สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างเสียงสภาพแวดล้อม

Surrounding Effect for Speakerphone

โดย

นายณัฐวัฒน์ เอี่ยมรุ่งโรจน์

นายทวีเดช ปันสุ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....72289
วัน,เดือน,ปี.....13 มิ.ย. 2550

b.11744736
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SURROUNDING EFFECT FOR SPEAKERPHONE

BY

Mr.NATTAWAT EIAMRUNGROJ

Mr.TAWIDECH PANSU

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การสร้างเสียงสภาพแวดล้อม
	Surrounding Effect for Speakerphone
ชื่อนักศึกษา	นายณัฐวัฒน์ เอี่ยมรุ่งโรจน์ รหัสนักศึกษา 46012165
	นายทวีเดช ปันสุ รหัสนักศึกษา 46012169
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดลชัย สุขเจริญผล
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขา วิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2549

โครงงานนี้ได้รับความเห็นชอบจากอาจารย์ที่ปรึกษาให้เข้าทำการสอบวิชาโครงงาน 2 ได้

.....

(ผศ. ดลชัย สุขเจริญผล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การสร้างเสียงเอฟเฟคสภาพแวดล้อม	
ชื่อนักศึกษา	นายณัฐวัฒน์ เอี่ยมรุ่งโรจน์	รหัสประจำตัว 46012165
	นายทวีเดช ปันสุ	รหัสประจำตัว 46012169
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผ.ศ. ดลชัย สุขเจริญผล	
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ	
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ	
ปีการศึกษา	2549	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการจำลองสร้าง effect surround จากสถานที่ หรือสถานการณ์ต่างๆ ประสมกับเสียงพูดปกติ โดยใช้โปรแกรม MAX/MSP โดยเราไม่จำเป็นต้องเข้าไปอยู่ในเหตุการณ์หรือสถานที่นั้นจริงๆเช่น เราสามารถจะได้ยินเสียงเครื่องบินขึ้น-ลงในขณะที่พูดโดยไม่จำเป็นต้องไปอยู่ที่สนามบิน เป็นต้น โดยโครงงานนี้สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านโฆษณา หรือ งานทางด้านภาพยนตร์ได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Surrouding Effect for Speakerphone
Student	Mr. Nattawat Eiamrungroj ID. 46012165
	Mr. Taweedech Pansu ID. 46012169
Advisor	Asst. Prof. Dolchai Sukjareunpol
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering
Department	Information Engineering
Academic Year	2006

Abstract

this projects is created up to be a model of the speakers which can be used to build the effect surround from any places or from any circumstances which can be mixed with the normal speaking sound which used program MAX/MSP which we do not have to be in the real places, such as we can hear the sound of the landing plane while we are talking which actually we are not in the airport. This peoject will be used to apply in the advertising or the movies projects afterall.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จไปได้ด้วยดี หากไม่ได้รับการช่วยเหลือและร่วมมือจากหลายฝ่ายด้วยกัน บุคคลที่ต้องกล่าวถึงเพราะมีความสำคัญที่ทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์คลชัย สุขเจริญผล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ และพ่อ แม่ เพื่อนๆ ทุกคน ที่ให้ความเอาใจใส่ ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ ให้กำลังใจ และคอยให้ความช่วยเหลือตลอดเวลาทั้งหมดที่ทำปริญญานิพนธ์นี้ จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี่เป็นอย่างยิ่ง

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน	3
2.1 องค์ประกอบของเสียงดนตรี	3
2.2 การประมวลสัญญาณดิจิตอล (Digital Signal Processing)	4
2.3 การแปลงฟูเรียร์	5
2.4 คุณสมบัติการแปลงฟูเรียร์	6
2.5 การวิเคราะห์ฟูเรียร์ (Fourier Analysis)	7
2.6 การหาสมการคำตอบของสมการสเตท	10
2.7 Sampling Rate Alteration	14
2.8 วงจรกรองความถี่และผลตอบสนอง	16
2.9 ADC และ DAC	17
2.10 Convolution	19
11 ทฤษฎีพื้นฐานของวงจรกรองความถี่แบบดิจิตอล	22
บทที่ 3 การออกแบบโครงงาน	24
3.1 แผนผังการทำงานของโครงงาน	24
3.1.1 ส่วนของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D converter : ADC)	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.1.2 ส่วนของการแปลงสัญญาณดิจิตอลอนาลอกเป็น (D/A converter :DAC)	25
3.1.3 ส่วนของการประมวลผล	25
3.1.4 ส่วนขยายสัญญาณ (Amplifier)	25
3.2 ขั้นตอนการทำงาน	26
3.3 การออกแบบโปรแกรม	27
3.3.1 ส่วนประกอบภายในโปรแกรม	29
3.3.1.1 ส่วนของเสียงอินพุท	29
3.3.1.2 ส่วนของเสียงเอาท์พุท	30
3.3.1.3 ส่วนของการประมวลผล	32
3.3.1.4 กราฟของสัญญาณอินพุท	32
3.3.1.5 กราฟของการ Convolution ของสัญญาณอินพุท	33
บทที่ 4 การใช้งานและผลการทดลองใช้โปรแกรม	34
4.1 ขั้นตอนการใช้งาน โปรแกรม การสร้างเสียงสภาพแวดล้อม	34
4.2 การทดลองการใช้งาน โปรแกรม การสร้างเสียงสภาพแวดล้อม	36
บทที่ 5 ปัญหาที่เกิดขึ้นและการพัฒนาโครงงาน	45
5.1 ปัญหาความสมบูรณ์ของเสียง	45
5.2 ปัญหาข้อจำกัดในการส่งผ่านค่าพารามิเตอร์	45
บรรณานุกรม	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

ภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงระบบ LTI	8
รูปที่ 2.2 แสดงแผนผังโครงสร้างแซมปิงแบบเพิ่ม(Up-Sampling)	14
รูปที่ 2.3 กราฟแสดงผลลัพธ์การแซมปิงสัญญาณแบบเพิ่ม(Up-Sampling)	15
รูปที่ 2.4 แผนผังโครงสร้างของแซมปิงแบบลด(Down-Sampling)	15
รูปที่ 2.5 กราฟแดงผลลัพธ์การแซมปิงสัญญาณแบบลด(Down-Sampling)	16
รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงาน	24
รูปที่ 3.2 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงาน	26
รูปที่ 3.3 ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้	27
รูปที่ 3.4 โครงสร้างภายในของโปรแกรม	28
รูปที่ 3.5 ส่วนของอินพุทสัญญาณเสียง	29
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์เลือกชนิดของอินพุท	29
รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ปรับระดับเสียง	29
รูปที่ 3.8 อุปกรณ์จัดการกับเสียง	30
รูปที่ 3.9 ส่วนของเสียงเอาท์พุท	30
รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ Defaults	31
รูปที่ 3.11 ส่วนกำหนดนามสกุลของไฟล์	31
รูปที่ 3.12 อุปกรณ์เปิด-ปิดเสียง	31
รูปที่ 3.13 อุปกรณ์การบันทึกเสียง	31
รูปที่ 3.14 อุปกรณ์การ Convolution	32
รูปที่ 3.15 กราฟของสัญญาณอินพุท	32
รูปที่ 3.16 กราฟของการ Convolution ของสัญญาณอินพุท	33
รูปที่ 4.1 โปรแกรม Surrounding Effect.exe	34
รูปที่ 4.2 อุปกรณ์เปิด-ปิด การเล่นเสียง	34
รูปที่ 4.3 อุปกรณ์ระดับความดังเสียง	35
รูปที่ 4.4 อุปกรณ์แสดงการ Convolution	35
รูปที่ 4.5 แสดงการเล่นเสียง Signal A	36
รูปที่ 4.6 สเปกตรัมของเสียง Signal A	37
รูปที่ 4.7 แสดงการเล่นเสียง Signal B	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
รูปที่ 4.8 สเปกตรัมของเสียง Signal B	38
รูปที่ 4.9 ปุ่มแสดงการ Convolution	38
รูปที่ 4.10 แสดงผลที่ได้จากการ Convolution	39
รูปที่ 4.11 สเปกตรัมของการ Convolution สัญญาณเสียง	40
รูปที่ 4.12 แสดงสเปกตรัมของการทดลอง 4.2.4	41
รูปที่ 4.13 แสดงสเปกตรัมของการทดลอง 4.2.4	42
รูปที่ 4.14 แสดงสเปกตรัมของการทดลอง 4.2.5	43
รูปที่ 4.15 การบันทึกเสียง	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ เทคโนโลยีเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์พัฒนาไปอย่างรวดเร็วชนิดก้าวกระโดด มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางในทุกวงการไม่ว่าจะเป็นด้านเศรษฐกิจ ด้านการศึกษา ด้านการพัฒนาสังคม หรือแม้แต่ ด้านกิจการบันเทิง โดยในด้านธุรกิจบันเทิงนั้น คอมพิวเตอร์สามารถที่จะนำมาช่วยใช้อำนวยความสะดวกต่างๆ ในการทำงาน โดยจะเห็นได้ว่าในปัจจุบันทั่วโลกได้มีการพัฒนาการทำเอฟเฟคเสียงต่างๆ(various sound and music effects) มากขึ้นซึ่งหากเทียบกับในอดีต จะเห็นว่ายังมีไม่มากนัก ดังนั้นในปัจจุบันการทำงานด้านเพลง โฆษณา หรือภาพยนตร์จึงถือว่าค่อนข้างมีความสำคัญในการที่จะนำเทคนิคการทำเอฟเฟค ทางด้านเสียงเข้ามาช่วย เพื่อพัฒนาให้งานในด้านนั้นๆ เกิดความสะดวก รวดเร็ว เหมาะสมกับการแข่งขัน โดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ

สำหรับปริญญานิพนธ์เล่มนี้ก็จะทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงการนำ เสียงพูดรวมทั้งเสียงจากการสนทนาที่บันทึกในการถ่ายภาพยนต์หรือบันทึกในห้องสตูดิโอนำมาประสมเข้ากับเสียงของสภาพแวดล้อม (environment sounds) ในสถานที่ต่างๆ เพื่อให้เกิดเป็นSurrounding Effects ขึ้นมา โดยที่เราไม่จำเป็นต้องเข้าไปอยู่ในเหตุการณ์ หรือสถานที่นั้นจริงๆ เช่น เราสามารถที่จะได้ยินเสียงเครื่องบินขึ้น-ลงในขณะที่พูดโดยไม่จำเป็นต้องไปอยู่ที่สนามบิน เป็นต้น ซึ่งเราสามารถเลือกประสมเสียงให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้มากโดยอาศัยการรวบรวมเสียงของสภาพแวดล้อมต่างๆในรูปของไฟล์ข้อมูล และผู้ใช้งานสามารถเลือกนำมาสร้างและแต่งเสียงเพิ่มเติมได้ง่าย โดยโครงงานนี้สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านโฆษณา หรือ งานทางด้านภาพยนตร์ได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อสร้างโปรแกรมการสังเคราะห์เสียง ที่สามารถเลือกสัญญาณเสียง เพื่อนำมาผ่านการประมวลผลได้

1.2.2 สร้างเครื่องมือในรูปของซอฟแวร์ ผู้ให้บุคคลทั่วไปสามารถใช้งานได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

ในส่วนของขอบเขตของงานจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน หลักๆ คือ

1. ส่วนของการสร้างโปรแกรมที่สามารถติดต่อกับผู้ใช้ เพื่อผู้ใช้สามารถทำการสังเคราะห์เสียงได้ โดยการเลือกสัญญาณเสียง และค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ที่จะนำมาวิเคราะห์

2. ส่วนของการศึกษาการประมวลผลสัญญาณเชิงดิจิตอล (Digital Signal Processing)

ส่วนของการศึกษาการประมวลผลสัญญาณเชิงดิจิตอลนี้ จะทำการศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการ คอนโวลูชั่น (Convolution) กันของสัญญาณเสียง 2 สัญญาณเสียง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้มีการศึกษาวางแผนและทำงานตามขั้นตอนดังรูป

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับโครงงาน โดยเป็นการศึกษาถึงทฤษฎีของการคอนโวลูชั่น ถึงส่วนที่เกี่ยวข้องและส่วนที่ต้องการนำมาใช้ในกาวิเคราะห์ในโครงงานนี้
2. ออกแบบการทดลอง
3. การทำการบันทึกสัญญาณเสียง โดยเป็นการเก็บข้อมูลของตัวโครงงานนี้ สำหรับใช้ในการวิเคราะห์
4. วิเคราะห์สัญญาณ
5. การสรุปผลการทดลองจากโครงงานนี้

1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้

1.5.1 ฮาร์ดแวร์

- เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับพัฒนาโปรแกรม จำนวน 1 เครื่อง
- การ์ดเสียง จำนวน 1 การ์ด
- ไมโครโฟน จำนวน 1 ตัว

1.5.2 ซอฟต์แวร์

- MAX/MSP เป็นโปรแกรมสำหรับพัฒนาโปรแกรม
- Jet Audio เป็นโปรแกรมสำหรับช่วยในการบันทึกเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน

2.1 องค์ประกอบของเสียงดนตรี

2.1.1 ทฤษฎีดนตรี

เสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ เมื่อวัตถุสั่นสะเทือนจะทำให้เกิดการอัดตัว และ การขยายตัวของเสียง ซึ่งถูกส่งไปยังหู โดยผ่านชั้นบรรยากาศ เสียงที่ได้ยินจะเป็น เสียงสูง เสียงดัง เสียงเบา หรือ มีคุณภาพเสียงในลักษณะต่างๆ อย่างไรนั้น จะขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดเสียง และ จำนวนรอบต่อวินาทีของการสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดเสียงนั้น เสียงแต่ละเสียงมีคุณสมบัติซึ่งสามารถแยกแยะได้ดังนี้

