแสดงให้เป็นเป็นประจักษ์ว่า สามารถถอดรหัสของข้อความได้และสามารถนำมาแสดงให้เห็นได้โดยการทำงานนี้จะได้เมินคำสั่ง *“char”* และ *“string”* เนื่องจากว่า *char* ปกตินั้นสามารถถอดรหัสได้แค่ เลขระหว่าง 0 – 255 8 บิตแต่ถ้าทำการเมินออกไปจะทำให้สามารถถอดรหัส Unicode ได้

รูปที่ 4.18 การแสดงผลข้อความที่ถอดได้จากเสียง

จากรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่า สามารถทำการแปลงเสียงจากวิทยุกระจายเสียง FM เข้ามาภายในระบบและสามารถถอดเป็นข้อความได้โดยไม่ต้องมีมนุษย์คอยทำงานภายในระบบ



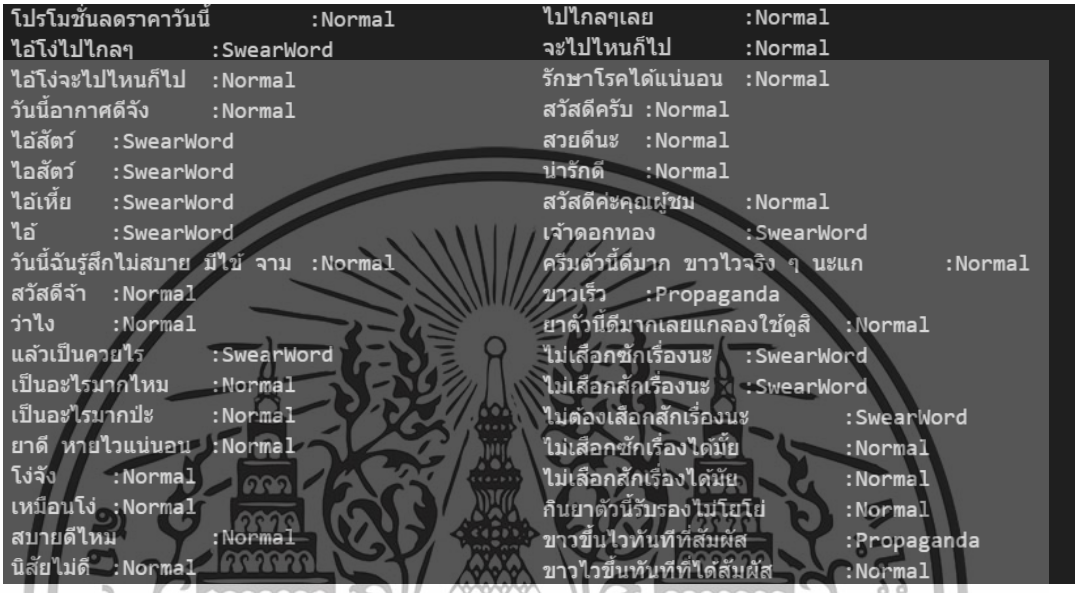
รูปที่ 4.19 การแสดงผลการแปลงเป็นข้อความ

โดยทำงานตามอัลกอริทึมที่กำหนดไว้โดยจะนำเสียงทุก ๆ 10 วินาที เข้ามาแปลงด้วยโมเดลจึงได้ข้อความคำว่า “ทางรถไฟต่อมือเต็มขึ้นอยู่ถึงห้องแบบนี้เลยครับท่าน ครับ ครับ ก็เข้าบ้านต่อต่อแล้วนะครับก็นึกนะครับก็จะเข้าตามเสื้อผ้าเกิดขึ้น” โดยรับฟังจากวิทยุ จส. 100

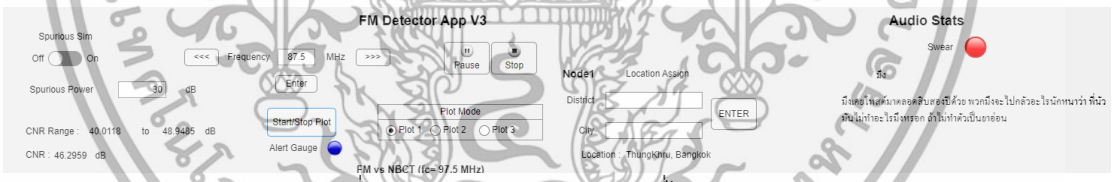
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบการตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม

ผลลัพธ์ของการทดสอบการตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม มีบางประโยคที่ถูกต้องและบางประโยคไม่สามารถตรวจจับได้อย่างแม่นยำมากนัก ดังผลลัพธ์ที่แสดงในรูปที่ 4.20

