สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์เสียงดนตรีสำหรับการทดสอบด้านออดิโอ

MUSICAL SOUND SYNTHESIS FOR AUDIO TESTING

T117384

นายกิตติพัฒน์ มะลิวัลย์

Mr. KITTIPAT MALIWAN

นายคมกริช ขอเชิญกลาง

Mr. KHOMKRIT KHOWCHURNKLANG

นายจิรวัฒน์ รุจิวงศ์ษา

Mr. JIRAWAT RUJIWONGSA

ตรพ.
เลขทะเบียน 117384
วัน,เดือน,ปี - 1 ส.ค. 2554

b
i

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MUSICAL SOUND SYNTHESIS FOR AUDIO TESTING

Mr. KITTIPAT MALIWAN

Mr. KHOMKRIT KHOWCHURNKLANG

Mr. JIRAWAT RUJIWONGSA

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACEDEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การสังเคราะห์เสียงโดยคอมพิวเตอร์

ชื่อนักศึกษา นายกิตติพัฒน์ มะลิวัลย์ รหัสนักศึกษา 50010121

นายคมกริช ขอเชิญกลาง รหัสนักศึกษา 50010172

นายจิรวัฒน์ รุจิวงศ์ษา รหัสนักศึกษา 50010236

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดลชัย สุขเจริญผล

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2553

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

.....

(ผศ. ดลชัย สุขเจริญผล)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อนักศึกษา นายกิตติพัฒน์ มะลิวัลย์ รหัสนักศึกษา 50010121

นายคมกริช ขอเชิญกลาง รหัสนักศึกษา 50010172

นายจิรวัฒน์ รุจิวงศ์ษา รหัสนักศึกษา 50010236

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดรชัย สุขเจริญผล

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี ซิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรมมสานสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการวิเคราะห์หาลักษณะรูปแบบของสัญญาณเสียง จากเครื่องดนตรีที่สนใจทั้งในเชิงเวลาและความถี่ เพื่อกำหนดตัวแปรเพื่อใช้ในการการควบคุมลักษณะและคุณภาพของเสียงดนตรีที่ได้จากการประมาณด้วยโปรแกรมแมกซ์ – เอ็มเอสพี โดยอาศัยวิธีของดิจิตอลเอฟเอ็มและการสังเคราะห์สัญญาณด้วยเทคนิคแอดดิทีฟในการสังเคราะห์เสียงขึ้นมา เพื่อที่จะสามารถนำเสียงที่ได้ ไปประยุกต์ใช้กับงานดนตรี หรือเป็นเสียงประกอบได้ทันที โดยไม่ต้องบันทึกจากเครื่องดนตรีจริง และเพื่อใช้ประกอบในการเรียนการสอน ให้เข้าใจความสัมพันธ์ของตัวแปรของเสียงดนตรีกับตัวแปรทางสัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Musical sound synthesis for audio testing	
Student	Mr. Kittipat Maliwan	ID. 50010121
	Mr. Khomkrit khowchurnklang	ID. 50010172
	Mr. Jirawat Rujiwongsa	ID. 50010236
Advisor	Asst. Prof.Donchai Sukchareonphol	
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering	
Department	Information Engineering	
Acedemic Year	2010	

ABSTARCT

This project involves an analysis of the sound pattern signals , from musical instrument of ranard both in time domain and frequency domain. In order to examine this pattern , the "Max/Msp program" has been utilized to determind parameters for controlling pattern and quality of sound signals using digital frequency modulation and additive synthesis methods for synthesizing the similar sounds. Furthermore,it can create the sound synthesis program ,presented via graphic user interface for public usage to implement this program in order to merge and mix all sound without recording form musical instruments. it also supports studying in relation between musical and signal parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จไปด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือจากหลายฝ่ายด้วยกัน บุคคลที่ต้องกล่าวอ้างถึงเพราะมีความสำคัญที่ทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์คลชัย สุขเจริญผล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ ให้คำปรึกษา แนะนำ ตรวจแก้ไข และคอยช่วยเหลือตลอดเวลาทั้งหมดที่ทำปริญญานิพนธ์ จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้อย่างยิ่ง

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา.....1

1.2 จุดประสงค์.....2

1.3 ขอบเขตของโครงงาน.....2

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....2

1.5 อุปกรณ์ที่ใช้.....2

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน.....4

2.1 องค์ประกอบของเสียงดนตรี.....4

2.1.1 ระดับเสียง (Pitch).....4

2.1.2 ความเข้มเสียง (Volume or Intensity).....6

2.1.3 สีสันเสียง (Timbre or Tone Color).....6

2.1.4 คุณภาพของเสียง (Tone Quality).....7

2.1.5 ความยาวเสียง (Duration).....8

2.2 การสังเคราะห์เสียงด้วยการมอดดูเลชั่นเชิงความถี่ (Frequency Modulatio.....8

2.2.1 การกระจายสมการสเปคตรัมของ FM 9

2.2.2 การสร้างสัญญาณ FM อย่างง่าย (Simple FM Generation).....9

2.2.3 สเปคตรัมของสัญญาณเสียง มอดดูเลชั่นเชิงความถี่.....10

2.2.4 การคำนวณองค์ประกอบของความถี่ฮาร์โมนิค (Frequency of the Partials).....10

2.2.5 การคำนวณแอมพลิจูดของความถี่พาร์เชียล (Amplitude of ther Partials).....11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง หน้า

2.2.6 สเปคตรัมของการสังเคราะห์เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลง (Synthesizing Time-Varying Spectra)..13

2.2.7 ของโทนเสียง (Sound Envelop)……..…13

2.2.8 อัตราส่วนความถี่สำหรับการออกแบบเสียง (Frequency Ratio and Sound Design)…….…15

2.2.9 รูปแบบการสร้างสัญญาณ FM แบบต่างๆ……..16

2.2.9.1 Additive Carrier with Independent Modulators.....…….....…16

2.2.9.2 Additive Carrier with One Modulator.....…….....…17

2.2.9.3 Single Carrier with Parallel Modulators.....……..……....17

2.2.9.4 Single Carrier with Serial Modulators.....……..……....18

2.2.9.5 Self-Modulating CarrierSelf-Modulating Carrier.....……..……....19

2.3 การสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ (Additive Synthesis)……....19

2.4 เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบของเสียงดนตรี……..20

2.4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเสียงดนตรีในโดเมนของความถี่……....20

2.4.1.1 การวิเคราะห์หาสัญญาณความถี่พื้นฐาน……..21

2.4.1.2 การวิเคราะห์หาอัตราส่วนของความถี่……..21

2.4.1.3 การวิเคราะห์หากรอบของดัชนีการมอดดูเลชั่น……..21

2.4.1.4 การวิเคราะห์หากรอบของแอมพลิจูด……..22

2.4.1.5 ความยาวเสียง……..22

2.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเสียงดนตรี สำหรับการสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ22

บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง……..23

3.1 วิเคราะห์เสียงโน้ตระนาด……..23

3.2 การออกแบบโปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคมอดดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่าย……..30

3.3 การออกแบบโปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ……..33

บทที่ 4 การใช้งานและผลการทดลองการใช้โปรแกรม……..36

4.1 การใช้งานโปรแกรมสังเคาะห์เสียงด้วยเทคนิคการมอดดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่ายบน MAX/MSP……..36

4.1.1 ขั้นตอนการทดลอง ……..36

4.1.2 ผลการทดลองการใช้โปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคมอดดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่าย (FM sound synthesis)……..41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง หน้า

4.1.3 ผลการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อเปรียบเทียบเสียงสังเคราะห์ จากโปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคมอดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่าย.....42

4.2 การใช้งานโปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟบน MAX/MSP.....46

4.2.1 ขั้นตอนการทดลอง.....46

4.2.2 ผลการทดลองใช้โปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ (Adiitive Synthesis)..49

4.2.3 ผลการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อเปรียบเทียบเสียงสังเคราะห์ จากโปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ.....49

บทที่ 5 ปัญหาที่เกิดขึ้นและการพัฒนาโครงงาน.....51

บรรณานุกรม.....52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชั่นเบสเซล.....12

3.1 แสดงค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ความถี่กับแอมพลิจูด.....25

4.1 ตารางพารามิเตอร์ที่กำหนดในการทำลองสร้างเสียงสังเคราะห์ที่มีกรอบดัชนีการมอดูเลชั่นต่างกันในโปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคการมอดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่าย.....41

4.2 พารามิเตอร์ที่กำหนดในการทดลองสร้างเสียงสังเคราะห์ที่มีอัตราส่วนความถี่ต่างกันในโปรแกรมสังเคราะห์ด้วยเทคนิคการมอดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่าย.....43

4.3 พารามิเตอร์ที่กำหนดในการทดลองสร้างเสียงสังเคราะห์ที่มีจำนวนฮาร์โมนิกแตกต่างกันในโปรแกรมสังเคราะห์ด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ.....44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ความถี่ระดับเสียงของระนาดเอก.....5
2.2 แหล่งกำเนิดเสียงที่ต่างกัน เช่น ระนาด กีต้าร์.....6
2.3 ลักษณะสัญญาณเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงที่มีสีสันเสียงต่างกันในโดเมนเวลา (Time Domain) และโดเมนความถี่ (Frequency Domain).....7
2.4 บล็อกไดอะแกรมวงจรสร้างสัญญาณ FM อย่างง่าย.....9
2.5 ลักษณะการกระจายสเปคตรัมของสัญญาณ FM เมื่อใช้สัญญาณเพียง 1 สัญญาณ.....10
2.6 สเปคตรัมของการสังเคราะห์เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลง.....13
2.7 กรอบของโทนเสียง (Sound Envelope).....14
2.8 วงจรมอดดูเลชั่นเชิงความถี่พื้นฐานและความถี่มอดดูเลชั่นที่เป็นอิสระจากกัน.....16
2.9 วงจรมอดดูเลชั่นเชิงความถี่ที่มีความถี่มอดดูเลชั่นควบคุมสองความถี่พื้นฐาน.....17
2.10 วงจรมอดดูเลชั่นเชิงความถี่แบบความถี่พื้นฐานและสองความถี่มอดดูชั่นต่อขนานกัน.....17
2.11 วงจรมอดดูเลชั่นเชิงความถี่แบบหนึ่งความถี่พื้นฐานและสองความถี่มอดดูเลชั่นต่ออนุกรมกัน.....18
2.12 วงจรมอดดูเลชั่นเชิงความถี่แบบเซลฟ์มอดดูเลทติ้งแคริเออร์ (Self-modulating Carrier).....19
2.13 วงจรสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ.....20
3.1 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงโด ใน Matlab 23
3.2 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงเร ใน Matlab 24
3.3 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงมี ใน Matlab 24
3.4 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงโด ในโปรแกรม Audition 26
3.5 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงเร ในโปรแกรม Audition 26
3.6 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงมี ในโปรแกรม Audition 26
3.7 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงโด(C3) ใน Matlab 27
3.8 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงโด(C4) ใน Matlab 27
3.9 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงโด(C5) ใน Matlab 28
3.10 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงโด(C3) ในโปรแกรม Audition 28
3.11 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงโด(C4) ในโปรแกรม Audition 28
3.12 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงโด(C5) ในโปรแกรม Audition 29
3.13 บล็อคไดอะแกรมวงจรสังเคราะห์เสียงแบบมอดดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่าย.....29
3.14 โปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคมอดดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่าย.....30
3.15 ส่วนวงจรสังเคราะห์เสียงแบบมอดดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่ายและวงจรการทำงานภายใน.....31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง หน้า

3.16 flow chart FM sound synthesis program.....31
3.17 บล๊อคไดอะแกรมวงจรสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ.....32
3.18 โปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ.....32
3.19 ส่วนวงจรสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟและวงจรการทำงานภายใน.....33
3.20 flow chart Additive sound synthesis program.....34
4.1 โปรแกรม FM sound synthesis 35
4.2 ส่วนของการเลือกโน้ตระนาดแต่ละตัวและโหมดปรับอิสระ.....36
4.3 ส่วนกำหนดความถี่พื้น อัตราส่วนความถี่และความยาวเสียง.....36
4.4 ส่วนกำหนดกรอบของดัชนีการมอดดูเลชั่น.....36
4.5 ส่วนควบคุมเรนจ์ของดัชนีการมอดูเลชั่น.....37
4.6 ส่วนควบคุมกรอบของแอมพลิจูด.....37
4.7 อุปกรณ์ปรับระดับความดังเสียง.....38
4.8 อุปกรณ์ เปิด – ปิด การเล่นเสียง.....38
4.9 ปุ่มเล่นเสียง.....38
4.10 ส่วนบันทึกเสียง.....38
4.11 ส่วนกำหนดตัวอย่างเสียงล่วงหน้า.....38
4.12 พารามิเตอร์ของโน้ตระนาดตัวซอลใน Octave ที่1ของระนาด ที่กำหนดในโปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคมอดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่าย.....40
4.13 สเปคตรัมของเสียงสังเคราะห์ 4.1.3.1(A).....42
4.14 สเปคตรัมของเสียงสังเคราะห์ 4.1.3.1(B).....42
4.15 พารามิเตอร์ที่กำหนดในการทดลองสร้างเสียงสังเคราะห์ที่มีอัตราส่วนความถี่ต่างกันในโปรแกรมสังเคราะห์ด้วยเทคนิคการมอดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่าย.....43
4.16 สเปคตรัมของเสียงสังเคราะห์ 4.1.3.2(A).....44
4.17 สเปคตรัมของเสียงสังเคราะห์ 4.1.3.2(B).....44
4.18 โปรแกรม “Additive sound synthesis.exe”.....45
4.19 ส่วนของการเลือกโน้ตระนาดแต่ละตัว.....45
4.20 ส่วนกำหนดความถี่พื้นฐาน.....45
4.21 ส่วนกำหนดความยาวเสียง.....46
4.22 ส่วนควบคุมองค์ประกอบของสัญญาณในแต่ละพาร์เชียล.....46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง หน้า

4.23 ส่วนกำหนดขนาดของแอมพลิจูดของสัญญาณที่สังเคราะห์ทุกพาร์เชียล.....46
4.24 ส่วนปรับความดังของเสียง.....46
4.25 ส่วนเปิด/ปิด การเล่นเสียง.....46
4.26 ปุ่มเล่นเสียง.....47
4.27 ส่วนบันทึกเสียง.....47
4.28 ส่วนปรับความดังของเสียง.....46
4.29 สเปคตรัมของเสียงสังเคราะห์ 4.2.3.1 (A).....51
4.30 สเปคตรัมของเสียงสังเคราะห์ 4.2.3.1 (B).....51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

ปัจจุบัน มีการทดสอบและการวัดผลในสาขาของวิศวกรรมออดิโอมีการขยายตัวมากขึ้น ทั้งสำหรับสื่ออนาลอกและสื่อดิจิตอลออดิโอ ซึ่งแต่เดิมใช้การทดสอบด้วยสัญญาณรูปคลื่นไซน์ในย่านความถี่ออดิโอเป็นหลัก เช่น ความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรขยาย, ผลตอบสนองต่อสัญญาณฉับพลัน รวมทั้งผลตอบสนองต่างๆในเชิงเวลาและความถี่

เสียงที่เราได้ยินหรือเสียงต่างๆ จะมีองค์ประกอบของเสียงหลายอย่าง จึงทำให้เสียงที่ได้มีความแตกต่างกัน แม้จะเป็นเสียงที่คล้ายกันแต่คุณภาพเสียงแตกต่างกัน จึงทำให้มีความคิดที่จะทำการสังเคราะห์เสียงขึ้น เพื่อปรับเสียงให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น หรือ วิเคราะห์เสียงที่เราฟังมีคุณภาพเสียงเป็นอย่างไร