2.1.2 ระดับเสียง (Pitch)

ระดับเสียง หมายถึง เสียงสูง เสียงต่ำ เราสามารถเปรียบเทียบเสียง 2 เสียง ได้ว่า เสียงไหนมีระดับสูงกว่า และเสียงไหนมีระดับต่ำกว่า โดยการฟัง ถ้าระดับเสียงต่างกันมากก็จะฟังง่าย ถ้าต่างกันเพียงเล็กน้อยก็จะฟังยาก

ระดับเสียง เกิดจากความถี่ของการสั่นสะเทือนของวัตถุ หรืออาจกล่าวได้ว่า ความถี่ของการสั่นสะเทือนเป็นตัวกำหนดระดับเสียง วัตถุที่สั่นสะเทือนเร็วกว่าทำให้เกิดระดับเสียงสูงกว่าในขณะที่วัตถุที่สั่นสะเทือนช้ากว่าทำให้เกิดระดับเสียงต่ำกว่าความถี่ซึ่งเป็นตัวกำหนดระดับเสียงได้มาจากการวัดความสั่นสะเทือนของวัตถุ โดยมีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที ดังนั้น วัตถุที่สั่นสะเทือนมากกว่า จะมีความถี่มากกว่าทำให้เกิดระดับเสียงสูงกว่า

2.1.3 ความเข้มเสียง (Volume or Intensity)

ความเข้มเสียง หมายถึง เสียงเบา เสียงดัง ความเข้มเสียงเกิดจากแรงสั่นสะเทือนของวัตถุที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียง ถ้าวัตถุสั่นสะเทือนมาก เสียงจะดัง และในทางตรงกันข้าม ถ้า วัตถุสั่นสะเทือนน้อยเสียงก็จะเบา ความเข้มเสียงขึ้นอยู่กับความแรงที่ส่งจากแหล่งกำเนิดเสียงไปยังหู ความเข้มเสียงวัดได้จากความกว้างคลื่นเสียง (Amplitude) ถ้าคลื่นเสียงยิ่งกว้าง เสียงก็จะยิ่งดัง และระยะทางที่เสียงต้องเดินทางก็จะมีผลต่อความเข้มเสียงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 สีสันเสียง (Timbre or Tone Color)

สีสันเสียง หมายถึง เสียงที่มาจากแหล่งกำเนิดเสียงต่างๆ กัน คลื่นเสียงที่เกิดจากแหล่งที่มีสีสันเสียงต่างกันจะมีรูปร่างลักษณะต่างกัน และสื่อดนตรีที่ต่างกันจะทำให้เกิดสีสันเสียงที่ต่างกัน

สิ่งสำคัญที่เป็นตัวกำหนดเสียง ก็คือ พาร์เชียล (Partials) ซึ่งเป็นระดับเสียงจำนวนหนึ่ง ที่ประกอบกันเป็นเสียงที่เราได้ยิน พาร์เชียลน้อย จะได้เสียงใส ส่วนเสียงที่มีจำนวนพาร์เชียลมาก จะได้ยินเสียงที่หนักแน่นกว่า

2.1.5 คุณภาพเสียง (Tune Quality)

คุณภาพเสียง หมายถึง เสียงดีมาก เสียงน้อย เช่น เสียงโน้ตตัวเดียวกัน จะมีคุณภาพเสียงแม้จะมีระดับเสียง ความเข้มเสียง และสีสันเสียงเหมือนกันทุกประการ เสียงร้องหรือเสียงพูดของคนก็เช่น เดียวกัน บางคนมีเสียงที่ทุ้มนุ่มนวล ในขณะที่อีกคนหนึ่งมีคุณภาพเสียงที่ก้องกังวาน

2.1.6 ความยาวเสียง (Duration)

ความยาวเสียง เป็นพื้นฐานของดนตรีที่เกี่ยวข้องกับระยะเวลา เสียงแต่ละเสียงที่เกิดขึ้นต้องมีระยะเวลาซึ่งทำให้เกิดเสียงยาว เสียงสั้น เสียงไม่ว่าจะมีระดับเสียงที่แน่นอนหรือไม่ ก็ต้องมีความยาวเข้ามาเกี่ยวข้อง ความยาวเสียงเป็นที่มาของจังหวะ ซึ่งมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในดนตรีของทุกชาติทุกภาษา ความยาวคลื่นในที่นี้ หมายถึง ความเงียบของตัวหยุดด้วย เนื่องจากดนตรีเป็นผลของกระบวนการเกิดเสียง (Sound) สลับกับความเงียบ (Silence) ไม่ว่าจะเป็นเสียงหรือความเงียบ ย่อมต้องมีความยาวหรือระยะเวลาทั้งสิ้น

2.2 การประมวลสัญญาณดิจิตอล (Digital Signal Processing)

2.2.1 สัญญาณต่อเนื่อง กับสัญญาณไม่ต่อเนื่อง

สัญญาณต่อเนื่อง (continuous-time signal) เป็นสัญญาณที่ค่าต่อเนื่องในทางเวลา ซึ่งเป็นสัญญาณที่เราพบเห็นในชีวิตประจำวัน อาทิ สัญญาณเสียง , สัญญาณไฟบ้าน 50 Hz โดยที่ถ้าแทนสัญญาณด้วย x และแทนเวลาด้วยสัญลักษณ์ t จะกล่าวได้ว่า x เป็นฟังก์ชั่นของ t หรือ x มีค่าที่เวลาใดๆ เขียนแทนสัญลักษณ์นี้ได้ว่า x(t) ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นที่ต่อเนื่อง โดยสัญญาณต่อเนื่องเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สัญญาณอนาลอก (analog signal)

สัญญาณไม่ต่อเนื่อง (discrete-time signal) เป็นสัญญาณที่มีค่าเพียงบางจุดของเวลา โดยทั่วไปเกิดจากการสุ่มสัญญาณต่อเนื่องด้วยคาบเวลาของการสุ่มคงที่ โดยสมมติแทน n เป็นเวลาแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ต่อเนื่อง โดย n เป็นตัวแปรที่มีค่าเป็นจำนวนเต็มเท่านั้น คือ ..., -2 , -1, 0, 1, 2, ... และสัญญาณไม่ต่อเนื่องจะเป็นฟังก์ชั่นของ n ดังนั้นเขียนแทนสัญลักษณ์นี้ได้ว่า x(n)

2.2.2 สัญญาณเสียงดิจิตอล

ในส่วนคำว่าสัญญาณดิจิตอลนั้น ก็คือ สัญญาณแบบไม่ต่อเนื่อง ที่แต่ละค่าของสัญญาณถูกแทนด้วยค่าเลขฐานสองที่มีจำนวนบิตจำกัด อยู่ในรูป 0 กับ 1 เช่น 00110110, 00111000

ในอดีตสัญญาณเสียงต่างๆ จะถูกบันทึก และทำการประมวลผลในรูปของอนาลอก แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีสัญญาณเสียงดิจิตอลได้เข้ามามีบทบาทในเรื่องของเสียง และการบันทึกเสียงอย่างสูง การรักษาสัญญาณให้คงรูปอยู่ตลอดไป ซึ่งเป็นข้อดีของระบบดิจิตอล ที่ทำให้มันเข้ามาแทนที่ระบบอนาลอก และ การที่เราสามารถทำสัญญาณเสียงให้อยู่ในรูปดิจิตอลได้ ทำให้เราสามารถสร้างและดัดแปลง แก้ไขสัญญาณได้ง่ายโดยการช่วยเหลือจากคอมพิวเตอร์

2.3 การแปลงฟูเรียร์

ให้สัญญาณ $x(t)$ เป็นสัญญาณไม่มีคาบเวลา จะนิยามการแปลงอนุกรมฟูเรียร์ด้วยสัญลักษณ์ $\mathbf{F}$ ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$X(\omega) = \mathbf{F}[x(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t}dt \qquad (2.1)$$

จากสมการข้างต้นสามารถแปลงสัญญาณดังกล่าวจากโดเมนความถี่กลับมาเป็นโดเมนเวลาได้โดยใช้อินเวิร์ของการแปลงฟูเรียร์ ซึ่งใช้สัญญลักษณ์เป็น $\mathbf{F}^{-1}$ มีรูปแบบดังสมการข้างล่าง

$$x(t) = \mathbf{F}^{-1}[X(\omega)] = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} X(\omega)e^{j\omega t}d\omega \qquad (2.2)$$

จากสมการที่ 2.19 และ 2.20 เรียกว่าคู่การแปลงฟูเรียร์

$$x(t) \longleftrightarrow X(\omega) \qquad (2.3)$$

ซึ่งสามารถเขียน $X(\omega)$ ในรูปของแอมปลิจูดและเฟสได้ดังสมการข้างล่าง คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X(\omega) = |X(\omega)| e^{-j\theta(\omega)} \tag{2.4}$$

เมื่อ $x(t)$ เป็นจำนวนจริง จะพบว่า

$$X(-\omega) = X^*(\omega) = |X(\omega)| e^{-j\theta(\omega)} \tag{2.5}$$

และ

$$|X(-\omega)| = |X(\omega)| \tag{2.6}$$

และ

$$\theta(-\omega) = -\theta(\omega) \tag{2.7}$$

2.4 คุณสมบัติการแปลงฟูเรียร์

2.4.1 คุณสมบัติเชิงเส้น (Linearity หรือ Superposition)

$$a_1 x_1(t) + a_2 x_2(t) \longleftrightarrow a_1 X_1(\omega) + a_2 X_2(\omega) \tag{2.8.1}$$

เมื่อ a_1 และ a_2 เป็นค่าคงที่

2.4.2 คุณสมบัติไทม์ชิปติ้ง(Time Shifting)

$$x(t - t_0) \longleftrightarrow X(\omega) e^{-j\omega t_0} \tag{2.8.2}$$

2.4.3 คุณสมบัติฟรีเควนซีชิปติ้ง(Frequency Shifting)

$$x(t) e^{j\omega t_0} \longleftrightarrow X(\omega - \omega_0) \tag{2.8.3}$$

2.4.4 คุณสมบัติสเกลลิ่ง (Scaling)

$$x(at) \longleftrightarrow \frac{1}{|a|} X\left(\frac{\omega}{a}\right) \tag{2.8.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 คุณสมบัติไทม์รีเวอร์ซอล

$$x(-t) \longleftrightarrow X(-\omega) \tag{2.8.5}$$

2.4.6 คุณสมบัติดูอัลลิตี้

$$X(t) \longleftrightarrow 2\pi x(-\omega) \tag{2.8.6}$$

2.5 การวิเคราะห์ฟูเรียร์ (Fourier Analysis)

การแทน Signal (function) ด้วย Fourier สำหรับการประมวลผลสัญญาณทั้งต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง เป็นวิธีการ mapping signal จาก โดเมนหนึ่งไปยังอีกโดเมนหนึ่ง (โดเมนความถี่) DTFT ถ้า $x(n)$ สามารถหาผลรวมของค่าสมบูรณ์ นั่นคือ

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} |x(n)| < \infty \tag{2.9}$$

ดังนั้น DTFT ของ $x(n)$ ซึ่งเขียนนิยามได้ดังนี้

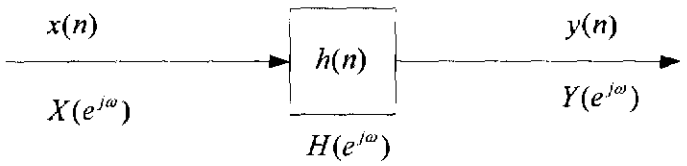
$$\begin{aligned} X(e^{j\omega}) &= F[x(n)] \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) \cdot e^{j\omega \cdot n} \end{aligned} \tag{2.10}$$

และผลการแปลงกลับ IDTFT ของ $x(e^{j\omega})$ คือ

$$x(n) = F^{-1}[X(e^{j\omega})] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(e^{j\omega}) e^{j\omega n} d\omega \tag{2.11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 การวิเคราะห์ฟูเรียร์ของระบบ LTI (Fourier Domain (Analysis) of LTI System)



รูปที่ **2.1** แสดงระบบ LTI

ผลลัพธ์ตอบสนองใน TD

$$y(n) = h(n) \otimes x(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(k) \cdot x(n-k)$$

$$= \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(k) \cdot e^{j\omega(n-k)} = e^{jn\omega} \cdot \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(k) \cdot e^{j\omega(n-k)}$$

$$H(e^{j\omega}) \qquad (2.12)$$

จะได้ว่า

$$Y(e^{j\omega}) = H(e^{j\omega}) \cdot X(e^{j\omega}) \qquad (2.13)$$

จากคุณสมบัติของ F.T

$$y(n) = x(n) \otimes h(n)$$
$$Y(e^{j\omega}) = X(e^{j\omega}) \cdot H(e^{j\omega})$$

และให้

$$H(e^{j\omega}) = \frac{Y(e^{j\omega})}{H(e^{j\omega})} \quad : \text{Frequency Response (Transfer function ของระบบ)}$$

ดังนั้น เราสามารถหา $H(e^{j\omega})$ ได้จากการหา D.T.F.T ของ impulse response $(h(n))$ คือ

$$H(e^{j\omega}) = F[h(n)] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n) \cdot e^{j\omega n} \qquad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไป $H(e^{j\omega})$ เป็น complex-value ดังสมการ

$$\begin{aligned} H(e^{j\omega}) &= H_R(e^{j\omega}) + j \cdot H_I(e^{j\omega}) \\ &= \left|H(e^{j\omega})\right| \cdot e^{j\phi_H(\omega)} \end{aligned} \tag{2.15}$$

และ Magnitude squared response มีค่าคือ

$$\begin{aligned} \left|H(e^{jw})\right|^2 &= \left|H(e^{jw}) \cdot H^*(e^{jw})\right| \\ &= H_R^2(e^{jw}) + H_I^2(e^{jw}) \end{aligned} \tag{2.16}$$