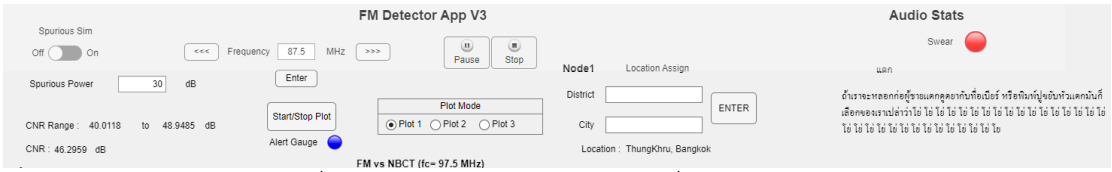


รูปที่ 4.20 ผลลัพธ์ของการทดสอบการตรวจจับเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม



รูปที่ 4.21 ตัวอย่างตรวจจับคำที่ไม่เหมาะสม

ในที่นี้ผู้จัดทำได้ใช้อุปกรณ์สัญญาณส่ง FM ระยะใกล้สำหรับรถยนต์ที่ไม่สามารถรับบลูทูธได้ ส่งเสียงจากวิดีโอที่มีคำหยาบคายอยู่ในเนื้อหา

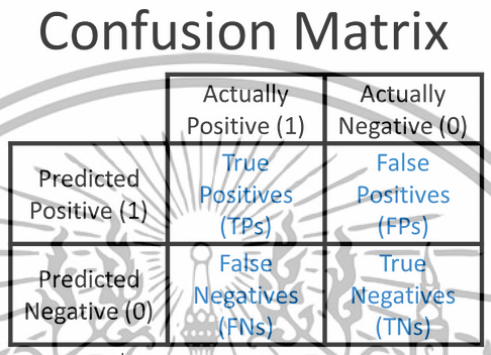


รูปที่ 4.22 ตัวอย่างการตรวจจับคำที่ไม่เหมาะสม 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบการประเมินประสิทธิภาพของระบบการตรวจจับเนื้อหา

การประเมินประสิทธิภาพของระบบนั้นจำเป็นต่อความน่าเชื่อถือของระบบที่ผู้จัดทำได้จัดทำขึ้นและทำการวัดค่าจากการทดสอบการใช้งานจริงโดยมีการสุ่มรับเนื้อหาของวิทยุ FM เป็นระยะเวลา 1 นาที 40 วินาทีโดยมี 5 กลุ่มทดสอบจะรวมทั้งหมดเป็น 500 วินาทีโดยจะนำวิธีการของ Confusion Matrix (เมทริกซ์ความสับสน)



รูปที่ 4.23 เมทริกซ์ความสับสน

เมทริกซ์ความสับสนเป็นเครื่องมือสำคัญในการประเมินผลลัพธ์ของการทำนายของระบบโดยมีแนวคิดมาจากการวัดว่า สัดส่วนของผลลัพธ์ของการทำนายของระบบกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริงเป็นอย่างไร โดยการมีการนิยามเป็นดังนี้ True Positive คือเมื่อผลลัพธ์ของระบบสามารถตรวจจับได้และตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง False Positive คือเมื่อผลลัพธ์ของระบบตรวจจับได้แต่ในความเป็นจริงไม่มีอะไรเกิดขึ้น False Negative คือสิ่งที่เกิดขึ้นคือจริงแต่ระบบไม่สามารถตรวจจับได้ และ True Negative คือ สิ่งที่เกิดขึ้นไม่จริงและระบบทำนายได้ตรงกันว่า ไม่จริงเช่นเดียวกัน โดยนำค่าเหล่านี้มาประเมินประสิทธิภาพได้แก่

ความถูกต้อง (Accuracy) ความถูกต้องที่ระบบทายได้จากสิ่งที่เกิดขึ้นจริงตามสมการที่ 4.2

$$Accuracy = \frac{(TPs + TNs)}{(TPs + TNs + FPs + FNs)} \quad (4.2)$$

ความแม่นยำ (Precision) เป็นการเปรียบเทียบการทำนายว่าสิ่งที่เกิดขึ้น จริง ทำนายว่าจริง และการทำนายว่า จริงแต่สิ่งที่เกิดขึ้นว่า ไม่จริง ตามสมการที่ 4.3

$$Precision = \frac{TPs}{(TPs + FPs)} \quad (4.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถูกต้องของการทำนายว่า จริง และสิ่งที่เกิดขึ้น จริง เทียบกับ การทำนายว่า ไม่จริง แต่สิ่งที่เกิดขึ้น คือ จริง ตามสมการที่ 4.4