ปัญหาของการรักษามาตรฐานของระดับเสียงดนตรีไทยที่สำคัญคือ เราไม่สามารถวัดระดับเสียงของระนาดซึ่งเป็นเครื่องดนตรีที่ใช้เทียบเสียงของเครื่องดนตรีอื่น เนื่องจากคุณลักษณะของเสียงที่เกิดจากระนาดนั้นจะมีช่วงเวลาของการเกิดเสียงที่สั้นซึ่งน้อยกว่า 30 มิลิวินาที และลักษณะคลื่นเสียงที่ได้จะมีความแปรปรวนของความถี่สูง โดยเฉพาะระดับเสียงสูงและต่ำมากๆ นอกจากนี้ยังไม่สามารถใช้เครื่องมือตั้งเสียงของเครื่องดนตรีสากลเนื่องจาก การแบ่งระดับเสียงของดนตรีสากลไม่เหมือนกับดนตรีไทย

ในโครงงานนี้เสนอการสร้างสัญญาณเสียงดนตรีโดยใช้การสังเคราะห์และการรวบรวมเสียงเครื่องดนตรีจริงในรูปของไลบรารี่ ที่ง่ายต่อการเลือกใช้เป็นสัญญาณในการทดสอบเพื่อวัดผลตอบสนองต่อเสียงเครื่องดนตรีจริง โดยสามารถเลือกได้แต่ละช่วงความถี่ตามต้องการทำให้สะดวกในการทดสอบ และสามารถขยายไปใช้งานในด้านการสังเคราะห์เสียงระนาดได้ เช่น ผลตอบสนองต่อสัญญาณฉับพลันในแต่ละย่านความถี่ของระบบขับเสียง(Loudspeaker systems) รวมทั้งวงจรขยายทั้งแบบไวงาน (Active circuits) และไม่ไวงาน (passive circuits)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 จุดประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการแทนสัญญาณเสียงดนตรีด้วยสมการคณิตศาสตร์

1.2.2 เพื่อศึกษาโครงสร้างการสังเคราะห์เสียงดนตรีด้วยโปรแกรมMAX/MSP

1.2.3 ศึกษาผลของการรับฟังต่อการตัดจำนวนเทอมของการประมาณด้วยสมการคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อนน้อย

1.2.4 เพื่อศึกษาโครงสร้างของเสียงและอัลกอลิทึมในการสังเคราะห์เสียง

1.2.5 รวบรวมเสียงของเครื่องดนตรีระนาดสำหรับการทดสอบในทางวิศวกรรมออดิโอ

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 รวบรวมเสียงเครื่องดนตรีระนาดแล้วทำเป็นรายการของเครื่องดนตรี เพื่อใช้ในการทดสอบเสียงในย่านออดิโอ

1.3.2 ทำหน้าจอ GUI ให้ผู้ใช้ได้ทดสอบเสียง เขียนโปรแกรมเชื่อมโยง User interface เพื่อให้ผู้ใช้งานสะดวกในการเลือกใช้งานได้มากขึ้น

1.3.3 ผู้ใช้สามารถเลือกเสียงที่จะใช้ในการทดสอบได้ จาก Library หรือจาก file ที่ได้สังเคราะห์ไว้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้รับความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างของเสียงและอัลกอลิทึมในการสังเคราะห์เสียงว่า ของเครื่องดนตรีจะมี ฮาโมนิคที่แตกต่างกัน

1.4.2 ได้ความรู้เกี่ยวกับการใช้โปรแกรมต่างๆเช่น GUI , MAX/MSP และซอฟแวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เสียง

1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้

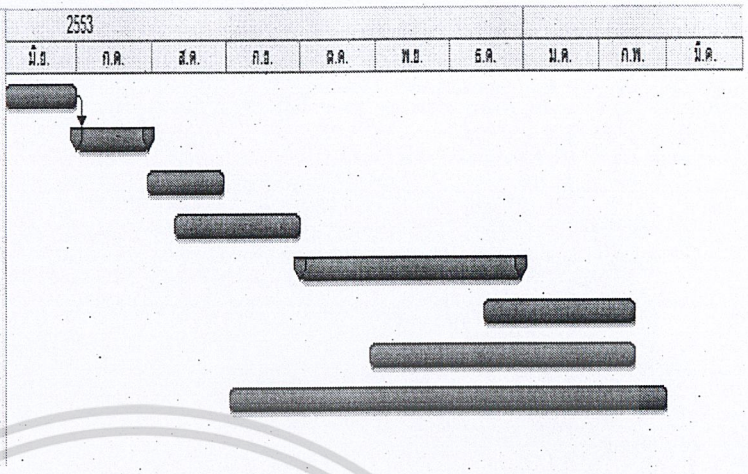
ซอฟต์แวร์

- MATLAB เป็นโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณเสียง
- Adobe Audition 3.0 เป็นโปรแกรมสำหรับพัฒนาและสังเคราะห์เสียง
- MAX/MSP เป็นโปรแกรมสำหรับการออกแบบ
- SpectraLab เป็นโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนการดำเนินการ

ID	Task Name	Start	Finish	Predecessor
1	ศึกษาปัญหาและความเป็นไปได้	อ 1/6/53	พ 30/6/53	
2	วิเคราะห์และออกแบบ	พ 1/7/53	ศ 30/7/53	1
3	รวบรวม file เสียงต่างๆ	ศ 30/7/53	จ 30/8/53	
4	สังเคราะห์เสียง	อ 10/8/53	พ 30/9/53	
5	เขียนโปรแกรมและuser interface	ศ 1/10/53	พ 30/12/53	
6	สร้างชิ้นงาน	พ 15/12/53	อ 15/2/54	
7	ทดลองและแก้ไขข้อบกพร่อง	ศ 29/10/53	อ 15/2/54	
8	ทำเอกสาร	พ 2/9/53	จ 28/2/54	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 องค์ประกอบของเสียงดนตรี

เสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ เมื่อวัตถุสั่นสะเทือนจะทำให้เกิดการอัดตัวและการขยายตัวของคลื่นเสียง ซึ่งถูกส่งไปยังหูคนโดยผ่านชั้นบรรยากาศ ดังนั้นเสียงที่ได้ยินก็เป็นผลจากการที่คลื่นเสียงถูกส่งจากวัตถุที่สั่นสะเทือนไปยังหูนั่นเอง เสียงที่ได้ยินจะเป็นเสียงสูง เสียงต่ำ เสียงดัง เสียงเบา หรือมีคุณภาพเสียงในลักษณะต่างๆ อย่างไรนั้น จะขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดเสียงและจำนวนรอบต่อวินาทีของการสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดเสียงนั้น เสียงแต่ละเสียงมีคุณสมบัติซึ่งสามารถแยกแยะ ได้ดังนี้

2.1.1 ระดับเสียง(Pitch)

ระดับเสียง หมายถึง เสียงสูง เสียงต่ำ เราสามารถเปรียบเทียบเสียง 2 เสียงได้ว่า เสียงไหนมีระดับเสียงสูงกว่า และเสียงไหนมีระดับเสียงต่ำกว่าโดยการฟัง ถ้าระดับเสียงต่างกันมากก็จะฟังง่าย ถ้าต่างกันเพียงเล็กน้อยก็จะฟังยากกว่า

ระดับเสียง เกิดจากความถี่ของการสั่นสะเทือนของวัตถุ หรืออาจกล่าวได้ว่า ความถี่ของการสั่นสะเทือนเป็นตัวกำหนดระดับเสียง วัตถุที่สั่นสะเทือนเร็วกว่าทำให้เกิดระดับเสียงสูงกว่า ในขณะที่วัตถุที่สั่นสะเทือนช้ากว่าทำให้เกิดระดับเสียงที่ต่ำกว่า ความถี่ซึ่งเป็นตัวกำหนดระดับเสียงได้มาจากการวัดความสั่นสะเทือนของวัตถุ โดยมีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที วัตถุที่สั่นสะเทือนมากกว่าจะมีความถี่มากกว่าทำให้เกิดระดับเสียงสูงกว่า ถ้าความถี่มากขึ้นเป็นเท่าตัวระดับเสียงจะสูงขึ้น 1 ช่วงคู่แปด (Octave)เช่น โน้ตที่มีความถี่ 220 รอบต่อวินาที จะมีระดับเสียงสูงกว่าโน้ตที่มีความถี่ 110 รอบต่อวินาทีอยู่ 1 ช่วงคู่แปด และในทำนองเดียวกันกรณีที่ความถี่น้อยลง 1 เท่าตัว ระดับเสียงจะต่ำลง 1 ช่วงคู่แปด ฉะนั้นโน้ตที่มีความถี่ 440 รอบต่อวินาที จะมีระดับเสียงต่ำกว่าโน้ตที่มีความถี่ 880 รอบต่อวินาทีเป็นระยะ 1 ช่วงคู่แปด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 ความถี่ระดับเสียงของระนาดเอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

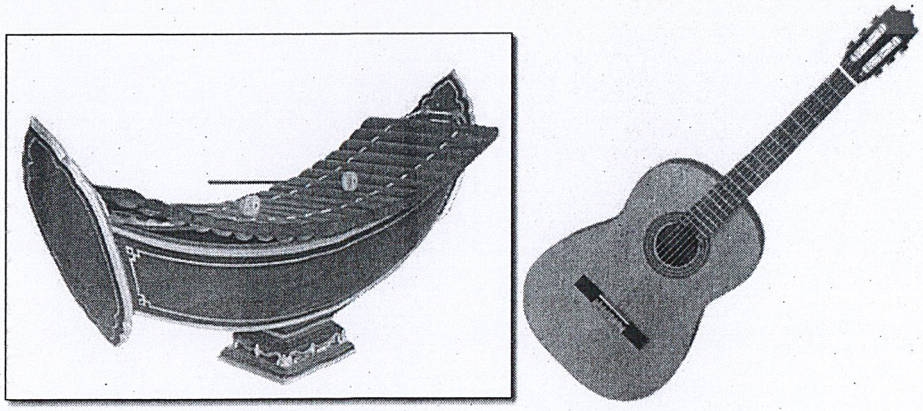
2.1.2 ความเข้มเสียง(Volume or Intensity)

ความเข้มเสียง หมายถึง เสียงเบา เสียงดัง ความเข้าเสียงเกิดจากแรงสั่นสะเทือนของวัตถุที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงถ้าวัตถุสั่นสะเทือนมากเสียงจะดังและในทางตรงข้ามถ้าวัตถุสั่นสะเทือนน้อยเสียงจะเบา ความเข้มเสียงขึ้นอยู่กับแรงที่ส่งจากแหล่งกำเนิดเสียงไปยังหู เวลาที่เราตะโกนเส้นเสียงจะสั่นสะเทือนมากทำให้เกิดเสียงดังถ้าเราตีกลองโดยออกแรงมากขึ้นหนังกลองจะสั่นมากขึ้นทำให้เสียงกลองดังขึ้น ความเข้มเสียงวัดได้จากความกว้างคลื่นเสียง (Amplitude) ถ้าคลื่นเสียงยิ่งกว้าง เสียงก็จะยิ่งดัง ในขณะที่เสียงเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศนั้น ความเข้มเสียงจะน้อยลงตามลำดับ กล่าวคือ เสียงจะเบาลง ดังนั้นระยะทางที่เสียงต้องเดินทางก็จะมีผลต่อความเข้มเสียงด้วย

2.1.3 สีสันเสียง(Timbre or Tone Color)

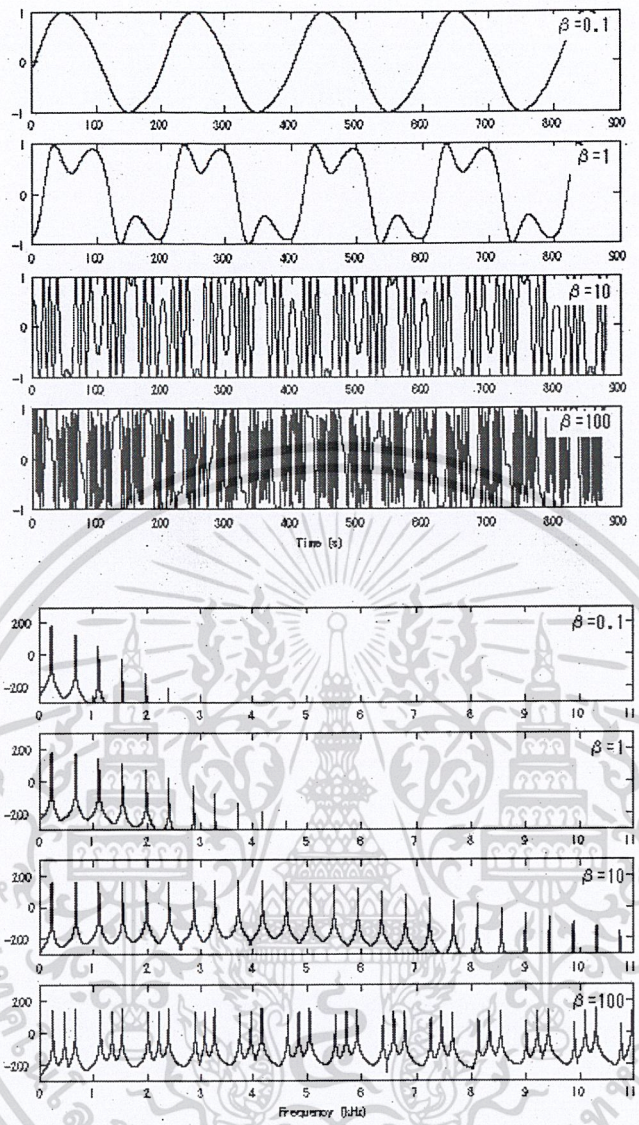
สีสันเสียง หมายถึง เสียงที่มาจากแหล่งกำเนิดเสียงต่างๆกัน เช่น เสียงระนาด เสียงกีต้าร์ เสียงร้อง เสียงลม ฯลฯ คลื่นเสียงที่เกิดจากแหล่งที่มีสีสันเสียงต่างกันจะมีรูปร่างลักษณะต่างกัน เช่น คลื่นเสียงของไวโอลิน จะมีรูปร่างต่างจากคลื่นของทรัมเป็ต สื่อดนตรีที่ต่างกันจำให้เกิดสีสันเสียงต่างกัน สื่อดนตรี ก็คือ เครื่องดนตรีหรือเส้นเสียงดนตรีในกรรีของการขับร้อง เครื่องดนตรีต่างชนิดกันจะทำให้เกิดสีสันเสียงต่างกัน เพลงเดียวที่บรรเลงโดยเครื่องดนตรีต่างชนิดกันจะทำให้เกิดรสชาติต่างกันเพราะสีสันเสียงต่างกัน