และ Magnitude response ของ D.T.S ใดๆ คือ

$$\left|H(e^{jw})\right| = \left|H(e^{jw}) \cdot H^*(e^{jw})\right|^{1/2} \tag{2.17}$$

โดยที่ ผลตอบสนองทางเฟส(Phase response) ของ D.T.S ใดๆ คือ

$$\begin{aligned} \phi_H(\omega) &= \tan^{-1}\left[\frac{H_I(e^{j\omega})}{H_R(e^{j\omega})}\right] \\ &= \tan^{-1}\left[\frac{\mathrm{Im}\{H(e^{j\omega})\}}{\mathrm{Re}\{H(e^{j\omega})\}}\right] \end{aligned} \tag{2.18}$$

และ Group delay response ของ D.T.S ใดๆ คือ

$$\tau_H(\omega) = -\frac{d[\phi_H(\omega)]}{dw} \tag{2.19}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การหาสมการคำตอบของสมการสเตท

สำหรับระบบที่เป็น L.I.T จะมีสมการตัวแปรสถานะ (state variable equations) คือ

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A \cdot x(k) + b \cdot u(k) \\ x(n) &= C \cdot x(k) + d \cdot u(k) \end{aligned} \tag{2.20}$$

2.6.1 สมการสถานะ (State Equation) โดยจะกำหนดให้ค่าเริ่มต้น(initial value) ของ state vector ที่เวลาใดๆ สามารถที่หาได้ 2 สถานะ คือ

1. state ที่เวลาใดๆ k
2. Output ที่เวลาใดๆ k_0

กำหนดให้ที่เวลาใดๆ $k = k_0$ จะได้ และ n = interior value โดยที่ $n = 0,1,2,....$ และ ที่ $k = k_0$ จะได้ว่า

$$x(k_0+1) = A \cdot x(k_0) + b \cdot u(k) \tag{2.21}$$

ที่ $k = k_0 + 1$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} x(k_0+2) &= A \cdot x(k_0+1) + b \cdot u(k_0+1) \\ &= A \cdot [A \cdot x \cdot (k_0) + b \cdot u(k_0)] + b \cdot u(k_0+1) \\ &= (A^2) \cdot x(k_0) + (Ab) \cdot u(k_0) + (b) \cdot u(k_0+1) \end{aligned} \tag{2.22}$$

และที่เวลา $k_0 + n$ ใดๆ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} x(k_0+n) = \mathrm{A}^n \cdot x(k_0) + A^{(n-1)} \cdot b \cdot u(k_0) + A^{(n-2)} \cdot b \cdot u(k_0+1) + \\ \mathrm{A} \cdot b \cdot u(k_0+n\text{-}2) + b \cdot u(k_0+n\text{-}1) \end{aligned} \tag{2.23}$$

แทนค่า $k_0 + n$ จะได้

$$\begin{aligned} x(k_0+n) = A^n \cdot x(k_0) + A^{(n-1)} \cdot b \cdot u(k_0) + A^{(n-2)} \cdot b \cdot u(k_0+1) + \\ A \cdot b \cdot u(k_0+n\text{-}2) + b \cdot u(k_0+n\text{-}1) \end{aligned} \tag{2.24}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าระบบ L.T.I ไม่มีการสูญเสีย (loss) ใดๆ เรากำหนดให้ initial state ที่เวลาใดๆ คือ

$$x(k) = A^k \cdot x(0) + \sum_{i=0}^{k-1} A^{k-i-1} \cdot b \cdot u(i) \quad ; \; k_0 = 0 \tag{2.30}$$

ดังนั้นในทำนองเดียวกันเราจะได้สมการ output response คือ

$$y(k) = \mathrm{C} \cdot \mathrm{A}^{\mathrm{k-k}_0} \cdot x(k_0) + C \cdot \sum_{i=0}^{k-1} A^{k-i-1} \cdot b \cdot u(i) + d \cdot u(k) \tag{2.31}$$

2.6.3 การตอบสนองต่ออิมพัลซ์และการหาสมการตอบสนองอิมพัลซ์

การตอบสนองสัญญาณอิมพัลซ์ของระบบ LTI สามารถนิยามได้จากการตอบสนองของระบบเมื่อป้อนสัญญาณอิมพัลซ์ $\delta(t)$ เข้าไปเพื่อเป็นสัญญาณอินพุท คือ

$$h(t) = \mathrm{T} \quad [\delta(t)] \tag{2.32}$$

ฟังก์ชั่น $h(t)$ จะมีค่าเป็นอะไรก็ได้ เรียกว่าอบิทาริ (Arbitrary)และไม่จำเป็นต้องเท่ากับศูนย์ที่เวลา $t < 0$ ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากว่า $h(t) = 0$ ที่เวลา $t < 0$ จะเรียกว่าเป็นเคาซัวล์(Causal)

การหาสมการ Impulse response ทำได้โดยให้ $\delta(0) = u(k)$ และพิจารณาจากสมการ state และเอ้าพุทจะได้ว่า

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A \cdot x(k) + b \cdot u(k) \\ y(n) &= C \cdot x(n) + d \cdot u(n) \end{aligned} \tag{2.33}$$

สมมติให้ ฟิลเตอร์ถูกเริ่มจากการ initial จะได้ $x(0) = 0$

และที่

$$k = 0 \quad x(1) = A \cdot x(0) + b \cdot u(0) \quad 0 + b \cdot \delta(t) = b$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$k(0) \qquad x(2) = A \cdot x(1) + b \cdot u(0) \qquad A \cdot [A \cdot x(0) + b \cdot \delta(0)] + b \cdot u(1)$$

$$= A \cdot b + d \cdot u(1) \quad = \quad A \cdot b$$

From difinition of delta fometion

$$y(2) = C \cdot x(1) + d \cdot \delta(1) \quad = \quad C \cdot [A \cdot x(0) + b \cdot \delta(0)] = C \cdot b = C \cdot A^0 \cdot b$$

และที่ $k = 2$ จะได้ว่า

$$x(3) = Ax(2) + bu(2) \quad = A^2 \cdot b$$

$$y(2) = Cx(2) + d \cdot \delta(2) = C \cdot A \cdot b$$

สรุปได้ว่า

$$x(k) = A^{k-1} \cdot b$$

ดังนั้น

$$y(k) = C \cdot x(k) + d \cdot u(k) = C \cdot A^{(k-1)} \cdot b \qquad (2.34)$$

และ เมื่อพิจารณา $h(k)$ จะสามารถแยกเป็น 2 กรณี

$$h(k) = d \qquad ; k = 0 \qquad (2.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$h(k) = C \cdot A^{(k-1)} \cdot b \qquad ;k \neq 0 \;\; ;k > 0 \tag{2.36}$$

2.7 Sampling Rate Alteration

การสร้างซีเควน $y[n]$ ใหม่ ที่มีแซมปิงเรทเป็น F_T' ซึ่งอาจมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าอัตราแซมปิงเดิมคือ F_T ซึ่งมีซีเควนเป็น $x[n]$ แล้ว Sampling Rate Alteration Ratio แทนด้วยสัญลักษณ์ R จะได้ว่า

$$R = \frac{F_T'}{F_T} \tag{2.37}$$

ถ้า $R > 1$ จะเรียกกระบวนการนี้ว่า อินเทอโพเรชั่น (Interpolation)

ถ้า $R < 1$ จะเรียกว่าเป็นเดซิเมชั่น(Decimation)

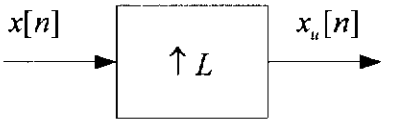
ซึ่งสามารถแบ่งแซมปิงออกเป็น 2 ชนิดได้แก่

2.7.1 แซมปิงเพิ่ม (Up-Sampling)

จะสามาถนิยามได้ค่าระยะทางที่เป็นจำนวนจริง แทนด้วย L ที่มีค่ามากกว่าหนึ่ง และให้ $L-1$ เป็นระยะของแซมเปลอ Zero-Valued ซึ่งจะเรียกว่าตัวแซมเปลอบน(up-sampler) ระหว่างสองแซมเปลอคอนเซ็คคิวทิฟ(Consecutive Sampler)ของอินพุทซีเควน $x[n]$ จะได้ว่า

$$x[n] = \begin{cases} x[n/L] & ;n = 0, \pm L, \pm 2L, \ldots \\ 0 & : \text{อื่นๆ} \end{cases} \tag{2.38}$$

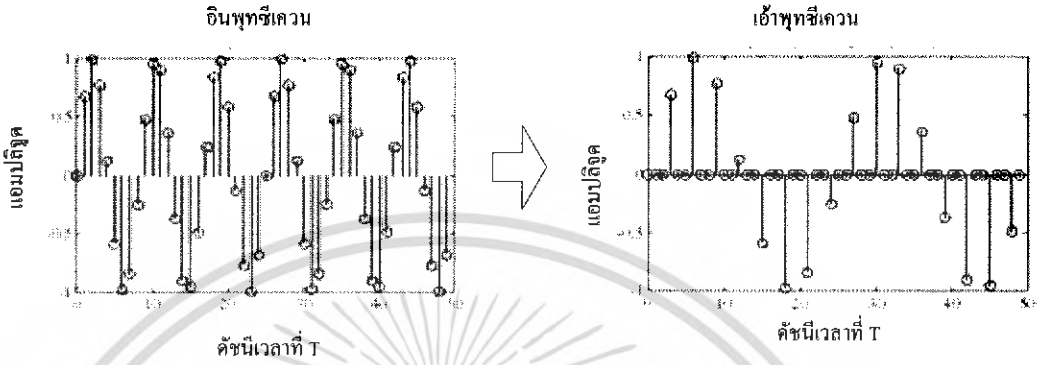
ซึ่งสามารถแสดงเป็นโครงสร้างได้ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 2.2 แสดงแผนผังโครงสร้างแซมปิงแบบเพิ่ม(Up-Sampling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

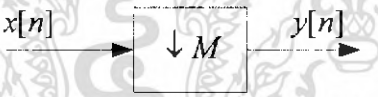
กราฟข้างล่างเป็นกราฟแสดงผลของการแซมปิงแบบบน ซึ่งการป้อนสัญญาณอินพุทซีเควนแบบเพิ่มที่มีแอมปลิจูดค่าหนึ่ง ในช่วงเวลาหนึ่ง แล้วจะได้ผลดังต่อไปนี้



รูปที่ **2.3** กราฟแสดงผลลัพธ์การแซมปิงสัญญาณแบบเพิ่ม(Up-Sampling)

2.7.2 แซมปิงแบบลด

นิยามได้ว่าเป็นจำนวนจริง M ที่มีค่ามากกว่าหนึ่ง อินพุทซีเควนอันดับที่ M^{th} ทุกๆค่าจะถูกเก็บค่าเอาไว้ ส่วนค่าอินพุทซีเควนที่ $M-1$ จะถูกเอาออกระหว่างที่มีทำแซมเปิล ดังโครงสร้างดังรูปข้างล่าง



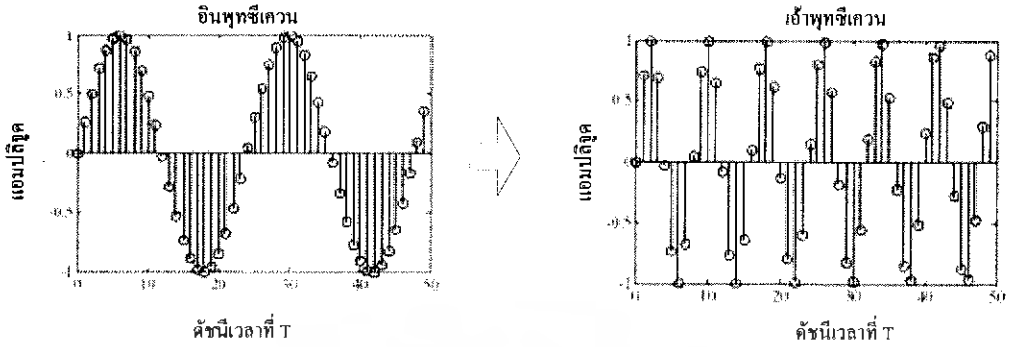
รูปที่ **2.4** แผนผังโครงสร้างของแซมปิงแบบลด(Down-Sampling)

ซึ่งจากนิยามสามารถสรุปได้ว่า

$$y[n] = x[nM] \tag{2.39}$$

กราฟข้างล่างเป็นกราฟแสดงผลของการแซมปิงแบบล่าง ซึ่งการป้อนสัญญาณอินพุทซีเควนแบบบนที่มีแอมปลิจูดค่าหนึ่ง ในช่วงเวลาหนึ่ง แล้วจะได้ผลดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ **2.5** กราฟแดงผลลัพธ์การแซมปิงสัญญาณแบบลด(Down-Sampling)

2.8 วงจรกรองความถี่และผลตอบสนอง

ฟิลเตอร์ คือ ระบบที่ค่าตอบสนองทางความถี่ $H(\omega)$ มีนัยสำคัญอยู่ในช่วงใดช่วงหนึ่งที่เท่านั้นโดยสามารถแบ่งเป็น 4 ประเภท ตามย่านความถี่ผ่านได้ ดังนี้

2.8.1 ฟิลเตอร์ความถี่ต่ำผ่านในย่านอุดมคติ

$$H_{LPF}(\omega) = \begin{cases} e^{-j\omega t_d} & ;|\omega| \le \omega_c \\ 0 & ;|\omega| \quad \text{อื่นๆ} \end{cases} \tag{2.40}$$

2.8.2 ฟิลเตอร์ความถี่สูงผ่านในย่านอุดมคติ

$$H_{HPF}(\omega) = \begin{cases} e^{-j\omega t_d} & ;|\omega| \ge \omega_c \\ 0 & ;|\omega| \quad \text{อื่นๆ} \end{cases} \tag{2.41}$$