$$Recall = \frac{TPs}{(TPs + FNs)} \tag{4.4}$$

เมื่ออัดเสียงเป็นจำนวนสุ่มละ 100 วินาทีจากนั้นนำเสียงนี้เข้าไปทำนายโดยโมเดลและตรวจสอบเนื้อหาเพื่อเมื่อระบบตรวจจับได้จะออกเป็น จริง ถ้าไม่มีอะไรจับได้ผลออกเป็น เท็จ จากนั้นผู้จัดทำที่เป็นมนุษย์จะทำการตรวจสอบเองและกำกับว่าแต่ละคลิปเสียงนั้นเป็น จริง หรือ เท็จตามดุลพินิจของผู้จัดโดยผู้จัดทำจะตารางสรุปการประเมินตามตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์การประเมินของระบบ

ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์การประเมินของระบบ

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Total
True Positive	0	0	1	4	4	9
False Positive	2	1	1	0	0	4
True Negative	8	9	8	2	0	27
False Negative	0	0	0	4	6	10

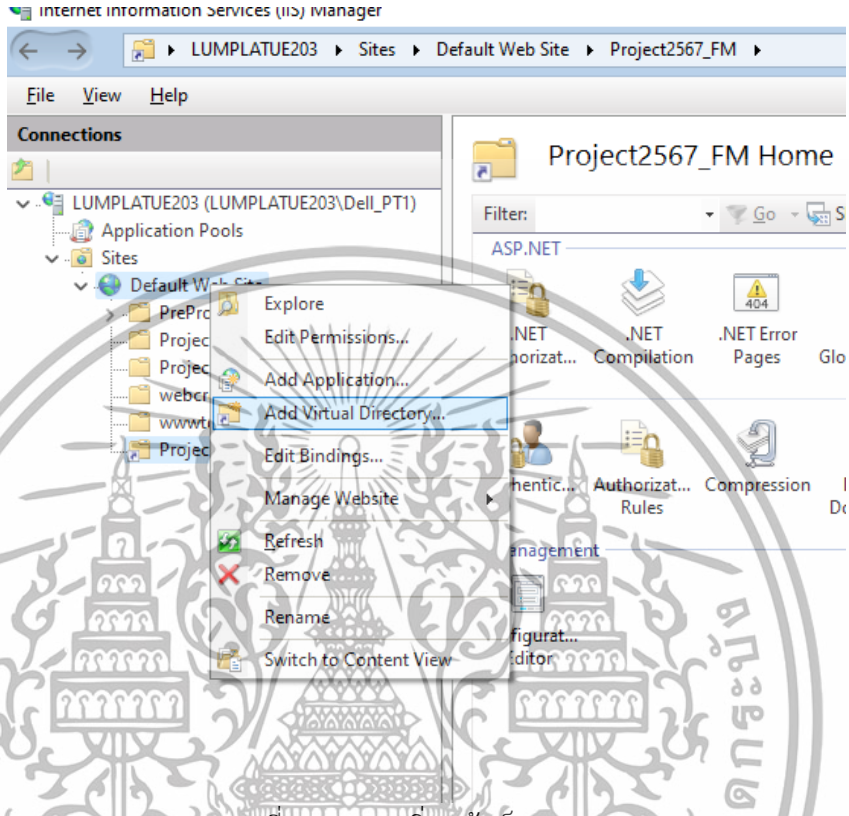
จากนั้นจะทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบด้วย ความถูกต้อง จากสมการที่ 4.2 ความแม่นยำ จากสมการที่ 4.3 และ Recall จากสมการที่ 4.4 ได้จากตารางที่ 4.4 สรุปประสิทธิภาพของระบบ

ตารางที่ 4.4 สรุปประสิทธิภาพของระบบ

Accuracy	72.00%
Precision	69.23%
Recall	47.37%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

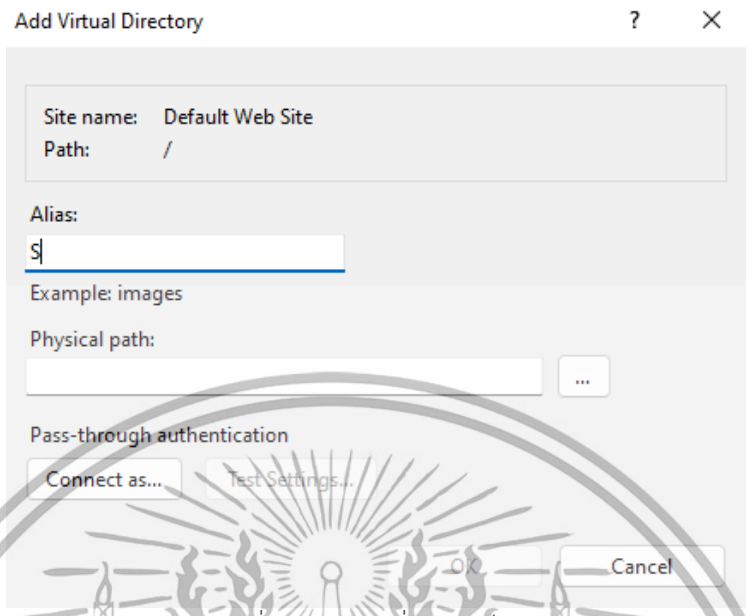
4.5 การทดสอบการขึ้นเว็บเซิร์ฟเวอร์ด้วย IIS