สิ่งที่สำคัญที่สุดที่เป็นตัวกำหนดเสียง ก็คือ พาร์เชียล (Partials) ซึ่งเป็นระดับเสียงจำนวนหนึ่ง ที่ประกอบกันเป็นเสียงที่เราได้ยิน เพราะฉะนั้น จำนวนระดับเสียงของพาร์เชียล ความเข้มเสียงของพาร์เชียล และการกระจายของพาร์เชียล จะเป็นตัวกำหนดสีสันเสียงทั้งสิ้น เสียงที่มีจำนวนพาร์เชียลน้อยจะมีเสียงใส เช่น เสียงของฟรุตที่เล่นโน้ตสูงๆ ส่วนเสียงที่มีจำนวนพาร์เชียลมาก จะมีเสียงที่หนักแน่นกว่า เช่น เสียงของเชลโล เสียงที่ไม่มีจำนวนพาร์เชียลเลย หรือเสียงบริสุทธิ์เกิดขึ้นได้จากเครื่องเสียงดนตรีไฟฟ้า และจะเป็นช่วงเสียงสูงมากๆ ที่ไม่ไพเราะสำหรับหูคนทั่วไป



รูปที่ 2.2 แหล่งกำเนิดเสียงที่ต่างกัน เช่น ระนาด กีต้าร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ลักษณะสัญญาณเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงที่มีสีสันเสียงต่างกันในโดเมนเวลา (Time Domain) และโดเมนความถี่ (Frequency Domain)

2.1.4 คุณภาพของเสียง(Tone Quality)

คุณภาพของเสียง หมายถึง เสียงดีมาก ดีน้อย เช่น เสียงโน้ตตัวเดียวกันที่เกิดจากเปียโน 2 ตัว จะมีคุณภาพเสียงไม่เหมือนกันทีเดียว แม้จะมีระดับเสียง ความเข้มเสียง และสีสันเสียงเหมือนกันทุกประการ เสียงร้องหรือเสียงพูดของคนก็เช่นเดียวกัน บางคนมีคุณภาพเสียงที่ทุ้มนุ่มนวล ในขณะที่อีกคนหนึ่งมีคุณภาพเสียงที่ก้องกังวาน ในการปฏิบัติเครื่องดนตรี นักดนตรีต้องคำนึงอย่างมากถึงคุณภาพของเสียง เพื่อให้ได้น้ำเสียงที่ไพเราะน่าฟัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 ความยาวเสียง(Duration)

ความยาวเสียง เป็นพื้นฐานของดนตรีที่เกี่ยวข้องกับระยะเวลา เสียงแต่ละเสียงที่เกิดขึ้นต้องมีระยะเวลาซึ่งทำให้เกิดเสียงยาว เสียงสั้น เสียงไม่ว่าจะมีกี่ระดับเสียงที่แน่นอนหรือไม่ ก็ต้องมีความยาวเข้ามาเกี่ยวข้อง ความยาวเสียงเป็นที่มาของจังหวะ ซึ่งมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในดนตรีของทุกชาติ ทุกภาษา ความยาวเสียงในที่นี้ หมายรวมถึง ความเงียบของตัวหยุดด้วย เนื่องจากดนตรีเป็นผลของกระบวนการเกิดเสียง (Sound) สลับกับความเงียบ (Silence) ไม่ว่าจะเป็นเสียงหรือความเงียบ ย่อมต้องมีความยาวหรือระยะเวลาทั้งสิ้น

2.2 การสังเคราะห์เสียงด้วยการมอดดูเลชั่นเชิงความถี่(Frequency Modulation)

การสังเคราะห์เสียงด้วยกระบวนการมอดดูเลชั่นเชิงความถี่ เริ่มมีตั้งแต่ ค.ศ. 1960 โดยผู้ประชาสัมพันธ์ John Chowningณ มหาวิทยาลัย Stanford กระบวนการมอดดูเลชั่นเชิงความถี่มีพื้นฐานมาจากการส่งสัญญาณวิทยุในระบบ FM การทดลองแรกของ John คือใช้ สัญญาณเสียง(Audio Signal) เป็นมอดดูเลเตอร์ (Modulator) ไปควบคุมความถี่และฮาร์โมนิคของความถี่พื้นฐาน (Fundamental Frequency) เพื่อที่จะผลิตเสียงออกมา การทดลองต่อมา เมื่อใช้เสียงที่เป็นสัญญาณความถี่ต่ำ (Low Frequency Signal) หรือเสียงที่หูคนได้ยินที่ความถี่ 20 เฮิร์ตมาเป็นมอดดูเลเตอร์ จะได้เสียงที่มีความเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ แต่ถ้านำเสียงที่มีความถี่มากกว่า 20 เฮิร์ตมาเป็นมอดดูเลเตอร์ เปรียบเสมือนการเพิ่มสเปคตรัมของความถี่พื้นฐาน

การมอดดูเลชั่นเชิงความถี่ คือ การมอดดูเลชั่นที่ความถี่ของสัญญาณความถี่พื้นฐานและฮาร์โมนิคเปลี่ยนแปลงตามขนาดของสัญญาณความถี่เสียง โดยมีรูปสมการทั่วไปดังนี้

$$x(t) = A.\sin[\theta(t)] \quad (2.1.1)$$

$$\theta(t) = [2\pi f_c t + I.\sin(2\pi f_m t)] \quad (2.1.2)$$

$$F(t) = \frac{d\theta}{dt} \quad (2.1.3.1)$$

$$= 2\pi f_c + 2\pi I f_m \cos(2\pi f_m t) \quad (2.1.3.2)$$

เมื่อ $\theta(t)$ = มุมที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (radian)

$f(t)$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงมุมต่อเวลา (radian/sec)

f_c = ความถี่พื้นฐาน (Hz)

f_m = ความถี่มอดดูเลชั่น (Hz)

π = ค่าคงที่ 3.142

A = แอมพลิจูดของสัญญาณ (Volt)

I = อัตราการมอดดูเลชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 การกระจายสมการสเปคตรัมของFM

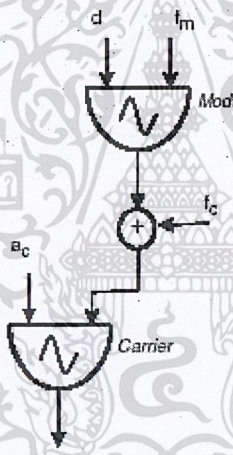
เมื่อนำสัญญาณที่ได้จากการมอดดูเลชั่นเชิงความถี่ตามสมการที่ 2.1.1 มาวิเคราะห์แยกองค์ประกอบสเปคตรัมของสัญญาณจะได้สมการดังนี้

$$x(t) = \sin[\theta(t)] = \sin[2\pi f_c t + I\sin(2\pi f_m t)]$$

$$= J_0(I)\sin(2\pi f_c t)$$
$$+J_1(I)\sin(2\pi f_c t+2\pi f_m t) - J_1(I)\sin(2\pi f_c t-2\pi f_m t)$$
$$+J_2(I)\sin(2\pi f_c t+2*2\pi f_m t) + J_2(I)\sin(2\pi f_c t-2*2\pi f_m t)$$
$$+J_3(I)\sin(2\pi f_c t+3*2\pi f_m t) - J_3(I)\sin(2\pi f_c t-3*2\pi f_m t)$$

2.2.2 การสร้างสัญญาณ FM อย่างง่าย (Simple FM Generation)

การสร้างสัญญาณ FM อย่างง่ายดังสมการที่2.1.1 นั้น เราสามารถแทนได้ด้วยบล๊อคไดอะแกรมย่อยดังรูปที่2.8 ซึ่งประกอบด้วยบล็อกย่อย3 บล็อกดังนี้



รูปที่ 2.4บล็อกไดอะแกรมวงจรสร้างสัญญาณFM อย่างง่าย

บล็อกแรกเป็นมอดดูเลเตอร์ ซึ่งจะรับสัญญาณความถี่มอดดูเลชั่นและค่าความถี่เบี่ยงเบนป้อนเข้ามา และให้สัญญาณมอดดูเลชั่นออกมาแล้วจะป้อนเข้าสู่บล็อกที่สอง ซึ่งจะนำสัญญาณมอดดูเลชั่นไปรวมกับสัญญาณความถี่พื้นฐานส่งต่อไปยังบล็อกที่สาม คือ แคริเออร์ (Carrier) ที่บล็อกนี้จะรับค่าแอมพลิจูดและสัญญาณที่ออกมาจากบล็อกที่สอง โดยค่าแอมพลิจูดที่ป้อนเข้าจะคือ แอมพลิจูดของสัญญาณมอดดูเลชั่นเชิงความถี่ คือ สัญญาณ x(t)

ค่าต่างๆ อธิบายได้ดังนี้

d = ความถี่แปรผัน(Frequency Deviation) หรือแอมพลิจูดของมอดดูเลเตอร์

f_m = ความถี่มอดดูเลเตอร์ (Modulator Frequency)

a_c = แอมพลิจูดคลื่นพาร์ (Fundamental Amplitude)

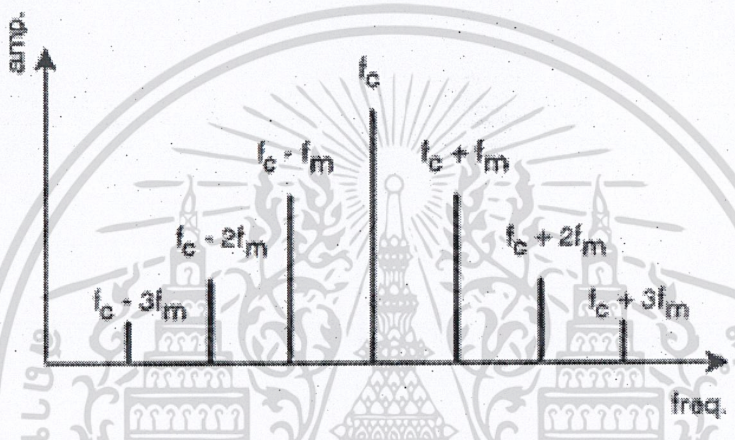
f_c = ความถี่พื้นฐาน (Fundamental Frequency)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 สเปคตรัมของสัญญาณเสียง มอดดูเลชั่นเชิงความถี่

ในการมอดดูเลชั่นเชิงความถี่ รูปแบบของคลื่นพาร์และคลื่นมอดดูเลชั่นที่นิยมใช้คือ Sine Wave โดยทั่วไปไม่จำเป็นต้องใช้รูปแบบของคลื่นแบบอื่น เช่น Pulse หรือ Sawtoothมาใช้ในการสร้างเสียงให้มีลักษณะแตกต่างไปจากเสียงของเครื่องดนตรีทั่วไป ซึ่งนับเป็นข้อดีอีกข้อหนึ่งของวิธีการสังเคราะห์เสียงด้วยการมอดดูเลชั่นเชิงความถี่

2.2.4 การคำนวณองค์ประกอบของความถี่ฮาร์โมนิค (Frequency of the Partials)



รูปที่ 2.5ลักษณะการกระจายสเปคตรัมของสัญญาณFM
เมื่อใช้สัญญาณเสียงเพียง1 สัญญาณ

สเปคตรัมของเสียงที่เกิดจากการมอดดูเลชั่นเชิงความถี่ประกอบด้วย ความถี่คลื่นพาร์คงที่และจำนวนฮาร์โมนิค (Harmonic) ซึ่งห่างกันเท่ากับความถี่มอดดูเลเตอร์ (f_m) ในทุกๆ ฮาร์โมนิคโดยฮาร์โมนิคที่ไม่ใช่ความถี่คลื่นพาร์จะเรียกว่า ความถี่ข้างเคียง (Sideband Frequency) หาได้จากสมการ

Sideband Frequency = $f_c \pm kf_m$

; k = จำนวนเต็มที่มากกว่า 0

ตามทฤษฎีการมอดดูเลชั่นเชิงความถี่มีอัตราการมอดดูเลชั่น (Modulation Index = I) ควบคุมจำนวนความถี่ข้างเคียง โดยที่ อัตราการมอดดูเลชั่นเป็นอัตราส่วนระหว่าง ความถี่แปรผันกับความถี่มอดดูเลเตอร์ตามสมการ I = d/m โดยที่จำนวนคู่ของความถี่ข้างเคียงเท่ากับอัตราการมอดดูเลชั่นบวกหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.25 การคำนวณแอมพลิจูดของความถี่พาร์เชียล (Amplitude of ther Partials)

ในการสังเคราะห์เสียงด้วยวิธีมอดดูเลชั่นเชิงความถี่ โดยปกติแล้วความถี่คลื่นพาร์ (Carrier Frequency; f_c) จะเป็นส่วนสำคัญที่จะระบุระดับเสียง(Pitch) ของสียงสังเคราะห์ที่จะได้จากกระบวนการสังเคราะห์เสียง วิศวกรเสียง (Sound Engineer) จะเรียกความถี่นี้ว่า ความถี่พื้นฐาน (Fundamental Frequency)

ทั้งนี้ ในการสังเคราะห์เสียงด้วยวิธีมอดดูเลชั่นเชิงความถี่ มีบางกรณีที่ความถี่พาห์ (f_c) ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งที่จะระบุระดับเสียง (Pitch) ได้โดยตรง ซึ่งในการคำนวณนี้จะไม่ได้กล่าวถึง

การคำนวณแอมพลิจูดของความถี่พาร์เชียล จะใช้ฟังก์ชันเบสเซล (Bassel Function) ในการหาค่าสัมประสิทธิ์แอมพลิจูดของแต่ละฮาร์โมนิค

ฟังก์ชั่นเบสเซล เป็นฟังก์ชันที่แสดงสัมประสิทธิ์แอมพลิจูดของแต่ละฮาร์โมนิค เกิดจากการกระจายสเปคตรัมความถี่พื้นฐานออกไปยังความถี่ข้างเคียง (Sideband Frequency or Partials) โดยเป็นไปได้ทั้งค่าบวกและค่าลบ ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการมอดดูเลชั่น (Modution Index; I) โดย

$J_0(I)$ แสดงสัมประสิทธิ์แอมพลิจูดของ f_c

$J_1(I)$ แสดงสัมประสิทธิ์แอมพลิจูดของ $f_c \pm f_m$

$J_n(I)$ แสดงสัมประสิทธิ์แอมพลิจูดของ $f_c \pm nf_m$

ตัวอย่าง 1การวิเคราะห์สเปคตรัมของสัญญาณFM อย่างง่าย

กำหนดให้ $f_m(t) = \cos(2\pi*1000t)$; $I = 1$

$f_c(t) = 10\sin(2\pi*500*10^3t)$

$Ac = 10$

$f_m = 1$ Hz.

$f_c = 500$ Hz.