2.8.3 ฟิลเตอร์แถบความถี่ผ่านในย่านอุดมคติ

$$H_{BPF}(\omega) = \begin{cases} e^{-j\omega t_d} & ;\omega_{c_1} \le |\omega| \le \omega_{c_2} \\ 0 & ;|\omega| \quad \text{อื่นๆ} \end{cases} \tag{2.42}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.8.4 ฟิลเตอร์แถบหยุดความถี่ผ่านในย่านอุดมคติ

ฟิลเตอร์ประเภทนี้จะมีการตัดส่วนประกอบในช่วง ω_{c_1} และ ω_{c_2} ออกไปและยอมให้ส่วนประกอบสัญญาณที่เหลือผ่านไปได้โดยไม่การผิดเพี้ยนของสัญญาณแต่อย่างใด

2.9 ADC และ DAC

สัญญาณที่ใช้ในอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ มี 2 ชนิด คือ สัญญาณอนาล็อก และ สัญญาณดิจิตอล สัญญาณอนาล็อก จะใช้ใน อุปกรณ์ทั่วๆ ไป และใช้ในการควบคุมแบบเก่า

ในปัจจุบันมีไมโครโปรเซสเซอร์ และ ไมโครคอนโทรลเลอร์ นั้นเข้ามาช่วยในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย ซึ่งทำให้การควบคุมนั้นทำได้ง่าย และรวดเร็วยิ่งขึ้น แต่ในการควบคุมนั้นเราจำเป็นต้องใช้ สัญญาณดิจิตอลในการติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่ง แต่ในความเป็นจริงนั้น เราใช้สัญญาณอนาล็อกในการควบคุม ดังนั้นเราจึงจำเป็น ต้องมีการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิตอล แล้วจึงนำสัญญาณนั้นเข้ามาสู่ไมโครโปรเซสเซอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ควบคุมระบบต่อไป

แม้ว่าสัญญาณอนาล็อกนั้นมีความแน่นอน และแม่นยำสูง แต่สัญญาณอนาล็อกนั้นก็ควบคุมได้ยาก เนื่องจากในสภาพแวดล้อม มีสัญญาณรบกวนอยู่มาก และการที่จะทำให้ การควบคุมแบบอนาล็อก มีความสามารถควบคุม เท่ากับการควบคุมแบบดิจิตอลนั้น ทำได้ยาก เนื่องจากวงจรควบคุมแบบ อนาล็อกจะต้องมีความซับซ้อนสูง

อย่างไรก็ตาม สัญญาณดิจิตอลก็ไม่สามารถทดแทนความละเอียดของสัญญาณอนาล็อก ได้อย่างสมบูรณ์ แต่ทำให้การควบคุมนั้นทำให้ง่าย และสะดวกยิ่งขึ้น

2.9.1 การแปลงสัญญาณอนาล็อก-ดิจิตอล (Analog to Digital Converter)

Analog-to-digital conversion เป็นกระบวนการอีเลคโทรนิคส์ ที่สัญญาณแปรผันต่อเนื่อง (analog) ได้รับการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิตอล โดยไม่มีการลบข้อมูลสำคัญ สิ่งที่นำเข้า analog-to-digital converter (ADC) ประกอบด้วย ความต่างศักดิ์ (voltage) ที่แปรผันระหว่างค่าทางทฤษฎี เช่น คลื่น sine ซึ่งเป็นรูปแบบคลื่นที่ แสดงการพูดของคน และ รูปแบบสัญญาณกล้องโทรทัศน์แบบดั้งเดิม ผลลัพธ์ของ ADC มีลักษณะตรงข้าม คือ กำหนดระดับหรือสถานะ ตัวเลขของสถานะมักจะเป็นการยกกำลังของ 2 คือ 2, 4, 8, 16 เป็นต้น สัญญาณดิจิตอลพื้นฐานมี 2 สถานะและเรียกว่า binary ตัวเลขทั้งหมดสามารถแสดงในรูปของไบนารี ในฐานะข้อความของ หนึ่งและศูนย์ สัญญาณดิจิตอล แพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
72289

ได้มีประสิทธิภาพมากกว่าสัญญาณอะนาล็อก ใหญ่กว่าเพราะ digital impulse ซึ่งกำหนดได้และมีลำดับ ทำให้ง่ายกับวงจรอีเลคโทรนิคส์ในกำจัดสิ่งรบกวน (noise) สิ่งนี้เป็นข้อได้เปรียบสำคัญของโหมดดิจิตอล ในด้านโทรคมนาคม คอมพิวเตอร์ "พูด" และ "คิด" ในรูปแบบข้อมูลไบนารี ไมโครโพรเซสเซอร์สามารถวิเคราะห์ข้อมูลอะนาล็อก โดยการแปลงข้อมูลให้เป็น รูปแบบดิจิตอล จากคอมพิวเตอร์เพื่อทำให้สามารถประมวลผลได้

โมเด็มโทรศัพท์ เป็นแบบฉบับการใช้ ADC ในการแปลงสัญญาณเสียงนำเข้า จากสายโทรศัพท์ให้เป็นสัญญาณที่คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจได้ ในระบบการประมวลผลสัญญาณดิจิตอล ADC มีความจำเป็น ถ้าสัญญาณนำเข้าเป็นอะนาล็อก

การแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็น สัญญาณดิจิตอล มีประโยชน์มาก ในการควบคุมอุปกรณ์สวิตชิ่ง ซึ่งมีลักษณะการแปลงสัญญาณได้หลายวิธี แต่ ละวิธีจะมีอัลกอริทึม ความรวดเร็วในการทำงาน และการใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่างกันด้วย ทำให้ขนาด และ ราคาต่างกัน ขึ้นกับความต้องการของผู้ใช้ที่จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับงานที่ใช้ และงบประมาณที่มีอยู่

2.9.2 การแปลงสัญญาณทางดิจิตอลเป็นอะนาล็อก (Digital to Analog Converter)

digital-to-analog conversion เป็นกระบวนการซึ่งสัญญาณมีการกำหนดระดับ หรือสถานะจำนวนหนึ่ง(ปกติ คือ 2 สถานะ) หรือสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณที่ไม่จำกัดจำนวนของสถานะหรือสัญญาณอะนาล็อก ตัวอย่างเบื้องต้นคือกระบวนการของโมเด็มในการแปลงข้อมูลคอมพิวเตอร์เป็นความถี่เสียง (audio frequency หรือ AF) ให้สามารถส่งผ่านสายโทรศัพท์ twisted pair ในวงจรที่ทำงานให้กับฟังก์ชันนี้ เรียกว่า digital-to-analog converter (DAC) โดยพื้นฐาน digital-to-analog conversion ตรงข้ามกับ analog-to-analog conversion ในกรณีส่วนมาก ถ้า analog-to-analog converter (ADC) วางอยู่ในวงจรการสื่อสารต่อจาก DAC สัญญาณดิจิตอลส่งออก จะตรงกับสัญญาณดิจิตอลนำเข้า ในกรณีที่ DAC วางอยู่ในวงจรต่อจาก ADC สัญญาณอะนาล็อกส่งออกจะเป็นตรงกับสัญญาณอะนาล็อกนำเข้าสัญญาณดิจิตอล แบบ binary จะปรากฏเป็นข้อความขนาดยาวของ 1 และ 0 ซึ่งจะไม่มีความหมายต่อการอ่าน แต่เมื่อ DAC ใช้ถอดรหัสสัญญาณดิจิตอลแบบ binary จึงปรากฏผลลัพธ์ที่มีความหมาย ซึ่งอาจจะเป็น เสียง ภาพ เสียงดนตรี และกลไกการเคลื่อน ทั้ง DAC และ ADC มีความสำคัญในการประยุกต์ บางอย่างของการประมวลผลสัญญาณดิจิตอล ความฉลาดหรือว่าความซื่อตรง ของสัญญาณอะนาล็อก สามารถปรับปรุงโดยการแปลงการ นำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะนาล็อกในรูปดิจิตอล โดยใช้ ADC และปรับปรุงสัญญาณดิจิตอล แล้วจึงแปลงสัญญาณดิจิตอล "ที่ทำความสะอาดแล้ว" กลับไปเป็นสัญญาณอะนาล็อกด้วย DAC

เมื่อนำระบบดิจิตอล หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ มาใช้ควบคุม อุปกรณ์ทางอะนาล็อก เหล่านี้ จึงต้องมีวงจรซึ่ง สามารถแปลงสัญญาณทางดิจิตอล เป็นระดับแรงดันต่อเนื่อง แบบ อะนาล็อก ตั้งแต่ศูนย์โวลต์จนถึงระดับสูงสุดที่ กำหนดไว้ เรียกว่าวงจร Digital to Analog Converter (DAC)

2.10 Convolution

สมการ Convolution ที่แสดงความสัมพันธ์ เอาต์พุทของ y(t), of a linear, time-invariant system to its input, x(t), and impulse response, h(t).

$$y(t) = x(t) * h(t) = h(t) * x(t) \tag{2.43}$$

สมการต่อไปคือสมการแสดงความสัมพันธ์ซึ่งใช้อธิบาย familiar convolution integral.

$$y(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(k)\, x(n-k) \tag{2.44}$$

คุณสมบัติของการ Convolution

$$x(n) * h(n) = h(n) * x(n) \tag{2.45}$$

$$\{x(n) * h_1(n)\} * h_2(n) = x(n) * \{h_1(n) * h_2(n)\} \tag{2.46}$$

$$x(n) * \{h_1(n) + h_2(n)\} = x(n) * h_1(n) + x(n) * h_2(n) \tag{2.47}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 Direct form

พิจารณา FIR ลำดับที่ M กับ impulse response h(n), n = 0, 1…. M

โดยแทนด้วยสมการ

$$h = [h0, h1, \ldots hM]$$

สมการ convolution of length-L ให้อินพุทเป็น x กับ order-M เป็นฟิลเตอร์ เราจะได้ผลลัพธ์ของเอาต์พุทที่เป็นสมการ y(n) โดยค่า range of values คือ x คือ

$$y(n) = h(m)x(n-m) \tag{2.48}$$

โดยที่ค่าของ index of h(m) จะต้อง

$$0 <= m <= M$$

และค่าของ index of x(n-m) จะต้อง

$$0 <= n-m <= L-1$$

หรือ

$$m <= n <= L-1 + m$$

เขียน extend the limit to:

$$0 <= m <= n <= L - 1 + m <= L - 1 + M$$

หรือ

$$0 <= n <= L - 1 + M$$

ส่วนของ output sequence y(n) แทนด้วยสมการ

$$y = [y(0), y(1), \ldots, y(L-1+M)] \tag{2.49}$$

ส่วนของ length

$$L(y) = L + M$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีของ order-M FIR filter และ length-L จะเขียนเป็นสมการคอนโวลูชั่นในรูปของ direct form ได้เป็น

$$y(n) = \sum_{m=\max(0,\, n-L+1)}^{\min(n,M)} h(m)x(n-m) \qquad (2.50)$$

2.10.2 Convolution table

สามารถเขียนเป็นสมการของ convolution table form ได้เป็น

$$y(5) = \sum_{\substack{i,j \\ i+j=5}} h(i)x(j) = h(1)x(4) + h(2)x(3) + h(3)x(2) \qquad (2.51)$$

Convolution table จะทำให้สามารถคำนวณได้อย่างสะดวกและ รวดเร็ว

<u>ตัวอย่าง</u> การหาค่าสัญญาณที่เอ้าพุทของ filter กับ input signals โดยกำหนดให้

h = [1, 2, -1, 1] x = [1, 1, 2, 1, 2, 2, 1, 1]

<u>วิธีทำ</u>

h/x	1	1	2	1	2	2	1	1
1	1	1	2	1	2	2	1	1
2	2	2	4	2	4	4	2	2
-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-1	-1
1	1	1	2	1	2	2	1	1

จากตัวอย่างเราสามารถหาค่าได้คือ

y = [1, 3, 3, 5, 3, 7, 4, 3, 3, 0, 1]

และได้ค่าเอาต์พุตคือ

L(y) = L + M = 8 + 3 = 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 ทฤษฎีพื้นฐานของวงจรกรองความถี่แบบดิจิตอล

2.11.1 ความหมายของวงจรกรองความถี่แบบดิจิตอล

วงจรกรองความถี่แบบดิจิตอล คือกระบวนการที่ไปดัดแปลงของสัญญาณให้มีสเปกตรัมเป็นไปตามข้อกำหนดที่ต้องการ ซึ่งอาจเป็นการเพิ่มค่าหรือลดทอนค่าขนาดของสัญญาณในแถบความถี่ที่กำหนดให้ ซึ่งในการวิเคราะห์ และ สังเคราะห์วงจรนั้น ต้องใช้เครื่องมือพื้นฐานทางคณิตศาสตร์เข้าช่วย ดังนั้นเราจึงเรียกว่า วงจรกรองความถี่เชิงเลข

สาเหตุที่วงจรกรองความถี่เชิงเลขมีการนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างกว้างขวาง อาจมาจากข้อได้เปรียบหลายประการดังต่อไปนี้

1. คุณสมบัติของวงจรกรองความถี่ที่ออกแบบ เมื่อสร้างแล้วจะไม่ขยับเลื่อนไปตามสภาพแวดล้อมหรือตามอุณหภูมิ หรือตามระยะเวลาการใช้งาน
2. วงจรกรองความถี่เชิงเลข สามารถใช้งานในย่านความถี่ต่ำได้เป็นอย่างดี
3. ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่นั้น สามารถที่จะออกแบบให้มีความใกล้เคียงกับผลตอบสนองความถี่ที่กำหนดให้ หรือผลตอบสนองความถี่ที่ต้องการได้
4. การประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรกรองความถี่แบบปรับตัวได้ (Adaptive filter) ทำได้ง่าย
5. ถ้าพิจารณาในแง่มุมของเสถียรภาพของวงจรกรองความถี่ ความเชื่อถือได้ ราคา หรือขนาดของวงจรกรองความถี่เชิงเลข ซึ่งสิ่งเหล่านี้กำลังได้รับการพัฒนาและปรับปรุง และมีแนวโน้มว่าจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวงจรกรองความถี่แบบแอนะลอก (Analog filter)

