



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

โปรแกรมลดทอนสัญญาณรบกวนจากการแปลงเทปคาสเซ็ท

Cassette Tape Noise Reduction Preset

นายปวิศ ชูประเสริฐ

ภาควิชาวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560



รายงานสหกิจศึกษาระดับสมบูรณ

โปรแกรมลดทอนสัญญาณรบกวนจากการแปลงเทปคาสเซ็ท

Cassette Tape Noise Reduction Preset

นายปวิศ ชูประเสริฐ

ภาควิชาวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม

คณะวิศวกรรมศาสตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา โปรแกรมลดทอนสัญญาณรบกวนจากการแปลงเทปคาสเซ็ท

ชื่อ-สกุล นักศึกษา ปวริศ ชูประเสริฐ

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชา วิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ อาจารย์จักรศักดิ์ กิตติเมธาวิวัฒน์, ดร.มนอัม บัก

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน คุณวฤทธิ์ แสงทอง

ชื่อสถานประกอบการ สื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทย

บทคัดย่อ

เนื่องด้วยปัจจุบันเป็นยุคที่กำลังเปลี่ยนยุคจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล ส่งผลให้เครื่องเล่นเทปคาสเซ็ทลดน้อยลง การอ่านข้อมูลแบบดิจิทัลถูกใช้อย่างกว้างขวางมากขึ้น การทำ Re-record จากเทปคาสเซ็ท (อนาล็อก) ให้กลายเป็นไฟล์ดิจิทัลจึงเป็นประโยชน์อย่างมากในอนาคตเมื่อเครื่องเล่นเทปคาสเซ็ทหมดไป แต่เนื่องด้วยการแปลงเทปจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลจะมีสัญญาณรบกวนเข้ามาปะปนกับสัญญาณหลักซึ่งเกิดขึ้นจากขั้นตอนระหว่างแปลงและจากลักษณะเฉพาะของระบบอนาล็อก ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีซอฟต์แวร์และอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ลดทอนสัญญาณรบกวนลง ส่งผลให้ไฟล์เพลงดิจิทัลที่ได้จากการแปลงมีความชัด (Clarity) มากขึ้น สื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทยมีเทปคาสเซ็ทเพลงเป็นจำนวนมาก (มากกว่า 100 ม้วน) ด้วยเหตุนี้จึงใช้ Matlab ออกแบบ Algorithm สำหรับลดทอนสัญญาณรบกวนออกจากไฟล์ดิจิทัลที่ได้จากการแปลงเทปคาสเซ็ทโดยใช้หลักการ Spectral Subtraction หลักการคือ แปลงสัญญาณจากโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่โดยใช้ Short time Fourier transform จากนั้นหาค่าเฉลี่ยสเปกตรัมสัญญาณช่วงที่มีเฉพาะสัญญาณรบกวนแล้วนำมาลบออกจากขนาดสเปกตรัมของสัญญาณเสียงที่ปนด้วยสัญญาณรบกวน ซึ่งจะส่งผลให้อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) ดีขึ้น จากนั้นจึงแปลงสัญญาณจากโดเมนความถี่กลับเป็นโดเมนเวลาโดยใช้ Inverse short time Fourier transform ผลที่ได้คือสัญญาณมีความชัดเจนขึ้นเนื่องจากสัญญาณรบกวนถูกลดทอนลง วิธีการนี้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อสัญญาณรบกวนคงที่ตลอดช่วงสัญญาณ บุคคลากรในสื่อมวลชนฯ สามารถใช้งานได้ผ่าน GUI

คำสำคัญ : การลบเชิงสเปกตรัม, แปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล, เทปคาสเซ็ท, สัญญาณรบกวน

Co-operative Title: Cassette Tape Noise Reduction Preset

Student Intern Name: Mr. Pavarit Chuprasert

Faculty: Engineering

Department: Music Engineering And Multimedia

Advisor Name: Prof. Kajonsak Kimtimathavinan, Munhum Park, Ph.D

Mentor Name: Mr. Valith Saengthong

Company: Catholic Social Community of Thailand

ABSTRACT

Now a day, analog era has been changed to digital era and because of these, cassette tape player is reduced. Digital player is used worldwide instead of analog player. In addition, Catholic Social Community of Thailand(CSCT) has many cassette tapes (more than 100); therefore, re-recording from cassette tape (analog) to digital file is really useful in the future. But because of the process of re-record and the characteristic of analog are created noise that contaminate to signal which called "Tape Hiss"; therefore, noise reduction's software and hardware have been used in these day to improve the clarity of signal. For this reason, noise reduction algorithm is designed by using spectral subtraction method. Principles of spectral subtraction are convert signal from time domain to frequency domain by using short time Fourier transform and then chose a period in spectrogram of audio signal that has only background noise and find average of that period. When we got a mean of background noise, we duplicated a mean for whole range of current audio signal by using function *repmat* and then we subtract the absolute value of each element in audio signal array by duplicated mean value of background noise. Finally, we convert signal back from frequency domain to time domain by using inverse short time Fourier transform. The result gives a better SNR as background noise is reduced. This method is useful when the signal is stable. Staff in CSCT can use algorithm easier via graphic user interface (GUI).

Keywords: Spectral subtraction, Analog to digital converter, Cassette tape, Noise

กิตติกรรมประกาศ

โครงการสหกิจศึกษานี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก อาจารย์ขจรศักดิ์ กิตติเมธาวัฒน์และอาจารย์มนฮีม บัก อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการสหกิจศึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆด้วยความเอาใจใส่อย่างดีซึ่ง ผู้ทำโครงการสหกิจศึกษาตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ทั้งสองท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ ขอขอบพระคุณ บาทหลวงอนุชา ไชยเดช ผู้อำนวยการส้อมวลชนคาทอลิกประเทศไทย คุณวฤทธิ์ แสงทอง หัวหน้าแผนกเทคโนโลยี สารสนเทศ รวมถึงขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ส้อมวลชนคาทอลิกประเทศไทยทุกท่านที่ให้ข้อมูลต่างๆ อันเอื้อต่อการทำงานวิจัยและดูแลเอาใจใส่ผู้ทำโครงการสหกิจศึกษาอย่างดีตลอดระยะเวลาการทำสหกิจศึกษา เป็นผลทำให้ทำให้โครงการสหกิจศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี อนึ่ง ผู้วิจัยหวังว่า โครงการสหกิจศึกษานี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดี ทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่า คณาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาจนทำให้ผลงานโครงการสหกิจศึกษาเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ เกี่ยวข้องและขอแสดงความกตัญญูกตเวทิตาคุณ แด่บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน สำหรับข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้ทำโครงการสหกิจศึกษาขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนา โครงการสหกิจศึกษาต่อไป

ปวีศ ฐประเสริฐ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญ(ต่อ).....	V
สารบัญภาพ.....	VI
สารบัญภาพ(ต่อ).....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	10
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	11
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	12
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	12
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	38
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	40
3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	40
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	40
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	43
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	47
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	48
4.1 ลักษณะของสัญญาณรบกวน.....	48
4.2 ผลการใช้อัลกอริทึมกับข้อมูลดิจิทัลที่ต้องการลดทอนสัญญาณรบกวน.....	50
4.3 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์และหน้าต่างผู้ใช้งาน(GUI)ระหว่างอัลกอริทึมที่.....	52
ออกแบบกับ Plug-in ลดทอนสัญญาณรบกวนของ Audacity	
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	55
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	56
บรรณานุกรม.....	57
ภาคผนวก.....	59
ภาคผนวก ก.....	59
ภาคผนวก ข.....	64

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แสดงตราสัญลักษณ์สื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทย.....	1
1.2 แสดงตึกสภาพระสังฆราชคาทอลิกแห่งประเทศไทย.....	4
1.3 แสดงด้านหน้าสตูดิโอสื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทย.....	5
1.4 แสดงระบบภาพและเสียงของสตูดิโอสื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทย.....	5
1.5 แสดงด้านในของสตูดิโอสื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทย.....	6
1.6 แสดงผังโครงสร้างสภาพระสังฆราชคาทอลิกแห่งประเทศไทย.....	6
1.7 แสดงผังโครงสร้างสื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทย.....	7
1.8 แสดงผังโครงสร้างภายในแผนกวิทยุโทรทัศน์/ไอที สื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทย.....	7
2.1 แสดงฮาร์ดแวร์ที่รองรับการทำงาน Dante.....	21
2.2 แสดงหน้าต่างผู้ใช้งาน Dante Controller.....	22
2.3 แสดงหน้าต่างผู้ใช้งาน Dante Virtual Soundcard.....	23
2.4 ก. แสดงส่วนประกอบของหัวเทปชนิดโมโน ข. แสดงการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ.....	25
ลงในตัวถัง25ของหัวเทป ค.สัญลักษณ์ของหัวเทป	
2.5 ก.แสดงการเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากกระแสไฟฟ้า ข.แสดงการเกิดกระแสไฟฟ้า.....	26
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก	
2.6 แสดงการเหนี่ยวนำแม่เหล็กบนเส้นเทประหว่างการบันทึกสัญญาณเสียง.....	26
2.7 แสดงการทำงานของเครื่องเล่น/บันทึกเทปคาสเซ็ท.....	27
2.8 แสดงผลของช่องแก็ปต่ออำนาจแม่เหล็กในเส้นเทป.....	28
2.9 แสดงหัวเทปชนิดต่างๆ.....	29
2.10 ก.แสดงคาบสัญญาณเป็นจำนวนเต็ม.....	30
ข.แสดงสัญญาณในโดเมนความถี่เมื่อแปลง FFT	
2.11 ก.แสดงคาบสัญญาณไม่ใช่จำนวนเต็ม ข.แสดงปรากฏการณ์รั่วไหลของสเปกตรัม.....	31
2.12 ก.แสดงการคูณสัญญาณด้วยฟังก์ชันหน้าต่าง ข. ลดปรากฏการณ์รั่วไหลของสเปกตรัม.....	32
2.13 แสดงคุณลักษณะโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ของ Hamming window.....	33
2.14 แสดงคุณลักษณะโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ของ Rectangular window.....	34
2.15 แสดงคุณลักษณะโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ของ Blackman window.....	34
3.1 แสดงเครื่องเล่นเทปคาสเซ็ทรุ่น TEAC W-790R.....	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.2 แสดง Mixing console Yamaha QL1.....	42
3.3 แสดงแผนผังแสดงการแปลงเทป เป็นข้อมูลดิจิทัลและบันทึกลงคอมพิวเตอร์.....	44
3.4 แสดงการแบ่งสัญญาณออกเป็นส่วนๆด้วย Window จากนั้นแปลง FFT ทีละ.....	45
3.5 แสดงกราฟเลือกเฉพาะช่วงที่มีสัญญาณรบกวน.....	45
4.1 แสดงสเปกตรัมค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวน (100 ค่า).....	49
4.2 แสดงสเปกตรัมของค่าเฉลี่ยรวมของสัญญาณรบกวนทั้งหมด.....	49
4.3 แสดงสเปกโตรแกรมของสัญญาณรบกวน.....	50
4.4 แสดงสัญญาณก่อน(บน)และหลัง(ล่าง)ผ่านอัลกอริทึม.....	50
4.5 แสดงรูปขยับซึ่งเป็นช่วงของสัญญาณที่มีเฉพาะสัญญาณรบกวน.....	51
ก่อนผ่านอัลกอริทึม(บน)และหลังผ่านอัลกอริทึม(ล่าง)	
4.6 แสดง Spectrogram ของสัญญาณก่อนผ่านอัลกอริทึม.....	52
4.7 แสดง Spectrogram ของสัญญาณหลังผ่านอัลกอริทึม.....	52
4.8 แสดงหน้าต่างผู้ใช้งานอัลกอริทึมสำหรับบุคลากรของสื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทย.....	53
4.9 แสดงหน้าต่างผู้ใช้งานของ Plug-in ลดทอนสัญญาณรบกวนใน Audacity.....	54
ภาคผนวก ข (ภาพที่ 1) แสดง Philips carry-corder 150.....	64
ภาคผนวก ข (ภาพที่ 2) แสดง Sony Walkman TPS-L2.....	65

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

1.1.1 ประวัติของสื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทย

ประวัติความเป็นมาของการก่อตั้งและพัฒนาสื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทย สามารถสรุปได้ดังนี้



ภาพที่ 1.1 แสดงตราสัญลักษณ์สื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทย

ที่มา : <https://page.line.me/thaicatholicmedia/intro>

1.1.1.1 สมัยอยุธยา

คณะธรรมทูตเข้ามาเผยแผ่ศาสนาคาทอลิก ค.ศ. 1567 (พ.ศ.2110) ได้นำความรู้วิชาการสมัยใหม่เข้ามาเผยแพร่ด้วย เช่น การศึกษา ดาราศาสตร์ การแพทย์ การพิมพ์ ฯลฯ เพื่อช่วยประชาชนไทยให้มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น การพิมพ์เพื่อช่วยให้การเผยแผ่ศาสนาบังเกิดผลยิ่งขึ้น ผู้ที่มีบทบาทสำคัญคือพระสังฆราชหลุยส์ ลาโน คณะธรรมทูตพยายามตั้งโรงพิมพ์ขึ้นแต่ยังไม่สามารถทำได้ และเมื่อครั้งทูตไทยเดินทางไปฝรั่งเศสก็ได้ไปชมโรงพิมพ์ของรัฐบาล ซึ่งคณะทูตต่างสนใจและประทับใจกับการพิมพ์เป็นอย่างมาก

1.1.1.2 สมัยรัชกาลที่ 1

พระสังฆราชการ์โนลตีได้ตั้งโรงพิมพ์ที่วัดข้างตาคูร์ต (กุฎีจีน) ค.ศ. 1796 (พ.ศ. 2339) พิมพ์หนังสือ "คำสอนคฤศตัง" เป็นภาษาไทย ใช้ตัวอักษรโรมันเป็นหนังสือที่เก่าที่สุดที่พิมพ์ในประเทศไทยนอกจากนี้ยังได้พิมพ์หนังสือกาวนา พระคัมภีร์ หนังสือเรียน ภาษาละติน ฯลฯ

1.1.1.3 สมัยรัชกาลที่ 4

พระสังฆราชปลเลอกัวซ์ได้นำการถ่ายภาพเข้ามาเผยแพร่ในประเทศไทยเป็นครั้งแรก มาจากฝรั่งเศสเป็นที่ตื่นตื่นใจของคนไทยในยุคนั้นเป็นอย่างมาก ได้ปรับปรุงโรงพิมพ์มิสซังโรมันคาทอลิก (โรงพิมพ์อัสสัมชัญ) ให้มีเครื่องมือ อุปกรณ์ทันสมัย มีคุณภาพดีขึ้น มีชื่อเสียง ในขณะนั้นเป็นเวลาที่โรงพิมพ์ได้ขยายตัวอย่างมากทั้งของหมอบรัดเลย์ ธรรมทูตจากอเมริกา คณะเพรสไบทีเรียน และเจ้าฟ้ามงกุฎฯ วัดบวรนิเวศวิหาร ซึ่งเป็นของคนไทยเอง

1.1.1.4 สมัยพระสังฆราชหลุยส์ เวย์ (พ.ศ.2418-2452)

สั่งซื้อแท่นพิมพ์ใหม่โดยมีคุณพ่อ โรมิเออ ดูแลโรงพิมพ์ ได้ประดิษฐ์ตัวอักษรไทยแบบใหม่ชื่อ "แบบฝรั่งเศส" เป็นที่นิยมมากและพิมพ์หนังสือออกมาหลายเล่ม

1.1.1.5 พ.ศ.2460

หนังสือพิมพ์ "สารสาสน์คฤศตัง" รายเดือน ได้ออกเผยแพร่เป็นครั้งแรก เพื่อเป็นสื่อกลางของศาสนาคริสต์ลำดับต่อมา เช่น หนังสือพิมพ์อุดมพันธ์ สารคาทอลิก วิถีธรรม และกองหน้าร่าเริง ฯลฯ พระศาสนจักรได้ปรับตัวครั้งสำคัญให้ทันสมัยพร้อมกับความเปลี่ยนแปลงของโลก เมื่อครั้งสังคายนาวาติกันครั้งที่ 2 (พ.ศ. 2505-2508) กฤษฎีกาว่าด้วยเรื่องสื่อมวลชน (Inter Mirifica) พ.ศ. 2506 ได้ให้ทัศนะใหม่ว่าสื่อเป็น "พระพรของพระ" อันเป็นผลจากสติปัญญาและให้พระศาสนจักรตระหนักถึงความสำคัญถึงคุณและโทษ ต้องใช้เพื่องานอภิบาลและประกาศข่าวดี กำหนดให้ฉลองวันสื่อมวลชนคาทอลิกขึ้นทุกปี

1.1.1.6 พ.ศ.2510

สภาพระสังฆราชคาทอลิกแห่งประเทศไทย ได้ปรับปรุงโครงสร้างการทำงานใหม่ตั้งหน่วยงานสื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทยขึ้น แต่งตั้งพระสังฆราชอาแลง วังกาแวร์เป็นประธาน แบ่งงานออกเป็น 3 แผนกคือ

1) แผนการพิมพ์ (UCIP)

จัดพิมพ์หนังสือทั่วไป ในปี พ.ศ.2513 พิมพ์อุดมสารรายปักษ์และรับผิดชอบงานพิมพ์ทั่วไป พ.ศ. 2520 ปรับเป็นอุดมสารรายสัปดาห์ และหนังสือนิตยสารอุดมสารรายเดือน มีสำนักงานอยู่ที่มิสซังกรุงเทพฯ

2) แผนกวิทยุ-โทรทัศน์ (UNDA)

จัดรายการวิทยุออกอากาศเป็นประจำทุกวันและรายการโทรทัศน์ตาม โอกาสสำคัญ

3) แผนกภาพยนตร์และโสตทัศนูปกรณ์ (OCIC)

จัดฉายภาพยนตร์สัญจรไปตามวัดและโรงเรียน สกิดสโกลด์เพื่อใช้สอนคำสอน ช่วยงานอภิบาลและสัมมนาอบรม สำนักงานทั้งแผนกวิทยุ-โทรทัศน์ แผนกภาพยนตร์และโสตทัศนูปกรณ์อยู่ที่ จ.นครราชสีมาใช้ส่วนหนึ่งของสำนักมิสซังฯ เป็นที่ทำงาน

1.1.1.7 พ.ศ.2520

พระสังฆราชฮอร์ช ยอด พิมพิสาร ได้รับแต่งตั้งเป็นประธานได้ย้ายสำนักงานทั้งสามแผนกมารวมกันที่อาคารคาทอลิกแพร์ชรรม บางรัก กรุงเทพมหานคร

1.1.1.8 พ.ศ.2539

ได้ย้ายมาอยู่ที่ ซ.นนทรี 14 ขานนาวา ปัจจุบัน รวมกับหน่วยงานอื่นๆในสภาพระสังฆราชคาทอลิกแห่งประเทศไทย

1.1.1.9 พ.ศ.2544

เนื่องจากการพัฒนาของสื่อในยุคนี้ผสมผสานกันมาก ในการทำงานพระศาสนจักรในระดับสากลซึ่งได้รวมแผนกวิทยุโทรทัศน์กับแผนกภาพยนตร์และโสตทัศนูปกรณ์เป็นแผนกเดียวกันภายใต้ชื่อซิกนิส (SIGNIS)

1.1.1.10 ปัจจุบัน

ในปัจจุบัน สื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทยทำงานอยู่ภายใต้สภาพระสังฆราชคาทอลิกแห่งประเทศไทยตั้งอยู่ที่อาคารสภาพระสังฆราชคาทอลิกแห่งประเทศไทย เลขที่ 122/11 ซ.นนทรี 14 (ช.นาคสุวรรณ) ยานนาวา กรุงเทพมหานคร 10120



ภาพที่ 1.2 แสดงตึกสภาพระสังฆราชคาทอลิกแห่งประเทศไทย

สำนักงานสื่อมวลชนคาทอลิกอยู่ชั้น 8,9 และ 10 ของตึกสภาพระสังฆราชฯ โดยชั้น 8 คือแผนกการพิมพ์ ชั้น 9 คือแผนกวิทยุ / โทรทัศน์ / เทคโนโลยีสารสนเทศและชั้น 10 คือแผนกโทรทัศน์ (ห้องบันทึกเทปโทรทัศน์)ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่างๆต่อไป



ภาพที่ 1.3 แสดงด้านหน้าสตูดิโอสื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทย



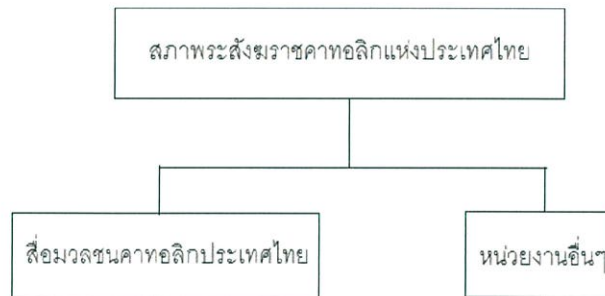
ภาพที่ 1.4 แสดงระบบภาพและเสียงของสตูดิโอสื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทย



ภาพที่ 1.5 แสดงค่านในของสตูดิโอสื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทย

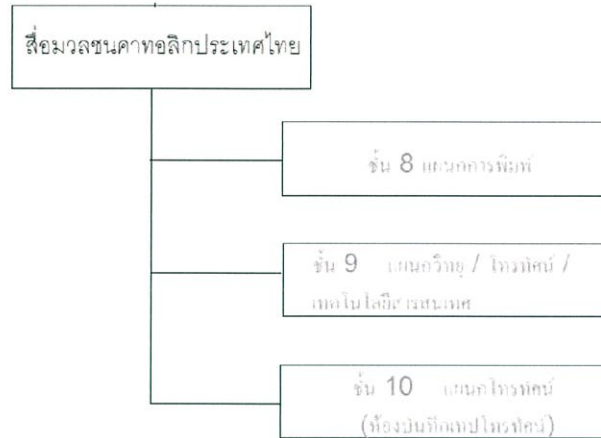
1.1.2 โครงสร้างสภาพระสังฆราชคาทอลิกแห่งประเทศไทย

สภาพระสังฆราชคาทอลิกแห่งประเทศไทยมีโครงสร้างหน่วยงานหลักประกอบด้วย สื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทยและหน่วยงานอื่นๆ ดังภาพที่ 1.6



ภาพที่ 1.6 แสดงผังโครงสร้างสภาพระสังฆราชคาทอลิกแห่งประเทศไทย

สำหรับในส่วนของสื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทยจะแบ่งย่อยออกเป็นแผนกต่างๆ ดังรูปที่ 1.4 และแผนกวิทยุโทรทัศน์/ไอทีจะแบ่งย่อยหน่วยงานออกไปต่างกัันดังรูปที่ 1.5



ภาพที่ 1.7 แสดงผังโครงสร้างสํานักงานหอสมุดรฐบาลประเทศไทย



ภาพที่ 1.8 แสดงผังโครงสร้างภายในแผนกวิทยุโทรทัศน์/ไอที สํานักงานหอสมุดรฐบาลประเทศไทย

1.1.3 แผนกพิมพ์

จัดพิมพ์หนังสือพิมพ์อุดมสาร (รายสัปดาห์) นิตยสารอุดมสานต์ (รายเดือน) ปฏิทินคาทอลิกและหนังสืออื่นๆ พ.ศ.2526 โอกาสฉลอง 700 ปีลายสือไท ได้กำหนด “ทศวรรษสิ่งพิมพ์สร้างสรรค์” เพื่อส่งเสริมการใช้ การอ่าน และอนุรักษ์ภาษาไทยให้ถูกต้องและตั้ง “กองทุนสิ่งพิมพ์คาทอลิกสร้างสรรค์” เป็นทุนถาวร โดยนำดอกผลมาใช้สนับสนุนสือสิ่งพิมพ์รวมทั้งจัดงานวันเพื่อนอุดมสาร

1.1.4 แผนกวิทยุโทรทัศน์/IT

1.1.4.1 งานวิทยุ

ผลิตรายการวิทยุ มีเนื้อหาด้านคุณธรรม ชีวิตครอบครัว ชาวชน ข่าวดารความรู้ คำสอนด้านศาสนา มีทั้งผลิตจากสำนักงานสื่อมวลชนฯ และระดับจังหวัด

1.1.4.2 งานโทรทัศน์

ผลิตรายการสำหรับออกอากาศในสถานีโทรทัศน์ช่องต่างๆตาม โอกาสสำคัญ เช่น คริสต์มาส ปีสงกา

พ.ศ.2537 - ปัจจุบัน ได้ผลิตรายการแสงธรรมออกอากาศทางช่อง 9 โมเดิร์นไนน์ทีวี วันอาทิตย์วันอาทิตย์ เวลา 04.00-04.30 น.