$n = 0,1,2,3$

จากตาราง Bessel Function (ตารางที่ 2.1)

$I = 1, J_0 = 0.77, J_1 = 0.44, J_2 = 0.11, J_3 = 0.02$

$\text{Spectrum} = A_c[\sum_{i=0}^{n} [J_n(f_c \pm nf_m)]$

จะได้ $AJ_0 = 10*0.77 = 7.7$

$AJ_1 = 10*0.44 = 4.4$

$AJ_2 = 10*0.11 = 1.1$

$AJ_3 = 10*0.02 = 0.2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

n	β								
	0.1	0.2	0.5	0.8	1	2	5	8	10
0	0.9975	0.9900	0.9385	0.8463	0.7652	0.2239	-0.1776	0.1717	-0.2459
1	0.0499	0.0995	0.2423	0.3688	0.4401	0.5767	-0.3276	0.2346	0.0435
2	0.0012	0.0050	0.0306	0.0758	0.1149	0.3528	0.0466	-0.1130	0.2546
3		0.0002	0.0026	0.0102	0.0196	0.1289	0.3648	-0.2911	0.0584
4			0.0002	0.0010	0.0025	0.0340	0.3912	-0.1054	-0.2196
5					0.0002	0.0070	0.2611	0.1858	-0.2341
6						0.0012	0.1310	0.3376	-0.0145
7						0.0002	0.0534	0.3206	0.2167
8							0.0184	0.2235	0.3179
9							0.0055	0.1263	0.2919
10							0.0015	0.0608	0.2075
11							0.0004	0.0256	0.1231
12								0.0096	0.0634
13								0.0033	0.0290
14								0.0010	0.0120
15								0.0003	0.0045

ตารางที่ 2.1ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชั่นเบสเซล

นอกจากนี้ การวิเคราะห์แอมพลิจูดของความถี่พาร์เซียล ในการสังเคราะห์เสียงด้วยวิธีมอดดูเลชั่นเชิงความถี่ เบื้องต้นมีข้อพิจารณาสองประการ คือ

1. จากสัมประสิทธิ์ฟังก์ชั่นเบสเซล แสดงให้เห็นว่า บางพาร์เซียลอาจมีสัมประสิทธิ์เป็นค่าลบซึ่งในความเป็นจริงแอมพลิจูดไม่สามารถเป็นค่าลบ (Negative) ได้ ความหมายของค่าลบในกรณีนี้คือ การกลับเฟสของพาร์เซียลหรือฮาร์โมนิคนั้นๆ (Out of Phase)

ในกรณีที่ไม่มีความถี่ฮาร์โมนิคเดียวกันเกิดขึ้น จากการที่มีการเล่น (Play) เสียงอื่นอยู่ในเวลาเดียวกัน ปรากฏการณ์นี้จะไม่ส่งผลกระทบใดๆ ต่อสัญญาณเสียงในฮาร์โมนิคนั้นๆ แต่หากมีฮาร์โมนิคเดียวกันเกิดขึ้นพร้อมกัน แอมพลิจูดอาจเสริมกันหรือหักล้างกันเอง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเฟสว่าแตกต่างกันเท่าไหร่

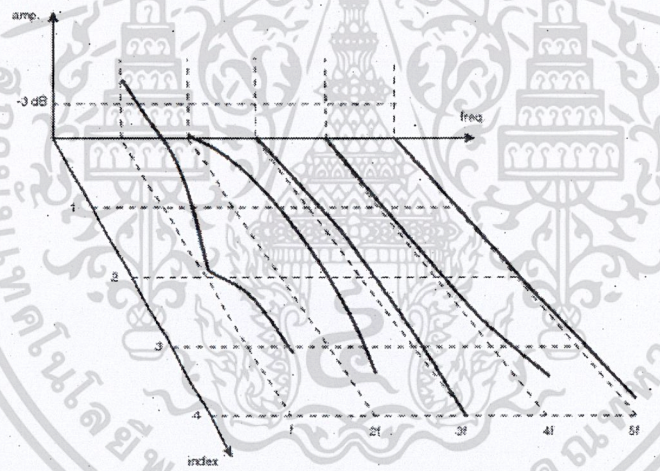
2. ปรากฏการณ์เมื่อความถี่คลื่นพาร์มีค่าต่ำแต่อัตราการมอดดูเลชั่นมีค่าสูง กรณีนี้การมอดดูเลชั่นอาจทำให้เกิดความถี่ข้างเคียง (Sideband) หรือพาร์เซียล ในช่วงความถี่ที่เป็นลบ (Negative Frequency) ในการคำนวณแอมพลิจูดของพาร์เซียลจะต้องทำการกลับพาร์เซียลที่อยู่ในช่วงความถี่ที่เป็นลบมาอยู่ในช่วงความถี่ที่เป็นบวก (Positive Frequency) โดยยึดแกน 0 เฮิร์ตเป็นหลัก โดยพาร์เซียลที่กลับมาแล้ว จะมีเฟสตรงกันข้ามกับของเดิม จากนั้นหากมีพาร์เซียลที่ตรงกันอยู่ จะต้องทำการรวมค่าแอมพลิจูดใหม่ ดังแสดงตามตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6สเปคตรัมของการสังเคราะห์เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลง (Synthesizing Time-Varying Spectra)

ส่วนสำคัญในการสังเคราะห์เสียงอีกส่วน คือ ความสามารถในการควบคุมองค์ประกอบสเปคตรัมของเสียงให้แปรเปลี่ยนได้ในแต่ละช่วงความยาวเสียง (Duration) ต่อการเล่นเครื่องดนตรีในหนึ่งตัวโน๊ต เนื่องจากแอมพลิจูดของพาร์เชียลต่างๆ ที่กำเนิดจากเครื่องดนตรีอคูสติกจะมีลักษณะที่แปรเปลี่ยนไปภายในระยะความยาวเสียง ซึ่งลักษณะการแปรเปลี่ยนที่แตกต่างกันนี้จะเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยในการสร้างเอกลักษณ์ของสีสันของเสียง (Timbre) จากเครื่องดนตรีแต่ละชนิดให้แตกต่างกันออกไป

การสังเคราะห์เสียงด้วยวิธีการมอดดูเลชั่นเชิงความถี่ มีจุดเด่นกว่าวิธีอื่น คือ สามารถจะปรับพารามิเตอร์เพื่อสร้างเสียงที่มีแอมพลิจูดของพาร์เชียลต่างๆ ให้มีลักษณะแปรเปลี่ยนไปในแต่ละช่วงเวลาของความยาวเสียงได้ โดยการกำหนดอัตราการมอดูเลชั่น (Modulation Index) ในแบบกรอบของโทนเสียง (Sound Envelope) ซึ่งมีค่าแปรเปลี่ยนไปในแต่ระยะเวลา ภายในช่วงความยาวเสียง



รูปที่ 2.6 สเปคตรัมของการสังเคราะห์เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลง

2.2.7 กรอบของโทนเสียง (Sound Envelop)

ในเทคนิคการสังเคราะห์เสียงด้วยการมิดดูเลชั่นเชิงความถี่ เพื่อให้ได้เสียงใกล้เคียงกับเครื่องดนตรีจริง เราสามารถกำหนดอัตราการมอดดูเลชั่นให้มีการเปลี่ยนแปลงค่ามากน้อยได้ในแต่ละช่วงเวลาความยาวเสียง โดยอาศัยการประมาณจากการวิเคราะห์สเปคตรัมของเสียงเครื่องดนตรีจริงแต่ละชนิด ลักษณะกรอบของโทนเสียงทั่วๆ มีรูปร่างแบบเอดีเอสอาร์ (ADSR shape) ดังรูปที่ 2.12 ไปสามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้ดังนี้

1. ช่วงแอทแท็ค (Attack) เป็นช่วงที่เสียงมีการเปลี่ยนแปลงทางขนาดในรูปของสัญญาณไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างกะทันหัน(Transient) ในช่วงเวลาอันรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

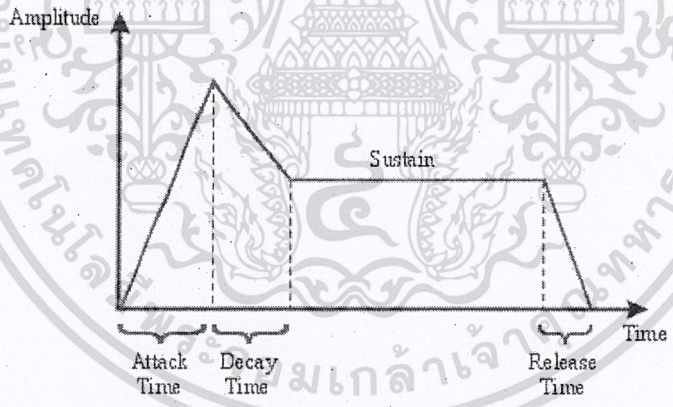
2. ช่วงดีเลย์ (Decay) เป็นช่วงที่เสียงมีขนาดของสัญญาณเสียงลดลงอย่างมากมีนัยสำคัญจากขนาดสูงสุดของสัญญาณในช่วงแอทแท็ค

3. ช่วงซัสแทน (Sustain)เป็นช่วงที่เสียงมีขนาดของสัญญาณคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเพียงเล็กน้อย อยู่ในช่วงเวลาหลังจากช่วงดีเคย์จนถึงเวลาที่หยุดเล่นเสียง

4. ช่วงรีลีส (Release) เป็นช่วงที่ขนาดสัญญาณเสียงลดลงจากช่วงซัสเทนภายหลังการหยุดเล่นเสียงจนขนาดของสัญญาณเสียงมีค่าเป็นศูนย์

รูปร่างและระยะเวลาของส่วนแอทแท็คและดีเคย์ มีอิทธิพลอย่างมากกับสีสันเสียง ในเครื่องดนตรีอคูสติก โดยทั่วไปจะมีระยะเวลาของช่วงแอทแท็คที่ค่อนข้างสั้นกว่าช่วงดีเคย์ ช่วงแอทแท็คที่สั้นมากจะเป็นลักษณะเฉพาะของเสียงจากเครื่องดนตรีประเภทตีหรือเคาะ (Percussive Sound) ในขณะที่ช่วงแอทแท็คที่ยาวกว่าจะพบในเครื่องดนตรีอคูสติก เช่น ออร์แกน ซึ่งสร้างเสียงจากกระแสอากาศที่รุนแรงข้ามผ่านขอบของพื้นผิว เครื่องดนตรีอคูสติกหลายชนิดมีช่วงแอทแท็คที่ยาวกว่า จะสร้างที่มีลักษณะคล้ายกับเสียงจากการเล่นเทปบันทึกย้อนหลัง

รูปร่างแบบเอดีเอสอาร์ เป็นการพยายามที่จะเลียนแบบกรอบของเสียงที่พบในเครื่องดนตรีอคูสติก และใช้อย่างแพร่หลายในคีย์บอร์ดสังเคราะห์เสียงอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป



รูปที่ 2.7 กรอบของโทนเสียง(Sound Envelope)

ทั่วไปจะกำหนดอัตราการมอดดูเลชั่น ให้มีลักษณะเป็นกรอบของโทนเสียงของเครื่องดนตรีแต่ละชนิด เรียกว่า Modulation Envelope การกำหนดกรอบอาศัยการประมาณให้ใกล้เคียงกับสเปคตรัมของเสียงเครื่องดนตรีจริง

อัตราการมอดดูเลชั่นสามารถคำนวณจำนวนคู่ของความถี่ข้างเคียงได้ แต่ถ้าเพิ่มอัตราการมอดดูเลชั่นเป็นเชิงเส้น ค่าแอมพลิจูดของความถี่ข้างเคียงอันดับที่สูงกว่า (High Order Sideband) ไม่จำเป็นต้องเพิ่มเป็นเชิงเส้น ในทำนองเดียวกัน ถ้าอัตราการมอดดูเลชั่นเพิ่มแบบเชิงเส้น ค่าพลังงานของความถี่ข้างเคียงอันดับที่สูงกว่าไม่จำเป็นต้องเพิ่มเป็นเชิงเส้นเสมอไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ เสียงเครื่องดนตรีแต่ละชนิดจะมีแอมพลิจูดของเสียงโดยรวม(ทุกๆฮาร์โมนิค) เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาในความยาวเสียง ดังนั้น การสังเคราะห์เสียงให้ใกล้เคียงกับเสียงของเครื่องดนตรีจริง จึงออกแบบให้มีส่วนควบคุมแอมพลิจูดของเสียงโดยรวม ที่มีลักษณะเป็นกรอบแอมพลิจูดของเสียง (Amplitude Envelope) ลงในวงจรสังเคราะห์เสียงแทนการใช้ค่าคงที่ได้ ทำให้ในการควบคุมและกำหนดลักษณะของเสียง ทำได้โดยควบคุมเพียงตัวแปรเดียวซึ่งในลักษณะนี้ทำให้ง่ายต่อการควบคุมทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์

2.2.8 อัตราส่วนความถี่สำหรับการออกแบบเสียง (Frequency Ratio and Sound Design)

ค่าอัตราส่วนที่เป็นพื้นฐานระหว่างตัวแปรในระบบมอดดูเลชั่นเชิงความถี่ มี 2 ค่า คือ

$$\text{1. อัตราการมอดดูเลชั่น (I)} = \frac{\text{ความถี่แปรผัน (d)}}{\text{ความถี่มอดดูเลเตอร์ } (f_m)} \quad (2.4)$$

$$\text{2. อัตราส่วนความถี่} = \frac{\text{ความถี่คลื่นพาห์ } (f_c)}{\text{ความถี่มอดดูเลเตอร์ } (f_m)} \quad (2.5)$$

โดยอัตราการมอดดูเลชั่น เป็นค่าที่ควบคุมจำนวนและแอมพลิจูดสเปคตรัมของความถี่ข้างเคียง (Sideband Frequency) อัตราส่วนความถี่ เป็นค่าสำคัญในการควบคุมสีสันเสียง อัตราส่วนความถี่จะมค่าเฉพาะตัวที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์เสียงเครื่องดนตรีแต่ละชนิด ทั่วไปเครื่องดนตรีกลุ่มเดียวกัน มีค่าอัตราส่วนความถี่เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน

ถ้าอัตราส่วนความถี่ และอัตราการมอดดูเลชั่นคงที่ ขณะที่ความถี่คลื่นพาห์เปลี่ยนแปลงไปเสียงที่สังเคราะห์จะมีการเปลี่ยนระดับเสียง (Pitch) แต่สีสันเสียง (Timbre) จะคงเดิม

พื้นฐานการออกแบบเสียงโดยใช้ อัตราส่วนความถี่ มี 6 กรณี

1. ถ้าความถี่คลื่นพาห์เป็นจำนวนเต็มใดๆ และความถี่มอดดูเลเตอร์มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 4 แล้ว เสียงที่ออกมาจะเป็นเอกลักษณ์ เพราะความถี่คลื่นพาห์เปลี่ยนตามความถี่มอดดูเลเตอร์อย่างเห็นได้ชัด

2. ถ้าความถี่คลื่นพาห์เป็นจำนวนเต็มใดๆ และความถี่มอดดูเลเตอร์มีค่ามากกว่า 4 แล้ว เสียงที่ออกมาจะมีหลายฮาร์โมนิคแต่ฮาร์โมนิคพื้นฐานอาจสังเกตได้ไม่ชัด

3. ถ้าความถี่คลื่นพาห์เป็นจำนวนเต็มใดๆ และความถี่มอดดูเลเตอร์มีค่าเท่ากับ 1 แล้ว การมอดดูเลชั่นจะได้สเปกตรัมที่ประกอบขึ้นจากหลายฮาร์โมนิค เช่น 1:1ได้ Sawtooth-Like Wave

4. ถ้าความถี่คลื่นพาห์เป็นจำนวนเต็มใดๆ และความถี่มอดดูเลเตอร์มีค่าเป็นจำนวนคู่แล้ว การมอดดูเลชั่นจะได้สเปคตรัมที่ประกอบด้วยการฮาร์โมนิคเป็นคี่ เช่น 2:1 ได้ Square-Like Wave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ถ้าความถี่คลื่นพาห์เป็นจำนวนใดๆ และความถี่มอดดูเลเตอร์มีค่าเท่ากับ 3 แล้ว การมอดดูเลชั่นจะได้สเปคตรัมที่มีฮาร์โมนิคที่ 3 หายไป เช่น 3:1 ได้ Narrow Pulse-Like Waves