2.11.2 ชนิดของตัวกรองดิจิตอล

วงจรกรองสัญญาณดิจิตอลสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของผลตอบสนองอิมพัลส์

1. วงจรกรองความถี่ดิจิตอลแบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดผลตอบสนองอิมพัลส์ (FIR)
2. วงจรกรองความถี่ดิจิตอลแบบผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัดผลตอบสนองอิมพัลส์ (IIR)

ตัวกรองดิจิตอลอาจจะแสดงในรูปสมการความแตกต่าง

$$y(n) = -a(1)y(n-1) + b(0)x(n) + b(1)x(n-1) \tag{2.52}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็น สมการความแตกต่างอันดับที่หนึ่ง

หรืออยู่ในรูป ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function)

$$H(z)=\frac{B(z)}{A(z)}=\frac{\sum_{k=0}^{q} b(k)z^{-k}}{1+\sum_{k=1}^{p} a(k)z^{-k}} \tag{2.53}$$

2.11.3 ตัวกรองอิมพัลส์จำกัด (Finite Impulse Response: FIR)

ตัวกรอง FIR จะให้ผลตอบสนองเชิงความถี่ที่มีเฟสแบบเชิงเส้น โดยสมบูรณ์ตลอดช่วงแถบผ่าน มักเป็นตัวกรองที่ไม่มีการป้อนกลับเป็นวงจรที่มีโครงสร้างง่ายๆ มีเสถียรภาพที่ดี แล ะมีความทนทานดีกว่าต่อความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ และ ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวน แต่มีข้อเสียที่จะให้วงจรกรองความถี่ที่อันดับสูง ถึงแม้จะต้องการให้มีลักษณะทางความถี่ที่ง่ายๆ ก็ตาม

2.11.4 ตัวกรองอิมพัลส์ไม่จำกัด (Infinite Impulse Response: IIR)

เป็นตัวกรองที่มีการป้อนกลับ เป็นวงจรที่ใช้อันดับต่ำกว่าวงจรกรองแบบ ผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัด ที่ความต้องการลักษณะทางความถี่เหมือนกันแต่การกรองจะยุ่งยากกว่า และมีปัญหาเรื่องความเสถียรภาพไม่ดีนัก

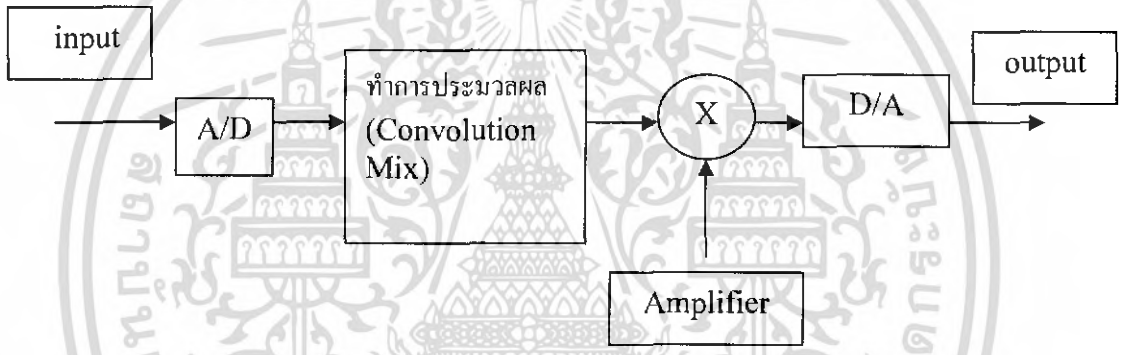
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบโครงงาน

จากที่ได้กล่าวไปแล้วในเรื่องของทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวกับโครงงาน ต่อไปจะเป็นการอธิบายถึงการออกแบบโครงงาน และส่วนต่างๆของโครงงาน โดยโครงงานนี้ใช้โปรแกรมแมกซ์-เอมเอสพี (MAX/MSP) ในการออกแบบโครงงาน

3.1 แผนผังการทำงานของโครงงาน

แผนผังการทำงานของโครงงานได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงาน

จากแผนผังการทำงานในรูปที่ 3.1 พบว่าการสร้างโครงงานนั้นประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

3.1.1 ส่วนของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D converter : ADC)

ในส่วนของนี้จะเป็นการแปลงสัญญาณอนาลอก (เสียง) ที่เข้ามาทางด้านอินพุตทำให้เป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อส่งไปประมวลผลต่อไป ในส่วนนี้เราจะทำการบันทึกเสียงของสภาพแวดล้อมต่างๆ ซึ่งเมื่อเราทำการบันทึกโดยใช้ โปรแกรม jet audio ซึ่งเป็นโปรแกรมเกี่ยวกับ การฟังเพลง เล่นเพลง ซึ่งจะมีส่วนที่สามารถบันทึกเสียงได้ซึ่งเมื่อทำการบันทึกเสียง เสียงที่ได้ก็จะทำการแปลงสัญญาณอนาลอก เป็นดิจิตอล แล้วเสียงที่เราได้ทำการบันทึกก็จะถูกนำไปแสดงที่ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกเสียงที่ต้องการจะทำการประมวลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ส่วนของการแปลงสัญญาณดิจิตอลอนาลอกเป็น (D/A converter :DAC)

ส่วนนี้จะเป็น การแปลงสัญญาณดิจิตอล ที่ได้จากการประมวลผล มาทำการแปลงเป็นสัญญาณอนาลอก หรือ เสียง ออกมาทางลำโพง ซึ่งส่วนนี้ การ์ดเสียง จะสามารถทำการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกได้

3.1.3 ส่วนของการประมวลผล

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ทำการประมวลผลทางเสียง ซึ่งส่วนนี้จะเป็นนำสัญญาณเสียงอินพุตที่ได้จากการบันทึกมาทำการประมวลผลโดยวิธีการ convolution ซึ่งผู้ใช้ ต้องเลือกเสียงที่อยากจะทำการประมวลผล โดยเลือกจากส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ ซึ่งเสียงที่เราได้ทำการบันทึกจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ sound จะเป็น จะเป็นเสียงหลัก หรือเสียงพูดปกติ และ background noise จะเป็นเสียงที่บันทึกจากสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น เสียงฝนตก เสียงตามสถานีรถไฟ เป็นต้น แล้วส่วนนี้ก็จะนำเสียงที่ผู้ใช้ได้ทำการเลือกไว้ มาการประมวลผลโดยการ convolution ก็จะได้เสียงเอ้าพุต เช่น จะได้เสียงคนพูดเวลาฝนตก เสียงคนพูดที่อยู่ตามสถานที่ต่างๆ เป็นต้น

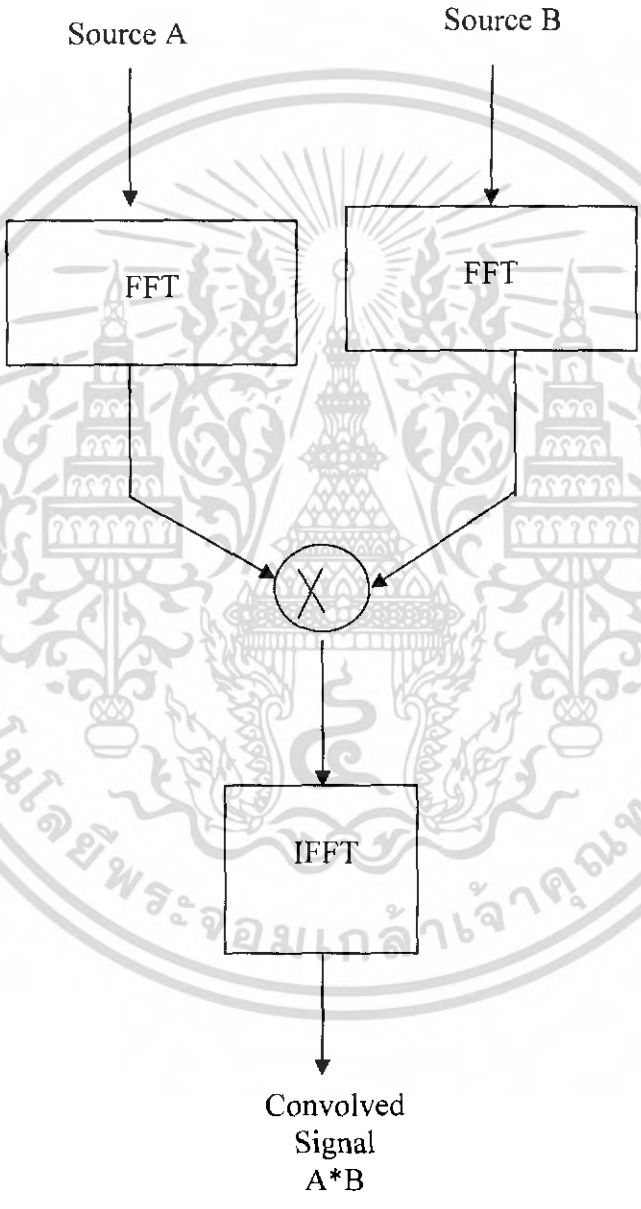
3.1.4 ส่วนขยายสัญญาณ (Amplifier)

ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่นำสัญญาณที่ได้จากการประมวล มาทำการปรับแต่ง ขนาดสัญญาณเสียง ด้วยส่วนขยายสัญญาณ ซึ่งเราจะสามารถปรับระดับความดัง ความเบา ของเสียง ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการทำงาน

แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงานของโปรแกรม แสดงได้ดังรูปที่ 3.2

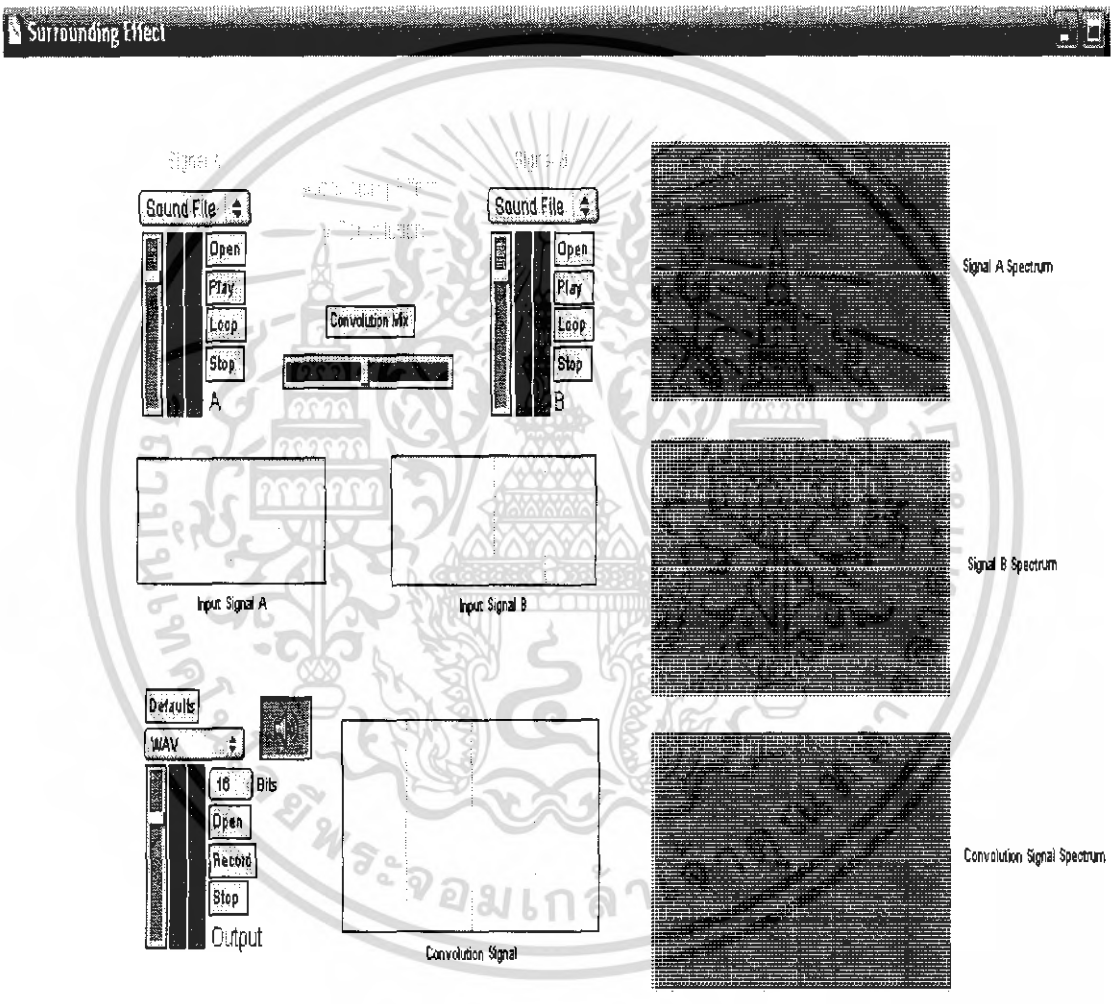


รูปที่ 3.2 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบโปรแกรม (user interface)