พ.ศ.2548 – ปัจจุบัน ได้ผลิตรายการโทรทัศน์ “พระเจ้าสถิตกับเรา” ออกอากาศทางสถานีโทรทัศน์ช่อง 11 กรมประชาสัมพันธ์ ทุกเช้าวันอาทิตย์ เวลา 04.00-04.50 น.

1.1.4.3 งานเทคโนโลยีสารสนเทศ(IT)

เพื่อความรวดเร็วในการเผยแพร่ข้อมูล ความรู้ ข่าวดารให้ทันสมัยยุคโลกไร้พรมแดน (Globalization) สื่อมวลชนจึงได้พัฒนาสื่อด้านอิเล็กทรอนิกส์ขึ้น พ.ศ.2542 ได้เปิดเว็บไซต์ “อุดมสาร” ขึ้น www.udomsarn.com และมี E-mail : csct@cbct.net

1.1.5 กิจกรรมพิเศษ

1.1.5.1 สื่อศึกษา (Media Education)

เนื่องจากอิทธิพลของสื่อมวลชนที่มีผลกระทบต่อสังคมอย่างมากโดยเฉพาะเด็กและเยาวชน ดังนั้นสื่อมวลชนคาทอลิกฯ จึงได้จัดอบรมให้ผู้รับสื่อรู้เท่าทันและเลือกสื่อที่มีประโยชน์ เปรียบเหมือน “ฉีควัคซีน” ให้แก่ผู้รับ ดังนั้นสื่อศึกษาจึงมุ่งมั่น

-เป็นศูนย์รวบรวมประสานงานด้านสื่อ เอกสาร อุปกรณ์ด้านสื่อศึกษาทั้งในและต่างประเทศ

-เผยแพร่ให้ความรู้ความเข้าใจงานด้านสื่อศึกษาแก่บุคคลทั่วไป

-จัดทำหนังสือคู่มือ หลักสูตรและเอกสารสื่อศึกษา

-อบรมสัมมนาให้แก่บุคคลทั่วไป โดยเฉพาะครูและเยาวชน เช่น จัดเสวนา ภาพยนตร์ในโครงการ “ฟังหนัง-ดูสาระ”

1.1.5.2 พิธีมอบรางวัลสื่อมวลชนคาทอลิก (Catholic Media Award)

เพื่อเป็นการส่งเสริมและสนับสนุนงานสร้างสรรค์สื่อที่ดีให้สังคมขององค์กร สื่อมวลชนอื่นๆ ที่มีจุดมุ่งหมายในการส่งเสริมคุณธรรม โดยผ่านสื่อต่างๆ สื่อมวลชนคาทอลิกฯ จึงมี กิจกรรมที่ได้กระทำเสมอมาคือพิธีมอบรางวัลสื่อมวลชนดีเด่นประจำปี โดยพิจารณารายการวิทยุ โทรทัศน์และภาพยนตร์ไทยที่มีคุณค่าต่อสังคมเพื่อปลูกจิตสำนึกของประชาชนให้ตระหนักถึงความสำคัญของสื่อมวลชนที่มีต่อสังคม พร้อมทั้งเป็นการให้เกิดริเริ่มและเป็นกำลังใจแก่ผู้ผลิตรายการที่ดีและมีคุณภาพ จึงได้จัดพิธีมอบรางวัลให้แก่ผู้ผลิตรายการวิทยุ โทรทัศน์และภาพยนตร์ ดีเด่นขึ้น ได้เริ่มจัดพิธีมอบรางวัลครั้งแรกในปี พ.ศ.2522 ณ หอประชุมโรงเรียนอัสสัมชัญ บางรัก กรุงเทพมหานคร พิธีมอบรางวัลนี้ได้จัดอย่างต่อเนื่องมาทุกปี

1.1.5.3 วันสื่อมวลชนคาทอลิก

จัดขึ้นตั้งแต่ พ.ศ. 2511 ต่อมาได้กำหนดให้เป็นอาทิตย์แรกของเดือนสิงหาคม มีการแปลและจัดพิมพ์สารวันสื่อมวลชนของสมเด็จพระสันตะปาปา แนวคิดบทอ่านมิสซาวัน อาทิตย์ จัดพิมพ์เพื่อให้พระสงฆ์ตามวัดใช้ในมิสซาวันสื่อมวลชน

วันสื่อมวลชนคาทอลิกสัญจรไปตามสังฆมณฑลต่างๆ เป็นการร่วมมือส่งเสริมงานระดับสังฆมณฑล

1.1.2 ความสำคัญ

เนื่องด้วยปัจจุบันเป็นยุคที่กำลังเปลี่ยนยุคจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล ส่งผลให้เครื่องเล่น เทปคาสเซ็ทลดน้อยลง การอ่านข้อมูลแบบดิจิทัลถูกใช้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

สื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทยเป็นหน่วยงานที่มีประวัติมาอย่างยาวนาน สื่อมวลชนฯ เป็นหน่วยงานไม่แสวงหาผลกำไรซึ่งผลิตสื่อรายการวิทยุ-โทรทัศน์ ฯลฯ เกี่ยวกับศาสนาคริสต์

เมื่อยุคสมัยกำลังเปลี่ยนแปลงเข้าสู่โลกดิจิทัล สื่อมวลชนฯ จำเป็นจะต้องเปลี่ยนแปลง สื่อและระบบต่างๆ ที่เป็นอนาล็อกให้เป็นดิจิทัลเพื่อให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของโลก เช่น มีการเปลี่ยนแปลงกล้องถ่ายภาพรายการจากกล้องระบบอนาล็อกเป็นกล้องดิจิทัล การเปลี่ยนเครื่องผสม สัญญาณ(Mixer)จากอนาล็อกเป็นเครื่องผสมสัญญาณแบบดิจิทัล เป็นต้น รวมถึงเทปคาสเซ็ทที่ บันทึกบทเพลง บทพูด บทสัมภาษณ์ต่างๆ ซึ่งสื่อมวลชนฯ มีเทปคาสเซ็ทเป็นจำนวนมาก

(มากกว่า 100 ม้วน) ดังนั้นจึงได้ใช้วิธีการที่เรียกว่า Re-record เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลต่างๆในรูปแบบดิจิทัลได้

การทำ Re-record จากเทปคาสเซ็ท(อนาล็อก)ให้กลายเป็นไฟล์ดิจิทัลเป็นประโยชน์อย่างมากในอนาคตเมื่อเครื่องเล่นเทปคาสเซ็ทหมดไป แต่เนื่องด้วยการแปลงเทปจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลจะมีสัญญาณรบกวนเข้ามาปะปนกับสัญญาณที่ได้จากการแปลงในกรณีสัญญาณรบกวนที่เกิดจากเทปเราเรียกว่า “Tape hiss” หรือ “Hissing noise” ซึ่งเกิดขึ้นจากขั้นตอนระหว่างการแปลงและจากลักษณะเฉพาะของระบบอนาล็อก ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีซอฟต์แวร์และอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ลดทอนสัญญาณรบกวนหรือเราเรียกว่าขั้นตอนการฟื้นฟูเสียง (Audio restoration) ส่งผลให้ข้อมูลดิจิทัลที่ได้จากการแปลงมีความชัด (Clarity) มากขึ้น เนื่องจากสัญญาณรบกวน(เช่น hiss, impulse noise, crackle, wow และ background noise) ถูกลดทอนลง (Hess, Iraci, Flak, 2012)

ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการออกแบบอัลกอริทึมที่ทำหน้าที่ลดทอนสัญญาณรบกวนโดยใช้ซอฟต์แวร์ *Matlab* ผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบอัลกอริทึมลดทอนสัญญาณรบกวนคือสัญญาณที่แปลงมีขนาดของสัญญาณรบกวนน้อยลงและโปรเจกต์นี้ใช้หลักการลบเชิงสเปกตรัม (Spectral Subtraction) เป็นพื้นฐานในการออกแบบอัลกอริทึมลดทอนสัญญาณรบกวน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการออกแบบอัลกอริทึมที่ทำหน้าที่ลดทอนสัญญาณรบกวนของไฟล์ที่ได้จากการแปลงเทปคาสเซ็ทโดยใช้ซอฟต์แวร์ *Matlab*

1.2.2 ออกแบบหน้าต่างสำหรับผู้ใช้งาน (Graphic User Interface) เพื่อให้บุคคลากรในสื่อมวลชนฯสามารถใช้งานอัลกอริทึมได้ง่ายและสะดวก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 กลุ่มตัวอย่าง

เนื่องจากสื่อมวลชนคาทอลิกแห่งประเทศไทยมีเทศกาลเซ็ทเป็นจำนวนมากจึงได้สุ่มเก็บตัวอย่างเทศกาลเซ็ทเป็นจำนวน 100 ม้วนเพื่อศึกษาลักษณะของสัญญาณรบกวนในเชิงขนาด (Amplitude) และความถี่ (Frequency)

1.3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

1.3.2.1 ตัวแปรอิสระ

ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ลักษณะทางขนาด (Amplitude) และความถี่ (Frequency) ของสัญญาณรบกวนตัวอย่างที่สุ่มเก็บมาจำนวน 100 ม้วน

1.3.2.2 ตัวแปรตาม

ตัวแปรตาม ได้แก่ การปรับและหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนสัญญาณรบกวนต่างๆ (Parameters) ของอัลกอริทึมที่ออกแบบให้สัมพันธ์กับขนาดและความถี่ของสัญญาณรบกวน

1.3.3 ระยะเวลา

การทำโครงการสหกิจศึกษาครั้งนี้กระทำในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560 เป็นเวลา 16 สัปดาห์ ใช้เวลาทำโครงการสัปดาห์ละ 5* วัน วันละ 7* ชั่วโมง (*บางเวลาไม่สามารถทำโครงการสหกิจศึกษาได้เนื่องจากช่วยงานด่วนของสถานประกอบการ)

1.3.4 เนื้อหาวิชาที่ใช้ในการทำโครงการ

เนื้อหาวิชาที่ใช้ในการทำโครงการ ได้แก่ วิชา 01136405 สหกิจศึกษา ตามหลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิตของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.3.5 สถานที่ปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

สถานที่ปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ได้แก่ สื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทย จังหวัดกรุงเทพมหานคร และคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางในการดำเนินการวิจัยเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ไว้เป็นเรื่องราว ประกอบด้วย ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลพร้อมทั้งสถิติที่ใช้ในการวิจัย โดยรายละเอียดในแต่ละเรื่องนั้นได้อธิบายอยู่ในบทที่ 3 (วิธีดำเนินการวิจัย)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ข้อมูลดิจิทัลที่ได้จากการแปลงเทปคาสเซ็ทมีความชัด(Clarity)มากขึ้น เนื่องจากสัญญาณรบกวนถูกลดทอนลง

1.5.2 ได้รับความรู้เกี่ยวกับการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับลดทอนสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการแปลงเทปคาสเซ็ทให้เป็นไฟล์ดิจิทัลด้วยหลักการลบเชิงสเปกตรัม(Spectral- subtraction)

1.5.3 บุคลากรในสื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทยสามารถใช้งานอัลกอริทึมได้ง่ายและสะดวกผ่านหน้าต่างผู้ใช้งาน(Graphic User Interface)

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับแนวคิด และ/หรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ โปรแกรมลดทอนสัญญาณรบกวนจากการแปลงเทปคาสเซ็ทเป็นข้อมูลดิจิทัล โดยใช้หลักการลบเชิงสเปกตรัม (Spectral-Subtraction) นั้นได้รับความสนใจจากนักวิชาการมากกว่าสามทศวรรษ โดยบทความวิชาการที่ได้รับความนิยมคือบทความของ Boll S.F ซึ่งจากนั้นได้มีการนำความรู้ไปต่อยอดเพื่อคิดค้นและพัฒนาโดยนักวิชาการอีกหลายท่านให้หลักการลบเชิงสเปกตรัม (Spectral-Subtraction) นี้มีประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนมากขึ้น

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการทบทวนแนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ทบทวนและสรุปสาระสำคัญจากการทบทวนแนวคิดและทฤษฎีต่างๆ ไว้ดังนี้

2.1.1 Audio Restoration

2.1.2 Spectral Subtraction

2.1.3 Fourier Transform

2.1.4 Dante Network Protocol

2.1.5 Cassette Tape

2.1.6 Window Function

2.1.7 Signal to Noise Ratio

จากสาระสำคัญดังกล่าวข้างต้น จึงขออธิบายรายละเอียดในแต่ละประเด็นดังต่อไปนี้

2.1.1 Audio Restoration

การฟื้นฟูสภาพเสียง (Audio restoration) เป็นขั้นตอนในการลบหรือลดทอนสัญญาณรบกวนหรือเสียงที่ไม่สมบูรณ์ที่อาจปะปนเข้ามาอยู่กับเสียงหลัก(เช่น hiss, impulse noise, crackle, wow และ background noise) จากการบันทึกเสียงซึ่งสัญญาณที่ได้จากการบันทึกจะประกอบไปด้วยสัญญาณที่ต้องการบวกกับสัญญาณรบกวนแสดงได้ดังสมการที่ 1

$$y_i = x_i + n_i \quad (1)$$

โดยที่ y_i คือสัญญาณที่ได้จากการบันทึก, x_i คือสัญญาณที่ต้องการ(เสียงพูด เสียงดนตรี ฯลฯ)และ n_i คือสัญญาณรบกวนที่ปะปนเข้ามาระหว่างทำการบันทึก

การฟื้นฟูสภาพเสียงนี้สามารถทำได้โดยตรงกับสื่อที่ใช้บันทึกเสียง เช่น ใช้น้ำยาทำความสะอาดสำหรับแผ่นเสียงทำความสะอาดแผ่นเสียง เป็นต้น หรือทำได้กับไฟล์ดิจิทัลซึ่งได้จากการบันทึกข้อมูลอนาล็อก (Re-record) ที่อยู่ในคอมพิวเตอร์ เช่น ไฟล์เสียงสกุล .WAV หรือ .AIFF เป็นต้น

การฟื้นฟูเสียงในปัจจุบันนิยมทำกับไฟล์ดิจิทัลที่ได้จากการแปลงอนาล็อกเข้าไปในคอมพิวเตอร์การทำเช่นนี้จะทำให้การฟื้นฟูสภาพเสียงทำได้ง่ายขึ้นเพราะในโลกของดิจิทัลสามารถลบข้อมูลที่ไม่ต้องการหรือเรียกคืนข้อมูลที่ต้องการได้อย่างง่ายดายและสามารถใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปในการฟื้นฟูเช่น Declickers, Decracklers, Dehissers หรือ สามารถใช้ซอฟต์แวร์สำหรับเสียงดิจิทัลโดยเฉพาะ (Digital Audio Workstations) ในการดำเนินเทคนิคต่างๆเพื่อลบสัญญาณรบกวนโดยใช้อัลกอริทึมที่แตกต่างกันสำหรับลดทอนเสียงรบกวนที่มีคุณสมบัติต่างกัน เช่น Denoising, Declicking, Decrackling รวมถึงอัลกอริทึมสำหรับลบเสียงความถี่ต่ำอันเกิดจากสัญญาณไฟฟ้าระหว่างการแปลง(Hums)หรือสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการแปลงเทปคาสเซ็ท(Hiss) (Godsill, Rayner, & Cappé, n.d.)และหากขกรายละเอียดเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการแปลงเทปคาสเซ็ทก็มีหลากหลายวิธีในการลดทอนสัญญาณดังกล่าวให้ลดน้อยลงซึ่งหนึ่งในวิธีนั้นคือวิธีการลบเชิงสเปกตรัม(Spectral Subtraction)

2.1.2 Spectral Subtraction

วิธีการลบเชิงสเปกตรัม (Spectral Subtraction) หรือเรียกย่อๆว่าวิธี SS โดย Boll (1979) พบว่าเป็นวิธีพื้นฐานที่มีประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวน แนวความคิดพื้นฐานของวิธีนี้คือเราสามารถแยกสัญญาณสองสัญญาณที่รวมกันได้โดยนำเอาสัญญาณรบกวนที่ประมาณได้ลบออกจากสัญญาณที่ต้องการส่งผลให้อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

(Signal to noise ratio) เพิ่มขึ้น โดยวิธี SS จะมีประสิทธิภาพเมื่อสัญญาณรบกวนคงที่ (Stationary noise) ซึ่งเป็นการลบสัญญาณทางโดเมนความถี่ จากสมการที่ 1 นำมาทำการแปลงฟูรีเย (Fourier Transform) จะได้ผลดังสมการต่อไปนี้

$$Y(\omega) = X(\omega) + N(\omega) \quad (2)$$

เราไม่ทราบค่าของสัญญาณรบกวน ($N(\omega)$) จึงจำเป็นจะต้องประมาณค่าของสัญญาณรบกวน โดยสามารถประมาณค่าสัญญาณรบกวนทางโดเมนความถี่ได้ด้วยการเลือกช่วงสัญญาณเฉพาะช่วงที่มีแค่สัญญาณรบกวนจากนั้นหาค่าเฉลี่ยของช่วงสัญญาณนั้น จะทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวน ($E|N(\omega)|$) หลังจากได้ค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนแล้ว เราสามารถแยกสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณที่ต้องการด้วยสมการต่อไปนี้

$$X(\omega) = Y(\omega) - E|N(\omega)| \quad (3)$$

โดยที่ $X(\omega)$ คือสัญญาณที่ต้องการทางโดเมนความถี่, $Y(\omega)$ คือสัญญาณที่ได้จากการบันทึกทางโดเมนความถี่และ $E|N(\omega)|$ คือสัญญาณรบกวนที่ประมาณได้ทางโดเมนความถี่

ถ้าเก็บช่วงของสัญญาณรบกวนยาวมากเท่าไรยิ่งส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น (Ephraim, & Malah, 1984)

2.1.2.1 Diagonal Estimation

Diagonal estimators คือ อัลกอริทึมลดทอนสัญญาณรบกวนเชิงเวลา-ความถี่ซึ่งคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน ($a[l,k]$) เฉพาะจากค่าสัมประสิทธิ์สัญญาณรบกวนที่สอดคล้องกัน ($Y[l,k]$) สามารถอธิบายค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน ($a[l,k]$) ได้ดังสมการที่ 4

$$a[l, k] = 1 - \frac{1}{\xi[l, k] + 1} \quad (4)$$

โดย $\xi[l, k] = F^2[l, k]/\sigma^2[l, k]$ คือ *a priori SNR* เมื่อ $F^2[l, k]$ คือกำลังของสัญญาณที่ต้องการและ $\sigma^2[l, k]$ คือกำลังของสัญญาณรบกวน ผลลัพธ์ที่ได้มีความเสี่ยงต่ำหรือที่เรียกว่า oracle risk T_o แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 5

$$r_0 \leq \frac{1}{A} R_o \text{ where } R_o = \sum_{l,k} \frac{|F[l, k]|^2 \sigma^2[l, k]}{|F[l, k]|^2 + \sigma^2[l, k]} \quad (5)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนยังไม่สามารถหาค่าได้เนื่องจากสมการที่ 4 ขึ้นอยู่กับค่า *a priori SNR* ซึ่งยังไม่ทราบค่าดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาค่า *a priori SNR* เสียก่อนโดยสามารถหาค่า SNR ได้จากสมการที่ 22 และ 24 หากใส่ค่าจากสมการที่ 2 ลงในสมการที่ 4 จะสามารถกำหนดตัวประมาณ Wiener (Wiener Estimator) ได้ดังสมการที่ 6 (Guoshen, Stéphane, & Emmanuel, 2008)

$$a[l, k] = \left(1 - \frac{1}{\hat{\xi}[l, k] + 1}\right)_+ \quad (6)$$

เมื่อ $(z)_+ = \max(z, 0)$ การประมาณการ Wiener จะสามารถหาได้โดยลดผลรวมของสัญญาณที่ผิดเพี้ยนและพลังงานของสัญญาณรบกวนที่คงเหลือ การประมาณการลบสัญญาณเชิงกำลังสามารถแสดงดังสมการที่ 7

$$a[l, k] = \left(1 - \lambda \left[\frac{1}{\hat{\xi}[l, k] + 1}\right]^{\beta_1}\right)_+^{\beta_2} \quad (7)$$