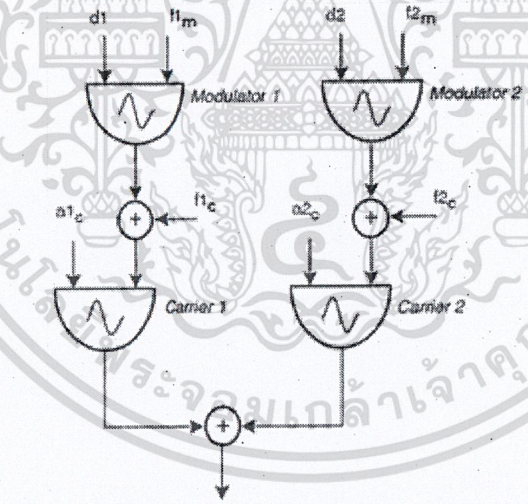
6. ถ้าความถี่คลื่นพาห์เป็นจำนวนเต็มใดๆ และความถี่มอดดูเลเตอร์มีค่าไม่เป็นจำนวนเต็มแล้ว การมอดดูเลชั่นจะได้สเปคตรัมที่ไม่เป็นฮาร์โมนิค (Non-harmonic) เช่น 2:1:29 ได้เสียงระฆังโลหะ

2.2.9 รูปแบบการสร้างสัญญาณ FM แบบต่างๆ

องค์ประกอบของการมอดดูเลชั่นเชิงความถี่แบบซับซ้อนมีส่วนประกอบหลัก 5 ส่วน ประกอบไปด้วย อุปกรณ์สร้างคลื่นพาห์(Carrier), อุปกรณ์สร้างมอดดูเลเตอร์ (Modulator)อย่างละ 2 ชุดขึ้นไป และตัวรวมสัญญาณ

2.2.9.1 Additive Carrier with Independent Modulators

วิธีนี้เป็นการนำโมดูลของบล็อกสร้างสัญญาณความถี่พื้นฐาน ที่ต่ออยู่กับบล็อกสร้างสัญญาณมอดดูเลชั่นซึ่งแต่ละโมดูลนั้นเป็นอิสระจากกันมารวมกันตั้งแต่ 2 โมดูลขึ้นไป



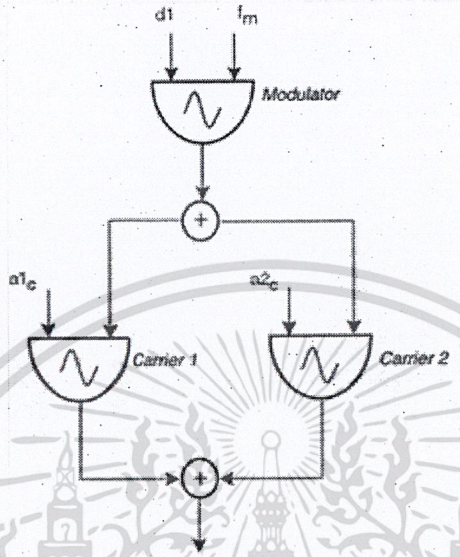
รูปที่ 2.8 วงจรมอดดูเลชั่นเชิงความถี่พื้นฐาน
และความถี่มอดดูเลชั่นที่เป็นอิสระจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.2.9.2 Additive Carrier with One Modulator

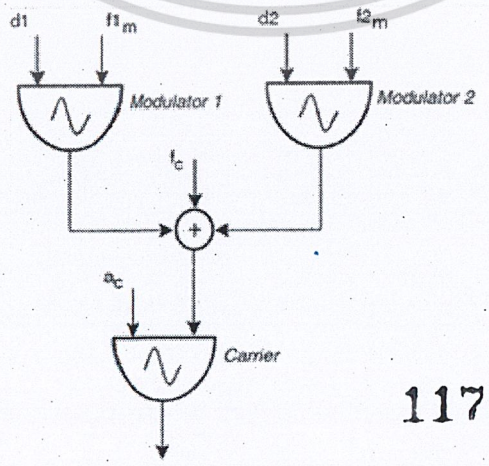
สามารถสร้างสัญญาณ FM โดยนำโมดูลของบล็อกสร้างสัญญาณความถี่พื้นฐานตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปมารวมกัน และใช้บล็อกสร้างสัญญาณมอดดูเลชั่นตัวเดียว



รูปที่ 2.9 วงจรมอดดูเลชั่นเชิงความถี่ที่มีความถี่มอดดูเลชั่นควบคุมสองความถี่พื้นฐาน

2.2.9.3 Single Carrier with Parallel Modulators

สามารถสร้างสัญญาณ FM โดยนำโมดูลของบล็อกสร้างสัญญาณความถี่มอดดูเลชั่นตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปมาต่อขนานกันแล้วนำสัญญาณที่ได้ไปรวมกับสัญญาณความถี่พื้นฐานเพื่อสร้างสัญญาณมอดดูเลชั่นเชิงความถี่ต่อไป



117384

รูปที่ 2.10 วงจรมอดดูเลชั่นเชิงความถี่แบบความถี่พื้นฐานและสองความถี่มอดดูชั่นต่อขนานกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

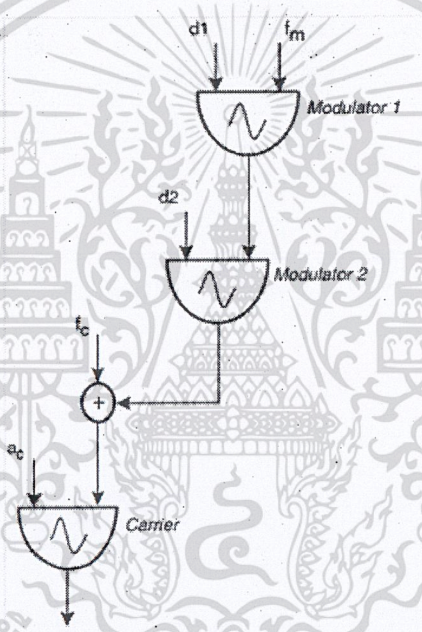
คำนวณ คู่ของความถี่ข้างเคียงดังนี้ (Sideband Pairs) ดังนี้

$$F_c \pm [(k_1 * f_{m1}) + (k_2 * f_{m2}) + \ldots + (ck_n * f_{mn})] \quad (2.6.1)$$

$$F_c \pm [(k_1 * f_{m1}) + (k_2 * f_{m2}) - \ldots - (ck_n * f_{mn})] \quad (2.6.2)$$

2.2.9.4 Single Carrier with Serial Modulators

สามารถสร้างสัญญาณ FM โดยนำโมดูลของบล๊อกสร้างสัญญาณความถี่มอดดูเลชั่นตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปมาต่ออนุกรมกัน แล้วนำสัญญาณที่ได้ไปรวมกับสัญญาณความถี่พื้นฐานเพื่อสร้างสัญญาณมอดดูเลชั่นเชิงความถี่ต่อไป



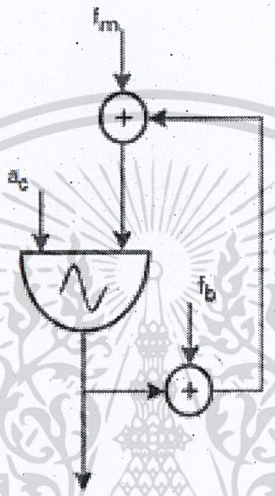
รูปที่ 2.11 วงจรมอดดูเลชั่นเชิงความถี่แบบหนึ่งความถี่พื้นฐาน
และสองความถี่มอดดูเลชั่นต่ออนุกรมกัน

การคำนวณคู่ของความถี่ข้างเคียง (Sideband Pairs) ได้จากสมการที่ 2.6.1 และ 2.6.2 ความแตกต่างระหว่างSingle Carrier with Parallel Modulators และ Single Carrier with Serial Modulators เมื่ออัตราส่วนความถี่ และอัตราการมอดดูเลชั่นเท่ากัน คือ การต่อแบบอนุกรมจะมีคาถี่ข้างเคียงที่มีแอมพลิจูดสูงมากกว่าการต่อแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.9.5 Self-Modulating Carrier

สร้างสัญญาณ FM โดยมีตัวกำเนิดสัญญาณตัวเดียว โดยนำสัญญาณเอาท์พุตไปมอดดูเลชั่นกับความถี่ที่ได้จากตัวกำเนิดสัญญาณ โดยสัญญาณเอาท์พุตนั้นจะต้องนำมารวมกับความถี่ฟีตแบค(Feedback Frequency) จากนั้นนำไปรวมกับความถี่มอดดูเลชั่นก่อนที่จะนำมาเป็นอินพุตในครั้งต่อมา การมอดดูเลชั่นแบบนี้จะได้รูปคลื่นเป็นSawtooth-Like Wave Form มีข้อจำกัด คือ ถ้าความถี่ฟีดแบคมากกว่า 2 จะเกิดสัญญาณรบกวนขึ้นได้



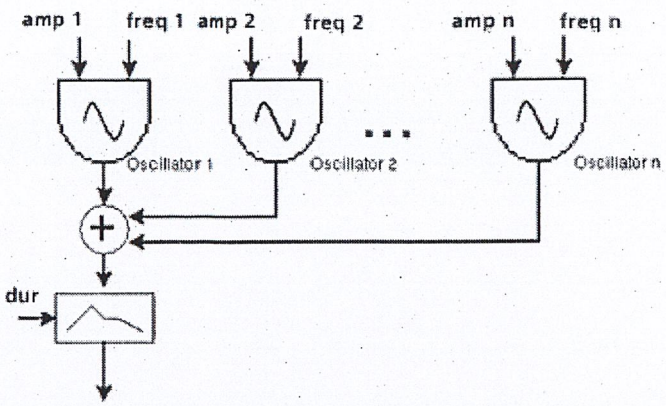
รูปที่ 2.12 วงจรมอดดูเลชั่นเชิงความถี่
แบบเซลฟ์มอดดูเลทติ้งแคริเออร์ (Self-modulating Carrier)

จำนวนคู่ของความถี่ข้างเคียงขึ้นกับดัชนีการมอดดูเลชั่น แต่แอมพลิจูดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามความถี่ฟีดแบค

2.3 การสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ (Additive Synthesis)

หลักการของการสังเคราะห์เสียงด้วยกระบวนการแอดดิทีฟ คือ กระบวนการที่เรียกว่า Fourier Recompositionหมายถึง การสังเคราะห์สัญญาณความถี่ต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของเสียง โดยอาศัยค่าความถี่และแอมพลิจูดที่ได้จากการวิเคราะห์เสียงตัวอย่าง โดยใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณสร้างคลื่นไซน์ (Sine Wave) ที่มีแอมพลิจูดและความถี่ขององค์ประกอบต่างๆ ตามที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบสเปคตรัมของเสียง แล้วนำสัญญาณทั้งหมดที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณมารวมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 วงจรสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ

ซึ่งผลลัพธ์ของสัญญาณสามารถเขียนในรูปสมการดังนี้

$$w(t) = \sum_{i=1}^{n} A_i Sin(w_i t) \qquad (2.7.1)$$

$$w(t) = A_1 Sin(2\pi f_1 t) + A_2 Sin(2\pi f_2 t) + A_3 Sin(2\pi f_3 t) + \ldots + A_n Sin(2\pi f_n t) \qquad (2.7.2)$$

ข้อดีของการสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ คือ สามารถสังเคราะห์เสียงได้เหมือนกัน แม้ว่าเสียงนั้นจะมีความยืดหยุ่นมากก็ตาม แต่ในขณะเดียวกันเทคนิคนี้มีข้อเสียในด้านการวิเคราะห์เสียงตัวอย่าง ที่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลมากพอสมควรเพื่ออธิบายลักษณะของเสียง ดังนั้นอาจไม่เหมาะสมกับเสียงที่มีความซับซ้อนมาก เช่น เสียงจากไวโอลิน เป็นต้น

2.4 เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบของเสียงดนตรี

ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของเสียงดนตรี เพื่อนำค่าพารามิเตอร์ไปใช้ในการสร้างเสียงสังเคราะห์ จะต้องวิเคราะห์ให้เหมาะสมกับเทคนิคการสังเคราะห์เสียงที่จะนำมาใช้ ซึ่งโครงงานนี้ จะจำแนกเทคนิคการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบของเสียงดนตรีในโดเมนของความถี่
2. เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบของเสียงดนตรีสำหรับการสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ

2.4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเสียงดนตรีในโดเมนของความถี่

การสังเคราะห์เสียงดนตรีให้มีลักษณะใกล้เคียงกับเสียงตัวอย่าง ในเทคนิคการมอดดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่าย จะต้องทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของเสียงตัวอย่าง เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด 4 ค่า ดังนี้

1. ความถี่พื้นฐาน
2. อัตราส่วนของความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กรอบของดัชนีการมอดดูเลชั่น

4. กรอบของแอมพลิจูด

5. ความยาวเสียง

การวิเคราะห์องค์ประกอบของเสียงดนตรีโดยใช้โปรแกรมสเปกตราแลป (SpectraLab) มีขั้นตอนดังนี้

1. นำไฟล์เสียงตัวอย่างในสกุล .wav หรือ .aiffมาป้อนเข้าโปรแกรม

2. โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์โดยการกระจายสเปกตรัมทั้งในโดเมนเวลาหรือความถี่ ได้กราฟสามมิติที่ประกอบไปด้วยแกนเวลา, ความถี่ และแอมพลิจูด ออกมาดังรูป

2.4.1.1 การวิเคราะห์หาสัญญาณความถี่พื้นฐาน มี 2 วิธีคือ

1. สัญญาณความถี่พื้นฐาน คือ สัญญาณความถี่ที่ปรากฏตลอดความยาวเสียง ในกราฟการกระจายสเปกตรัม 3 มิติบนโปรแกรมสเปกตรัมตราแลป

2. สามารถสันนิษฐานตำแหน่งของสัญญาณความถี่พื้นฐาน จากลักษณะการกระจายพลังงานของสัญญาณความถี่พื้นฐานไปเป็นสัญญาณความถี่ข้างเคียง ที่อธิบายได้ด้วยการเบสเซลฟังก์ชั่น

โดยการวิเคราะห์หาตำแหน่งสัญญาณความถี่พื้นฐาน จะพิจารณาจากทั้งสองวิธีร่วมกัน

2.4.1.2 การวิเคราะห์หาอัตราส่วนของความถี่

ทำการคำนวณหาค่าความถี่มอดดูเลชั่นก่อน โดยจากกราฟการกระจายสเปคตรัมสามารถคำนวณค่าความถี่มอดดูเลชั่นได้จากระยะระหว่างแต่ละองค์ประกอบความถี่ ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการ 2.3

นำค่าความถี่มอดดูเลชั่นที่คำนวณได้ มาประมาณเป็นอัตราส่วน $f_c:f_m$ และคำนวณเป็นอัตราส่วนอย่างต่ำ

2.4.1.3 การวิเคราะห์หากรอบของดัชนีการมอดดูเลชั่น

จากรูป 2.23เราทราบจำนวนความถี่ข้างเคียงซึ่งจะมีจำนวนแตกต่างกันไปตลอดระยะความยาวเสียง โดยคำนวณค่าดัชนีการมอดดูเลชั่นได้จากความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการมอดดูเลชั่น (I) และจำนวนความถี่ข้างเคียง ที่เป็นไปตามฟังก์ชั่นเบสเซลตามตารางที่ 2.1

จากนั้น นำค่าดัชนีการมอดดูเลชั่นมาประมาณเป็นกรอบของค่าดัชนีการมอดดูเลชั่นโดยกำหนดเป็นช่วงเวลาที่มีขนาดเท่ากับช่วงความยาวเสียง กราฟการกระจายสเปคตรัมในรูปที่ 2.23 สามารถประมาณกรอบของดัชนีการมอดดูเลชั่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.4 การวิเคราะห์หากรอบของแอมพลิจูด