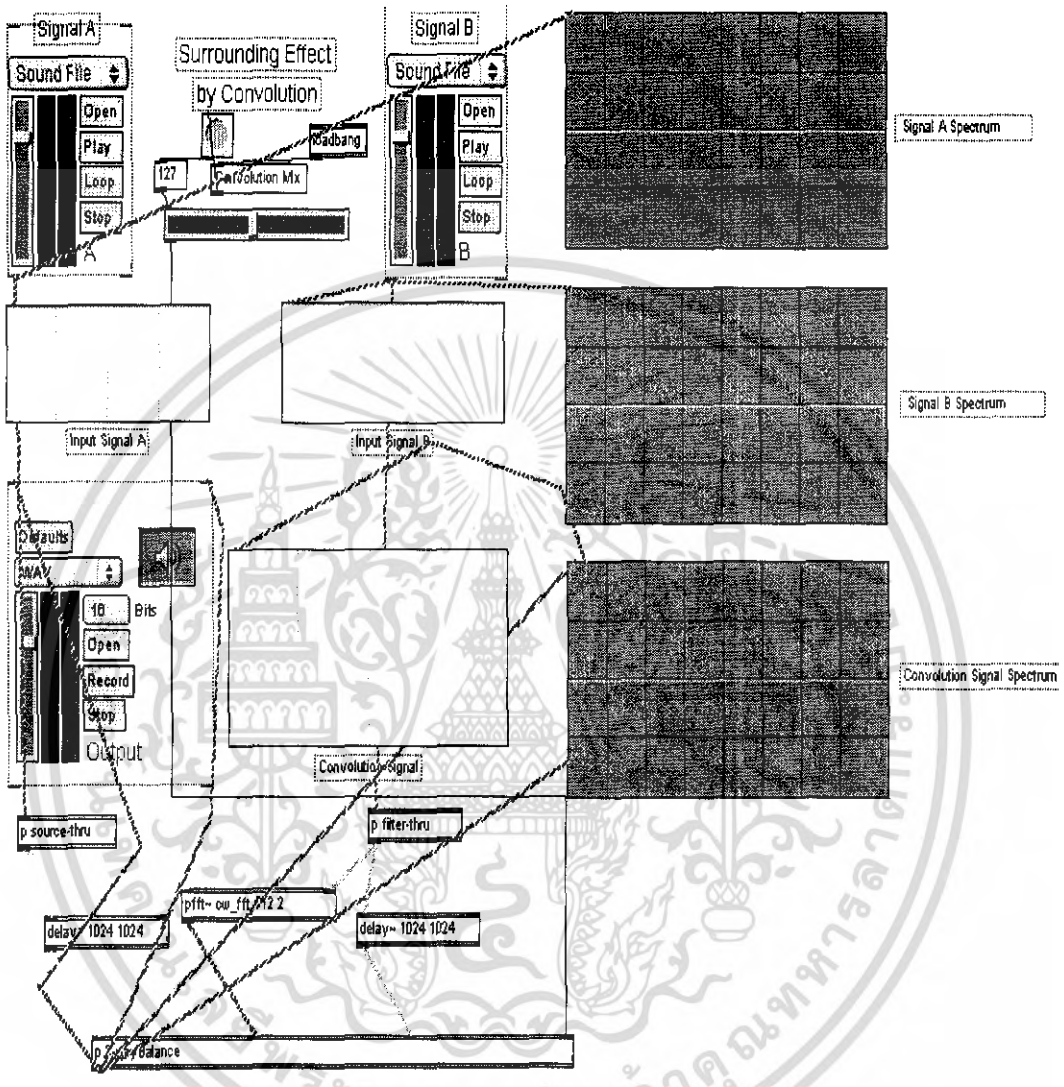
เมื่อทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรมแมกซ์-เอมเอสพี (MAX/MSP) แล้วจะได้รูปร่างของส่วนติดต่อกับผู้ใช้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างภายในของโปรแกรม

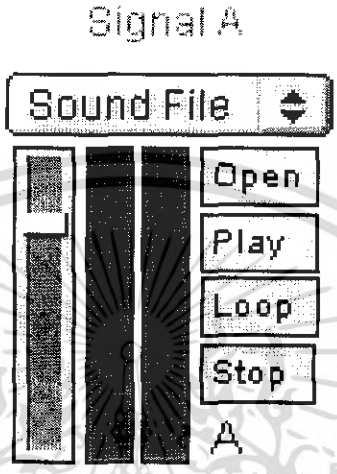


รูปที่ 3.4 โครงสร้างภายในของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 ส่วนประกอบภายในโปรแกรม

3.3.1.1 ส่วนของเสียงอินพุท เป็นส่วนที่จะเอาสัญญาณเสียง ทั้ง 2 สัญญาณ มาอินพุทเข้าสู่โปรแกรม ดังรูปที่ 3.5



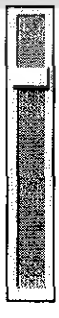
รูปที่ 3.5 ส่วนของอินพุทสัญญาณเสียง

ซึ่งส่วนของการนำสัญญาณเข้าอินพุทนี้ ประกอบด้วย

- ส่วนที่ใช้เลือกชนิดของอินพุท ซึ่งสามารถเลือกได้ 4 ประเภท ดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 อุปกรณ์เลือกชนิดของอินพุท

- ส่วนที่ใช้ในการปรับระดับของเสียง ซึ่งจะใช้ปรับระดับความดัง หรือเบาของเสียง



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ปรับระดับเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนที่ใช้ในการจัดการกับเสียง

รูปที่ **3.8** อุปกรณ์จัดการกับเสียง

ซึ่งอุปกรณ์ส่วนนี้จะประกอบด้วย

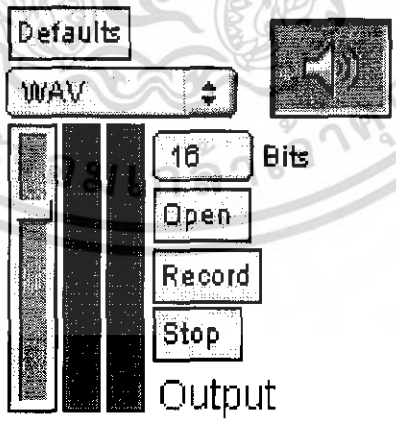
ปุ่ม Open คือปุ่มที่ใช้ในการเปิดเพลงที่ทำการบันทึกไว้

ปุ่ม Play ใช้ในการเริ่มเล่นเพลง

ปุ่ม Loop ใช้ในการสั่งให้เล่นเพลงแบบวนลูป

ปุ่ม Stop ใช้ในการสั่งให้ทำการหยุดเล่น

3.3.1.2 ส่วนของเสียงเอาท์พุท



รูปที่ **3.9** ส่วนของเสียงเอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของเสียงเอาท์พุทนี้ประกอบด้วย

- Defaults ปุ่มนี้เมื่อกดแล้วโปรแกรมจะทำการเซตตั้งค่ามาตรฐานที่เราทำการตั้งไว้

รูปที่ **3.10** อุปกรณ์ Defaults

- ส่วนที่ใช้ในการเลือกชนิดของไฟล์เพลงเพื่อจะทำการบันทึก ซึ่งในส่วนของโปรแกรมได้กำหนดให้สามารถรองรับได้ 2 แบบ คือไฟล์นามสกุล .WAV กับไฟล์นามสกุล .IAAF

รูปที่ **3.11** ส่วนกำหนดนามสกุลของไฟล์

- ส่วนที่ใช้ในการเปิด-ปิดเสียง

รูปที่ **3.12** อุปกรณ์เปิด-ปิดเสียง

- ส่วนที่ใช้ในการทำการบันทึก (Record) ไฟล์ที่ต้องการโดย

รูปที่ **3.13** อุปกรณ์การบันทึกเสียง

ซึ่งส่วนของการทำการบันทึกนี้จะประกอบด้วย

ปุ่ม Open ใช้ในการเปิดไฟล์ หรือกำหนดชื่อไฟล์ ที่ต้องการจะทำการบันทึก

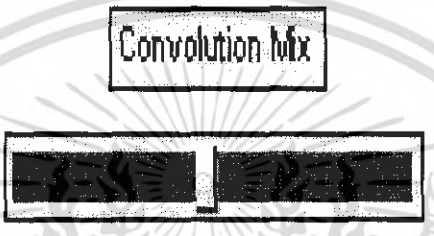
ปุ่ม Record ใช้ในการทำบันทึกไฟล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ่ม Stop ใช้ในการหยุดทำการบันทึก

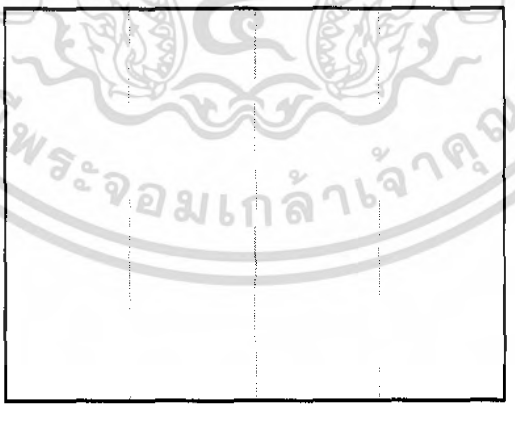
ปุ่ม Bits คือปุ่มที่บอกถึงความลึกของเสียง

3.3.1.3 ส่วนของการประมวลผล การ Convolution เสียงจากอินพุท 2 อินพุท โดยเมื่อกดที่ปุ่ม Convolution Mix เสียงทั้ง 2 เสียงจะทำการ Convolution กัน



รูปที่ **3.14** อุปกรณ์การ Convolution

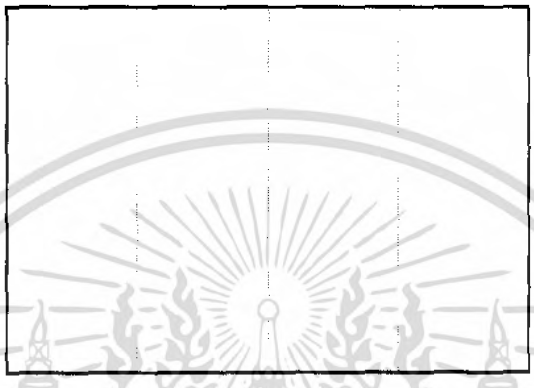
3.3.1.4 ส่วนของโปรแกรม Max/Msp ที่จะแสดงกราฟของสัญญาณอินพุท



รูปที่ **3.15** กราฟของสัญญาณอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.5 ส่วนของโปรแกรม Max/Msp ที่จะแสดงกราฟของสัญญาณ 2 สัญญาณที่ทำการ Convolution กัน



รูปที่ 3.16 กราฟของการ Convolution ของสัญญาณอินพุท

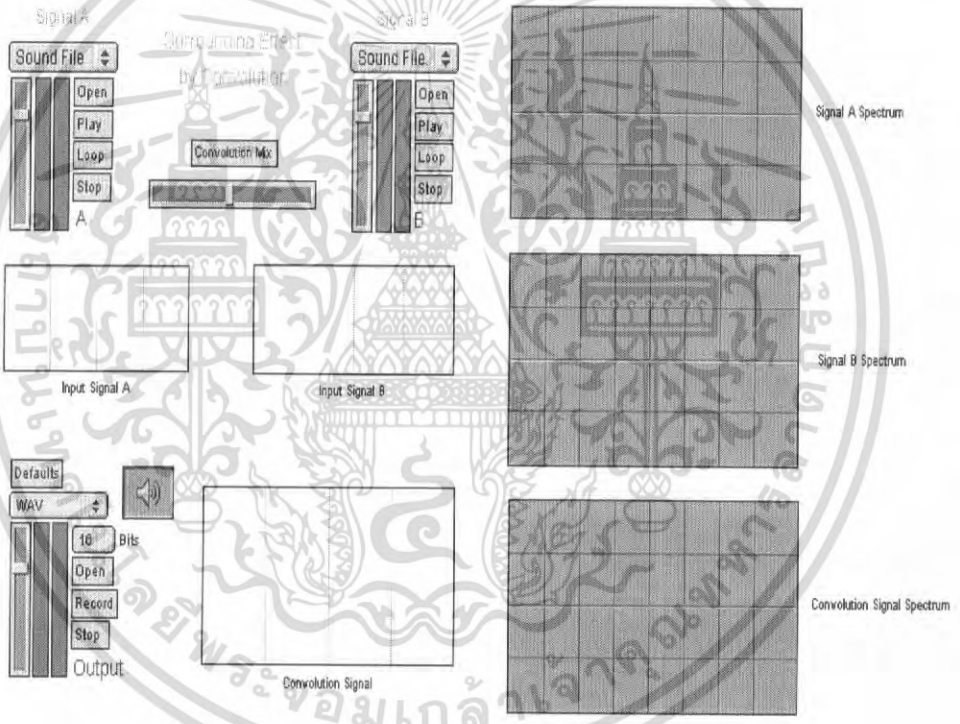
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การใช้งานและผลการทดลองใช้โปรแกรม

4.1 การใช้งานโปรแกรม

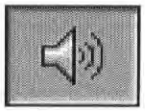
4.1.1 ขั้นตอนการใช้งาน

4.1.1.1 เปิดโปรแกรม "Surrounding Effect.exe"



รูปที่ **4.1** โปรแกรม Surrounding Effect.exe

4.1.1.2 กดเปิดการเล่นเสียงที่ปุ่มเปิด-ปิดการเล่นเสียง ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ **4.2** อุปกรณ์เปิด-ปิด การเล่นเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.3 ปรับระดับความดังเสียง กำหนดโดยใช้เมาส์เลื่อนขึ้น-ลง