เมื่อ $\beta_1, \beta_2 \geq 0$ และ $\lambda \geq 1$ คือสัมประสิทธิ์หักล้างที่ชดเชยการแปรผันขนาดของสัญญาณรบกวน

การประมาณจุดเริ่มต้นการทำงาน (Thresholding estimators) ของอัลกอริทึมลดทอนสัญญาณรบกวน ได้ถูกศึกษาและได้มีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติโดย Donoho และ Johnstone การกำหนด hard thresholding จะทำให้สัมประสิทธิ์ของสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนปะปนยังคงเหลือหรือเท่ากับศูนย์โดย

$$a[l, k] = 1_{\{\hat{\xi}[l, k] + 1 > \lambda^2\}} \quad (8)$$

Donoho และ Johnstone ได้พิสูจน์แล้วว่าหากค่าที่ใช้กับสัญญาณรบกวนเป็นแบบ Soft-thresholding ซึ่งคือกรณีพิเศษของการลบสัญญาณเชิงกำลังโดย $\beta_1 = 1/2, \beta_2 = 1$ จะมีประสิทธิภาพในการลดทอนสูงขึ้น (Guoshen, Stéphane, & Emmanuel, 2008)

จากนั้นสามารถทำให้สัญญาณเสียงที่ต้องการมีสัญญาณรบกวนลดน้อยลงได้โดยนำค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน $a[l, k]$ คูณกับสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนปะปน $Y[l, k]$ ดังสมการที่ 9 และแปลงสัญญาณกลับไปเป็นโดเมนเวลาโดยใช้ ISTFT ผลลัพธ์ที่ได้คือสัญญาณที่ต้องการ (η_i)

$$a[l, k]Y[l, k] \xrightarrow{\text{IFF}} \text{สัญญาณที่ต้องการ}(\eta_i) \quad (9)$$

2.1.1.3 Fourier Transform

การแปลงฟูรีเย (Fourier transform) ตั้งชื่อตาม โฌแซ็ฟ ฟูรีเย หมายถึงการแปลงเชิงปริพันธ์ โดยเป็นการเขียนแทนฟังก์ชันใดๆ ในรูปผลบวก หรือปริพันธ์ของฐานที่เป็นฟังก์ชันรูปคลื่น ไซน์หรือ โคไซน์

2.1.1.3.1 รูปแบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแปลงฟูรีเย

1) การแปลงฟูรีเยแบบต่อเนื่อง

โดยปกติแล้วคำ "การแปลงฟูรีเย" จะใช้หมายถึงการแปลงฟูรีเยต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการเขียนแทนฟังก์ชัน $f(t)$ ที่สามารถหาปริพันธ์ของกำลังสองได้ด้วยผลบวกของฟังก์ชันเอกซ์โปเนนเชียลเชิงซ้อน ซึ่งมีความถี่เชิงมุม ω และขนาด (หรือ แอมพลิจูด) เป็นจำนวนเชิงซ้อน $F(\omega)$;

$$f(t) = \mathcal{F}^{-1}(F)(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega. \quad (10)$$

ความสัมพันธ์ด้านบนคือการแปลงกลับของการแปลงฟูรีเยแบบต่อเนื่อง (Inverse Fourier transform) ส่วนการแปลงฟูรีเยนั้นปกติจะเขียน $F(\omega)$ ในรูปของ $f(t)$ คู่ของฟังก์ชันดั้งเดิมและผลของการแปลงของฟังก์ชันนั้น บางครั้งก็เรียกคู่ของการแปลง (transform pair) คู่ข้อมูลเพิ่มเติมที่การแปลงฟูรีเยต่อเนื่อง ภาคขยายของการแปลงนี้คือ การแปลงฟูรีเยแบบไม่เต็มจำนวนเต็ม (fractional Fourier transform) ซึ่งค่ายกกำลังของการแปลง (จำนวนการแปลงซ้ำ) นั้นไม่จำเป็นจะต้องเป็นจำนวนเต็ม สามารถเป็นค่าจำนวนจริงใดๆ

เมื่อ $f(t)$ เป็นฟังก์ชันคู่(ฟังก์ชันคี่)เทอม ไซน์ (โคไซน์) จะไม่ปรากฏ ซึ่งคงเหลือไว้แต่การแปลงโคไซน์และการแปลงไซน์ตามลำดับ อีกกรณีหนึ่งคือ เมื่อ $f(t)$ เป็นฟังก์ชันค่าจริง จะทำให้ $F(-\omega) = F(\omega)^*$ (Osgood, n.d.)

2) การแปลงฟูรีเยไม่ต่อเนื่อง

สำหรับการคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ค่าสัญญาณในทั้งสองโดเมนจำเป็นต้องมีค่าเป็นดิจิทัลซึ่งคือฟังก์ชันค่าไม่ต่อเนื่อง $x[n]$ บนโดเมนไม่ต่อเนื่อง แทนที่จะเป็นโดเมนต่อเนื่องในช่วงจำกัดหรือเป็นคาบ ในกรณีนี้เราจะใช้การแปลงฟูรีเยไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transform-DFT) ซึ่งเขียนแทน $x[n]$ ด้วยผลบวกของฟังก์ชันคาบ

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] e^{2\pi i n k / N} \quad n = 0, \dots, N-1 \quad (11)$$

โดยที่ $X[k]$ คือค่าขนาดบนโดเมนการแปลง การคำนวณจากสมการข้างต้นจะใช้ความซับซ้อนในการคำนวณ $O(N^2)$ ซึ่งสามารถลดลงเหลือเพียง $O(N \log N)$ โดยการใช้ขั้นตอนวิธี การแปลงฟูรีเยอย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform-FFT)(Osgood, n.d.)

3) อนุกรมฟูรีเย

การแปลงฟูรีเยต่อเนื่องนั้นเป็นภาคขยาย ของแนวความคิดที่เกิดก่อนหน้านั้น คือ อนุกรมฟูรีเย ซึ่งเป็นการเขียนแทนฟังก์ชันคาบ (หรือฟังก์ชัน ในโดเมนจำกัด) $f(x)$ (มีคาบ 2π) ด้วย อนุกรม ของฟังก์ชันรูปคลื่น:

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n e^{inx}, \quad (12)$$

ซึ่ง F_n เป็น ค่าจำนวนเชิงซ้อนของขนาดหรือค่าจริงของขนาดเมื่อฟังก์ชันเป็นฟังก์ชันค่าจริง อนุกรมฟูรีเยยังอาจเขียนในรูป:

$$f(x) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)], \quad (13)$$

โดย a_n และ b_n เป็นค่าจำนวนจริงของขนาด ของอนุกรมฟูรีเย

4) รูปแบบอื่นๆ

DFT เป็นกรณีที่เป็นฟังก์ชันไม่ต่อเนื่องบนทั้งสอง โดเมน ซึ่งบางครั้งใช้ในการประมาณค่าของ การแปลงฟูรีเยเวลาไม่ต่อเนื่อง (discrete-time Fourier transform-DTFT) ซึ่ง $x[n]$ เป็นค่าไม่ต่อเนื่องบน โดเมนที่ไม่จำกัด ดังนั้นจึงมีสเปกตรัมเป็นค่าต่อเนื่องและเป็นคาบ DTFT เป็นความสัมพันธ์ตรงข้ามกับ อนุกรมฟูรีเย

การแปลงฟูรีเย สามารถขยายความการแปลงบน อาบีเลียนโทโพโลยีกรุปใดๆ ที่คอมแพคเฉพาะที่ (Locally Compact Abelian Topological Group) เป็นการแปลงจากกรุปหนึ่งไปยังกรุปคู่ของมันซึ่งเป็นหัวข้อในการวิเคราะห์ฮาร์โมนิก (Harmonic Analysis) ภายใต้อการขยายความนี้ทำให้สามารถสร้างความสัมพันธ์ทั่วไปของทฤษฎีการคอนโวลูชัน (Convolution Theorem) ซึ่งเป็นทฤษฎีความสัมพันธ์ระหว่าง การแปลงฟูรีเยและการคอนโวลูชันคู่ความเป็นคู่ของพอนเทรียกิน (Pontryagin duality) สำหรับพื้นฐานภาคขยายความของการแปลงฟูรีเย (Osgood, n.d.)

นอกจากนั้นแล้ว ยังมีภาคขยายเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลความถี่ ณ จุดเวลาใดๆ คือการแปลง เวลา-ความถี่ (Time-frequency transform) เช่น การแปลงฟูรีเยช่วงเวลาดั้ง (short-time Fourier transform) การแปลงเวฟเลต (wavelet transform) การแปลงชิพเลต (chirplet transform) และการแปลงฟูรีเยแบบไม่เป็นจำนวนเต็ม (fractional Fourier transform) เป็นการแปลงซึ่งมีจุดมุ่งหมายในการคำนวณ ข้อมูลความถี่ของสัญญาณในรูปฟังก์ชันของเวลา ความสามารถในการคำนวณหาข้อมูลบนทั้งโดเมนเวลา และ ความถี่พร้อมๆ กันนั้นจะถูกจำกัดโดย กฎความไม่แน่นอน (uncertainty principle)(Osgood, n.d.)

2.1.4 Dante Network Protocol

Dante เป็นเครือข่ายที่ทำงานด้วยการประสานซอฟต์แวร์ ฮาร์ดแวร์และเครือข่ายเข้าด้วยกันซึ่งเสียงดิจิทัลที่ส่งผ่านในระบบนี้จะไม่ถูกบีบอัดและสามารถส่งพร้อมกันได้หลายช่องทาง (Multi-Channel) รวมถึงใช้เวลาในการส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว (Low latency) เครือข่าย Dante ถูกพัฒนาโดยบริษัท Audinate ประเทศออสเตรเลีย

ส่วนใหญ่แล้ว Dante จะถูกใช้งานในระดับมืออาชีพที่มีลักษณะงานที่ต้องการส่งสัญญาณเสียงหลายช่องทางออกไปในระยะไกลๆหรือไปยังสถานที่ต่างๆพร้อมกัน การส่งสัญญาณเสียงที่เป็นดิจิทัลมีข้อดีกว่าการส่งสัญญาณเสียงแบบอนาล็อกโดยสัญญาณเสียงที่ส่งผ่านสายอนาล็อกอาจลดลงหรือผิดเพี้ยนไปเนื่องจากการรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความถี่สูงและแรงดันไฟฟ้าที่ลดลงจากการเดินสายเคเบิลในระยะไกล แต่หากเป็นการเดินสัญญาณแบบดิจิทัลจะใช้สายสัญญาณน้อยลงมากเมื่อเทียบกับการเดินสายสัญญาณแบบอนาล็อกและสามารถส่งผ่านข้อมูลด้วยความเร็วสูง ส่งผ่านได้หลายช่องทางและมีการกำหนดค่าให้อัดโนมิติ(MediaMatrix A Division of Peavey Electronics Corporation, 2017)

เครือข่าย Dante เป็นเครือข่ายไอพีแอดเดรสที่ทำงานอยู่บนเลเยอร์ 3 และสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ Dante ให้สามารถสื่อสารกันได้ผ่านอีเทอร์เน็ตซึ่งรวมถึงเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ Dante Via เชื่อมต่อเข้าสู่เครือข่าย (หากมีอุปกรณ์ Dante เพียงชิ้นเดียวเชื่อมต่อในระบบจะไม่ถือว่าเป็นเครือข่าย Dante แต่อย่างไรก็ตามผู้ใช้อก็สามารถใช้ซอฟต์แวร์ Dante Via ในการกำหนดเส้นทางของเสียงในเครื่องคอมพิวเตอร์ได้)

การเชื่อมต่อไอพีแอดเดรสผ่านอีเทอร์เน็ต(IP over Ethernet)เป็นเครือข่ายที่ใช้เทคโนโลยีอีเทอร์เน็ตในการเชื่อมต่อเครือข่าย และใช้อินเตอร์เน็ตในการส่งผ่านข้อมูลภายในเครือข่ายดังกล่าว สัญญาณเสียงที่ใช้เครือข่าย Dante ในการส่งผ่านข้อมูลสามารถเรียกอีกอย่างว่า “Audio over IP” (MediaMatrix A Division of Peavey Electronics Corporation, 2017)

2.1.4.1 ลักษณะของเครือข่าย Dante

1) อุปกรณ์ที่มีระบบ Dante สามารถเชื่อมต่อและส่งข้อมูลถึงกันได้โดยอิสระในเครือข่าย ส่วนมากนิยมใช้สำหรับการบันทึกเสียงในห้องสตูดิโอ การออกระบบเสียงตามสถานที่ต่างๆ และการติดตั้งระบบเสียง

2) เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ Dante กับแอปพลิเคชันเครือข่ายอื่นๆ เช่น ส่งผ่านข้อมูลในสำนักงาน ส่งอีเมลล์ การจัดการข้อมูลหรือการรับส่งข้อมูลเครือข่ายประเภทอื่นๆ มาตรฐานคุณลักษณะของเครือข่ายเช่น Qos (Quality of Service) สามารถใช้ตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของเครือข่าย Dante เพื่อให้แน่ใจว่าสัญญาณเสียงในเครือข่ายซิงค์กัน (MediaMatrix A Division of Peavey Electronics Corporation, 2017)

3) เชื่อมต่อด้วยสาย CAT5 CAT5e และ CAT6

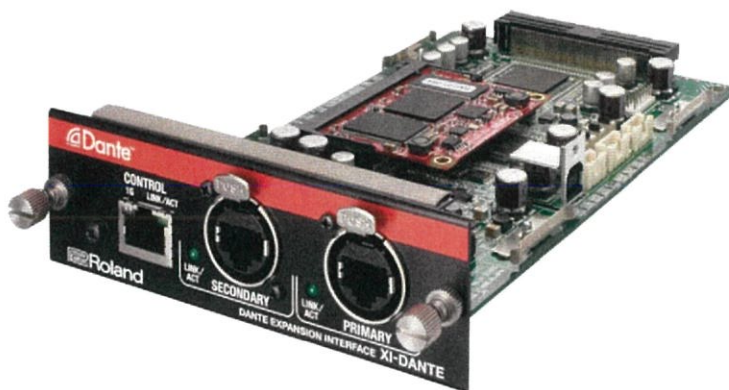
4) อัตราการส่งผ่านข้อมูลมีทั้งแบบ Fast Ethernet (100 Mb/s) และ Gigabit Ethernet (1000 Mb/s)

5) ระยะเวลาหน่วงต่ำสุดที่ 150 ไมโครวินาที

6) สามารถส่งสัญญาณเสียงพร้อมกันได้สูงสุด 1024 ช่องทาง (ส่งไป 512 ช่องทาง ส่งกลับ 512 ช่องทาง)

7) อัตราการสุ่มข้อมูลสูงสุดที่ 192000 เฮิร์ตและความละเอียดสูงสุดที่ 32 บิต

ฮาร์ดแวร์ที่รองรับการทำงาน Dante แสดงได้ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงฮาร์ดแวร์ที่รองรับการทำงาน Dante

ที่มา : <https://proav.roland.com/global/products/xi-dante/>

2.1.4.2 ซอฟต์แวร์ Dante

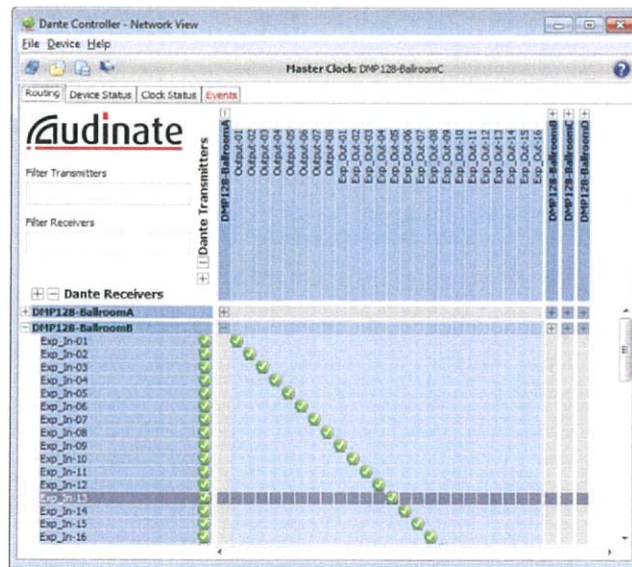
ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในเครือข่าย Dante มีทั้งหมด 3 อย่างดังนี้

1) Dante Controller

เป็นซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาโดย บริษัท Audinate ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ให้ผู้ใช้งานสามารถปรับ ตรวจสอบค่าต่างๆและกำหนดเส้นทางสัญญาณเสียง ในเครือข่ายได้ดังนี้

- สามารถดูอุปกรณ์ Dante ที่เชื่อมต่ออยู่บนเครือข่ายและช่องทางการส่งผ่านข้อมูลบนเครือข่ายทั้งหมดได้
- สามารถตั้งค่าเครือข่ายและนาฬิกาเครือข่ายได้ รวมถึงเปลี่ยนค่าอัตราการสุ่มข้อมูล (Sample Rate) ได้
- สามารถกำหนดเส้นทางของสัญญาณให้ไปยังอุปกรณ์ต่างๆที่อยู่บนเครือข่ายได้ รวมถึงตรวจสอบสถานะเส้นทางขณะนั้นและสามารถตรวจสอบสถานะของเครือข่ายได้
- สามารถล๊อคและปลดล๊อคอุปกรณ์ Dante ได้
- สามารถเปลี่ยนชื่อช่องทางของสัญญาณเสียงจากตัวเลขเป็นชื่อต่างๆได้ตามแต่ผู้ใช้ต้องการรวมถึงสามารถเปลี่ยนชื่ออุปกรณ์ Dante เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

- สามารถกำหนดค่าความหน่วงเวลา(Latency time)ก่อนการส่งผ่านข้อมูลได้
- สามารถบันทึกเส้นทางเดินสัญญาณเสียงที่ได้กำหนดไว้ได้เพื่อสามารถเรียกใช้งานในภายหลังได้อย่างรวดเร็ว
- สามารถกำหนดค่าต่างๆ(Latency time, Routing, etc.) แบบออฟไลน์ได้
- สามารถตรวจสอบแบนวิทการส่งและรับของแต่ละอุปกรณ์ได้รวมถึงสามารถตรวจสอบประสิทธิภาพของเครือข่ายได้
- สามารถระบุปัญหาได้เมื่อเกิดเหตุขัดข้องโดยซอฟต์แวร์จะมีหน้าต่างแจ้งเตือนพร้อมระบุปัญหาที่เกิดขึ้น ณ ขณะนั้น
- สามารถเข้าไปอัปเดตเฟิร์มแวร์ของอุปกรณ์ Dante ได้รวมถึงตรวจสอบข้อมูลต่างๆของอุปกรณ์นั้นได้ผ่านเว็บเพจ



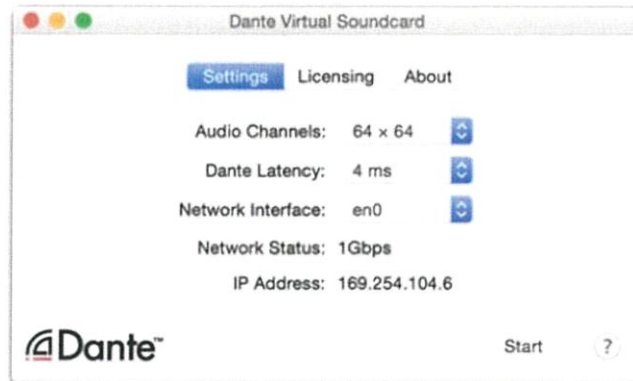
ภาพที่ 2.2 แสดงหน้าต่างผู้ใช้งาน Dante Controller

ที่มา : <https://www.extron.com/product/software.aspx?id=dteapp>

2) Dante Virtual Soundcard

เป็นซอฟต์แวร์ที่เปลี่ยนเครื่องคอมพิวเตอร์ให้กลายเป็นอุปกรณ์ Dante ซึ่งจะสามารถส่งผ่านและรับสัญญาณเสียงที่อยู่บนเครือข่าย Dante ได้ผ่านพอร์ทอีเทอร์เน็ต การใช้ virtual soundcard นี้ไม่ต้องใช้อุปกรณ์เสริมอีกทั้งรองรับแอปพลิเคชันเสียงทุกแอปพลิเคชัน สามารถปรับพารามิเตอร์บนหน้าต่างผู้ใช้งานได้ดังนี้ (MediaMatrix A Division of Peavey Electronics Corporation, 2017)

- สามารถเปิด-ปิดแอปพลิเคชันได้
- สามารถล็อกและปลดล็อกแอปพลิเคชันได้
- สามารถเปลี่ยนค่าหน่วงเวลา(Latency Time)ได้รวมถึงสามารถกำหนดจำนวนช่องทางสัญญาณได้
- สามารถกำหนดอัตราการสุ่มข้อมูล ความละเอียดบิต(Bit Depth) และสามารถเปลี่ยนชื่ออุปกรณ์ได้