รูปที่ 4.24 การเพิ่มหน้าเว็บ 1

เริ่มจากการเปิดโปรแกรม IIS (Internet Information Services) จากนั้นเข้าที่ไป Default Web Site เพิ่มไดเรกทอรีแบบจำลอง (Add Virtual Directory...) ดังรูปที่ 4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

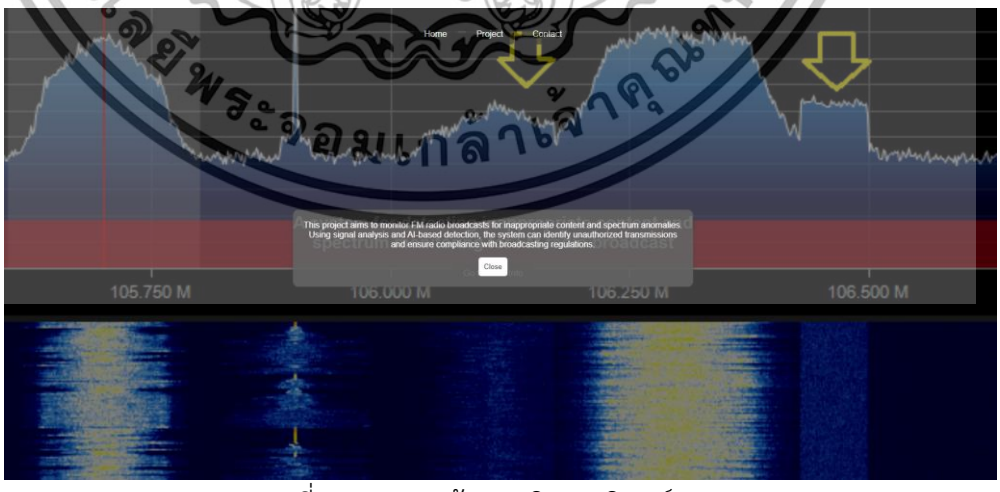


รูปที่ 4.25 การเพิ่มหน้าเว็บ 2

โดยทำการตั้งชื่อ (Alias) และ ที่อยู่ของเว็บไฟล์โฟลเดอร์จริงภายในเครื่องเซิร์ฟเวอร์ก็จะได้หน้าเว็บดังรูปที่ 3.59 ตัวอย่างหน้าเว็บของปริญญานิพนธ์ผู้จัดทำ

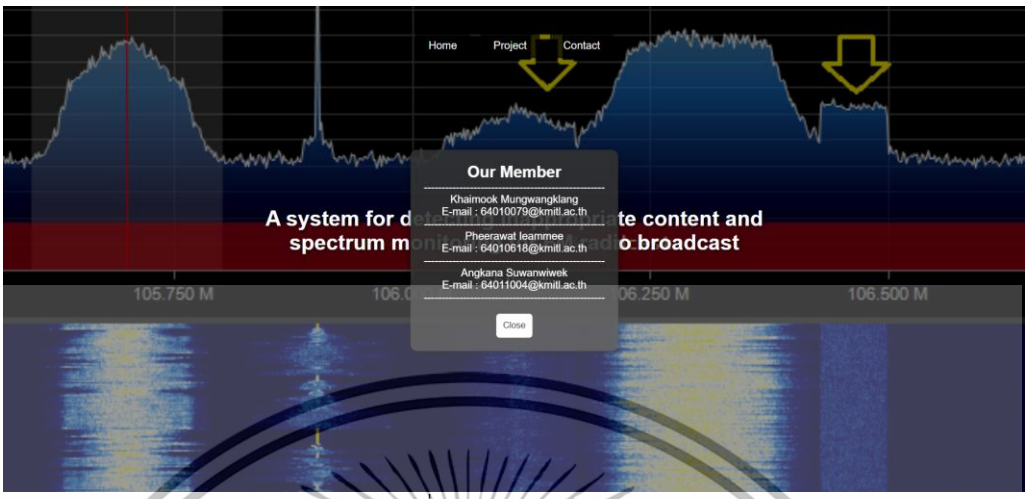
4.6 การทดสอบการใช้งานบนเว็บแอปพลิเคชัน

ส่วนนี้เป็นส่วนของหน้าเว็บเพจซึ่งสามารถแสดงข้อมูลเบื้องต้นผ่านการ Pop-up ข้อความ ตามรูปที่ 4.26 และแสดงชื่อ รหัสนักศึกษา ของสมาชิกภายในปริญญานิพนธ์ตามรูปที่ 4.27 และสามารถกดคำว่า “Go to More Info” เพื่อเข้าสู่เว็บแอปพลิเคชันจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.28