จากทฤษฎีดนตรี เครื่องดนตรีเกือบทุกชนิดจะมีกรอบของแอมพลิจูดใกล้เคียงกับกรอบของดัชนีการมอดดูเลชั่น ดังนั้นสามารถประมาณให้กรอบของแอมพลิจูดมีลักษณะใกล้เคียงกับกรอบของดัชนีการมอดดูเลชั่นได้ เพื่อลดความซับซ้อนในการสังเคราะห์และง่ายต่อการควบคุม

2.4.1.5 ความยาวเสียง

ความยาวเสียงสามารถพิจารณาได้จากระยะเวลาที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของเสียงตัวอย่าง

2.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเสียงดนตรี สำหรับการสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ

ในการสังเคราะห์เสียงด้วยวิธีแอดดิทีฟ จะต้องทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของเสียงตัวอย่าง เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ ดังนี้

1. ความถี่ของแต่ละองค์ประกอบ
2. แอมพลิจูดของแต่ละองค์ประกอบ
3. ความยาวเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ

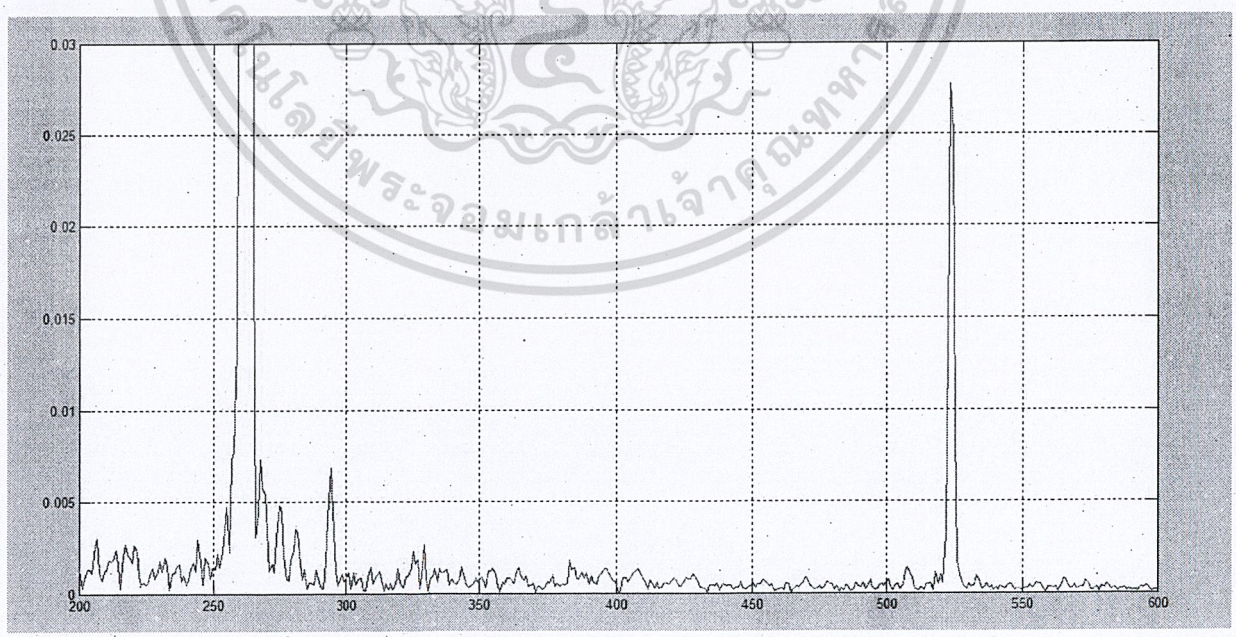
โครงงานนี้ใช้โปรแกรมแมกซ์-เอ็มเอสพี (MAX/MSP) เวอร์ชั่น 5.1 ในการออกแบบสังเคราะห์และซีมูเลต (Simulate) วงจรสังเคราะห์สัญญาณเสียง โดยออกแบบวงจรสังเคราะห์เสียง2แบบ คือ วงจรสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคมอดดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่าย และวงจรสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ มาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมสังเคราะห์เสียง

3.1 วิเคราะห์เสียงโน้ตระนาด

การวิเคราะห์เสียงโน้ตระนาดแต่ละโน้ต ทำได้โดยการใช้โปรแกรม Mathlabและ Audition ในการวิเคราะห์ เพื่อต้องการค่าต่างๆของโน้ต เช่น ค่าความถี่ ค่าแอมพลิจูดจำนวนเทอมของแต่ละโน้ต และ มาใช้ในการสังเคราะห์เสียง และสามารถเปรียบเทียบกราฟของแต่ละโน้ตได้

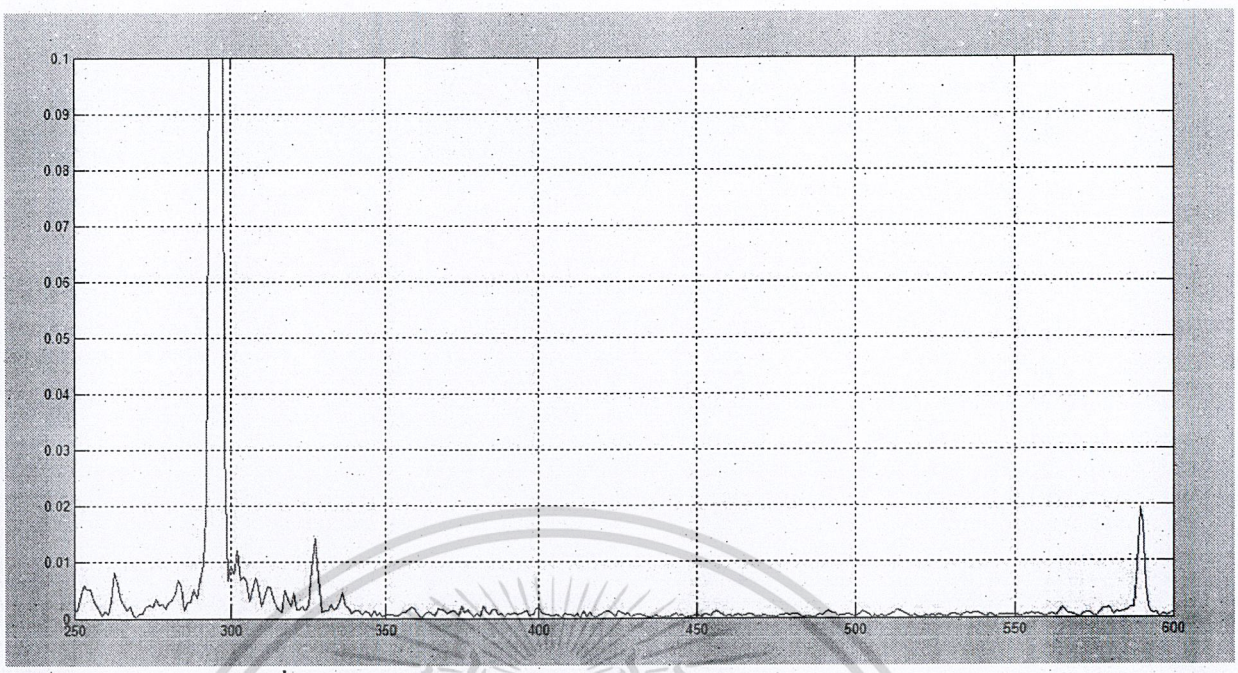
3.1.1 ใช้โปรแกรม Mathlabในการวิเคราะห์

เพื่อการหาค่าที่แม่นยำเราควรใช้ฟังค์ชั่น Windowเพื่อให้กราฟละเอียดมากยิ่งขึ้นในการหาค่า รูปต่อไปนี้เป็นกราฟแสดงค่าแอมพลิจูดกับความถี่ของเสียง โด ,เร,มี เป็นโน้ตที่ต่างกันแต่อยู่ในออกเต๋าเดียวกัน

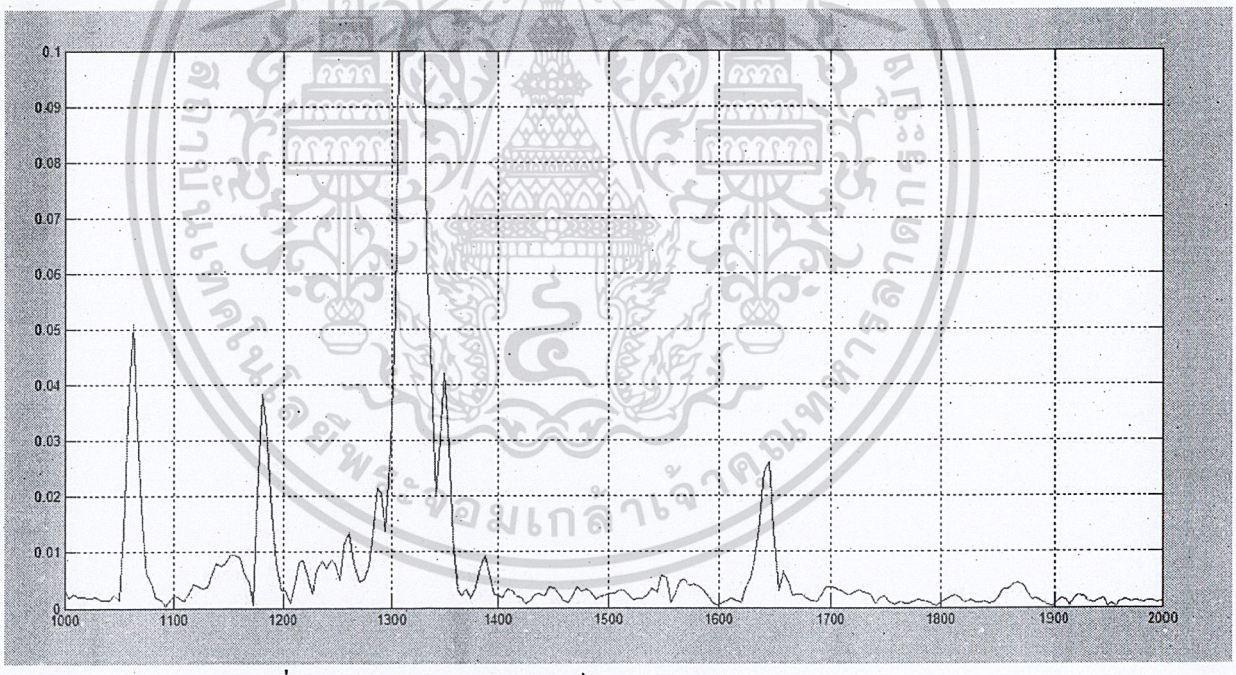


รูปที่ 3.1กราฟจากการวิเคราะห์เสียงโด (C3)ใน Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงเร (D3) ใน Matlab



รูปที่ 3.3 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงมี (E3) ใน Matlab

จากกราฟที่แสดงทั้งสามรูป ที่ใช้ฟังชั่นวินโดว์เราสามารถปรับขนาดให้ใหญ่ขึ้นเพื่อมองเห็นค่าได้ชัดขึ้น แล้วนำมาสร้างเป็นตารางความถี่ (Hz) / แอมพลิจูด จะได้ตารางที่ 3.1

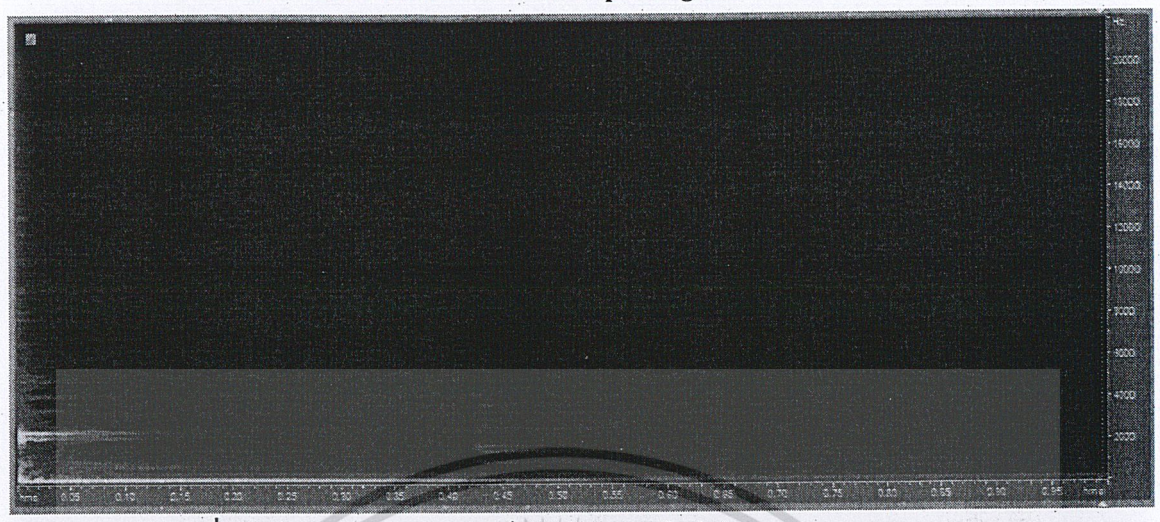
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โน้ต	ความถี่ (Hz) / แอมพลิจูด						
	F_c	Harmonic 1	Harmonic 2	Harmonic 3	Harmonic 4	Harmonic 5	Harmonic 6
G2	196.2/1	220/0.03	268/0.01	274/0.01	342/0.0068	390/0.0058	928.6/0.005
A2	219.4/1	222.2/0.0125	224.67/0.0125	228.1/0.0053	231.5/0.0046	231.67/0.0045	236.13/0.005
B2	245/1	255.9/0.0079	259/0.004	264/0.0049	269/0.0143	274/0.06	
C3	262.5/1	267/0.0072	275/0.0049	281/0.0035	294/0.0069	524/0.0255	
D3	295.1/1	302/0.012	328/0.014	589.3/0.019			
E3	333.8/1	344/0.006	362/0.01	381/0.0023	1170.3/0.0125		
F3	350/1	394/0.0051	700/0.058				
G3	391/1	401.9/0.011	781.48/0.0256				
A3	440/1	444.8/0.0214	447.25/0.0104	450.9/0.007	458.21/0.0069	491.2/0.0081	
B3	493.4/1	505.5/0.0037	509.6/0.0039	516/0.0028	544/0.0045		
C4	521.53/1	1044.8/0.033	1565.2/0.0031	2725/0.00175	3253.5/0.00079		
D4	592.4/1	603.5/0.0081	607/0.0061	620/0.0041			
E4	664.9/1	688/0.011	736.8/0.0056	1090/0.0052	1735/0.0525		
F4	700/1	725/0.004	778/0.004	1018/0.0032	1091.8/0.0028	1139.5/0.002	1420.8/0.042
G4	785.4/1	795.3/1	1573/0.025	1942/0.0044	1980/0.004		
A4	882.9/1	899.5/0.0085	908.2/0.004	934.1/0.0035	944.83/0.00352	994.5/0.0024	
B4	983.5/1	1085/0.0225	1203/0.005				
C5	1048.1/1	1072.6/0.0069	1168.5/0.006	2094/0.043	2460/0.0043	3140/0.0035	
D5	1175/1	1208/0.0095	1240/0.003	12085/0.0032	1649/0.0162		
E5	1325/1	1350/0.042	1388/0.092	1470/0.0038	1548/0.0058		
F5	1396.5	1447/0.04	1671.5/0.035				