ภาพที่ 2.3 แสดงหน้าต่างผู้ใช้งาน Dante Virtual Soundcard

ที่มา : <https://alternativeto.net/software/dante-virtual-soundcard>

3) Dante Via

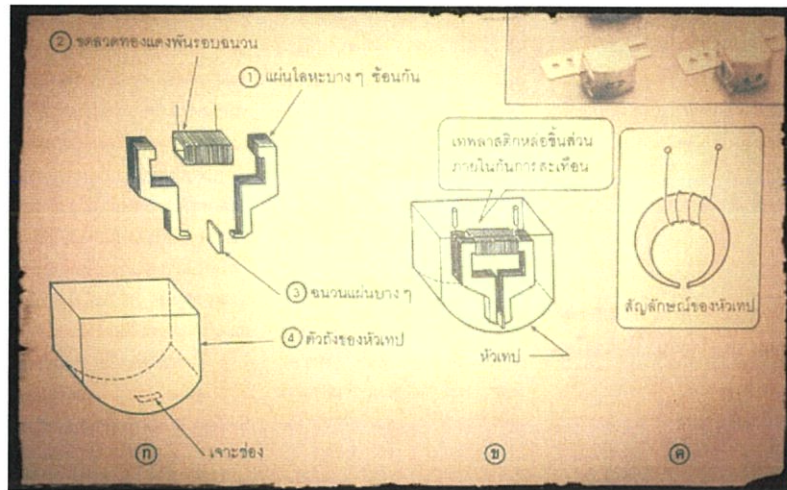
เป็นซอฟต์แวร์ที่ช่วยให้สามารถเชื่อมต่อเสียงที่มีคุณภาพสูงได้อย่างรวดเร็ว และง่ายคยระหว่างฮาร์ดแวร์และแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ที่เชื่อมต่ออยู่บนเครือข่าย Dante หรืออาจกล่าวได้ว่า Dante Via เป็นซอฟต์แวร์ที่ทำให้ซอฟต์แวร์เสียงที่อยู่ในคอมพิวเตอร์เช่น iTunes สามารถส่งผ่านข้อมูลเสียงเข้าไปในเครือข่าย Dante ได้ ผู้ใช้สามารถกำหนดได้ว่าอยากให้ซอฟต์แวร์เสียงใดส่งผ่านข้อมูลเข้าไปในเครือข่าย

Dante Via จะค้นหาซอฟต์แวร์เสียงในคอมพิวเตอร์โดยอัตโนมัติรวมถึงอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่สามารถเชื่อมต่อเสียงได้ จากนั้นจะแสดงข้อมูลซอฟต์แวร์เสียงที่ค้นหาเจอทั้งต้นทางและปลายทางบนหน้าต่างผู้ใช้งานเพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกการส่งผ่านข้อมูลเสียงได้ (MediaMatrix A Division of Peavey Electronics Corporation, 2017)

2.1.5 Cassette Tape

2.1.5.1 โครงสร้างของหัวเทป

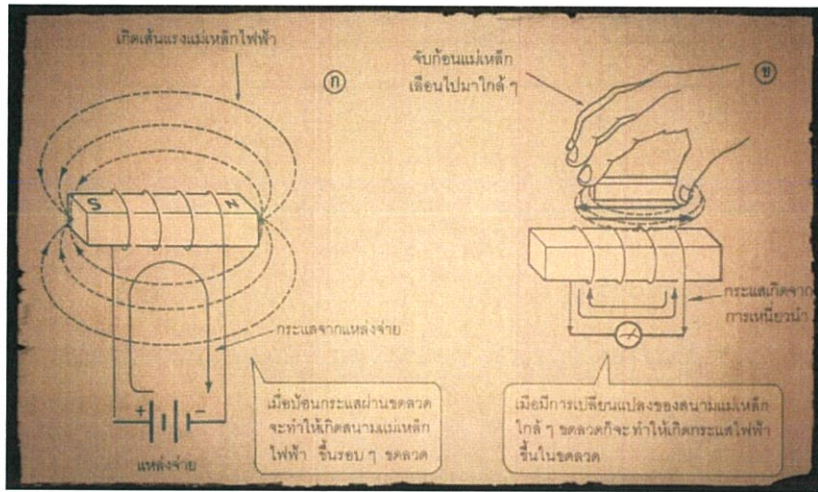
ภาพที่ 2.4 ก. แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบต่างๆของหัวเทป ซึ่งส่วนหมายเลข 1 คือแผ่น โลหะบางๆที่นำมาซ้อนกัน(หัวเทปบางชนิดอาจจะใช้ก้อนเฟอร์ไรต์ที่เป็นชนิดเดียวกับที่ใช้ทำแกนเฟอร์ไรต์ของขดลวดในภาครับวิทยุ AM มาแทนแผ่น โลหะ) แผ่น โลหะนี้มีหน้าที่ถ่ายทอดสนามแม่เหล็ก ไปสู่เส้นเทปเมื่อเวลาบันทึกสัญญาณและเป็นตัวรับสัญญาณแม่เหล็กเวลาเล่นกลับ ซึ่งส่วนหมายเลข 2 คือขดลวดที่พันรอบจนวน มีหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณ ไฟฟ้าเป็นพลังงานแม่เหล็ก แล้วส่งผ่านโลหะหมายเลข 1 ไปสู่เส้นเทปเมื่อเวลาบันทึก และเปลี่ยนพลังงานแม่เหล็กเป็นพลังงาน ไฟฟ้าเมื่อเล่นกลับ ซึ่งส่วนหมายเลข 3 คือแผ่นจนวนกั้นกลางระหว่างแผ่นโลหะ เพื่อให้เกิดความห่างเป็นช่อง จึงจะสามารถรับ-ส่งสัญญาณบนเส้นเทปได้ ซึ่งส่วนหมายเลข 4 คือตัวถังของหัวเทป ซึ่งมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมที่กั้นมันและเจาะช่องให้ส่วนที่จะต้องสัมผัสกับเนื้อเทปโผล่ออกมาภาพที่ 2.4 ข. แสดงให้เห็นเมื่อประกอบชิ้นส่วนต่างๆเข้าด้วยกันแล้ว เทสารพลาสติกเรซินหล่อปิดทับเพื่อป้องกันการสั้นสะเทือนและการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนต่างๆ (สมนึก แก้วศิริรัตน์, 2535)



ภาพที่ 2.4 ก. แสดงส่วนประกอบของหัวเตปชนิดโมโน ข. แสดงการประกอบชิ้นส่วนต่างๆลงในตัวถังของหัวเตป ค. สัญลัักษณ์ของหัวเตป
ที่มา : สมนึก แก้วศิริรัตน์, 2535

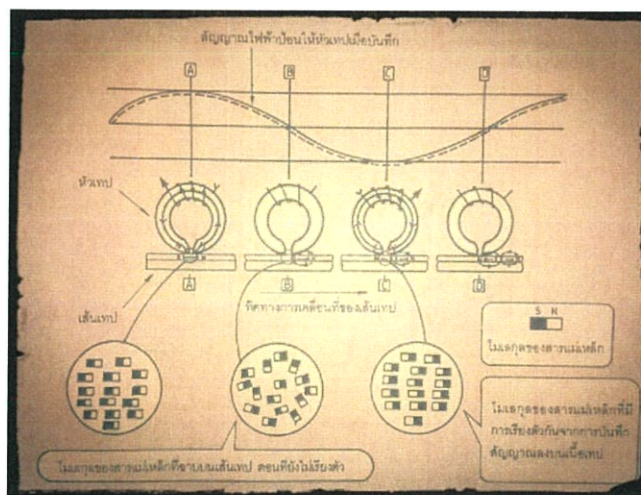
2.1.5.2 การทำงานของหัวเตปเมื่อบันทึกและเล่นกลับ (Play back)

การทำงานของหัวเตปเล่นกลับ/บันทึกสัญญาณนั้นอาศัยกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) คือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในขดลวดที่พันรอบแท่งเหล็ก ขดลวดก็จะสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารอบตัวรอบๆขดลวดนั้น ทำให้เกิดเป็นขั้วแม่เหล็กเหนือ-ใต้ที่ปลายแท่งเหล็ก ในทางกลับกัน หากนำสนามแม่เหล็กมาเหนี่ยวนำใกล้ๆกับขดลวดที่พันรอบแท่งเหล็ก ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าในขดลวดและส่งออกมาที่ปลายขดลวดนั้น ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ก.แสดงการเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากกระแสไฟฟ้า ข.แสดงการเกิดกระแสไฟฟ้าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก
ที่มา : สมนึก แก้วศิริรัตน์, 2535

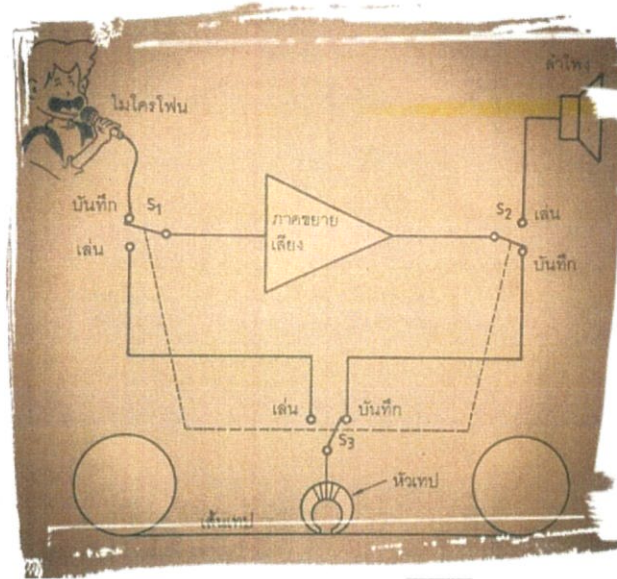
สำหรับเส้นเทปจะถูกฉาบด้วยสารแม่เหล็ก สารแม่เหล็กนี้ประกอบด้วยโมเลกุลของแม่เหล็กมากมาย แต่ละโมเลกุลจะมีขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้วคือ ขั้วเหนือและขั้วใต้ ซึ่งปกติเส้นเทปที่ยังไม่ผ่านการบันทึกลงไป โมเลกุลของสารแม่เหล็กที่ฉาบบนเส้นเทปจะกระจัดกระจายอย่างไม่เป็นระเบียบ แต่เมื่อป้อนสัญญาณไฟฟ้าเข้าไปยังหัวเทป หัวเทปจะมีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแม่เหล็ก เพื่อไปจัดโมเลกุลบนเส้นเทป ให้เป็นไปตามสัญญาณไฟฟ้า ดังภาพที่ 2.6 ซึ่งแสดงการบันทึกสัญญาณลงบนเส้นเทป



ภาพที่ 2.6 แสดงการเหนี่ยวนำแม่เหล็กบนเส้นเทประหว่างการบันทึกสัญญาณชาชน
ที่มา : สมนึก แก้วศิริรัตน์, 2535

ในขณะที่เล่นกลับ หัวเทปจะได้รับการเหนี่ยวนำจากโมเลกุลแม่เหล็กบนเส้นเทป แล้วเปลี่ยนพลังงานแม่เหล็กเป็นพลังงานไฟฟ้าตามสัญญาณที่บันทึกไว้ จากนั้นจึงส่งไปขยาย สัญญาณให้แรงขึ้นก่อนออกลำโพงเป็นเสียงให้เราได้ยิน (สมนึก แก้วศิริรัตน์, 2535)

หลักการทำงานของเครื่องเล่นกลับ/บันทึกเทปคาสเซ็ทนั้น สามารถอธิบาย ได้ดังภาพที่ 2.7



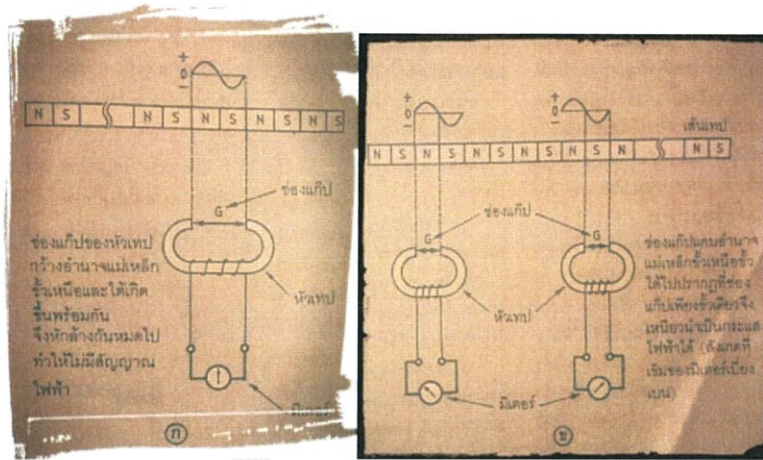
ภาพที่ 2.7 แสดงการทำงานของเครื่องเล่น/บันทึกเทปคาสเซ็ท
ที่มา : สมนึก แก้วศิริรัตน์, 2535

จากภาพที่ 2.7 สวิตช์ S_1, S_2 และ S_3 มีแกนโยกร่วมกัน ทำหน้าที่เลือกว่าจะให้เครื่องเล่นเทปเล่นกลับหรือบันทึกสัญญาณลงบนเนื้อเทป เมื่อกดสวิตช์ไปที่ตำแหน่งเล่น สัญญาณจากหัวเทปก็จะผ่าน S_3, S_1 เข้าไปยังภาคขยายเสียงแล้วส่งผ่าน S_2 ออกสู่ลำโพงเป็นเสียงให้เราได้ยิน หากโยกสวิตช์ไปที่ตำแหน่งบันทึก สัญญาณไมโครโฟนก็จะผ่าน S_1 เข้าไปยังภาคขยายเสียงแล้วผ่านสวิตช์ S_2, S_3 ไปยังหัวเทปเพื่อบันทึกลงเส้นเทปต่อไป

2.1.5.3 คุณภาพเสียงของหัวเทป

จะเห็นว่าบริเวณส่วนที่หัวเทปจะต้องสัมผัสกับเส้นเทปนั้น จะถูกขัดให้เป็นเงาวาว ทั้งนี้เพื่อป้องกันฝุ่นที่จะมาเกาะ และลดการเสียดสีกันระหว่างหัวเทปกับเส้นเทป อย่างไรก็ตาม หัวเทปเมื่อผ่านการใช้งานนานๆ ต้องมีการสึกหรอเป็นธรรมดา จึงเกิดปัญหาเสียงทั้ง 2 ข้างดังไม่เท่ากัน(สำหรับหัวเทปสเตอริโอ) หรือเสียงไม่คมชัดเท่าที่ควร

การออกแบบหัวเทปของโรงงานผลิตนั้น จะพยายามให้ช่องของปลายแผ่นโลหะ ที่ทำเป็นแกนตรงที่มาบรรจบกันแล้วมีจำนวนคั่นนั้นแคบที่สุด ช่องนี้เรียกว่า"แก๊ป"(Gap) ซึ่งมีความสำคัญต่อการเหนี่ยวนำสัญญาณจากเส้นเทป ยิ่งช่องแก๊ปนี้แคบเท่าไร การเหนี่ยวนำสัญญาณความถี่สูงๆ ยิ่งดีขึ้นเท่านั้น (ภาพที่ 2.8) (สมนึก แก้วศิริรัตน์, 2535)



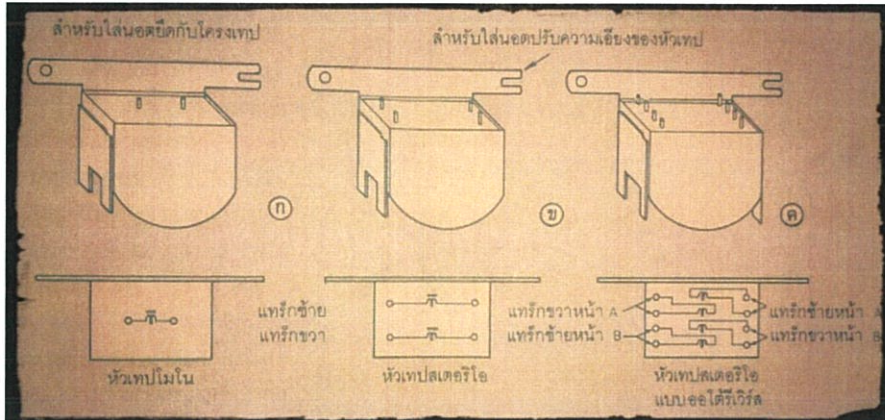
ภาพที่ 2.8 แสดงผลของช่องแก๊ปต่ออำนาจแม่เหล็กในเส้นเทป
ที่มา : สมนึก แก้วศิริรัตน์, 2535

2.1.5.4 การเปลี่ยนหัวเทป

หัวเทปที่ผ่านการ ใช้งานมานานส่งผลให้เกิดการสึกหรอ ดังนั้นก็จำเป็นที่จะต้องหาซื้อหัวเทปอันใหม่มาเปลี่ยนแทนของเดิมที่ชำรุด แต่การที่จะหาซื้อตัวใหม่มาแทนหัวเดิมนั้น จำเป็นจะต้องให้มีคุณสมบัติและรูปร่างเหมือนของเดิม มิฉะนั้นอาจใช้งานไม่ได้ โดยมีข้อที่ควรรู้ก่อนซื้อดังนี้

- 1) รูปร่างลักษณะหัวเทปตัวใหม่ ตลอดจนรูที่จะใช้ยึดหนี้อหัวเทปกับ โครงเทป และตำแหน่งของรูที่จะใช้น๊อตปรับความเอียงของหัวเทป จะต้องเหมือนของเดิมทุกประการ
- 2) ความต้านทานของขดลวดที่พันในหัวเทปมีความจำเป็นที่จะต้องมีความต้านทานเท่าของเดิม โดยก่อนซื้อจะต้องใช้มิเตอร์วัดค่าความต้านทานของขดลวดนี้เสียก่อน (เฉพาะหัวเทปที่สึกเท่านั้น)

ถ้าเป็นหัวเทปโมโน ภายในหัวเทปจะมีขดลวดชุดเดียว ถ้าเป็นสเตอริโอจะมีขดลวดภายในหัวเทป 2 ชุด แต่ถ้าเป็นแบบสเตอริโอชนิดที่ใช้กับกลไกเทประบบกลับหน้าเทปอัตโนมัติ (Auto Revert) จะมีขดลวดอยู่ในหัวเทป 4 ชุด ภาพที่ 2.9 แสดงหัวเทปแบบต่างๆ (สมนึก แก้วศิริรัตน์, 2535)



ภาพที่ 2.9 แสดงหัวเทปชนิดต่างๆ

ที่มา : สมนึก แก้วศิริรัตน์, 2535

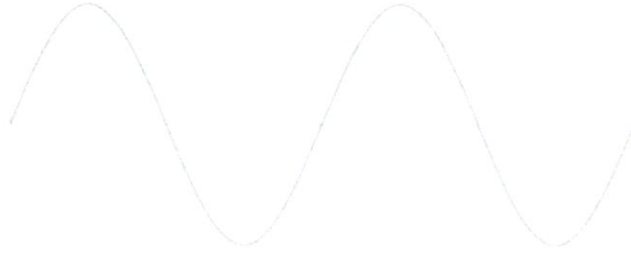
2.1.6 Window Function

ในการประมวลผลสัญญาณ ฟังก์ชันหน้าต่างคือฟังก์ชันเชิงคณิตศาสตร์ที่มีค่าเท่ากับศูนย์นอกช่วงเวลาที่เลือกไว้ ตัวอย่างเช่นฟังก์ชันที่มีค่าคงที่ในช่วงและมีค่าเป็นศูนย์นอกช่วงเวลาที่เลือกเรียกว่า “Rectangular window” เมื่อฟังก์ชันหรือสัญญาณข้อมูลอื่นๆ คูณด้วยฟังก์ชันหน้าต่าง ค่าผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าเป็นศูนย์อยู่นอกช่วงเวลา จะเหลือเพียงค่าในช่วงเวลาที่กำหนดไว้เท่านั้น

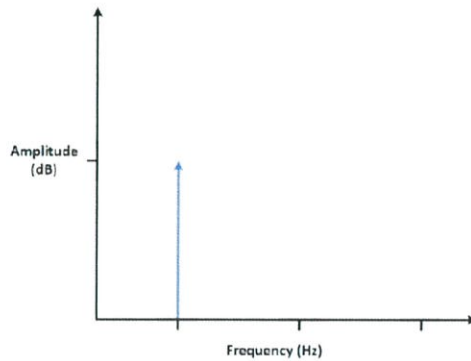
ในการใช้งานทั่วไปฟังก์ชันหน้าต่างจะเป็นเส้นโค้งที่ค่าไม่เป็นลบและมีลักษณะคล้ายรูปประฆังหรือรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือรูปสามเหลี่ยมและรูปทรงต่างๆนอกเหนือจากนี้ก็สามารถใช้ได้

2.1.6.1 การใช้งาน

เมื่อใช้ FFT (Fast Fourier Transform) เพื่อวัดองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณคือการวิเคราะห์ชุดของข้อมูลที่จำกัด ซึ่งเป็นคลื่นความถี่ต่อเนื่องที่เป็นระยะเวลาหนึ่งของสัญญาณซ้ำคาบ เราสามารถใช้ FFT ได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อสัญญาณที่วัดเป็นสัญญาณซ้ำคาบเวลาและจำนวนคาบสัญญาณเป็นจำนวนเต็ม (National Instruments, 2016)



ก.

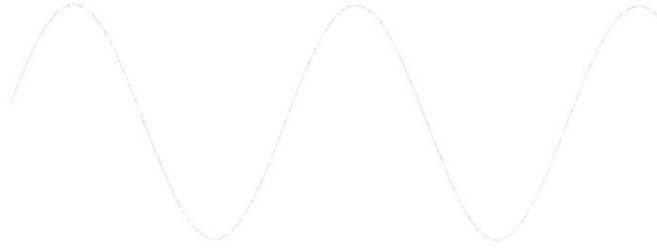


ข.