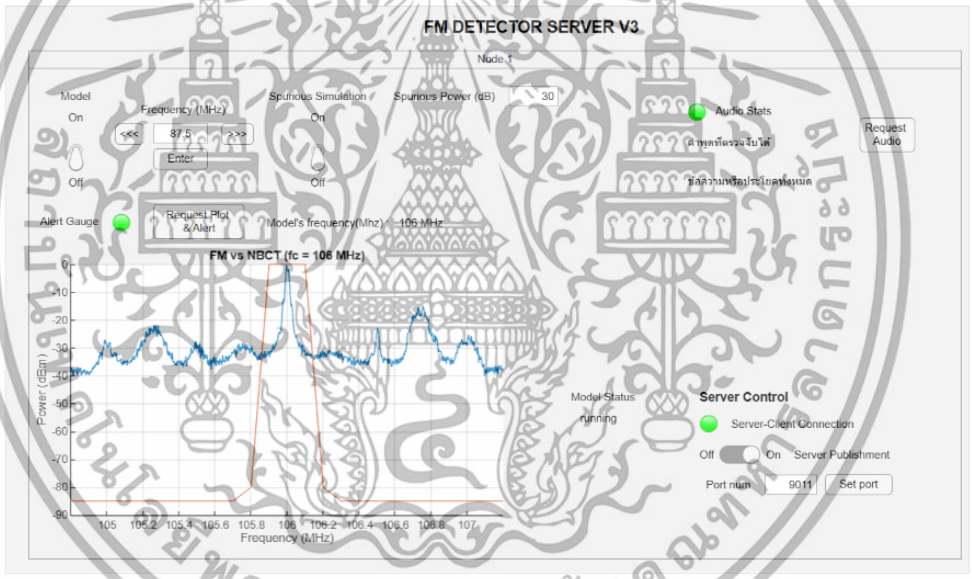


รูปที่ 4.26 แสดงข้อมูลปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 แสดงสมาชิก



รูปที่ 4.28 การเรียกใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน

รูปที่ 4.28 แอปพลิเคชันทำงานบนเครื่องเซิร์ฟเวอร์ภายในสถาบันซึ่งสามารถเข้าถึงได้จากทุกที่ ถ้าเครื่องสามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตเมื่อทำงานเลื่อนปุ่ม *Server Publishment* เป็น *On* นั้นเซิร์ฟเวอร์จะทำงานเปิดพอร์ต TCP ตามเลขที่แสดงไว้ที่ *Port num* เพื่อรอให้ไคลเอนต์เข้ามาเชื่อมต่อจากนั้นไฟแสดงสถานการณ์เชื่อมต่อจะแสดงเป็นสีเขียวตรง *Server-Client Connection* จากนั้นไคลเอนต์จะอัปเดตสถานะของโมเดลและความถี่ตามลำดับจากตัวอย่างรูปที่ 4.28 ที่มีการร้องขอการพล็อตจากไคลเอนต์เข้ามายังแสดงผลของแอปพลิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ถูกพัฒนาโดยการใช้งาน RTL-SDR อุปกรณ์ซอฟต์แวร์กำหนดวิทยุในการตรวจจับทั้ง

สเปกตรัมที่มีการแพร่แปลกปลอมและเนื้อหาที่ไม่เหมาะสมภายในการออกอากาศโดยการนำสัญญาณที่ได้รับมาจากอุปกรณ์วิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์ (SDR) มาประมวลผ่านการเขียนโปรแกรมภายในคอมพิวเตอร์ เพื่อสร้างสเปกตรัมของการออกอากาศ FM จากนั้นนำไปเปรียบเทียบมาตรฐานของกสทช. สำหรับการตรวจจับการแผ่นอกแถบซึ่งใช้จากหลักการ Regulation Spectrum – Measured Spectrum หากพบว่ามีการแผ่เกินกว่ากำหนดนั้นระบบจะดำเนินการตรวจสอบและส่งข้อมูลรายงานทั้งข้อความและรูปภาพของสเปกตรัมไปยังแม่ข่ายส่วนกลางผ่าน Syncthings