รูปที่ **4.3** อุปกรณ์ระดับความดังเสียง

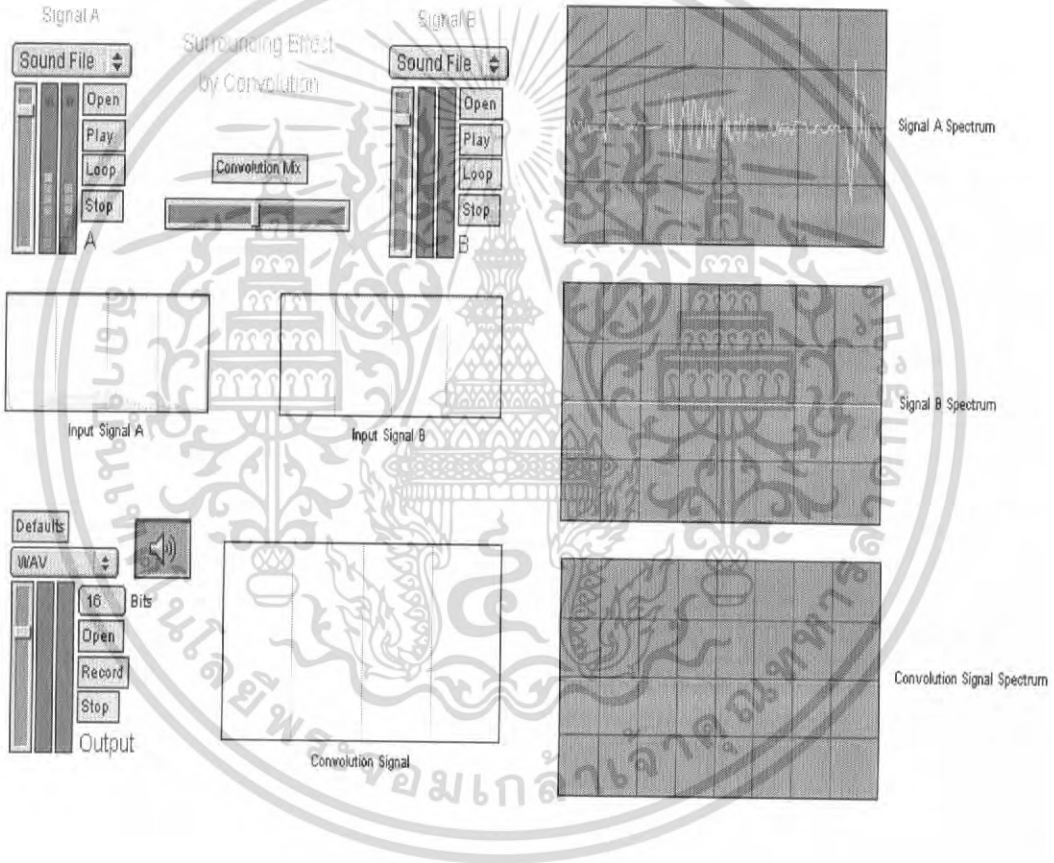
4.1.1.4 กดที่ปุ่ม Convolution Mix เพื่อทำการ Convolution กัน ระหว่างสัญญาณเสียง Signal A กับ สัญญาณเสียง Signal B

รูปที่ **4.4** อุปกรณ์แสดงการ Convolution

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองการใช้งานโปรแกรม

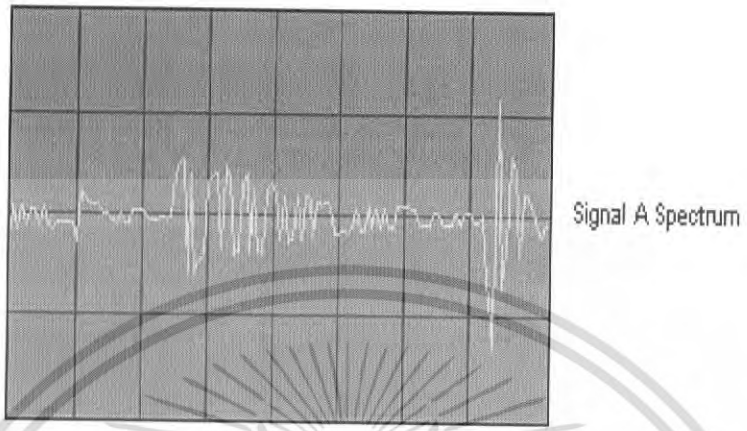
4.2.1 ทำการเล่นเสียง Signal A โดยการกดปุ่ม Open ที่ส่วนของ Signal A เพื่อเปิดไฟล์ที่ได้ทำการบันทึกไว้ แล้วกดปุ่ม Play เพื่อทำการเล่นไฟล์ที่ได้เลือกไว้ ซึ่งจะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.5



รูปที่ **4.5** แสดงการเล่นเสียง Signal A

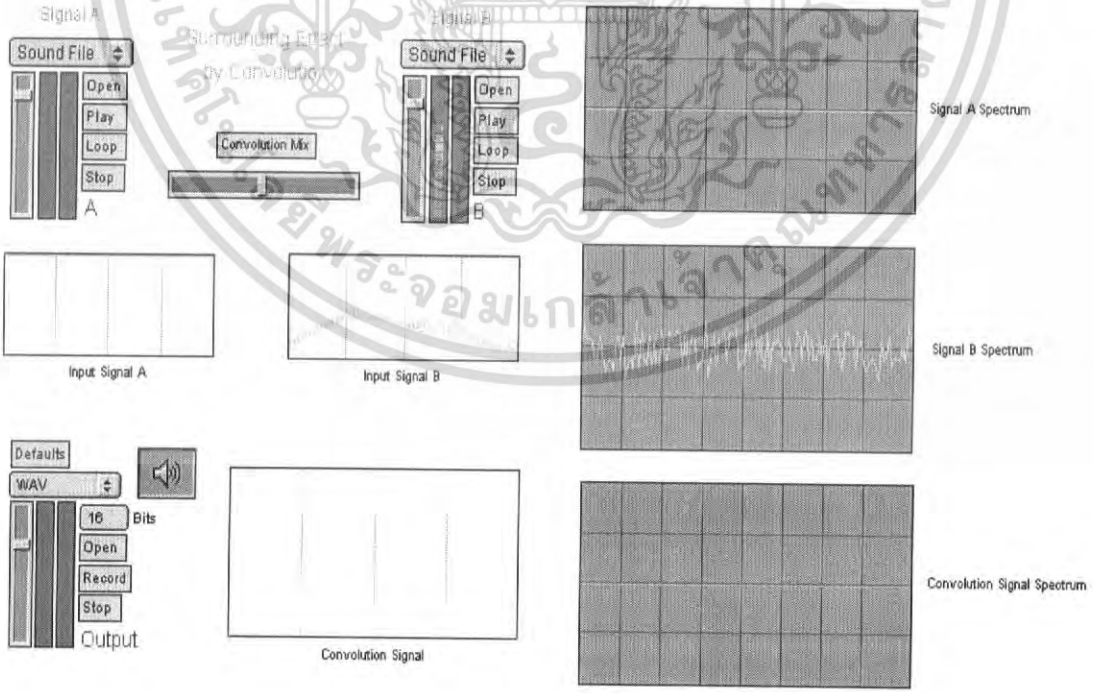
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเมื่อทำการเล่นเสียง Signal A จะได้กราฟแสดงสเปกตรัมของเสียง Signal A ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ **4.6** สเปกตรัมของเสียง Signal A

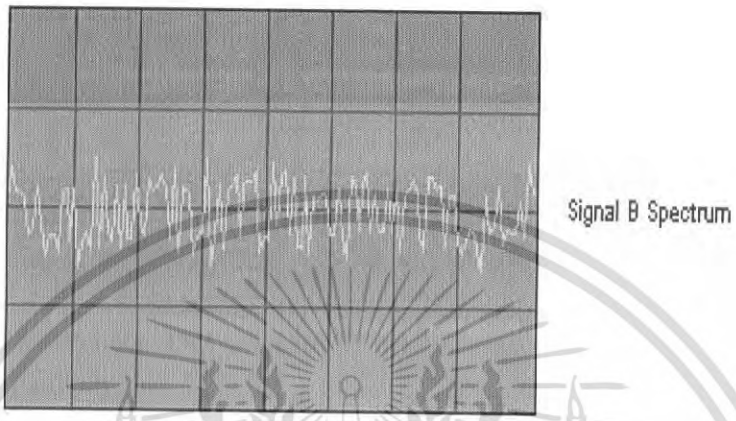
4.2.2 ทำการเล่นเสียง Signal B โดยการกดปุ่ม Open ที่ส่วนของ Signal B เพื่อเปิดไฟล์ที่ได้ทำการบันทึกไว้ แล้วกดปุ่ม Play เพื่อทำการเล่นไฟล์ที่ได้เลือกไว้ ซึ่งจะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.7



รูปที่ **4.7** แสดงการเล่นเสียง Signal B

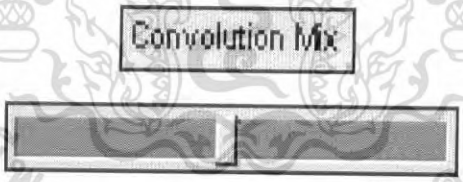
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเมื่อทำการเล่นเสียง Signal B จะได้กราฟแสดงสเปกตรัมของเสียง Signal B ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ **4.8** สเปกตรัมของเสียง Signal B

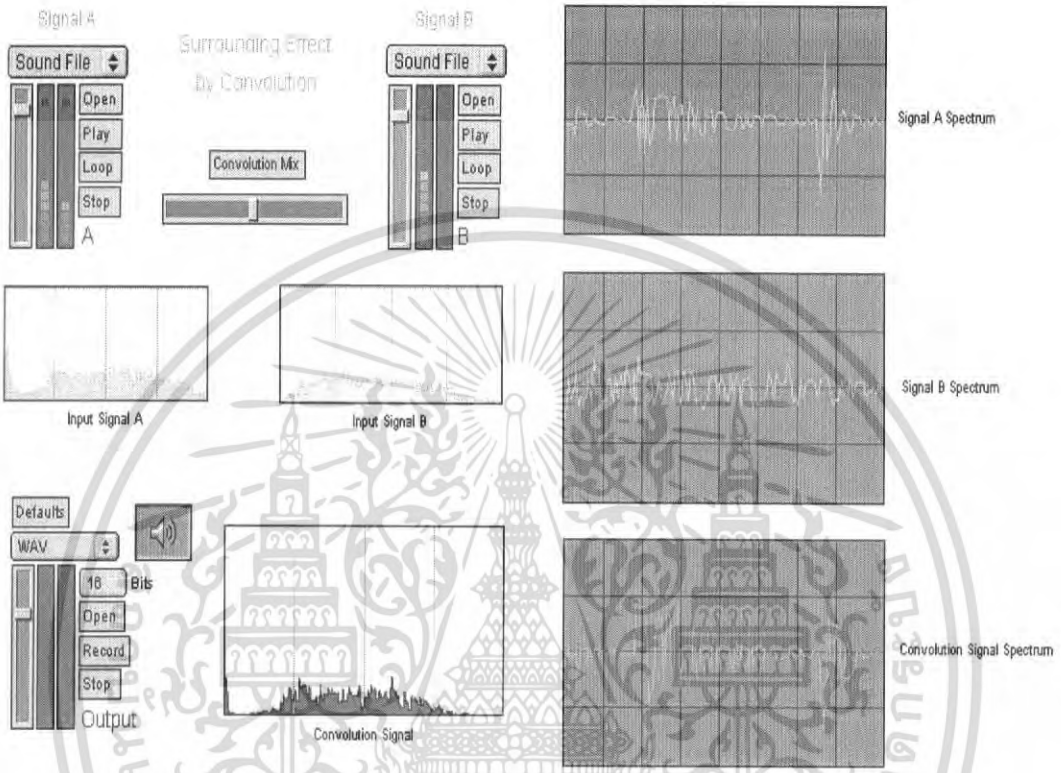
4.2.3 กดปุ่ม Convolution Mix เพื่อทำการ Convolution กัน ระหว่างสัญญาณเสียง Signal A กับ สัญญาณเสียง Signal B จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.9



รูปที่ **4.9** ปุ่มแสดงการ Convolution

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

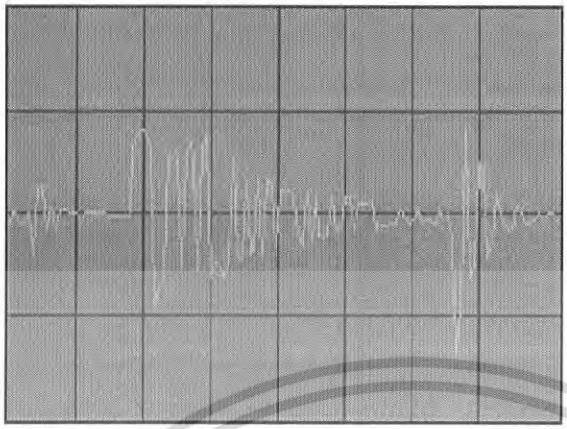
เมื่อทำการ Convolution ของ สัญญาณเสียง Signal A กับ สัญญาณเสียง Signal B โดยการกดปุ่ม Convolution Mix จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.10



รูปที่ **4.10** แสดงผลที่ได้จากการ Convolution

ซึ่งจากการทดลองจะได้กราฟแสดงสเปกตรัมของการ Convolution กันระหว่าง สัญญาณเสียง Signal A กับ สัญญาณเสียง Signal B ดังรูปที่ 4.11