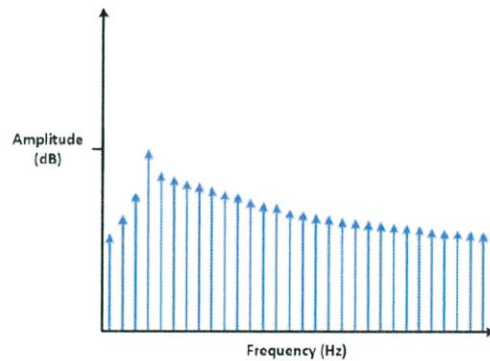
ภาพที่ 2.10 ก.แสดงคาบสัญญาณเป็นจำนวนเต็ม ข.แสดงสัญญาณใน โดเมนความถี่เมื่อแปลง FFT

ที่มา : National Instruments, n.d. : 8

อย่างไรก็ตามหลายครั้งคาบสัญญาณที่วัดไม่ใช่จำนวนเต็ม ดังนั้นสัญญาณที่วัดได้อาจมีลักษณะแตกต่างจากสัญญาณเวลาต่อเนื่องที่เป็นต้นฉบับและสัญญาณที่คาบเวลาไม่ใช่จำนวนเต็มนี้จะมีจุดสิ้นสุดของสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง เมื่อคาบของสัญญาณไม่ใช่จำนวนเต็มจะส่งผลให้จุดสิ้นสุดไม่ต่อเนื่อง ความไม่ต่อเนื่องนี้จะแสดงใน FFT เป็นองค์ประกอบความถี่สูงที่ไม่อยู่ในสัญญาณต้นฉบับ ความถี่เหล่านี้อาจสูงกว่าความถี่ Nyquist และอยู่ระหว่าง 0 ถึงครึ่งหนึ่งของอัตราการสุ่มตัวอย่างข้อมูล (Sampling Rate) สเปกตรัมที่แสดงในโดเมนความถี่โดยใช้ FFT จึงไม่ใช่สเปกตรัมที่แท้จริงของสัญญาณต้นฉบับ ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นโดยพลังงานของความถี่หนึ่งรั่วไหลเข้าสู่ความถี่อื่นๆ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการรั่วไหลของสเปกตรัม (Spectral Leakage) ซึ่งเป็นสาเหตุให้เส้นสเปกตรัมปรับกระจายไปสู่ช่วงสัญญาณที่กว้างขึ้น (National Instruments, 2016)



ก.

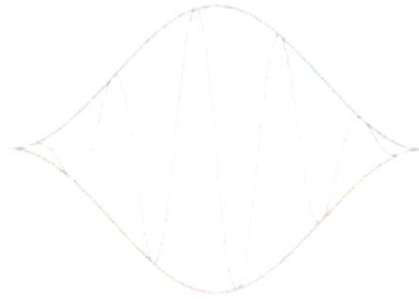


ข.

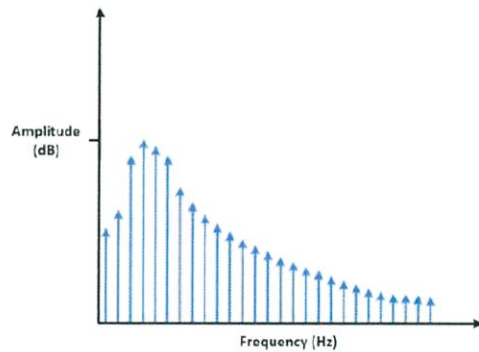
ภาพที่ 2.11 ก.แสดงคาบสัญญาณไม่ใช่จำนวนเต็ม ข.แสดงปรากฏการณ์รั่วไหลของสเปกตรัม

ที่มา : National Instruments, n.d. : 9

เราสามารถลดผลกระทบของปรากฏการณ์รั่วไหลของสเปกตรัม (Spectral Leakage) ได้โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า Windowing ซึ่งจะช่วยลดขนาดของสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องที่ขอบของช่วงสัญญาณที่ใช้ฟังก์ชันหน้าต่าง ฟังก์ชันหน้าต่างมีขนาดที่ค่อยๆ ลดเข้าไปใกล้ศูนย์ที่ขอบสัญญาณ เมื่อนำไปคูณกับสัญญาณที่ต้องการจะทำให้จุดสิ้นสุดของสัญญาณต่อเนื่อง (Rorabaugh, n.d.)



ก.



ข.

ภาพที่ 2.12 ก.แสดงการคูณสัญญาณด้วยฟังก์ชันหน้าต่าง ข. ลดปรากฏการณ์รั่วไหลของสเปกตรัม
ที่มา : National Instruments, n.d. : 10

ฟังก์ชันหน้าต่างถูกใช้ในการวิเคราะห์สเปกตรัม แก้ไขและสังเคราะห์สัญญาณ นอกจากนี้ยังถูกนำไปใช้ในการออกแบบเสาอากาศด้วย (Rorabaugh, n.d.)

2.1.6.2 Window Functions ที่สำคัญโดยทั่วไป

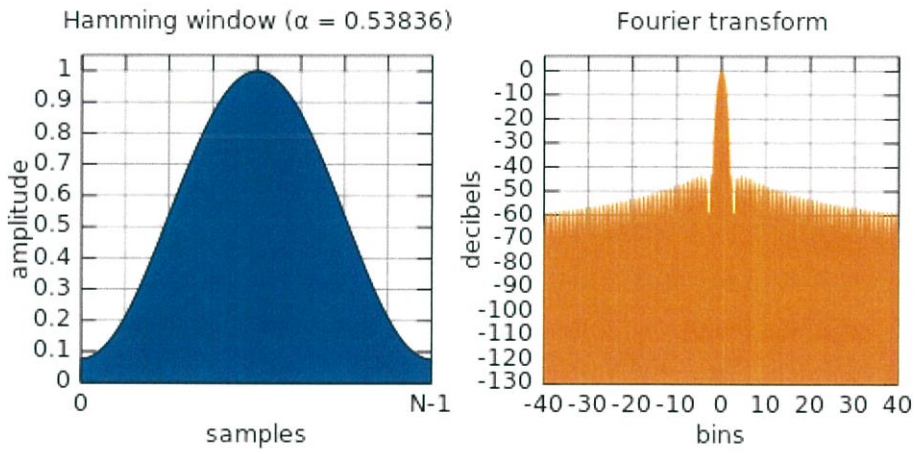
มีหลากหลาย window functions ที่ได้มีการถูกนำเสนอ หนึ่งในหลายๆ window functions ที่ถูกใช้งานกันอย่างมากและแพร่หลาย คือ

1) Hamming window ซึ่งถูกคิดค้น โดย Richard W.Hamming. นิยามได้ดังนี้

$$w(n) = \alpha - \beta \cos(2\pi n/N) \text{ สำหรับ } \begin{cases} -(N-1)/2 \leq n \leq (N-1)/2 & (N \text{ odd}) \\ -N/2 \leq n \leq N/2 & (N \text{ even}) \end{cases}$$

$$= 0 \quad \text{สำหรับ elsewhere} \quad (14)$$

เมื่อ $\alpha = 0.54$, $\beta = 0.46$



ภาพที่ 2.13 แสดงคุณลักษณะโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ของ Hamming window
ที่มา : Olli Niemitalo, n.d.

2) Rectangular window

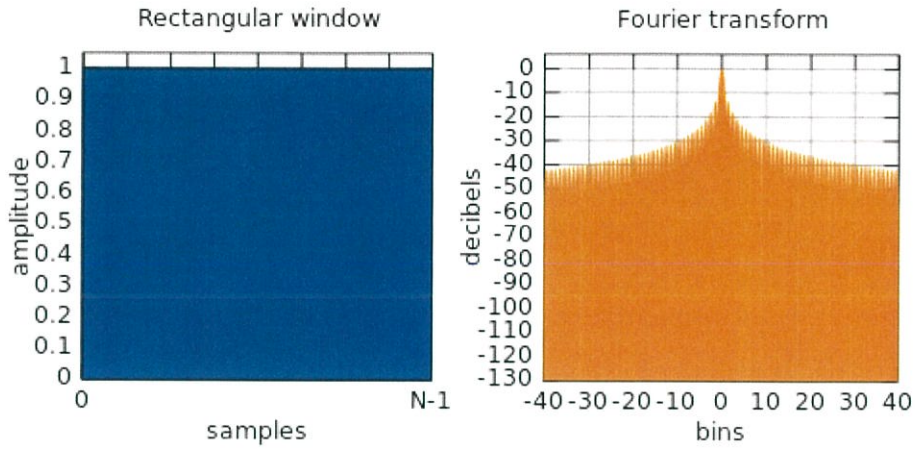
กรอบสัญญาณสี่เหลี่ยม (Rectangular Window) อธิบายดังสมการที่ 15

$$w(n) = \begin{cases} 1, & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (15)$$

เมื่อ $w(n)$ คือผลลัพธ์ของฟังก์ชันกรอบตำแหน่งที่ n

N คือความกว้างหน้าต่าง

n คือข้อมูลในหน้าต่างมีค่าตั้งแต่ 0 จนถึง $N-1$



ภาพที่ 2.14 แสดงคุณลักษณะ โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่ของ Rectangular window

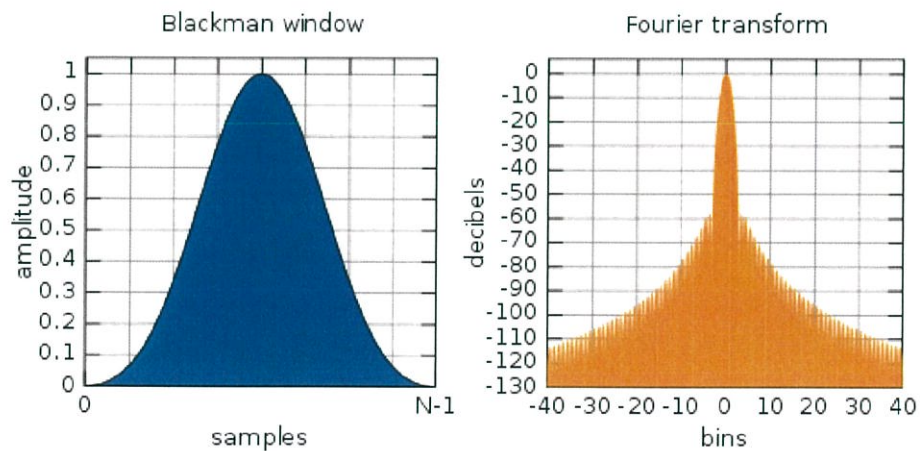
ที่มา : Olli Niemitalo, n.d.

3) Blackman window

กรอบสัญญาณแบล็คแมน (Blackman window) อธิบายดังสมการที่ 16

$$w(n) = a_0 - a_1 \cos(2\pi n/N-1) + a_2 \cos(4\pi n/N-1) \quad (16)$$

$$\text{เมื่อ } a_0 = (1 - \alpha)/2; a_1 = 1/2; a_2 = \alpha/2; \alpha = 0.16$$



ภาพที่ 2.15 แสดงคุณลักษณะ โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่ของ Blackman window

ที่มา : Olli Niemitalo, n.d.

เมื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ของ Hamming window และ Rectangular window ในโดเมนเวลาของ Hamming window function ซึ่งมีการลดค่าลงอย่างค่อยๆ ไปสู่ศูนย์ทั้ง 2 ข้าง ซึ่งในโดเมนความถี่นั้น ขนาดของ main lobe มีขนาดกว้างกว่า (ประมาณ 2 เท่า) ของ Rectangular window แต่ side lobes ของ Hamming window จะมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับ main lobe คือประมาณ 40 เดซิเบล down จาก main lobe เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีของ rectangular window ซึ่งมีค่าประมาณ 14 เดซิเบล (สรวิวัฒน์ ชิวปรีชา, 2554)

โดยความหมายของสิ่งที่กล่าวมานี้เพื่อชี้ให้เห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ rectangular window แล้วนั้น Hamming window จะทำให้วงจรรองสัญญาณที่ได้มี Transition width ที่กว้างขึ้นเพราะว่า Hamming window มี main lobe ที่กว้างกว่า แต่ในขณะเดียวกัน Hamming window ที่จะทำให้ stopband attenuation ที่สูงกว่าเนื่องจากมีระดับของ side lobe ที่ต่ำกว่า (สรวิวัฒน์ ชิวปรีชา, 2554)

ความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่าง transition width Δf สำหรับวงจรรองสัญญาณที่จะออกแบบด้วย Hamming window กับ filter length คือ

$$\Delta f = 3.3/N \quad (17)$$

โดย N คือ filter length และ Δf คือ normalized transition width

ค่า maximum stopband attenuation ที่เป็นไปได้สำหรับการออกแบบวงจรรองสัญญาณด้วย Hamming window คือประมาณ 53 เดซิเบล และค่า minimum peak passband ripple ประมาณ 0.0194 เดซิเบล (สรวิวัฒน์ ชิวปรีชา, 2554)

2.1.7 Signal to noise ratio

Signal to noise ratio (SNR หรือ S / N) เป็นวิธีการวัดที่ใช้ในด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างระดับสัญญาณที่ต้องการต่อระดับสัญญาณรบกวน โดยการวัด S/N นี้จะเป็นการวัดอัตราส่วนกำลังของสัญญาณที่ต้องการต่อกำลังสัญญาณรบกวน ส่วนมากมีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB) อัตราส่วนที่สูงกว่า 1:1 (มากกว่า 0 เดซิเบล) แสดงว่าระดับสัญญาณที่ต้องการมากกว่าระดับสัญญาณรบกวน

อัตราส่วนสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณรบกวน แบนด์วิธและความจุช่องสัญญาณของช่องทางการสื่อสารเชื่อมโยงกันด้วยทฤษฎีบท Shannon-Hartley (Johnson, 2006)

สามารถแสดงสมการ SNR ได้ดังสมการที่ 18

$$\text{SNR} = P_{\text{signal}}/P_{\text{noise}} = (A_{\text{signal}}/A_{\text{noise}})^2 \text{ (dB)} \quad (18)$$

เมื่อ P คือกำลังเฉลี่ยและ A คือ root mean square (RMS) amplitude การวัดสัญญาณที่ต้องการและสัญญาณรบกวนเพื่อนำมาคำนวณหา SNR จำเป็นจะต้องวัดสัญญาณในช่วงเดียวกันและต้องวัดในระบบเดียวกัน

เนื่องด้วยส่วนใหญ่แล้วสัญญาณที่วัดมี Dynamic range กว้าง ดังนั้นจึงใช้สเกล Logarithmic decibel ในการแสดงค่า SNR ที่หาได้ โดยการเปลี่ยนค่า SNR ที่หาได้ให้เป็นเดซิเบลสามารถทำได้ดังสมการที่ 19 และ 20

$$P_{\text{signal,dB}} = 10\log_{10}(P_{\text{signal}}) \quad (19)$$

และ

$$P_{\text{noise,dB}} = 10\log_{10}(P_{\text{noise}}) \quad (20)$$

หรืออาจคำนวณได้จากสมการที่ 21

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10\log_{10}(\text{SNR}) \quad (21)$$

และจากสมการที่ 18 อาจเขียนได้ว่า

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10\log_{10}(P_{\text{signal}}/P_{\text{noise}}) \quad (22)$$

ใช้สมบัติของลอการิทึม

$$10\log_{10}(P_{\text{signal}}/P_{\text{noise}}) = 10\log_{10}(P_{\text{signal}}) - 10\log_{10}(P_{\text{noise}}) \quad (23)$$

และจากสมการที่ 19 และ 20

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = P_{\text{signal,dB}} - P_{\text{noise,dB}} \quad (24)$$

ค่า SNR จากสมการที่ 13-18 เป็นการวัดกำลังของสัญญาณเช่น วัดคัทหรือมิลลิวัตต์แต่ถ้า SNR ถูกวัดในหน่วยแรงดันไฟฟ้าหรือกระแส (Volt, Amperes) ซึ่งเป็นการวัดทางขนาดคั้งนั้นจึงต้องชกกำลังสองเพื่อให้มีค่าตรงกับพลังงาน แสดงดังสมการที่ 25 (Johnson, 2006)

$$SNR_{dB}=10\log_{10}[(A_{signal}/A_{noise})^2]=20\log_{10}(A_{signal}/A_{noise})=(A_{signal,dB} - A_{noise,dB}) \quad (25)$$

ในงานวิจัยนี้มี SNR ที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ประเภท ได้แก่

2.1.7.1 A posteriori SNR

A posteriori SNR คืออัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนปะปน $[Y_k(j\omega)]$ ต่อกำลังของสัญญาณรบกวน $[N_k(j\omega)]$ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 26

$$SNR_k^{a\text{ posteriori}}(\omega) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{|Y_k(j\omega)|^2}{|N_k(j\omega)|^2} \quad (26)$$

2.1.7.2 A priori SNR

A priori SNR คืออัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณที่ต้องการ $[X_k(j\omega)]$ ต่อกำลังของสัญญาณรบกวน $[N_k(j\omega)]$ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 27

$$SNR_k^{a\text{ priori}}(\omega) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{|X_k(j\omega)|^2}{|N_k(j\omega)|^2} \quad (27)$$

เราสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ของ SNR ทั้ง 2 ประเภทนี้ได้ดังสมการที่ 28

$$\hat{\xi}[l, k] = \gamma[l, k] - 1 \quad (28)$$

เมื่อ $\hat{\xi}[l, k]$ คือ a priori SNR และ $\gamma[l, k]$ คือ a posteriori (Cohen, 2004).

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยในประเทศ

2.2.1.1 สมนึก แก้วศิริรัตน์ (พ.ศ.2535) ได้ศึกษาหลักการการทำงานของหัวเทปที่ใช้ในเครื่องอ่านเทปคาสเซ็ท โดยได้ศึกษาลึกลงไปถึงแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า โครงสร้างของหัวเทปประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลักๆ ได้แก่ 1) แผ่นโลหะบางๆ ที่นำมาซ้อนกันทำหน้าที่ถ่ายทอดสนามแม่เหล็กไปสู่เส้นเทป 2) ขดลวดที่พันรอบฉนวน 3) แผ่นฉนวนกั้นกลางระหว่างแผ่นโลหะ 4) ตัวถังของหัวเทป นอกจากนี้ยังพูดถึงการทำงานของการเล่นกลับและการบันทึกสัญญาณผ่านหัวเทปซึ่งมีการทำงานโดยอาศัยหลักทฤษฎีแม่เหล็กและคุณภาพของหัวเทป จะเห็นว่าบริเวณส่วนหัวเทปที่ต้องสัมผัสกับเส้นเทปนั้น จะถูกขัดให้เป็นเงาวาว เพื่อป้องกันฝุ่นที่จะมาเกาะ และลดการเสียดสีกันระหว่างหัวเทปกับเส้นเทป อีกทั้งยังได้พูดถึงการเปลี่ยนหัวเทปว่าหากต้องการจะเปลี่ยนหัวเทปที่มีอายุการใช้งานมากจะมีข้อควรจำอยู่ 2 ข้อหลักๆ คือ 1) หัวเทปตัวใหม่ที่จะนำมาเปลี่ยนจะต้องมีคุณสมบัติเหมือนของเดิมทุกประการจึงจะใช้ได้ 2) ความต้านทานของขดลวดที่พันในหัวเทปมีความจำเป็นที่จะต้องมีความต้านทานเท่าของเดิม

2.2.2 งานวิจัยต่างประเทศ

2.2.2.1 Steven F. Boll (1979) ได้ศึกษาการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับลดทอนสัญญาณรบกวนที่ปะปนเข้ามา กับสัญญาณเสียงที่บันทึก โดยพบว่า การลบสัญญาณรบกวนเชิงสเปกตรัมจะช่วยให้ข้อมูลเสียงที่บันทึกข้อมูลแบบดิจิทัลมีประสิทธิภาพมากขึ้น การลบสัญญาณเชิงสเปกตรัมนี้จะมีลักษณะการลบเฉพาะขึ้นอยู่กับลักษณะของสัญญาณรบกวนในแต่ละข้อมูลเสียง แต่มีพื้นฐานในการคำนวณเดียวกันคือ การใช้วิธี Convolution ซึ่งจะลบสัญญาณรบกวนที่คงที่ (Stationary noise) ออกจากสัญญาณหลัก โดยนำค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนที่เก็บได้ในช่วงของสัญญาณที่มีเฉพาะสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณหลักผลลัพธ์ที่ได้คือสัญญาณที่ปราศจากสัญญาณรบกวน

2.2.2.2 I. Cohen (2004) ได้ศึกษาการประมาณค่าแบบ Non-causal สำหรับ a priori SNR และอัลกอริทึมลดทอนสัญญาณรบกวนพบว่า การประมาณค่าแบบ Non-causal สามารถแยกความแตกต่างระหว่างเสียงพูดและสัญญาณรบกวนได้ในขณะเดียวกันก็สามารถลดผลกระทบของ musical noise ได้อย่างดีด้วย อีกทั้งสัญญาณยังมี SNR ที่มากขึ้น ความถี่ของสัญญาณที่ได้หลังลดทอนสัญญาณรบกวนมีความผิดเพี้ยนน้อยลง สัญญาณที่ได้หลังจากอัลกอริทึมฟังชัดเจนยิ่งขึ้น

2.2.2.3 Guoshen Yu, Stéphane Mallat (2008) ได้ศึกษาการลดทอนสัญญาณรบกวนด้วยวิธี Time-Frequency Block Thresholding และพบว่า การลดทอนสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณเสียงต้องใช้วิธีประมวลผลสัมประสิทธิ์ทางเวลาและความถี่แบบ non-diagonal เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด musical noise นอกจากนี้ยังระบุอีกว่าอัลกอริทึมลดทอนสัญญาณรบกวนพื้นฐานจะมีพารามิเตอร์ที่ถูกกำหนดไว้แล้วแต่หากใช้อัลกอริทึม block thresholding estimation จะสามารถทำให้พารามิเตอร์ต่างๆสามารถปรับตัวให้เหมาะสมกับลักษณะของสัญญาณรบกวนที่ปะปนกับสัญญาณเสียงนั้นๆได้

2.2.2.4 Ephaim Yariv, Malah David (1984) ได้ศึกษาวิธีการประมาณค่าของสัญญาณรบกวนในรูปแบบต่างๆที่จะส่งผลให้อัลกอริทึมลดทอนสัญญาณรบกวนมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยวิธีการประมาณค่าที่นำมาเปรียบเทียบมีดังนี้ 1) Short-time spectral amplitude (STSA) estimator 2) Wiener estimator 3) Minimum mean-square error (MMSE) STSA estimator โดยการประมาณค่านี้ทำโดยสร้างสัญญาณเสียงพูดและสร้างสัญญาณรบกวนในรูปแบบของการสุ่ม Gaussian ด้วยข้อมูลทางสถิติ พบว่าวิธีที่ 3 (MMSE STSA estimator) มีประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนและส่งผลให้สัญญาณที่ได้มีความชัดเจนขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบอัลกอริทึมสำหรับลดทอนสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการแปลงเทปคาสเซ็ท ในการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางในการดำเนินการวิจัยเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ไว้เป็นเรียงๆ ดังต่อไปนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 ประชากร