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ความถี่กับแอมพลิจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ใช้โปรแกรม Audition ในการวิเคราะห์ Spectrogram



รูปที่ 3.4 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงโด (C3) ในโปรแกรม Audition

รูปที่ 3.5 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงเร (D3) ในโปรแกรม Audition

รูปที่ 3.6 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงมี (E3) ในโปรแกรม Audition

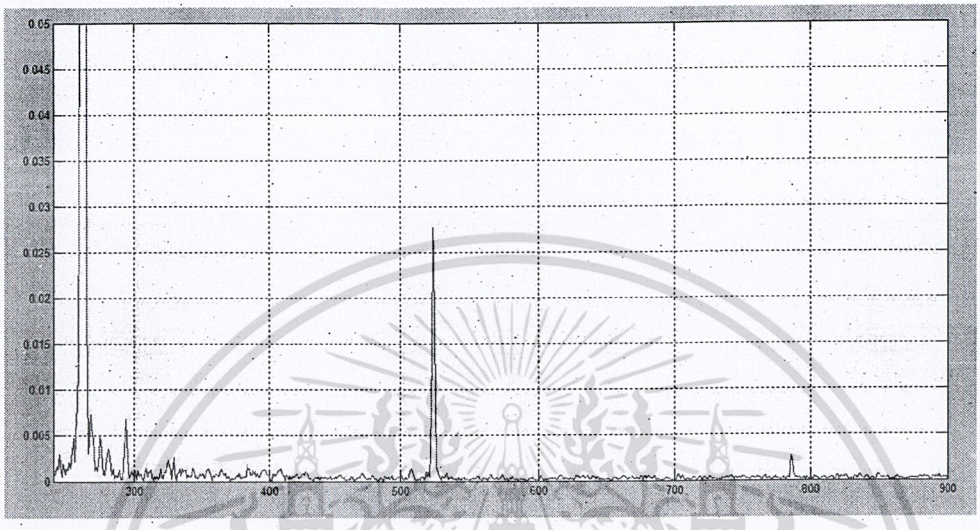
ในการวิเคราะห์กราฟของทั้งสามตัวโน๊ต สังเกตว่าเสียงตั้งแต่โด เร มี ความถี่ Fundamental จะสูงขึ้นเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

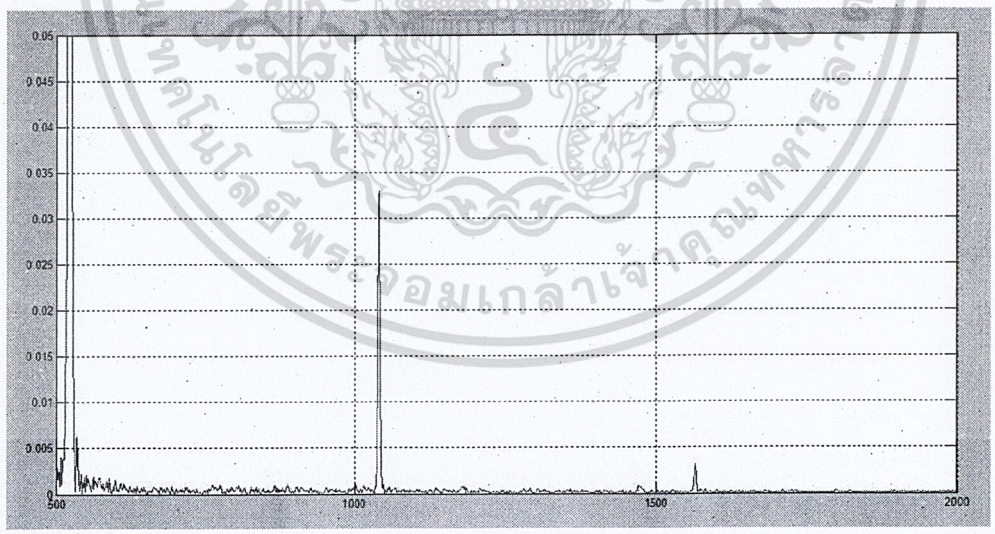
3.1.3 วิเคราะห์ตัวโน๊ตเดียวกันแต่คนละออกเตป

ทดลองเอาเสียงโน้ต โด แต่กำหนดเป็นสามออกเตปแล้วนำมาวิเคราะห์ในโปรแกรม Mathlab และAudition เพื่อดูค่าต่างๆของเสียง

- ใช้ Mathlabในการวิเคราะห์

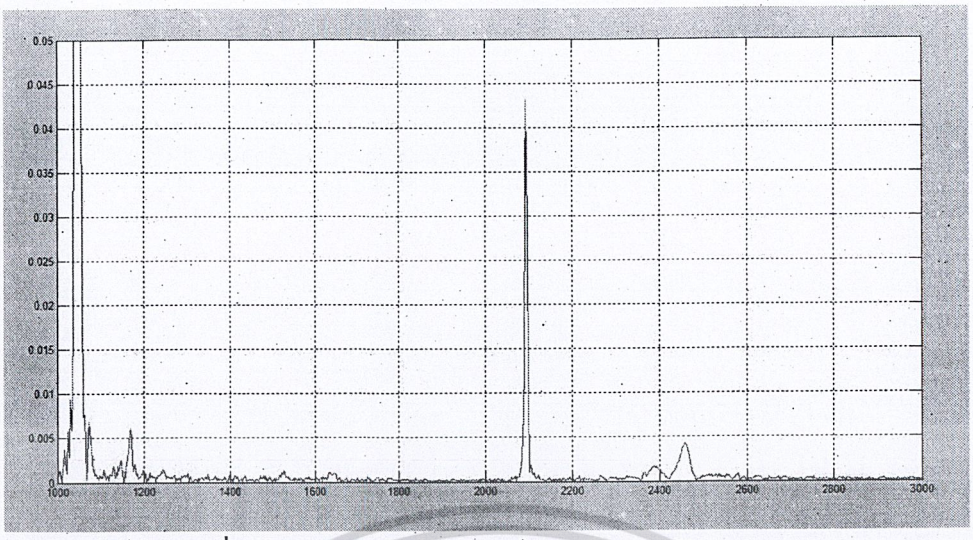


รูปที่ 3.7 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงโด (C3) ใน Matlab



รูปที่ 3.8 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงโด (C4) ใน Matlab

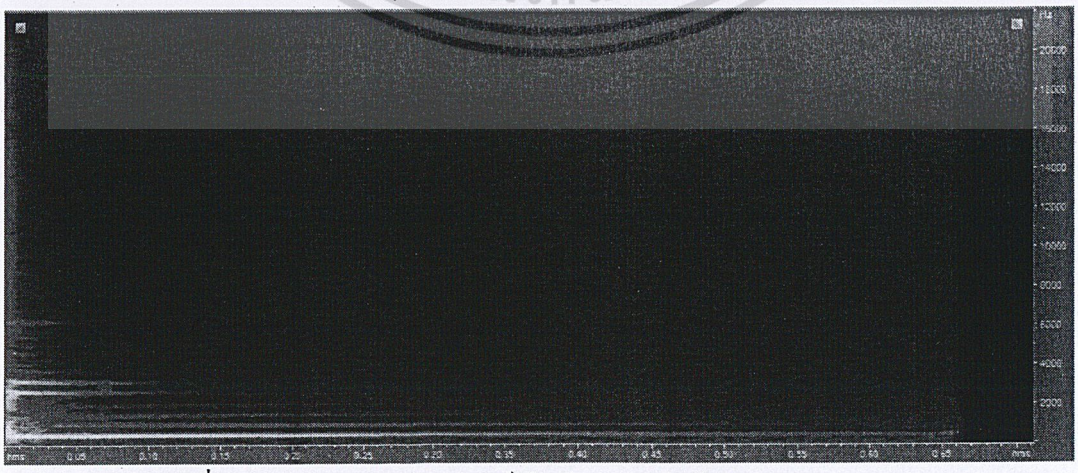
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงโด (C5) ใน Matlab

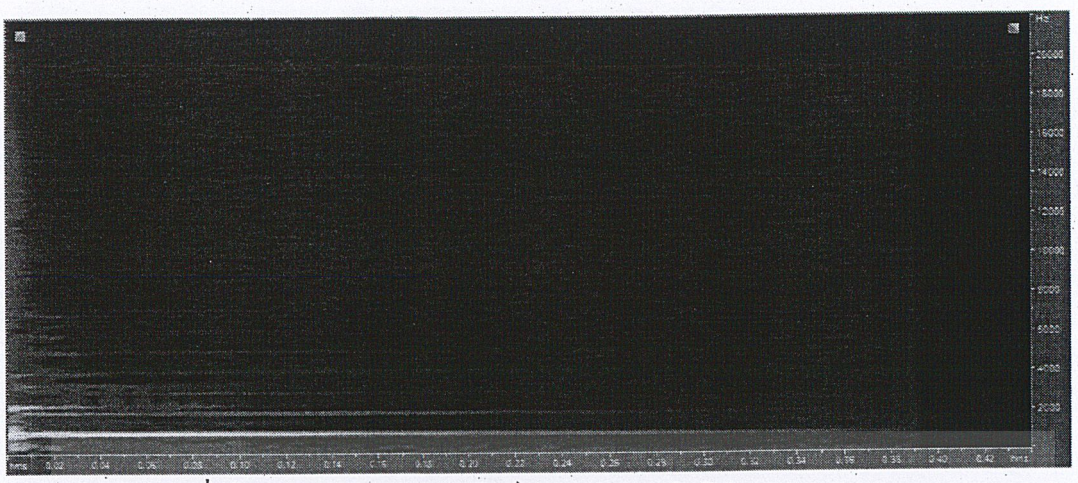
- ใช้โปรแกรม Audition

รูปที่ 3.10 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงโด (C3) ในโปรแกรม Audition



รูปที่ 3.11กราฟจากการวิเคราะห์เสียงโด (C4) ในโปรแกรม Audition

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 กราฟจากการวิเคราะห์เสียงโด (C5) ในโปรแกรม Audition

จากกราฟ ตัวเป็นตัวโน๊ตเสียงโดที่อยู่ต่างออกเตปกัน เมื่อวิเคราะห์แล้วจะเห็นว่าค่าความถี่ของ Fundamental จะเป็นจำนวนเท่ากัน คือ

ความถี่ Fundamentalของ โน้ตโด(C3)= 262.5Hz

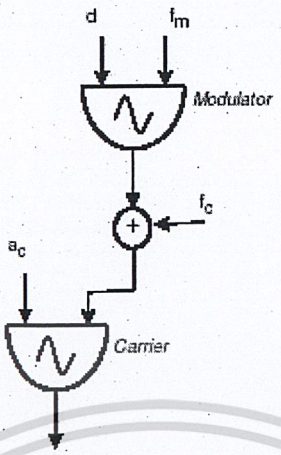
ความถี่ Fundamentalของ โน้ตโด(C4)= 521.53 Hz

ความถี่ Fundamentalของ โน้ตโด(C5)= 1048.1 Hz

จากผลที่ออกมาทำให้ทราบว่า เมื่อเสียงโน้ตเดียวกันแต่เป็นเสียงที่สูงกว่า จะมีค่าความถี่ Fundamental เป็นจำนวนเท่ากัน ทำให้สามารถวิเคราะห์เสียงโน้ตระนาดได้ว่าเสียงไหนเป็นคี่ไหน

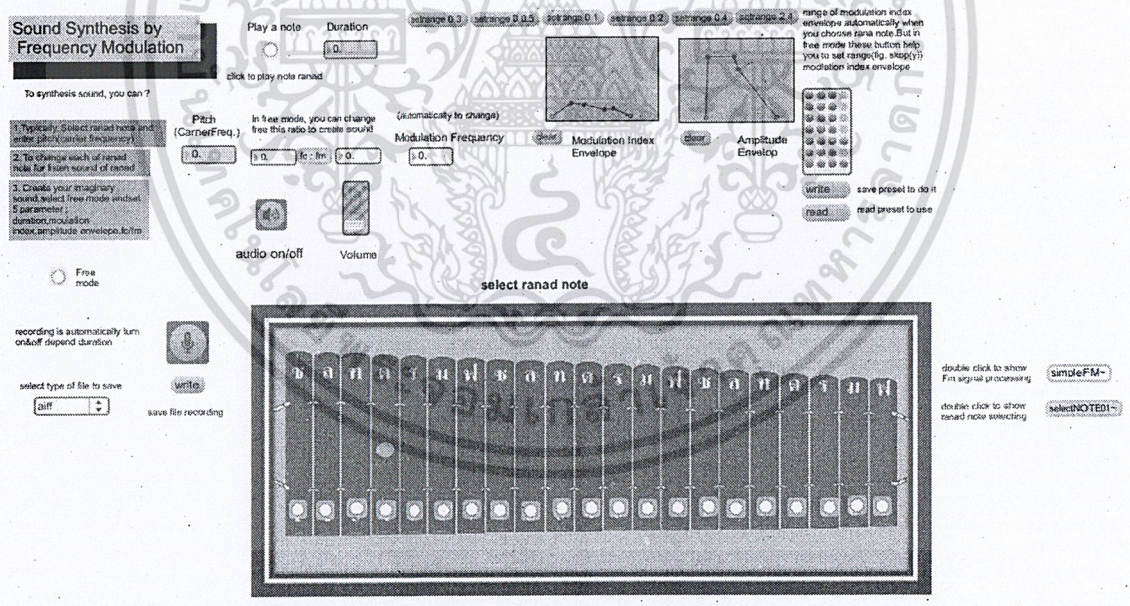
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2การออกแบบโปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคมอดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่าย



รูปที่ 3.13บล๊อคไดอะแกรมวงจรสังเคราะห์เสียงแบบมอดดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่าย

จากวงจรดังรูปที่ 3.13 เมื่อนำไปออกเป็นโปรแกรมสังเคราะห์เสียงในโปรแกรม MAX/MSP จะได้ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14โปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคมอดดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่าย

ประกอบด้วย

-ส่วนเล่นเสียง(Play a note) เมื่อคลิกจะเป็นการเล่นเสียงผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับแต่งค่าในส่วนต่างๆของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

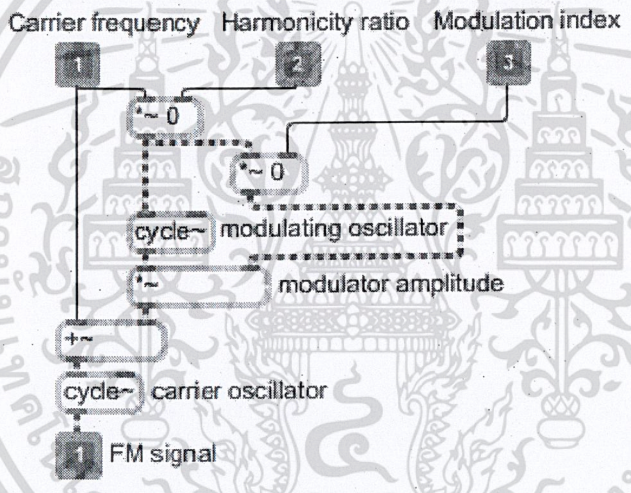
-ส่วนป้อนความยาวเสียง(Duration)มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที(ms)และนำค่าความยาวเสียงไปใช้เป็นโดเมน(Domain)ของส่วนควบคุมกรอบของแอมปลิจูด(Amplitude Envelope)และส่วนควบคุมกรอบของดัชนีมอดดูเลชั่น(Modulation Index Envelope)