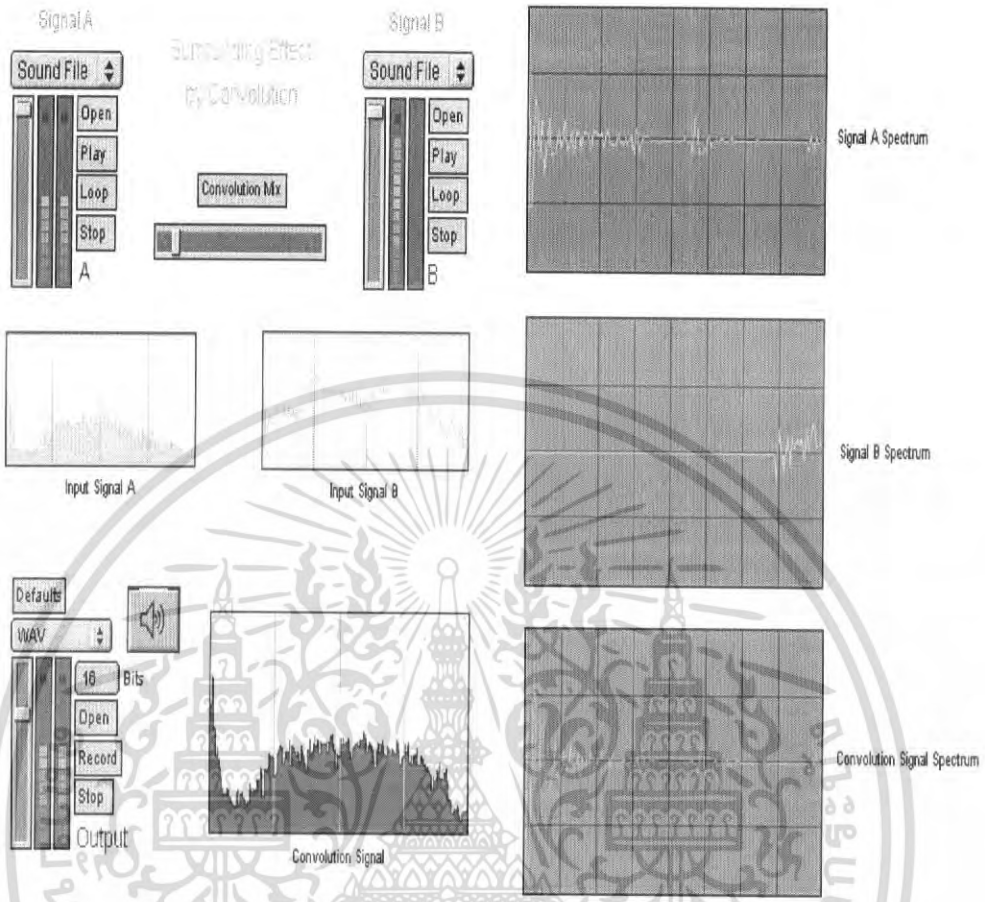
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ **4.11** สเปกตรัมของการ Convolution สัญญาณเสียง

4.2.4 สำหรับปุ่ม Convolution Mix นั้นจะมีสเกลที่ให้เราสำหรับทำการเลื่อนซ้าย-ขวาโดยการเลื่อนสเกลซ้าย-ขวานั้นจะมีผลต่อการคอนโวลูชั่นของสัญญาณเสียงของเสียงทั้ง 2 เสียง คือถ้าเราทำการเลื่อนสเกลทางไหน ยิ่งมากเท่าใดสัญญาณเสียงที่ได้จากการคอนโวลูชั่นสัญญาณเสียงก็จะมีความคล้ายคลึงกับสัญญาณเสียงทางฝั่งนั้นๆ มากขึ้นเท่านั้น เช่นจากรูปที่ 4.12 ที่เราทำการทดลองโดยเลื่อนสเกลของปุ่ม Convolution Mix ไปทางซ้ายมากๆ (Signal A) จะเห็นได้ว่าสัญญาณเสียงที่คอนโวลูชั่นออกมานั้นกราฟที่ได้จะมีความคล้ายคลึงกับสัญญาณเสียงทางฝั่งซ้าย(Signal A) มาก

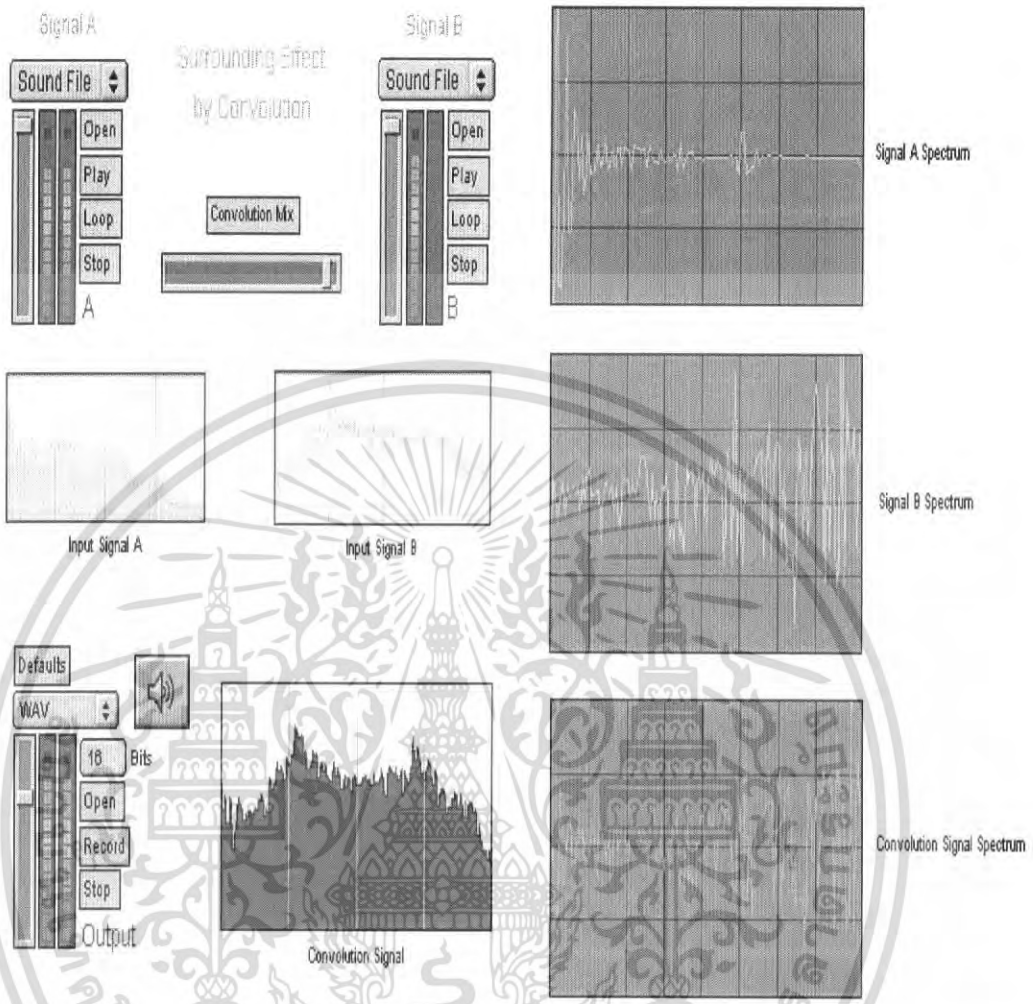
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ **4.12** แสดงสเปกตรัมของการทดลอง 4.2.4

เช่นกันถ้าเราเลื่อนสเกลไปทางฝั่งขวามากๆ กราฟที่ได้จากการคอนโวลูชั่นก็จะมีความใกล้เคียงกับสัญญาณเสียงทางฝั่งขวา(Signal B)เหมือนกัน ดังรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ **4.13** แสดงสเปกตรัมของการทดลอง 4.2.4

4.2.5 การเล่นโปรแกรมแบบ Real Time โดยเราสามารถที่จะทำการพูดใส่ไมค์ที่ทำการต่อไว้โดยในช่องของ Signal A จะมีให้เราเลือก 4 อย่างคือ

4.2.5.1 Sound File

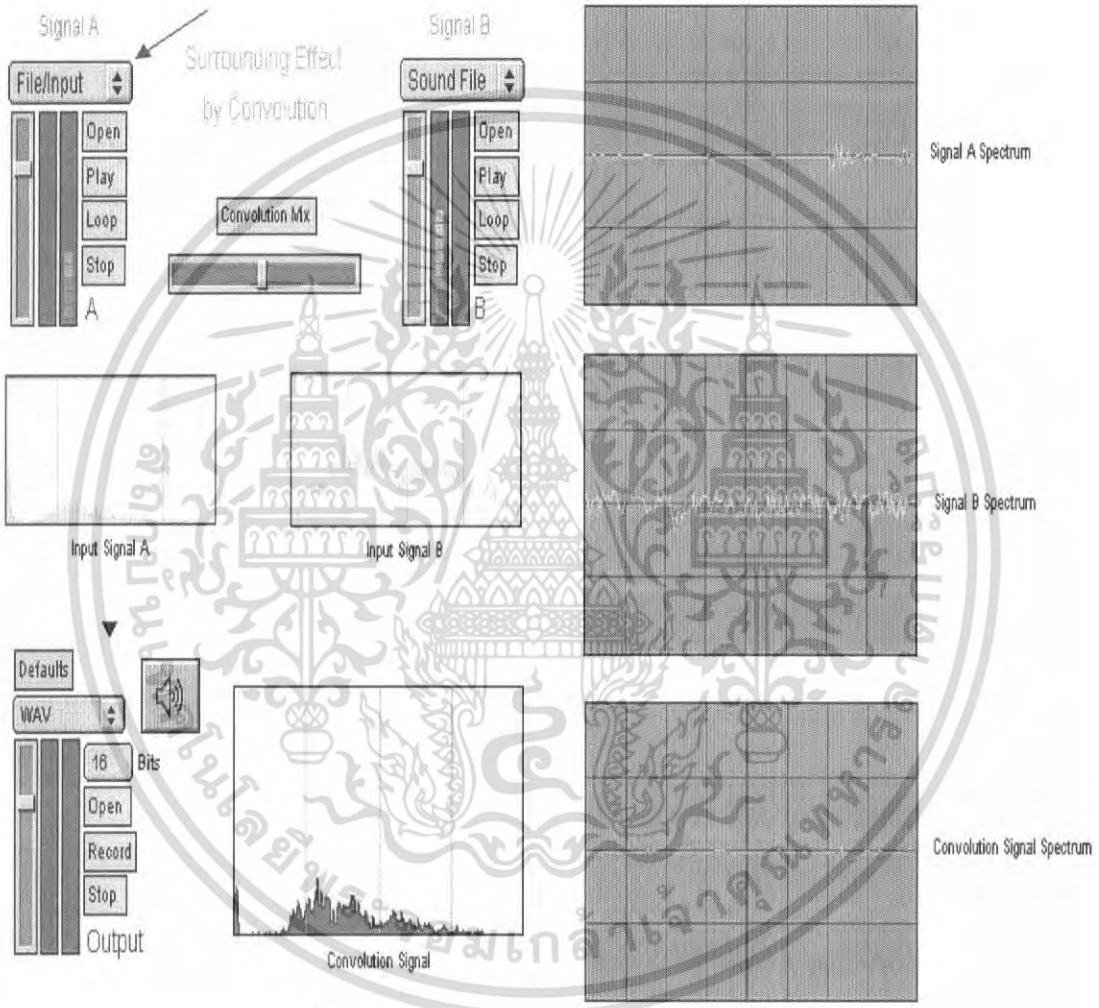
4.2.5.2 Audio Input

4.2.5.3 File/Input

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5.4 Input/File

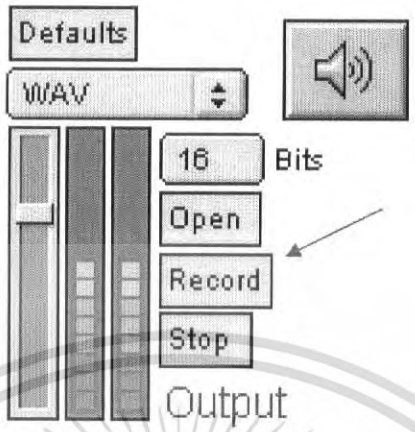
โดยเราจะต้องเลือก File/Input จากนั้นก็กดปุ่ม Play เท่านี้เมื่อเราพูดใส่ไมค์เสียงของเราก็สามารถที่จะไปคอนโวลูชั่นกับ สัญญาณเสียงทางฝั่งขวา(Signal B) ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ **4.14** แสดงสเปกตรัมของการทดลอง 4.2.5

4.2.6 การบันทึกเสียงของโปรแกรมทำได้โดยทำการกดปุ่ม Record ในขณะที่เราทำการกดปุ่ม Play อยู่ จากนั้นกดปุ่ม Open เพื่อที่จะทำการบันทึกไฟล์ดังรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 การบันทึกเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ปัญหาที่เกิดขึ้นและการพัฒนาโครงงาน

5.1 ปัญหาความสมบูรณ์ของเสียง

เสียงที่สังเคราะห์ขึ้นมาได้ ยังคงมีความคลาดเคลื่อนจากเสียงจริงอยู่บ้าง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเสียงที่ได้ทำการบันทึกไว้ เนื่องจากการบันทึกนั้นจะต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความละเอียดมากพอ ต่อการบันทึกเสียง แต่อุปกรณ์ที่ใช้คุณภาพยังไม่ดีจึงทำให้เสียงมีความคลาดเคลื่อนจากจริงอยู่บ้าง

5.2 ปัญหาข้อจำกัดในการส่งผ่านค่าพารามิเตอร์

เนื่องจากการพัฒนาโปรแกรมบน MAX/MSP นั้นมีข้อจำกัดในการส่งผ่านค่าพารามิเตอร์ร่วมกับการพัฒนาโปรแกรมบนเทคโนโลยีอื่นๆ จึงทำให้จำเป็นต้องพัฒนาโปรแกรมทั้งหมดขึ้นด้วยแมกซ์ - เอ็มเอสพีเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. Curtis Roads, John Strawn, "Foundations of Computer Music",The MIT Press, Fourth printing,1988
2. charles dodge, Thomas A.Jerse, "Computer Music Synthesis Composition and Performance",Schirmer Books
3. ณัชชา โสคติยานุรักษ์, "ทฤษฎีดนตรี", สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พิมพ์ครั้งที่ 4 , พ.ศ. 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้