ประชากรในการศึกษาครั้งนี้คือเทปคาสเซ็ทที่อยู่ในสื่อมวลชนคาทอลิกแห่งประเทศไทยจำนวนมากว่า 200 ม้วน โดยเทปคาสเซ็ทเหล่านี้คือเทปเพลงศาสนามีทั้งเพลงบรรเลงและเพลงร้องและมีเทปบทสัมภาษณ์และบทเทศน์ต่างๆ

3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง

เนื่องจากสื่อมวลชนคาทอลิกแห่งประเทศไทยมีเทปคาสเซ็ทเป็นจำนวนมากจึงได้สุ่มเก็บตัวอย่างเทปคาสเซ็ทเป็นจำนวน 100 ม้วนเพื่อนำมาศึกษาลักษณะของสัญญาณรบกวนในเชิงขนาด(Amplitude)และความถี่(Frequency)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในขั้นตอนการแปลงเทปคาสเซ็ท(อนาล็อก)ให้กลายเป็นข้อมูลดิจิทัลและบันทึกลงซอฟต์แวร์ในเครื่องคอมพิวเตอร์มีเครื่องมือที่เกี่ยวข้องดังนี้

3.2.1 เครื่องเล่นเทปคาสเซ็ทรุ่น TEAC W-790R

เครื่องเล่นและบันทึกเทปคาสเซ็ทแบบดบลับคู่ต่อเนื่อง 2 ทิศทาง (Double Auto-Reverse Cassette Deck) เป็นเครื่องเล่นเทปที่สื่อมวลชนคาทอลิกฯ ใช้เพื่อแปลงเทปคาสเซ็ทเป็นข้อมูลดิจิทัลมีคุณสมบัติดังนี้

- เครื่องสามารถบันทึกแบบต่อเนื่อง 2 ทิศทางและเล่นกลับอัตโนมัติกลับ 2
- สามารถปรับ Pitch Control ได้ (ดลัับ 1)
- มี RECORD MUTE และ AUTO SPACER (ดลัับ 2)

- อัตราความถี่และฟลักเตอร์ = 0.07% WRMS
- ตอบสนองความถี่ 25 Hz-20 kHz เนื้อเทปแบบ Metal
- ตอบสนองความถี่ 25 Hz-19 kHz เนื้อเทปแบบ CrCO2
- ตอบสนองความถี่ 25 Hz-18 kHz เนื้อเทปแบบ Normal
- Signal-to-Noise-Ratio 58 dB ที่ 3% THE Level Weighted
- มีช่องต่อหูฟังเพื่อฟังสัญญาณเสียงได้
- มีโปรแกรม CPS สำหรับเลือกข้าม แทรก
- มี Dolby HX Pro
- มี INFRA-RED REMOTE CONTROL
- พิเศษด้วยระบบหัวเทปแบบ HARD PERMALLOY
- สะดวกด้วยระบบบันทึกเสียงแบบ ONE TOUCH



ภาพที่ 3.1 แสดงเครื่องเล่นเทปคลาสเซ็ทรุ่น TEAC W-790R

ที่มา : <http://www.avdeals.com/hometheatcomp/w790r.htm>

3.2.2 Mixing console Yamaha QL1 with Dante card slot

สื่อมวลชนคาทอลิกใช้เครื่องผสมสัญญาณเสียง (Mixer) ยี่ห้อ Yamaha รุ่น QL1 ซึ่งเป็นเครื่องผสมเสียงแบบดิจิทัลที่มีเน็ตเวิร์คโปรโตคอล Dante (Dante protocol) ทำให้สามารถส่งสัญญาณเสียงจากเครื่องผสมเสียงสู่คอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกเสียงได้ง่ายโดยกำหนดเส้นทางของสัญญาณผ่าน Dante Controller

คุณสมบัติพื้นฐานของเครื่องผสมเสียง QL1 มีดังนี้

- 32 mono channel และ 8 stereo channel
- 16 mix channel และ 8 matrix
- มี 16 อินพุท และ 8 เอาท์พุทที่ตัวเครื่อง
- หน้าเพเดอร์มี 16 ช่องและอีก 2 ช่องสำหรับภาค master



ภาพที่ 3.2 แสดง Mixing console Yamaha QL1

ที่มา : <http://www.yamahaproaudio.com/global/en/products/mixers/ql/>

3.2.3 Dante Controller & Dante Virtual Soundcard

การที่จะส่งสัญญาณผ่านโปรโตคอลคันทันต์จากเครื่องผสมเสียงสู่คอมพิวเตอร์จำเป็นต้องมีซอฟต์แวร์ Dante Controller เพื่อกำหนดเส้นทางของสัญญาณที่จะส่งว่าให้ไปที่ใดในเครือข่ายคันทันต์ และ Dante Virtual Soundcard ติดตั้งในคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองการ์ดเสียงในคอมพิวเตอร์ให้สามารถเข้าสู่เครือข่ายคันทันต์ได้ทำให้ Dante Controller สามารถมองเห็นเครื่องคอมพิวเตอร์ในระบบ จากนั้นจึงกำหนดเส้นทางของสัญญาณให้เดินทางจากเครื่องผสมเสียงสู่คอมพิวเตอร์

3.2.4 Digital Audio Workstation (DAW)

ในการบันทึกเสียงเทปคาสเซ็ทจำเป็นต้องมีซอฟต์แวร์ที่ใช้บันทึกเสียงหรือที่นิยมเรียกว่า DAW ในงานวิจัยนี้ใช้ Protools เป็นซอฟต์แวร์ที่บันทึกเสียงเทปคาสเซ็ทโดยขั้นตอนการบันทึกนั้นมีอธิบายในหัวข้อ ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2.5 เครื่องคอมพิวเตอร์

ในส่วนของซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการออกแบบอัลกอริทึมและหน้าต่างสำหรับผู้ใช้งาน (GUI) คือ Matlab

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) แปลงเทปตัวอย่าง(100ม้วน)เป็นข้อมูลดิจิทัลและบันทึกลงคอมพิวเตอร์ 2) การนำข้อมูลดิจิทัล (แปลงจากเทปที่ต้องการลดทอนสัญญาณรบกวน) ผ่านอัลกอริทึมเพื่อลดทอนสัญญาณรบกวน นอกจากนี้ 2 ส่วนนี้ยังมีส่วนที่เกี่ยวข้องคือ การออกแบบหน้าต่างผู้ใช้งาน (GUI)

3.3.1 ขั้นตอนการแปลงเทปเป็นข้อมูลดิจิทัลและบันทึกลงคอมพิวเตอร์มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1.1 ใส่เทปคาสเซ็ทเข้าไปในเครื่องเล่นเทปคาสเซ็ทรุ่น TEAC W-790R และกดปุ่มเล่น

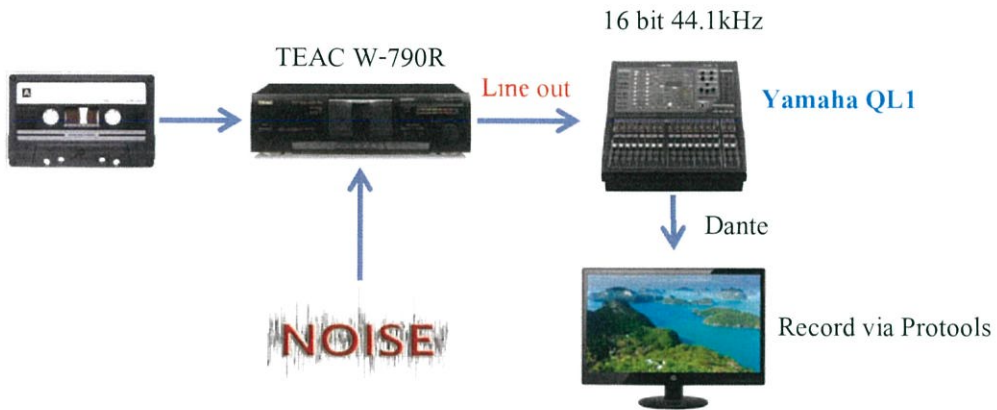
3.3.1.2 เครื่องเล่นเทปคาสเซ็ทจะส่งสัญญาณ Line ออกมาเข้าที่ช่องสัญญาณ 2 ช่อง (ซ้าย-ขวา) ของเครื่องผสมเสียง ข้อควรระวังเมื่อสัญญาณเข้าช่องสัญญาณของเครื่องผสมเสียงแล้วคือควรตรวจสอบอัตราการขยายให้พอเหมาะ (ไม่เบาหรือดังจนเกินไป)

3.3.1.3 เครื่องผสมเสียงจะส่งสัญญาณเป็นข้อมูลดิจิทัลที่ความละเอียด 16 บิต 44.1 กิโลเฮิร์ต(สามารถปรับค่าต่างจากนี้ได้)ผ่านโปรโตคอลคันต์สู่เครื่องคอมพิวเตอร์

3.3.1.4 ใช้ซอฟต์แวร์ Dante Controller เพื่อกำหนดเส้นทางของสัญญาณในเครือข่ายให้ส่งผ่านจากเครื่องผสมเสียงสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ในขณะที่เดียวกันก็เปิดการทำงานของ Dante Virtual Soundcard เพื่อให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถเข้าไปอยู่ในเครือข่ายคันต์ได้ส่งผลให้ซอฟต์แวร์ Dante Controller สามารถมองเห็นเครื่องคอมพิวเตอร์อยู่ในเครือข่ายและกำหนดเส้นทางการเดินสัญญาณได้

3.3.1.5 เปิดซอฟต์แวร์ Protools และกำหนด Session parameter (sample rate, Bit depth) ให้ตรงกับสัญญาณต้นทาง(ในที่นี้คือ 16 บิต 44.1 กิโลเฮิร์ต) จากนั้นสร้างช่องสัญญาณขึ้นมา 2 ช่อง และตั้งค่านับพู่แต่ละช่องสัญญาณให้ถูกต้อง จากนั้นทำการบันทึกสัญญาณที่รับมาจากเครื่องผสมเสียงผ่านโปรโตคอลคันต์ เมื่อบันทึกเสร็จแล้วก็ทำการเก็บบันทึกข้อมูลเสียงดิจิทัลให้เป็นระเบียบ

หรือสามารถอธิบายให้เห็นภาพได้ง่ายขึ้นจากภาพที่ 3.3 ซึ่งแสดงแผนผังแสดงการแปลงเทป เป็นข้อมูลดิจิทัลและบันทึกลงคอมพิวเตอร์



Digital audio files + noise (hissing noise)

ภาพที่ 3.3 แสดงแผนผังแสดงการแปลงเทป เป็นข้อมูลดิจิทัลและบันทึกลงคอมพิวเตอร์
ที่มา : <https://www.macworld.com/article/2032882/converting-audio-tapes-to-digital-files.html>

สำหรับการเก็บตัวอย่างสัญญาณรบกวนจากข้อมูลดิจิทัลที่บันทึกลง Protools สามารถทำได้โดยเลือกตัดช่วงของ Wave เฉพาะช่วงที่มีสัญญาณรบกวนและบันทึกลงใน Folder ที่เลือกไว้ ทำเช่นนี้กับทุกๆ ตัวอย่างที่เก็บมา จากนั้นเมื่อทำสำเร็จแล้ว ให้เปิดซอฟต์แวร์ Matlab แล้วทำการนำข้อมูลช่วงสัญญาณรบกวนที่บันทึกทั้ง 100 ตัวอย่างไว้มาผ่านอัลกอริทึมเพื่อวิเคราะห์สัญญาณทางโดเมนความถี่ คุณลักษณะของสัญญาณรบกวนที่แสดงดังภาพที่ 4.2

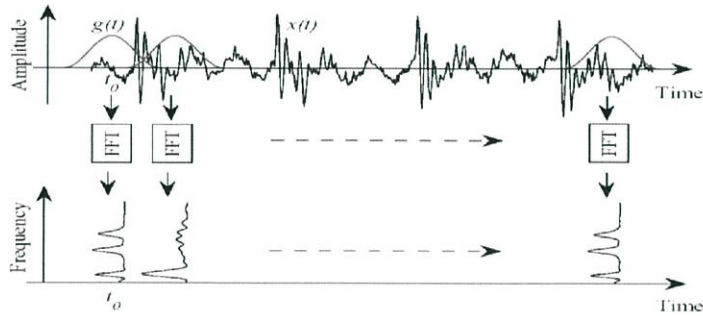
3.3.2 การนำข้อมูลดิจิทัล(แปลงจากเทปที่ต้องการลดทอนสัญญาณรบกวน)ผ่านอัลกอริทึมใน Matlab เพื่อลดทอนสัญญาณรบกวนมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

3.3.2.1 รับข้อมูลเสียงเข้ามาในตัวแปร

นำข้อมูลและอัตราการสุ่มของข้อมูลเสียงเข้ามาในตัวแปร โดยใช้คำสั่ง `audioread`

3.3.2.2 Signal windowing

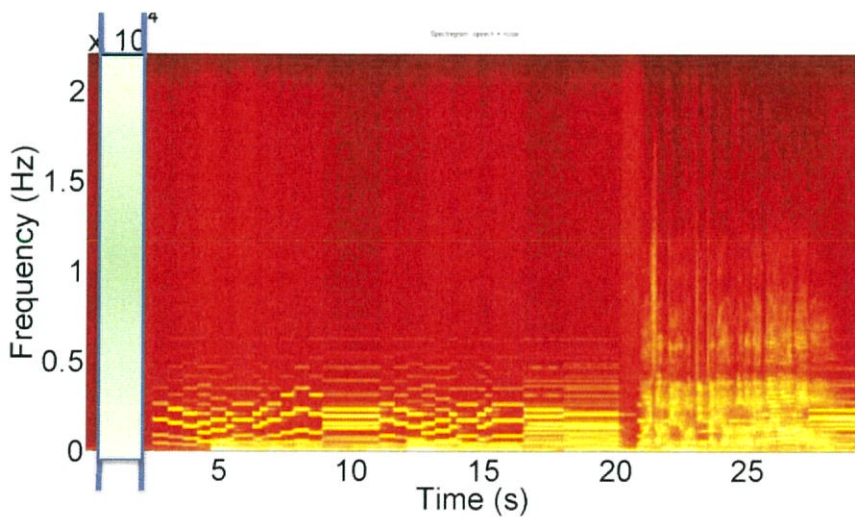
ใช้ Hamming window ที่มีความยาว 1024 คูณเข้ากับสัญญาณเสียงเพื่อแบ่งสัญญาณออกเป็นส่วนๆ จากนั้นแปลง FFT สัญญาณที่ถูก Window คูณไปที่ละส่วนเพื่อเปลี่ยนสัญญาณจากโดเมนเวลเป็นโดเมนความถี่ ทำเช่นนี้ไปจนกระทั่งสุดช่วงของสัญญาณ



ภาพที่ 3.4 แสดงการแบ่งสัญญาณออกเป็นส่วนๆด้วย Window จากนั้นแปลง FFT ทีละส่วน
ที่มา : https://www.researchgate.net/figure/220650705_fig3_Figure-4-Illustration-of-short-time-Fourier-transform-on-the-test-signal-xt

3.3.2.3 Noise Estimation

การหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวน ($E|N(\omega)|$) ตามสมการที่ 3 สามารถทำได้ โดยเลือกช่วงสัญญาณในโดเมนความถี่เฉพาะช่วงที่มีแค่สัญญาณรบกวนในงานวิจัยนี้เลือกช่วงของสัญญาณตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.8 วินาทีดังภาพที่ 3.5 จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของช่วงสัญญาณนั้น จะทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนที่ต้องการ



ภาพที่ 3.5 แสดงกราฟเลือกเฉพาะช่วงที่มีสัญญาณรบกวน

จากภาพที่ 3.5 ส่วนที่แรเงาแสดงการเลือกช่วงสัญญาณเฉพาะช่วงที่มีสัญญาณรบกวนเพื่อนำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนดังที่ได้กล่าวมาต่อไป เมื่อได้ค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนแล้วก็จะสามารถคำนวณหา SNR ได้

3.3.2.4 SNR Estimation

หาค่า SNR a posteriori จากสมการที่ 26 จากนั้นใช้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 28 เพื่อหาค่า SNR a priori เมื่อทราบค่า SNR a priori แล้วก็จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน ($a[l,k]$) ได้

3.3.2.5 Wiener Attenuation Map

จากสมการที่ 7 หากทราบค่า SNR a priori จะสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนสัญญาณรบกวน ($a[l,k]$) ได้ โดยที่ $\beta_1 = 1/2$, $\beta_2 = 1$ และ $\lambda = 3$ (Guoshen, Stéphane, Emmanuel, 2008) จากนั้นเมื่อใส่ค่าทั้งหมดลงไปในสมการที่ 7 แล้วก็จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนสัญญาณรบกวนมา สุดท้ายนำค่าสัมประสิทธิ์ $a[l,k]$ คูณกับสัญญาณที่ต้องการลดทอนสัญญาณรบกวน ($Y[l,k]$) ดังสมการที่ 9 ผลลัพธ์ที่ได้คือสัญญาณที่ต้องการ (η_l)

3.3.3 การออกแบบหน้าต่างผู้ใช้งาน

การออกแบบหน้าต่างผู้ใช้งานด้วยแมทแกล็บมีจุดประสงค์เพื่อให้บุคลากรของสื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทยสามารถใช้งานอัลกอริทึมลดทอนสัญญาณรบกวนได้ง่าย การออกแบบเน้นการใช้งานง่ายไม่ซับซ้อนโดยผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าลดทอน (Reduction Value) ได้ซึ่งค่าลดทอนนี้คือค่าแลมด้า (λ) ในสมการที่ 7 โดยค่า β_1 และ β_2 ถูกตั้งค่าไว้ในอัลกอริทึมเท่ากับ 0.5 และ 1 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อผู้ใช้งานกำหนดค่าลดทอนแล้ว ก่อนที่จะบันทึกข้อมูลใหม่ทีลดทอนสัญญาณรบกวนแล้วผู้ใช้งานสามารถทดลองฟังเปรียบเทียบสัญญาณก่อนและหลังลดทอนสัญญาณรบกวนได้และหากสัญญาณที่ได้ยังมีสัญญาณรบกวนเหลืออยู่ ผู้ใช้งานสามารถใส่ค่าลดทอนใหม่และทดลองฟังอีกครั้งได้จนกว่าจะพบค่าที่เหมาะสมกับไฟล์นั้นจึงค่อยบันทึก โดยขั้นตอนการผู้ใช้งานมีดังนี้

3.3.3.1 ผู้ใช้กดปุ่ม Browser เพื่อเลือกไฟล์เพลงที่ต้องการ โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกเพลงได้หลายๆเพลงพร้อมกัน

3.3.3.2 หลังจากเลือกเพลงเข้ามาในหน้าต่างผู้ใช้งานแล้วผู้ใช้งานกำหนดพารามิเตอร์ลดทอนในช่อง Reduction value โดยใส่ตัวเลข 1 ถึง 10 ซึ่งมีนัยสำคัญคือตัวเลขที่ใส่ยิ่งมากจะส่งผลให้การลดทอนมากตามไปด้วยซึ่งถ้าหากมากเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อเสียงเพลงได้ ดังนั้นจึงควรปรับให้เหมาะสมกับไฟล์เพลงนั้นๆเมื่อใส่ Reduction Value แล้วให้คลิกที่ปุ่ม Process (Sample) โดยอัลกอริทึมที่ประมวลผลจากการกดปุ่ม Process (Sample) จะมีขั้นตอนดังที่หัวข้อ

3.3.2 ได้อธิบายไว้แล้ว จากนั้นและรอจนกว่าจะมีข้อความ “Done!” ขึ้นที่กล่องข้อความเป็นอันเสร็จสิ้นการประมวลผล

3.3.3.3 ผู้ใช้สามารถทดลองฟังเพื่อเปรียบเทียบสัญญาณก่อนและหลังผ่านอัลกอริทึมได้ หากต้องการฟังสัญญาณก่อนผ่านอัลกอริทึม ให้คลิกปุ่ม Play ของหัวข้อ Original แต่ถ้าหากต้องการฟังสัญญาณหลังผ่านอัลกอริทึม ให้คลิกปุ่ม Play ของหัวข้อ Denoised และหากทดลองฟังแล้วแต่ค่าลดทอนยังไม่เหมาะสม ผู้ใช้ก็สามารถเปลี่ยนค่าลดทอนแล้วกด Process และทดลองฟังใหม่อีกครั้งได้จนกว่าจะพบค่าที่เหมาะสม

3.3.3.4 หลังจากพบค่าลดทอนที่เหมาะสมแล้ว ผู้ใช้สามารถบันทึกไฟล์เพลงที่ลดทอนสัญญาณครบถ้วนแล้วลงไปใน Current Folder ได้โดยอัตโนมัติ

รูปที่ 4.8 แสดงหน้าต่างผู้ใช้งานที่สามารถปรับพารามิเตอร์และมีปุ่มสั่งการต่างๆตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.3.3

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมตัวอย่างสัญญาณรบกวนที่ทำการแปลงจากเทปคาสเซ็ท 100 ม้วนและบันทึกลง Protocols จัดเก็บเป็นไฟล์นามสกุล .WAV ไว้ใน Folder พร้อมตั้งชื่อ 01001 – 01100 เพื่อให้ง่ายต่อการวนloopใน Matlab ในขั้นตอนวิเคราะห์ห้ข้อมูล

3.5 การวิเคราะห์ห้ข้อมูล

การวิเคราะห์ห้ข้อมูลทำโดยนำไฟล์สัญญาณรบกวนตั้งแต่ 01001 – 01100 เข้าไปวนloopใน Matlab เพื่อหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนในแต่ละไฟล์จากนั้นเก็บค่าเฉลี่ยที่ได้ไว้ใน array และกลับไปวนloopใหม่จนครบ 100 ไฟล์ เมื่อครบแล้วทำการพล็อตสเปกตรัมของสัญญาณดู 3 รูปแบบคือ