ในส่วนของการตรวจสอบเนื้อหา ระบบได้นำสัญญาณที่ได้รับจากซอฟต์แวร์เป็นผู้กำหนดวิทยุนั้นไปทำการดีมอดดูเลตเพื่อให้ได้สัญญาณเสียงซึ่งเป็นเนื้อหาภายในคลื่นพาห์ระบบได้ทำงานรับและบันทึกเสียงเป็นจำนวน 10 วินาทีลงภายในเครื่องจากนั้นนำไฟล์เสียงที่บันทึกภายในเครื่องเข้าไปประมวลถอดคำพูดออกมาจากเสียงด้วยโมเดล Thonburian Small Combined และใช้ชุดคำต้องห้ามหรือคำไม่เหมาะสมเพื่อตรวจสอบว่าเนื้อหานั้นมีคำที่ไม่เหมาะสมหรือไม่ หากตรวจพบคำดังกล่าวจะถูกบันทึกคำพูด คำที่ต้องห้าม และไฟล์เสียงที่เกิดขึ้นส่งเป็นรายงานทั้งข้อความไปยังแม่ข่ายส่วนกลางผ่าน Syncthings

ผลลัพธ์และปัญหาที่พบ คือการตรวจจับสเปกตรัม สามารถตรวจพบการแผ่คลื่นนอกย่านตามหลักการที่กำหนด แต่มีข้อจำกัดด้านการสอบเทียบ เนื่องจากยังไม่มีการตรวจสอบกับเครื่องมือจริง

การตรวจจับเนื้อหาจากเสียง มีข้อผิดพลาดในการแปลงเสียงเป็นข้อความ เนื่องจากขนาดของโมเดลที่ใช้ หากใช้โมเดลที่ใหญ่ขึ้นจะได้ความแม่นยำที่ดีขึ้น แต่จะมีเวลาในการประมวลผลที่ช้ากว่าความยาวของคลิปเสียง ทำให้เกิดความล่าช้า

การตรวจจับคำต้องห้าม มีปัญหากับคำที่มีความหมายคล้ายกัน เช่น "เชี่ย" และ "เชี่ยวชาญ" ทำให้เกิดการแจ้งเตือนผิดพลาด

ระบบเซิร์ฟเวอร์สามารถควบคุมและมอนิเตอร์ระบบได้ผ่าน WebApp ที่รันบนเซิร์ฟเวอร์ของ KMITL แต่ยังไม่มีการทดสอบการควบคุมแบบหลายไคลเอนต์ เนื่องจากปัจจุบันมีเพียงไคลเอนต์เดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองสามารถเสนอแนวทางการปรับปรุงระบบในอนาคตได้ดังนี้

1. การปรับปรุงการสอบเทียบ (Calibration) ของสเปกตรัม

- ควรมีการนำเครื่องมือวัดที่ได้มาตรฐานมาตรวจสอบผลลัพธ์ของ RTL-SDR เพื่อยืนยันว่าการตรวจจับ Out-of-band emission นั้นมีความถูกต้องแม่นยำ

- ศึกษาเทคนิคการประมวลผลสเปกตรัมเพิ่มเติมเพื่อลด Noise และเพิ่มความแม่นยำของการตรวจจับ

2. การพัฒนาโมเดล ASR ให้เหมาะสมกับงาน

- ทดลอง Fine-tune โมเดล Thonburian Small Combined ด้วยข้อมูลเสียงจาก FM Radio เพื่อให้สามารถแปลงเสียงเป็นข้อความได้แม่นยำขึ้น

- ทดลองใช้เทคนิค On-device ASR optimization เช่น Distillation หรือ Quantization เพื่อลดขนาดโมเดลโดยไม่ลดทอนประสิทธิภาพ

3. การเพิ่มประสิทธิภาพของการตรวจจับคำต้องห้าม

- ใช้ NLP ร่วมกับ Context-based filtering เพื่อลด False Positive เช่น ตรวจสอบบริบทของคำในประโยค ไม่ให้ตรวจจับคำเดียวแบบแยกส่วน

- ใช้วิธี Phonetic Matching หรือ การประมวลผลเสียงโดยตรง แทนการแปลงเป็นข้อความก่อนตรวจสอบ

4. การขยายระบบไปสู่การใช้งานจริง

- ทดสอบการใช้งานในสถานการณ์จริง โดยนำไปใช้งานในพื้นที่ที่มีการกระจายเสียง FM หลากหลาย และเปรียบเทียบผลกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน

- พัฒนาให้รองรับไคลเอนต์หลายเครื่อง เพื่อให้สามารถตรวจจับสัญญาณจากหลายพื้นที่พร้อมกัน

5. การปรับปรุงโครงสร้างเซิร์ฟเวอร์และระบบมอนิเตอร์

- ปรับปรุง WebApp ให้สามารถควบคุมและมอนิเตอร์ไคลเอนต์หลายเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] คณะกรรมการกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) [ออนไลน์]. มาตรฐานทางเทคนิคเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงระบบเอฟเอ็ม. เข้าถึงได้จาก https://broadcast.nbtc.go.th/data/document/law/doc/. (วันที่ค้นข้อมูล 1 สิงหาคม 2567)

[2] คณะกรรมการกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) [ออนไลน์]. หลักเกณฑ์ว่าด้วยการทดลองออกอากาศวิทยุกระจายเสียงในระบบเอฟเอ็ม. เข้าถึงได้จาก https://broadcast.nbtc.go.th/data/document/law/doc/th/650200000002.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล 1 สิงหาคม 2567)

[3] คณะกรรมการกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) [ออนไลน์]. หลักเกณฑ์และวิธีการอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่สำหรับการให้บริการกระจายเสียง. เข้าถึงได้จากhttps://broadcast.nbtc.go.th/data/document/law/doc/th/641100000006.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล 1 สิงหาคม 2567)

[4] คณะกรรมการกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) [ออนไลน์]. มาตรฐานทางเทคนิคเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงระบบเอฟเอ็ม กำลังส่งต่ำ. เข้าถึงได้จาก https://broadcast.nbtc.go.th/data/document/law/doc/th/641100000002.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล 1 สิงหาคม 2567)

[5] ชิตพงษ์ กิตตินราดร. Logistic Regression. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://guopai.github.io/ml-blog04.html. (วันที่ค้นข้อมูล 2 ธันวาคม 2567)

[6] ญาณิศา จินตนไชยวัฒน์, ณัฐชยา ฉันเฟื่องฟู, อัญวีณ์ พันธ์บูรณานนท์. Basic NLP. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://www.kaggle.com/code/yanisagam/basic-nlp. (วันที่ค้นข้อมูล 2 ธันวาคม 2567)

[7] บริษัท ไซตรอน เทคโนโลยี จำกัด. Official Raspberry Pi 5 Single Board. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://th.cytron.io/p-raspberry-pi-5. (วันที่ค้นข้อมูล 1 สิงหาคม 2567)

[8] บริษัท วีนัส ซัพพลาย จำกัด. Raspberry Pi 5 8GB. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://www.thaieasyelec.com/product/raspberry-pi-5-8gb/11000833173001298. (วันที่ค้นข้อมูล 1 สิงหาคม 2567)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

[9] พระราชบัญญัติ. การประกอบกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์ พ.ศ. 2551. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://www.thaibja.org/wp-content/uploads/2015/09/พระราชบัญญัติการ ประกอบกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์-พ.ศ.2551.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล 1 สิงหาคม 2567)

[10] Alan Wood's. Unicode Resources. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://statics.teams.cdn.office.net/evergreen-assets/safelinks/1/atp-safelinks.html. (วันที่ค้นข้อมูล 22 ธันวาคม 2567)

[11] Gladia. Best open-source speech-to-text models. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://www.gladia.io/blog/best-open-source-speech-to-text-models. (วันที่ค้นข้อมูล 3 ธันวาคม 2567)

[12] Lew. เฟสบุ๊กสร้าง AI การแปลงเสียงเป็นข้อความ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://www.blogone.com/node/122816. (วันที่ค้นข้อมูล 3 ธันวาคม 2567)

[13] Littletail. [ฝึกงาน Blognone] ทดลองสร้าง Speech Recognition ด้วย CMUSphinx ตอนที่ 2 (ตอนจบ). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://www.blognone.com/node/58253. (วันที่ค้นข้อมูล 3 ธันวาคม 2567)

[14] Looloo Technology. Thonburian Whisper. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://medium.com/@Loo lootech/thonburian-whisper-asr-27c067c534cb. (วันที่ค้นข้อมูล 3 ธันวาคม 2567)

[15] Manusaporn Treerungroj. Machine Learning & Supervised Learning with basic scikit-learn (part1). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://shorturl.asia/xYrZ7. (วันที่ค้นข้อมูล 3 ธันวาคม 2567)

[16] Nuttachot Promrit. Evaluation Metrics for Classification Model. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://blog.pjjop.org/evaluation-metrics-for-classification-model/. (วันที่ค้นข้อมูล 3 ธันวาคม 2567)