- 1) สเปกตรัมที่ประกอบไปด้วยค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนของแต่ละไฟล์เป็นจำนวน 100 ค่า พล็อตรวมกัน
- 2) สเปกตรัมของค่าเฉลี่ยรวมของสัญญาณรบกวนทั้งหมด(นำ 100 ค่านี้มาหาค่าเฉลี่ยอีกครั้งหนึ่ง)
- 3) สเปกโตรแกรมของสัญญาณรบกวน

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การออกแบบอัลกอริทึมด้วย Matlab เพื่อลดทอนสัญญาณรบกวนที่เกิดจากขั้นตอนแปลงเทปคาสเซ็ท(อนาล็อก)เป็นไฟล์ดิจิทัลของสื่อมวลชนคาทอลิกแห่งประเทศไทย กลุ่มตัวอย่างคือ เทปคาสเซ็ทเป็นจำนวน 100 ม้วนเพื่อนำมาศึกษาลักษณะของสัญญาณรบกวนในเชิงขนาด (Amplitude)และความถี่(Frequency) เครื่องมือวิจัยมีดังนี้คือ เครื่องเล่นเทปคาสเซ็ทรุ่น TEAC W-790R เครื่องผสมเสียง Yamaha QL1 ที่มีการ์ดคันต์ติดตั้งอยู่ใน Dante Controller และ Dante Virtual Soundcard ซอฟต์แวร์ Protools เครื่องคอมพิวเตอร์ และวิเคราะห์ ออกแบบอัลกอริทึมและออกแบบหน้าต่างผู้ใช้งาน (GUI) โดยใช้โปรแกรมแมทแล็บ (Matlab) โดยผู้วิจัยได้จัดแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลและผลการใช้อัลกอริทึมเสนอผลออกเป็น 4 ส่วนคือ

4.1 ลักษณะของสัญญาณรบกวน

4.2 ผลการใช้อัลกอริทึมกับข้อมูลดิจิทัลที่ต้องการลดทอนสัญญาณรบกวน

4.3 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์และหน้าต่างผู้ใช้งาน(GUI)ระหว่างอัลกอริทึมที่ออกแบบกับ Plug-in ลดทอนสัญญาณรบกวนของ Audacity

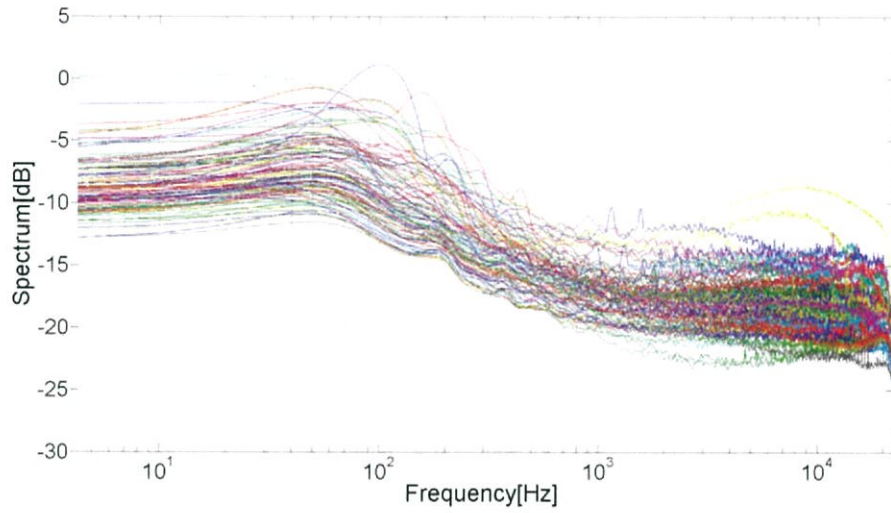
4.1 ลักษณะของสัญญาณรบกวน

หลังจากวิเคราะห์ลักษณะของสัญญาณรบกวนแล้วได้ทำการพล็อตสเปกตรัมของสัญญาณดู 2 รูปแบบคือ

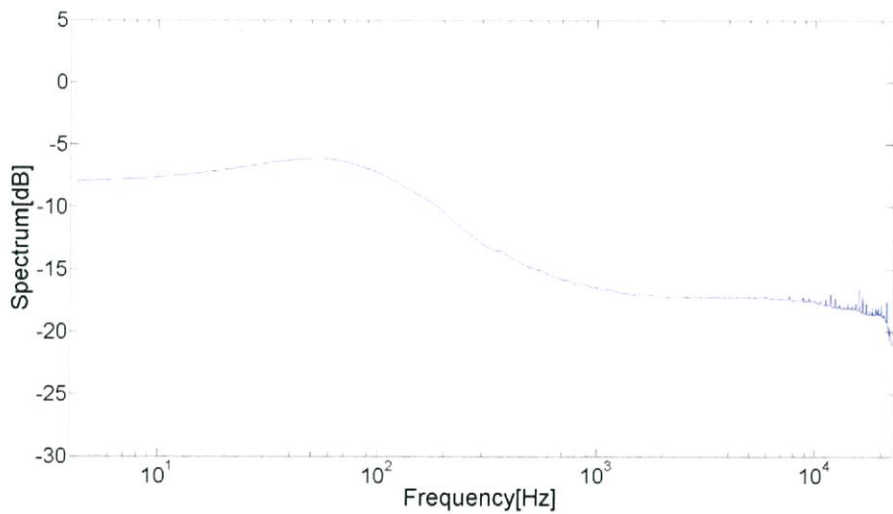
4.1.1 สเปกตรัมที่ประกอบไปด้วยค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนของแต่ละไฟล์

สเปกตรัมค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนของแต่ละไฟล์จำนวน 100 ค่า แสดงได้ดังภาพที่ 4.1 โดยขนาดของสัญญาณรบกวนในกลุ่มตัวอย่างที่สูงที่สุดอยู่ที่ 1.15 เดซิเบลที่ความถี่ 103.4 เฮิรท์และต่ำที่สุด -25.02 เดซิเบลที่ความถี่ 22050 เฮิรท์ รูปที่ 4.2 แสดงสเปกตรัมของค่าเฉลี่ยรวมของสัญญาณรบกวนทั้งหมด(นำ 100 ค่านั้นมาหาค่าเฉลี่ยอีกครั้งหนึ่ง) โดยขนาดของสัญญาณรบกวนที่สูงที่สุดอยู่ที่ -6.13 เดซิเบลที่ความถี่ 51.68 เฮิรท์และต่ำสุดที่ -21.01 เดซิเบลที่ความถี่ 22050 เฮิรท์ และสามารถระบุได้ว่าสัญญาณรบกวนที่มาจากแปลงเทปคาสเซ็ทมีลักษณะกระจายทุกความถี่ (Broadband noise) ในช่วงระหว่างความถี่ 1000 เฮิรท์ ถึง 5000 เฮิรท์เป็นช่วงความถี่ที่หูของมนุษย์มีการตอบสนองในย่านความถี่นี้มากที่สุด นี่จึงอาจเป็นสาเหตุที่เมื่อได้ยินเสียง

สัญญาณรบกวนที่เป็นลักษณะกระจายทุกความถี่แต่เราจะได้ยินความถี่ในย่านนี้มากที่สุดแม้ว่าขนาดของสัญญาณในย่านนี้จะไม่สูงที่สุดก็ตาม (อยู่ที่ประมาณ -16 เดซิเบล)

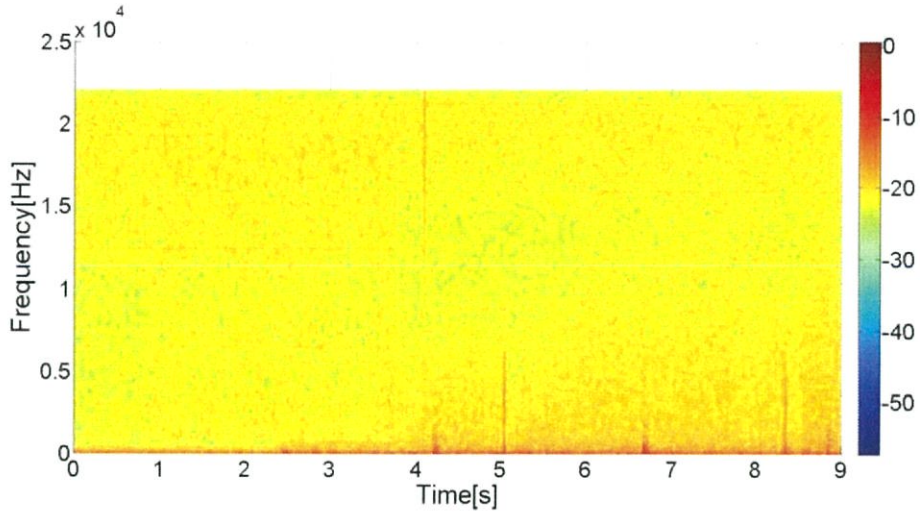


ภาพที่ 4.1 แสดงสเปกตรัมค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวน (100 ค่า)



ภาพที่ 4.2 แสดงสเปกตรัมของค่าเฉลี่ยรวมของสัญญาณรบกวนทั้งหมด

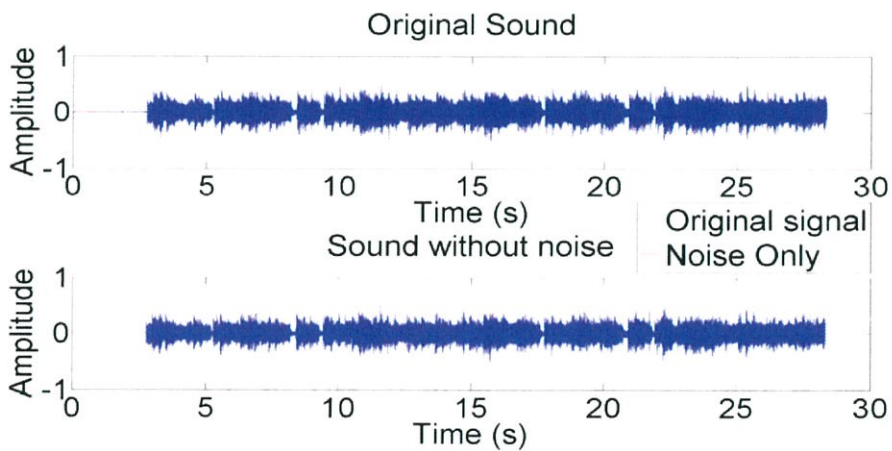
นอกจากนี้ภาพที่ 4.3 ซึ่งเป็นตัวอย่างสเปกโตรแกรมของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการแปลงเทศบาลซีทีทีมีลักษณะเป็นสัญญาณรบกวนกระจายทุกความถี่ (Broadband noise)



ภาพที่ 4.3 แสดงสเปกโตรแกรมของสัญญาณรบกวน

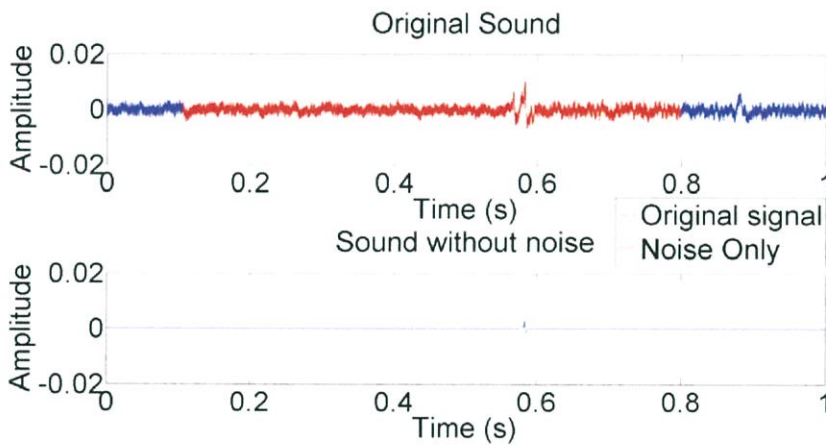
4.2 ผลการใช้อัลกอริทึมกับข้อมูลดิจิทัลที่ต้องการลดทอนสัญญาณรบกวน

หลังจากนำเพลงและบทสัมภาษณ์ที่เป็นข้อมูลดิจิทัลที่ได้จากการแปลงเทปคาสเซ็ท ในสื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทยผ่านอัลกอริทึมลดทอนสัญญาณรบกวนผลลัพธ์ที่ได้คือสัญญาณรบกวนถูกลดทอนลง สัญญาณมี SNR ที่ดีขึ้น เมื่อฟังเสียงเปรียบเทียบกับก่อนและหลังผ่านอัลกอริทึม จะสามารถรับรู้ได้ชัดเจนว่าสัญญาณรบกวนถูกลดทอนลง ภาพที่ 4.4 แสดงตัวอย่างสัญญาณเพลงร้องในโดเมนเวลาเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณก่อนผ่านอัลกอริทึม (ภาพ 4.4 บน) และหลังผ่านอัลกอริทึม (ภาพ 4.4 ต่ำ) สังเกตได้ว่าสัญญาณรบกวนถูกลดทอนลงตลอดช่วงสัญญาณ



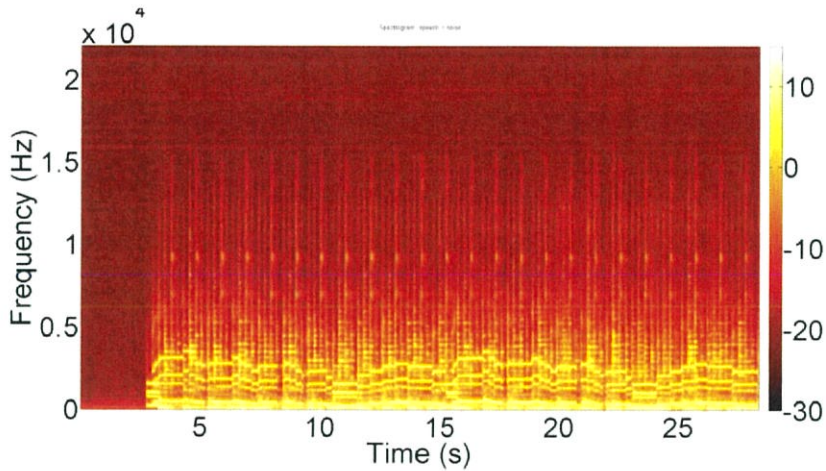
ภาพที่ 4.4 แสดงสัญญาณก่อน(บน)และหลัง(ล่าง)ผ่านอัลกอริทึม

ภาพที่ 4.5 เป็นรูปขยายของสัญญาณในภาพที่ 4.4 โดยภาพที่ 4.5 จะแสดงสัญญาณเฉพาะช่วง 0 วินาทีถึง 1 วินาที ซึ่งเป็นช่วงของสัญญาณที่มีเฉพาะสัญญาณรบกวน โดยช่วงสีแดงตั้งแต่ 0.1 วินาทีถึง 0.8 วินาทีคือช่วงที่เก็บตัวอย่างสัญญาณรบกวนเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการลดทอนคังอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.3.2 และสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนว่าสัญญาณรบกวนก่อนผ่านอัลกอริทึม (ภาพ 4.5 บน) และหลังผ่านอัลกอริทึม (ภาพ 4.5 ล่าง) มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดคือสัญญาณรบกวนหลังผ่านอัลกอริทึมถูกลดทอนลง

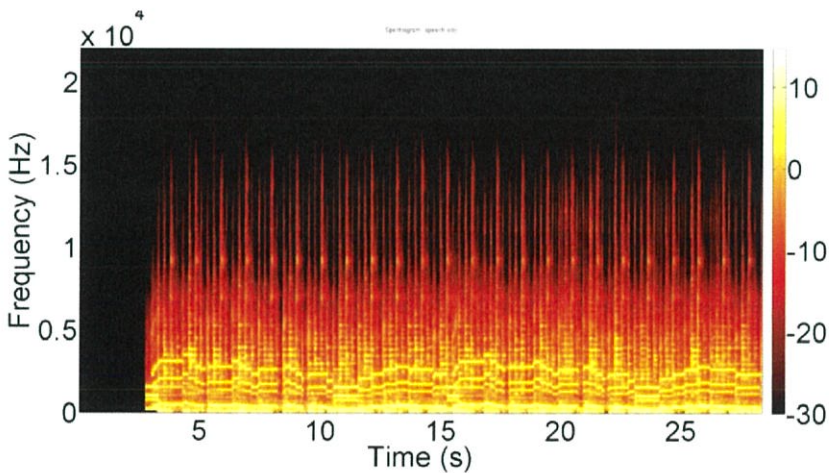


ภาพที่ 4.5 แสดงรูปขยายซึ่งเป็นช่วงของสัญญาณที่มีเฉพาะสัญญาณรบกวนก่อนผ่านอัลกอริทึม (บน) และหลังผ่านอัลกอริทึม (ล่าง)

นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ผลลัพธ์ของเพลงเดียวกันนี้ในรูปแบบสเปกโตรแกรม (Spectrogram) เปรียบเทียบสัญญาณก่อนผ่านอัลกอริทึม (ภาพที่ 4.6) และสัญญาณหลังผ่านอัลกอริทึม (ภาพที่ 4.7) สังเกตได้อย่างชัดเจนว่าสัญญาณรบกวนถูกลดทอนลงหลังผ่านอัลกอริทึม



ภาพที่ 4.6 แสดง Spectrogram ของสัญญาณก่อนผ่านอัลกอริทึม



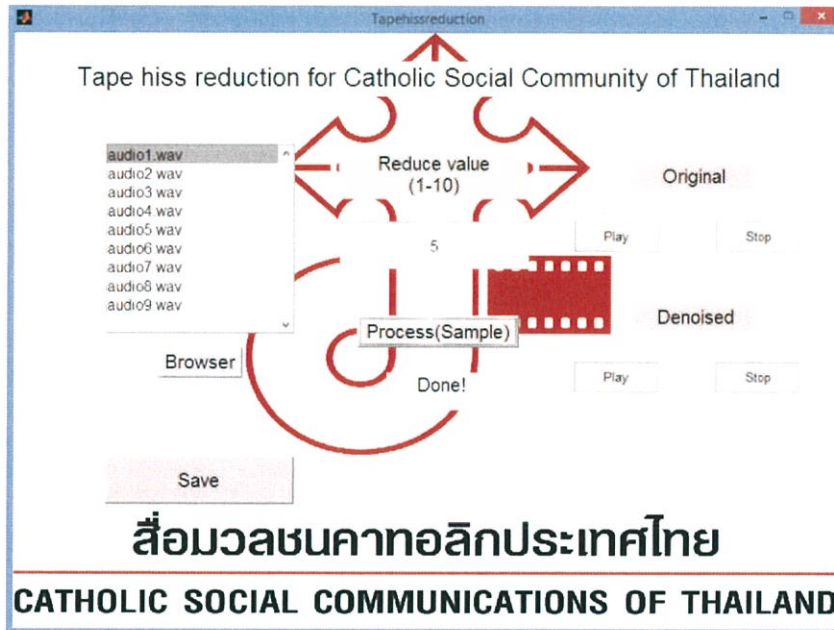
ภาพที่ 4.7 แสดง Spectrogram ของสัญญาณหลังผ่านอัลกอริทึม

4.3 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์และหน้าต่างผู้ใช้งาน(GUI)ระหว่างอัลกอริทึมที่ออกแบบกับ

Plug-in ลดทอนสัญญาณรบกวนของ Audacity

หลักการทำงานของอัลกอริทึมที่ออกแบบและอัลกอริทึมลดทอนสัญญาณรบกวนของ Audacity มีหลักการทำงานเหมือนกันคือ จะต้องเก็บตัวอย่างของสัญญาณรบกวน (Noise Estimation) เพื่อนำมาคำนวณสัมประสิทธิ์การลดทอนแต่ก็มีส่วนที่แตกต่างกันคือ พารามิเตอร์ต่างๆ โดยพารามิเตอร์ที่สามารถปรับได้ของอัลกอริทึมที่ออกแบบมีเฉพาะค่าลดทอนหรือ Reduction Value ดังภาพที่ 4.8 ซึ่ง Reduction Value จะมีผลต่อขนาดที่จะลดทอนสัญญาณรบกวน โดยถ้า Reduction Value เพิ่มขึ้น ขนาดของการลดทอนสัญญาณรบกวนก็จะเพิ่มตามไปด้วยเช่นเดียวกัน

หาก Reduction Value น้อยลง ขนาดของการลดทอนสัญญาณรบกวนก็จะลดตามไปด้วยทั้งนี้การลดทอนสัญญาณรบกวนจะสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนที่เก็บมาได้



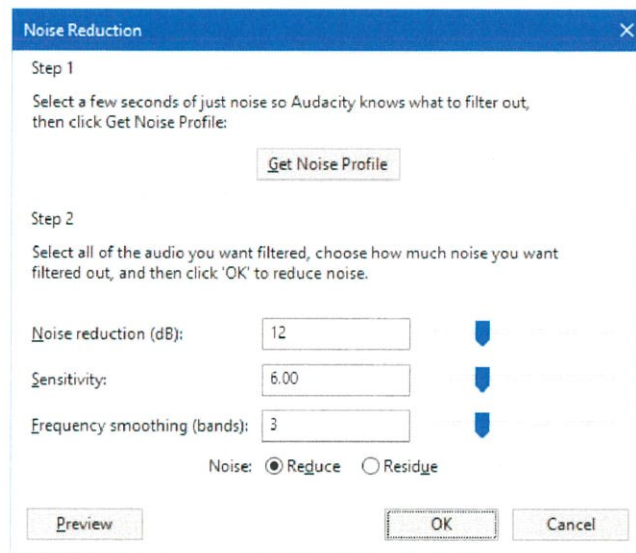
ภาพที่ 4.8 แสดงหน้าต่างผู้ใช้งานอัลกอริทึมสำหรับบุคลากรของสื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทย

ในขณะที่ Plug-in ลดทอนสัญญาณรบกวนของ Audacity จะมีพารามิเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้มากกว่าคือ

1) Noise Reduction (dB) พารามิเตอร์นี้ใช้เพื่อควบคุมขนาดของการลดทอนสัญญาณรบกวน ควรปรับให้ค่าลดทอนมีค่าน้อยที่สุดซึ่งสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนในระดับที่ยอมรับได้เพราะถ้าหากปรับค่านี้สูงเกินความจำเป็นสัญญาณรบกวนจะถูกลดทอนลงมากยิ่งขึ้น แต่ก็อาจสร้างความเสียหายต่อสัญญาณที่ต้องการด้วยเช่นกัน

2) Sensitivity พารามิเตอร์นี้จะช่วยพิจารณาว่าสัญญาณในช่วงใดบ้างที่เป็นสัญญาณรบกวน สามารถตั้งค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 24 โดยถ้าค่า Sensitivity เพิ่มขึ้น สัญญาณรบกวนก็จะถูกลดทอนลงมากขึ้นไปด้วยแต่สัญญาณที่ต้องการก็อาจถูกลดทอนไปด้วยเช่นกัน ถ้าค่า Sensitivity ลดลง สัญญาณรบกวนก็อาจหลงเหลืออยู่ในสัญญาณดังนั้นให้กำหนดพารามิเตอร์นี้ให้มีค่าน้อยที่สุดที่สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนลงได้โดยที่ไม่มีสัญญาณรบกวนหลงเหลืออยู่ในสัญญาณ

3) Frequency Smoothing (bands) พารามิเตอร์นี้สามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 ขึ้นไปซึ่งจะควบคุมการกระจายของการลดทอนสัญญาณรบกวนไปยังย่านความถี่ข้างเคียงตามค่าที่กำหนดโดยผู้ใช้กล่าวคือผู้ใช้งานสามารถกำหนดการกระจายได้ว่าจะให้กระจายไปยังย่านความถี่ข้างเคียงกี่ย่าน โดยการใช้ Frequency Smoothing นี้จะทำให้สัญญาณที่ได้มีความชัดเจนลดลงเล็กน้อยแต่ในขณะเดียวกันก็สามารถช่วยให้สัญญาณรบกวนที่หลงเหลืออยู่ในสัญญาณฟังดีขึ้น เพราะฉะนั้นหากสัญญาณที่ต้องการมีความชัดเจน สัญญาณรบกวนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ก็ควรปรับพารามิเตอร์นี้ให้อยู่ที่ 0 (ปิดการใช้งาน) ภาพที่ 4.9 แสดงหน้าต่างผู้ใช้งานของ plug-in ลดทอนสัญญาณรบกวนใน Audacity



ภาพที่ 4.9 แสดงหน้าต่างผู้ใช้งานของ Plug-in ลดทอนสัญญาณรบกวนใน Audacity

จากภาพที่ 4.9 จะพบว่าอัลกอริทึมลดทอนสัญญาณรบกวนของ Audacity มีพารามิเตอร์ให้ปรับมากกว่าอัลกอริทึมที่ออกแบบโดยพารามิเตอร์ของ Audacity สามารถปรับ Sensitivity และ Frequency smoothing (bands) เพิ่มได้ซึ่งเหมาะกับผู้ที่เชี่ยวชาญที่มีความรู้ด้านการปรับพารามิเตอร์เหล่านี้ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดและยังเหมาะกับงานที่ต้องการความละเอียดในการปรับพารามิเตอร์ ข้อแตกต่างด้านการใช้งานระหว่างอัลกอริทึมลดทอนสัญญาณรบกวนของ Audacity กับอัลกอริทึมที่ออกแบบคือ หน้าต่างผู้ใช้งานของอัลกอริทึมที่ออกแบบใช้งานง่ายกว่า เพียงแค่กำหนด Reduction Value จากนั้นกดปุ่ม Process ก็สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนจากไฟล์เพลงได้ ผู้ใช้ยังสามารถทำการบันทึกไฟล์เพลงหลัง Process แล้วเพียงกดปุ่ม save โปรแกรมก็จะทำการบันทึกลงไปใน Current Folder ให้โดยอัตโนมัติ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องการออกแบบอัลกอริทึมลดทอนสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการแปลงเทปคาสเซ็ทให้เป็นข้อมูลดิจิทัลของสื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทย ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการออกแบบอัลกอริทึมที่ทำหน้าที่ลดทอนสัญญาณรบกวนโดยใช้ซอฟต์แวร์ *Matlab* ผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบอัลกอริทึมลดทอนสัญญาณรบกวนคือสัญญาณที่แปลงมีขนาดของสัญญาณรบกวนน้อยลงและโปรแกรมนี้ใช้หลักการลบเชิงสเปกตรัม (Spectral Subtraction) เป็นพื้นฐานในการออกแบบอัลกอริทึมลดทอนสัญญาณรบกวน ผลปรากฏว่าการออกแบบอัลกอริทึมลดทอนสัญญาณรบกวนด้วยหลักการลบเชิงสเปกตรัม (Spectral Subtraction) สามารถใช้เป็นวิธีหนึ่งในการลดทอนสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการแปลงเทปคาสเซ็ท (Tape hiss) ได้ การสร้างหน้าต่างผู้ใช้งาน (GUI) ช่วยทำให้นักศึกษาในสื่อมวลชนคาทอลิกประเทศไทยสามารถใช้งานอัลกอริทึมได้ง่ายและสะดวก ทั้งนี้อัลกอริทึมจะทำงานได้ดีต่อเมื่อสัญญาณรบกวนคงที่ (Stationary noise) ตลอดช่วงสัญญาณ แม้ว่าสัญญาณรบกวนจะถูกลดทอนลงแต่ในขณะเดียวกันฮาร์โมนิกของสัญญาณก็ถูกลดทอนลงไปด้วยซึ่งอาจทำให้ไฟล์ใหม่ที่ได้มีขนาดของความถี่บางย่านลดลง การปรับค่า แลมด้า (λ) แตกต่างกันจะส่งผลให้ได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันด้วยนอกจากนี้ แลมด้า (λ) บางค่าอาจทำให้เกิด “Musical noise” ซึ่งเกิดจากขนาดของสัญญาณรบกวนที่มีค่าสูงถูกหักล้างไปไม่หมดแต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับไฟล์เสียงแต่ละไฟล์ด้วย อัลกอริทึมนี้มีขีดจำกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของพารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้เฉพาะแลมด้า (λ) เท่านั้น ซึ่งไม่เหมาะสมกับงานบางประเภทที่ต้องการปรับพารามิเตอร์ที่ละเอียดกว่านี้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ต้องศึกษาหลักการออกแบบอัลกอริทึมลดทอนสัญญาณรบกวนให้มากขึ้นเพื่อที่จะสามารถพัฒนาประสิทธิภาพของอัลกอริทึมให้เพิ่มมากขึ้น

5.2.2 ควรศึกษาวิธีการลดทอนสัญญาณรบกวนวิธีอื่นๆนอกเหนือจากหลักการลบเชิงสเปกตรัม (Spectral Subtraction) เพื่อที่จะสามารถนำองค์ความรู้ของวิธีต่างๆมาผนวกรวมกันส่งผลให้อัลกอริทึมมีประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนมากขึ้น

บรรณานุกรม

- สรวิวัฒน์ ชิวปรีชา. (2554). **Digital Signal Processing Part:II Digital Filter Design**. เอกสารประกอบการสอน สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สมนึก แก้วศิริรัตน์. (2535). หัวทป. นิตยสารอิเล็กทรอนิกส์สมัครเล่น, 35(14). ค้นเมื่อ 24 ธันวาคม 2560, จาก <http://cassettelover.blogspot.com>
- Boll SF. (1979). Suppression of Acoustic Noise in Speech Using Spectral Subtraction. **IEEE Transactions On Acoustics, Speech, And Signal Processing**, 2(27), 113-120.
- Cohen I. (2004). Speech Enhancement Using a Noncausal A Priori SNR Estimator. **IEEE Signal Processing Letters**, 9(11), 725-728.
- Ephraim Y, Malah D. (1984). Speech Enhancement Using a Minimum Mean Square Error Short-Time Spectral Amplitude Estimator. **IEEE Transactions On Acoustics, Speech, And Signal Processing**, 6(32), 1109-1121.
- Godsill S, Rayner P, Cappé O. (n.d.). Digital Audio Restoration. **Applications of Digital Signal Processing to Audio and Acoustics**, (437), 133-194.
- Guoshen Y, Stéphane M, Emmanuel B. (2008). Audio Denoising by Time-Frequency Block Thresholding. **IEEE Transactions On Signal Processing**, 5(56), 1830-1839.
- Hess R, Iraci J, Flak K. (2012). **The Digitization of Audio Tapes**, Ottawa: Canadian Conservation Institute Department of Canadian Heritage.
- Houcque D. (2005). **Introduction to Matlab For Engineering Students**. Northwestern University, U.S.A.

Johnson D. (2006). Signal-to-noise ratio. **Scholarpedia**, 1(12), 2088.

MediaMatrix A Division of Peavey Electronics Corporation. (2017). **Dante Networking Guide**.
Mississippi.

National Instruments. (2016). **Understanding FFTs and Windowing**.

Osgood B. (n.d.). **The Fourier Transform and its Applications**. Lecture Notes for EE 261,
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Stanford University,
U.S.A.

Rorabaugh B. (n.d.). **Digital Filter Designer's Handbook**. Pennsylvania: Division of McGraw-
Hill, Inc.

ภาคผนวก ก

โค้ด Matlab ที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวน

```
d = dir('02*.wav');
wlen = 1024;
hop = wlen/4;
nfft = 10*wlen;
for k=1:numel(d)
    [x,fs] = audioread(d(k).name);
    [S, f, t_stft] = stft(x(:,1), wlen, hop, nfft, fs);
    S_bg = mean(abs(S(:,:)), 2);
    S_w_all(:,k)=S_bg;
end
ave = mean(abs(S_w_all(:,:)),2);
```

โค้ด Matlab ที่ใช้พล็อตสเปกตรัมค่าเฉลี่ยสัญญาณรบกวน

```
semilogx(f, 10*log10(ave));
xlim([u(1) u(2)]);
ylim([-30 5]);
hy = ylabel('Spectrum[dB]');
set(hy, 'fontsize', 32)
hx= xlabel('Frequency[Hz]');
set(hx, 'fontsize', 32)
set(gca,'FontSize',29)
grid on;
```

โค้ด Matlab ในการพล็อตเปรียบเทียบสัญญาณก่อนและหลังผ่านอัลกอริทึม

```

%show temporal signals
figure
subplot(2,1,1);
t_index=find(T>t_min & T<t_max);
plot([1:length(x)]/Fe,x);
hx1=xlabel('Time (s)');
hy1=ylabel('Amplitude');
xlim([0 1]);
ylim([-0.02 0.02]);
set(hy1, 'fontsize', 30)
set(hx1, 'fontsize', 30)
set(gca,'FontSize',25)
hold on;
noise_interval=floor([T(t_index(1))*Fe:T(t_index(end))*Fe]);
plot(noise_interval/Fe,x(noise_interval),'r');
hold off;
legend('Original signal','Noise Only');
title('Original Sound');
%show denoised signal
subplot(2,1,2);
plot([1:length(output_signal)]/Fe,output_signal );
hx=xlabel('Time (s)');
hy =ylabel('Amplitude');
xlim([0 1]);
ylim([-0.02 0.02]);
set(hy, 'fontsize', 30)
set(hx, 'fontsize', 30)
set(gca,'FontSize',25)
title('Sound without noise');

```

โค้ด Matlab ในการพล็อตสเปกโตรแกรม

```

%show spectrogram
t_epsilon=0.001;
figure
S_one_sided=max(S(1:length(F)/2,:),t_epsilon);
pcolor(T,F(1:end/2),10*log10(abs(S_one_sided)));
shading interp;
colormap('hot');
title('Spectrogram: speech + noise');
hx2=xlabel('Time (s)');
hy2=ylabel('Frequency (Hz)');
set(hy2, 'fontsize', 30)
set(hx2, 'fontsize', 30)
set(gca,'FontSize',25)
figure
S_one_sided=max(STFT(1:length(F)/2,:),t_epsilon);
pcolor(T,F(1:end/2),10*log10(abs(S_one_sided)));
shading interp;
colormap('hot');
title('Spectrogram: speech only');
hx3=xlabel('Time (s)');
hy3=ylabel('Frequency (Hz)');
set(hy3, 'fontsize', 30)
set(hx3, 'fontsize', 30)
set(gca,'FontSize',25)

```

โค้ด Matlab Spectral subtraction algorithm

```

[y,Fe]=audioread('Speech.wav');
x=y(:,1);%(1:end,1)';
Nx=length(x);

% algorithm parameters
apriori_SNR=1;
alpha=0.98;
beta1=0.5;
beta2=1;
lambda=2;

% STFT parameters
NFFT=4096;
window_length= 1024; %1024, round(0.031*Fe);
window=hamming(window_length);
window = window(:);
overlap=floor(0.45*window_length);

%Signal parameters
t_min=0.1;
t_max=0.8;

% construct spectrogram
[S,F,T] = spectrogram(x+1i*eps>window,window>window_length-overlap,NFFT,Fe);
[Nf,Nw]=size(S);

% Noisy spectrum extraction
t_index=find(T>t_min & T<t_max);
absS_noise=abs(S(:,t_index)).^2;

```

```

noise_spectrum=mean(absS_noise,2); %average spectrum of the noise
noise_specgram=repmat(noise_spectrum,1,Nw);

% Estimate SNR
absS=(abs(S).^2);
SNR_est=max((absS./noise_specgram)-1,0);
if apriori_SNR==1
    SNR_est=filter((1-alpha),[1 -alpha],SNR_est);
end

% Compute Attenuation Map
an_lk=max((1-lambda*((1./(SNR_est+1)).^beta1)).^beta2,0);
STFT=an_lk.*S;

% Compute Inverse STFT
ind=mod((1>window_length)-1,Nf)+1;
output_signal=zeros((Nw-1)*overlap+window_length,1);
for indice=1:Nw %Overlapp add technique
    left_index=((indice-1)*overlap);
    index=left_index+[1>window_length];
    temp_ifft=real(iff(STFT(:,indice),NFFT));
    output_signal(index)= output_signal(index)+temp_ifft(ind).*window;
end

```

ภาคผนวก ข

ประวัติความเป็นมาของเทปคาสเซ็ท

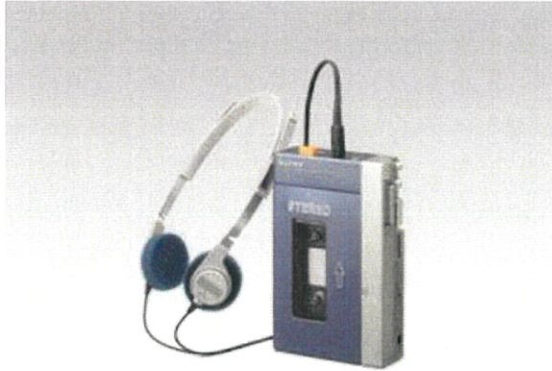
เทปคาสเซ็ทถือกำเนิดขึ้นมาบนโลกในปี 1962 (พ.ศ. 2505) โดยบริษัทฟิลลิปส์(Philips)ได้คิดค้นเทปคาสเซ็ทพกพาออกมา เพื่อใช้สำหรับฟังเพลงโดยเฉพาะ โดยเทปคาสเซ็ทได้เปิดตัวออกสู่สายตาชาวยุโรปเป็นครั้งแรกในวันที่ 30 สิงหาคม ปี 1963 (พ.ศ. 2506) ที่เบอร์ลินเรดิโอ โซว และที่สหรัฐอเมริกาในปี 1964 (พ.ศ. 2507) ในชื่อที่เรียกว่า "Compact Cassette" หรือเทปคาสเซ็ท ต่อมาเทปคาสเซ็ทก็ได้รับความนิยมเหนือระบบเทปแบบอื่นอย่างรวดเร็ว อันเป็นเหตุมาจากที่ฟิลลิปส์ถูกกดดันโดยโซนี่(Sony)ที่เรียกบริษัทอื่นสามารถผลิตเทปคาสเซ็ทได้อย่างเสรี และต่อมาฟิลลิปก็ออกเครื่องเล่นและอัด Carry-Corder 150 ในยี่ห้อ Norelco ซึ่งทำให้เทปคาสเซ็ทยังได้รับความนิยมขึ้นไปอีก จนกระทั่งในปี 1968 (พ.ศ. 2511) เครื่องเล่นเทปคาสเซ็ทจากกว่า 85 บริษัท สามารถขายออกได้ไปมากถึง 2.4 ล้านเครื่อง



ภาพที่ 1 แสดง Philips carry-corder 150

ที่มา : <http://cassettelover.blogspot.com/2017/01/cassette-tape.html>

ความนิยมของเทปคาสเซ็ทยิ่งพุ่งสูงขึ้นไปกว่าเดิมในช่วงปี 1980 (พ.ศ. 2523) หลังจากที่โซนี่เปิดตัวเครื่องเล่นพกพา "Walkman" แต่ดีกว่าที่ส่วนแบ่งของเทปคาสเซ็ทจะสามารถแซงแผ่นไวนิลได้ก็ล่วงเข้ามาในช่วงทศวรรษ 1990 แล้ว (พ.ศ. 2533) อันเป็นช่วงที่เทปคาสเซ็ทมีความนิยมสูงสุดและค่อย ๆ ลดความนิยมลง หลังจากที่ความนิยมของแผ่นซีดีเริ่มเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 2 แสดง Sony Walkman TPS-L2

ที่มา : <http://cassettelover.blogspot.com/2017/01/cassette-tape.html>

อย่างไรก็ตาม หลังจากที่เทปคาสเซ็ทได้รับความนิยมได้ไม่นานนัก เทปคาสเซ็ทก็เริ่มถูกซิดีเข้ามาแทนที่ โดยในปี 1993 (พ.ศ. 2536) มีการส่งมอบเครื่องเล่น CD มากขึ้นมากถึง 5 ล้านเครื่อง (เพิ่มขึ้น 21% จากปี 1992) ในขณะที่เครื่องเล่นเทปคาสเซ็ทกลับลดการส่งมอบลงเหลือเพียง 3.4 ล้านเครื่องเท่านั้น และจนมาถึงปี 2001 (พ.ศ. 2544) ในบรรดาเพลงที่ขายออกไปได้ มีเทปคาสเซ็ทที่ขายได้คิดเป็นเพียงแค่ 4% เท่านั้น และในปี 2007 (พ.ศ. 2550) ยอดขายของเทปเพลงก็เหลือเพียง 247,000 ตลับ จนในปี 2009 (พ.ศ. 2552) ยอดขายมีเพียง 34,000 ตลับเท่านั้น เทียบกับในปี 1990 (พ.ศ. 2533) ที่มียอดจำหน่ายสูงถึง 442 ล้านตลับ (สถิติในสหรัฐอเมริกา) จากสัญญาณนี้ทำให้ค่ายเพลงหลาย ๆ ค่าย ได้ลดกำลังผลิต หรือยกเลิกการผลิตเทปเพลงลงตั้งแต่ช่วงปี 2002-2003 (พ.ศ. 2545-2546)

ในปัจจุบันยังเหลือเพียงบางประเทศเท่านั้นที่ยังคงขายเทปเพลง เช่น อินเดีย อันเนื่องมาจากต้นทุนที่ถูกกว่า และในช่วงหลังการออกผลงานในรูปแบบเทปเพลง เริ่มกลับมาได้รับความนิยมมากขึ้น ในหมู่ศิลปินอินเดีย อันเนื่องมาจากต้นทุนที่ถูกและสามารถป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ได้ดีในระดับหนึ่ง

ข้อมูลเกี่ยวกับแมทแล็บ

แมทแล็บเป็นซอฟต์แวร์ในการคำนวณและการเขียนโปรแกรมที่มีความสามารถครอบคลุมตั้งแต่ การพัฒนาอัลกอริทึม การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการทำซิมูเลชันของระบบ การสร้างระบบควบคุม และโดยเฉพาะเรื่อง image processing และ wavelet การสร้างเมตริกซ์ ซอฟต์แวร์นี้ถูกผลิตโดยบริษัทแมตเวริกส์ ตัวแทนจำหน่ายในประเทศไทยคือ บริษัท เทคซอร์ส ซิสเต็มส์ (ประเทศไทย) จำกัด แมตแล็บเป็น โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในแวดวงของนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรในปัจจุบัน ชื่อโปรแกรม MATLAB นั้นย่อมาจาก Matrix Laboratory แมทแล็บได้เริ่มต้นขึ้นเพื่อต้องการให้เราสามารถแก้ปัญหาตัวแปรที่มีลักษณะเป็นเมตริกซ์ได้ง่ายขึ้น แมตแล็บเริ่มพัฒนาครั้งแรกโดย Dr. Cleve Moler ซึ่งเขียนโปรแกรมนี้ขึ้นมาด้วยภาษาฟอร์แทรน โดยโปรแกรมนี้ได้ พัฒนาภายใต้โครงการ LINPACK และ EISPACK (Houcque, 2005)

แมทแล็บสามารถทำงานได้ทั้งในลักษณะของการติดต่อโดยตรง คือการเขียนคำสั่งเข้าไปทีละคำสั่ง เพื่อให้แมทแล็บประมวลผลไปเรื่อยๆ หรือสามารถที่จะรวบรวม ชุดคำสั่งเหล่านั้นเป็นโปรแกรมก็ได้ ข้อสำคัญอย่างหนึ่งของแมทแล็บก็คือข้อมูลทุกตัวจะถูกเก็บใน ลักษณะของแถวลำดับ คือในแต่ละตัวแปรจะได้รับการแบ่งเป็นส่วนย่อยเล็กๆขึ้น ซึ่งการใช้ตัวแปรเป็นแถวลำดับในแมทแล็บเราไม่จำเป็นที่จะต้องจองมิติเหมือนกับ การเขียนโปรแกรมในภาษาขั้นต่ำทั่วไป ซึ่งทำให้เราสามารถที่จะแก้ปัญหของตัวแปรที่อยู่ในลักษณะ ของเมตริกซ์และเวกเตอร์ได้โดยง่าย ซึ่งทำให้เราลดเวลาการทำงานลงได้อย่างมากเมื่อเทียบกับการเขียนโปรแกรม โดยภาษาซีหรือภาษาฟอร์แทรน (Houcque, 2005)