[17] Nuttachot Promrit. Evaluation Metrics for Classification Model. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://blog.pjjop.org/evaluation-metrics-for-classification-model/. (วันที่ค้นข้อมูล 3 ธันวาคม 2567)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

[18] Parin Kittipongdaja. เริ่มต้นทำ Machine Learning แบบง่ายๆ (อธิบายพร้อม Code) (1). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://parinkittipongdaja.medium.com/เริ่มต้นทำ-machine-learning-แบบง่ายๆ-อธิบายพร้อม-code-1-53a54e23e323. (วันที่ค้นข้อมูล 3 ธันวาคม 2567)

[19] Patipan Prasertsom. สกัดใจความสำคัญของข้อความด้วยเทคนิคการประมวลผลทางภาษาเบื้องต้น: TF-IDF, Part 2. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://bdi.or.th/big-data-101/tf-idf-2/. (วันที่ค้นข้อมูล 3 ธันวาคม 2567)

[20] RTL-SDR. About RTL-SDR. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://www.rtl-sdr.com/about-rtl-sdr/. (วันที่ค้นข้อมูล 1 สิงหาคม 2567)

[21] RTL-SDR. RTL-SDR Blog V3 Datasheet. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://www.rtl-sdr.com/wp-content/uploads/2018/02/RTL-SDR-Blog-V3-Datasheet.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล 1 สิงหาคม 2567)

[22] Sitdhibong. Text Representation ด้วย Scikit Learn. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://we.in.th/text-representation-ด้วย-scikit-learn-afab3f7d941a. (วันที่ค้นข้อมูล 1 สิงหาคม 2567)

[23] Suttipong Tanuphone. เริ่มต้นกับ SDR ฟังวิทยุโดยไม่ต้องมีวิทยุ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://hs2bmi.medium.com/เริ่มต้นกับ-sdr-ฟังวิทยุโดยไม่ต้องมีวิทยุ-e365bcb1974c. (วันที่ค้นข้อมูล 1 สิงหาคม 2567)

[24] Wikipedia. Thai (Unicode block). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://en.wikipedia.org/wiki/Thai_%28Unicode_block%29. (วันที่ค้นข้อมูล 1 มกราคม 2568)

[25] Wikipedia. Thai script. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://en.wikipedia.org/wiki/Thai_script. (วันที่ค้นข้อมูล 1 มกราคม 2568)

[26] Yujian Tang. A Guide to DeepSpeech Speech to Text. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://deepgram.com/learn/guide-deepspeech-speech-to-text. (วันที่ค้นข้อมูล 1 มกราคม 2568)

[27] MATLAB Help Center.gausswin, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://www.mathworks.com/help/signal/ref /gausswin.html. (วันที่ค้นข้อมูล 1 มกราคม 2568)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

[28] Start From Minus. ASR 101. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://medium.com/@startfromminus/asr-101-96ce0bc32ced. (วันที่ค้นข้อมูล 7 มกราคม 2568)

[29] Introducing Whisper. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://openai.com/index/whisper/. (วันที่ค้นข้อมูล 7 มกราคม 2568)

[30] What is a 1D Convolutional Layer in Deep Learning?. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://www.geeksforgeeks.org/what-is-a-1d-convolutional-layer-in-deep-learning/. (วันที่ค้นข้อมูล 7 มกราคม 2568)

[31] PyTorch Contributors. GELU. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://pytorch.org/docs/stable/generated/torch.nn.GELU.html. (วันที่ค้นข้อมูล 7 มกราคม 2568)

[32] Pranay Janupalli. Understanding Sinusoidal Positional Encoding in Transformers. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://medium.com/@pranay.janupalli/understanding-sinusoidal-positional-encoding-in-transformers-26c4c161b7cc. (วันที่ค้นข้อมูล 18 มกราคม 2568)

[33] Surapong Kanoktipsatharporn. Transformer คืออะไร Self-Attention คืออะไร สอน Neural Machine Translation แปลภาษาฝรั่งเศส เป็นภาษาอังกฤษ ด้วย Transformer – NLP ep.12. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://www.bualabs.com/archives/3186/what-is-transformer-machine-learning-teach-neural-machine-translation-translate-french-to-english-with-transformer-model-nlp-ep-12/. (วันที่ค้นข้อมูล 18 มกราคม 2568)

[34] Pagon Gatchalee. Confusion Matrix เครื่องมือสำคัญในการประเมินผลลัพธ์ของการทำนายในMachine learning. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://medium.com/@pagongatchalee/confusion-matrix-เครื่องมือสำคัญในการประเมินผลลัพธ์ของการทำนาย-ในmachine-learning-fba6e3f9508c. (วันที่ค้นข้อมูล 18 มกราคม 2568)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้