- ส่วนป้อนความถี่พื้นฐาน (Fundamental Frequency) ป้อนความถี่พื้นฐานซึ่งจะเป็นระดับเสียง (Pitch)ของสัญาณเสียงผลลพธ์

- ส่วนกำหนดตัวอย่างเสียงล่วงหน้า (Preset) ใช้ในการบันทึกค่าต่างๆสำหรับการเรียกกลับมาใช้ใหม่ความยาวเสียง ความถี่พื้นฐาน กรอบของแอมพลิจูดในแต่ละพาร์เชียล ลำดับและเฟสของแต่ละพาร์เชียลที่จะทำการสังเคราะห์เป็นต้น

- ส่วนปรับระดับความดังของเสียง (Volume) ไว้ปรับความดังของเสียงที่จะสังเคราะห์ออกทางลำโพง (Speaker)

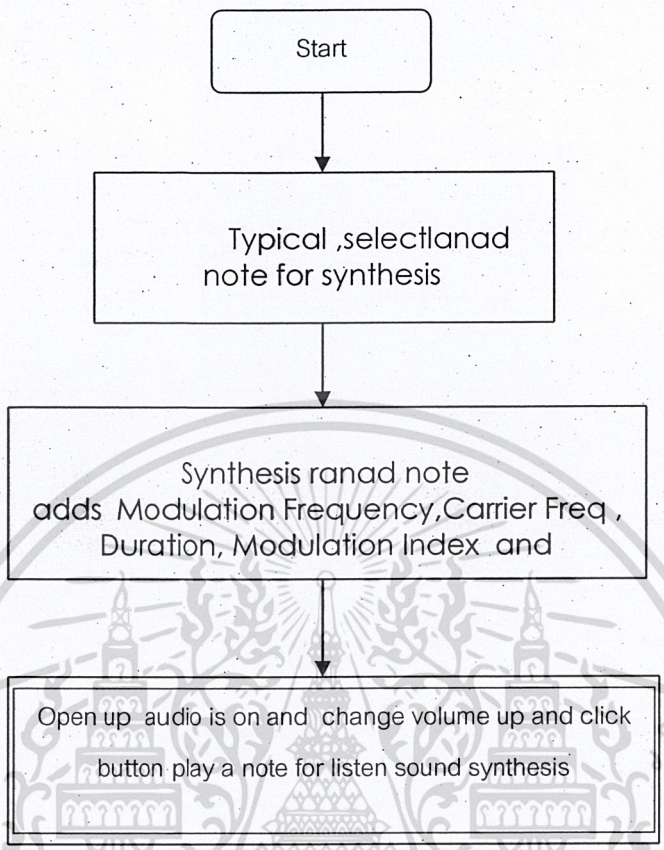
- ส่วนเปิดปิดการเล่นเสียง (Audio on/off) ไว้สำหรับเลือกเปิดหรือปิดเสียงที่จะเล่นออกทางลำโพง



รูปที่ 3.15ส่วนวงจรสังเคราะห์เสียงแบบมอดดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่าย และวงจรการทำงานภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

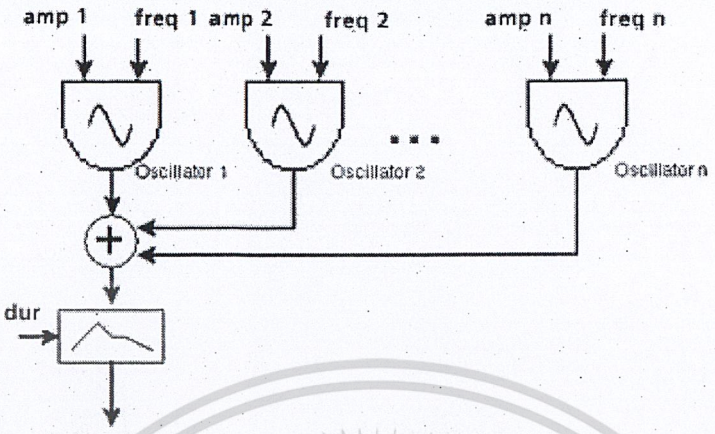
FM sound synthesis program



รูปที่ 3.16 flow chart FM sound synthesis program

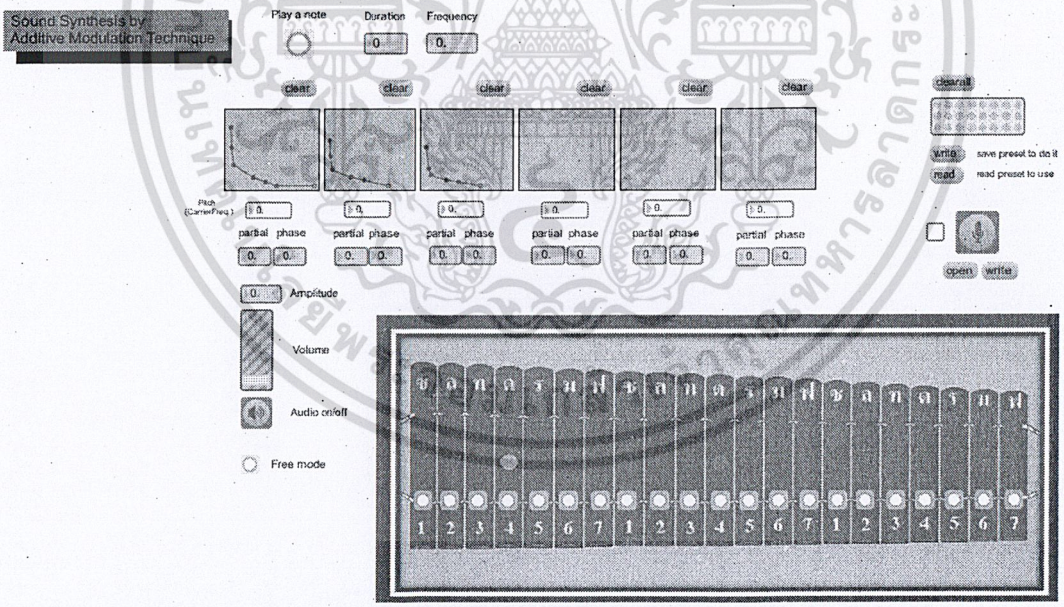
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3การออกแบบโปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ



รูปที่ 3.17 บล๊อคไดอะแกรมวงจรสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ

จากวงจรดังรูปที่ 3.17เมื่อนำไปออกแบบเป็น โปรแกรมสังเคราะห์เสียงในโปรแกรม MAX/MSP จะได้ดังรูปที่3.18



รูปที่3.18โปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ

ประกอบด้วย

-ส่วนเล่นเสียง(Play note) เมื่อคลิกจะเป็นการเล่นเสียงผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับแต่งค่าในส่วนต่างๆของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ส่วนป้อนความยาวเสียง(Duration)มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที(ms)และนำค่าความยาวเสียงไปใช้เป็นโดเมน(Domain)ของส่วนควบคุมกรอบของแอมพลิจูด(Amplitude Envelope)และส่วนควบคุมกรอบของดัชนีมอดดูเลชั่น(Modulation Index Envelope)

- ส่วนป้อนความถี่พื้นฐาน (Fundamental Frequency) ป้อนความถี่พื้นฐานซึ่งจะเป็นระดับเสียง (Pitch)ของสัญญาณเสียงผลลัพธ์

- ส่วนกำหนดตัวอย่างเสียงล่วงหน้า (Preset) ใช้ในการบันทึกค่าต่างๆสำหรับการเรียกกลับมาใช้ใหม่ความยาวเสียง ความถี่พื้นฐาน กรอบของแอมพลิจูดในแต่ละพาร์เชียล ลำดับและเฟสของแต่ละพาร์เชียลที่จะทำการสังเคราะห์เป็นต้น

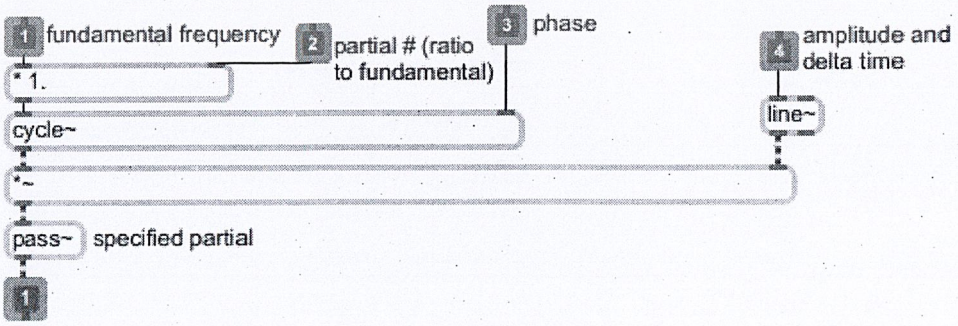
- ส่วนปรับระดับความดังของเสียง (Volume) ไว้ปรับความดังของเสียงที่จะสังเคราะห์ออกทางลำโพง (Speaker)

- ส่วนเปิดปิดการเล่นเสียง (Audio on/off) ไว้สำหรับเลือกเปิดหรือปิดเสียงที่จะเล่นออกทางลำโพง

- ส่วนควบคุมองค์ประกอบของสัญญาณที่จะสังเคราะห์ในแต่ละพาร์เชียล (Partial Setting) รองรับได้มากสุด6 พาร์เชียล โดยแต่ละพาร์เชียลแบ่งออกเป็น 3 ส่วน

1. ส่วนควบคุมตำแหน่งความถี่องค์ประกอบ (partial) ทำหน้าที่ระบุตำแหน่งความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่พื้นฐานใช้เป็นค่าความถี่ในการสังเคราะห์สัญญาณเสียงแต่ละพาร์เชียล
2. ส่วนควบคุมเฟส (Phase) กำหนดเฟสเริ่มต้นของสัญญาณเสียงที่จะสังเคราะห์ในแต่ละพาร์เชียล ค่าปกติกำหนดให้เป็นศูนย์
3. ส่วนควบคุมกรอบของแอมพลิจูด ใช้กำหนดกรอบของแอมพลิจูดของสัญญาณเสียง ที่จะสังเคราะห์ในแต่ละพาร์เชียล

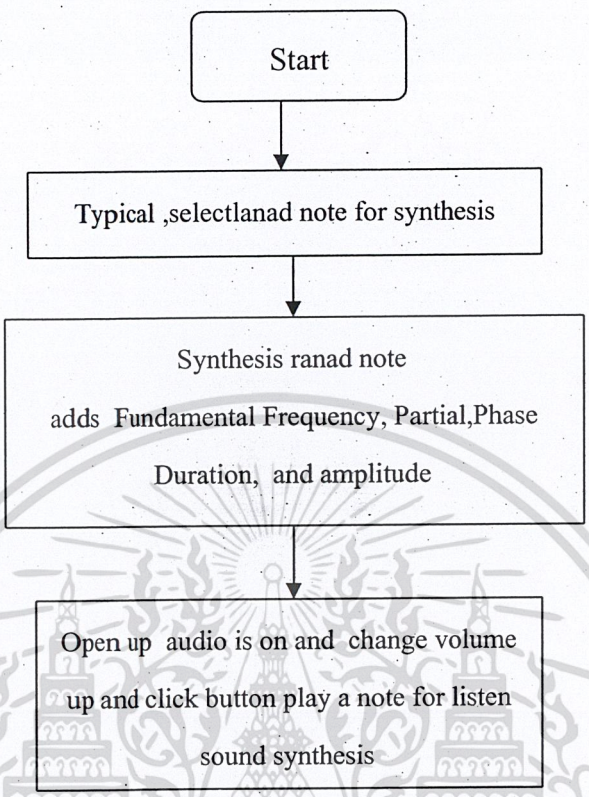
- ส่วนเลือกตัวโน๊ตของระนาด เพื่อที่เลือกโน้ตระนาดที่ต้องการนำมาวิเคราะห์



รูปที่ 3.19ส่วนวงจรสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟและวงจรการทำงานภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Additve sound synthesis program



รูปที่ 3.20flow chartof Additive sound synthesis program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

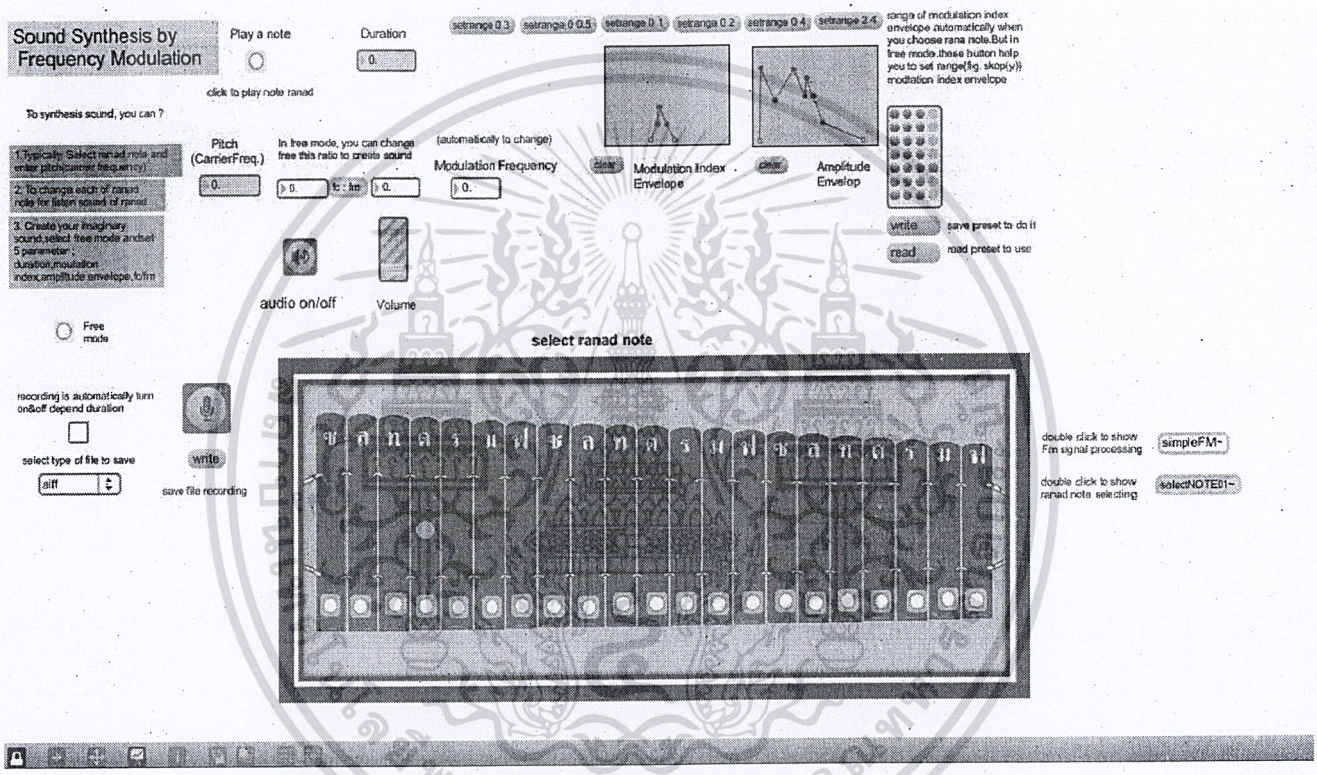
บทที่ 4

การใช้งานและผลการทดลองการใช้โปรแกรม

4.1 การใช้งานโปรแกรมสังเคาะห์เสียงด้วยเทคนิคการมอดดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่ายบน MAX/MSP

4.1.1ขั้นตอนการทดลอง

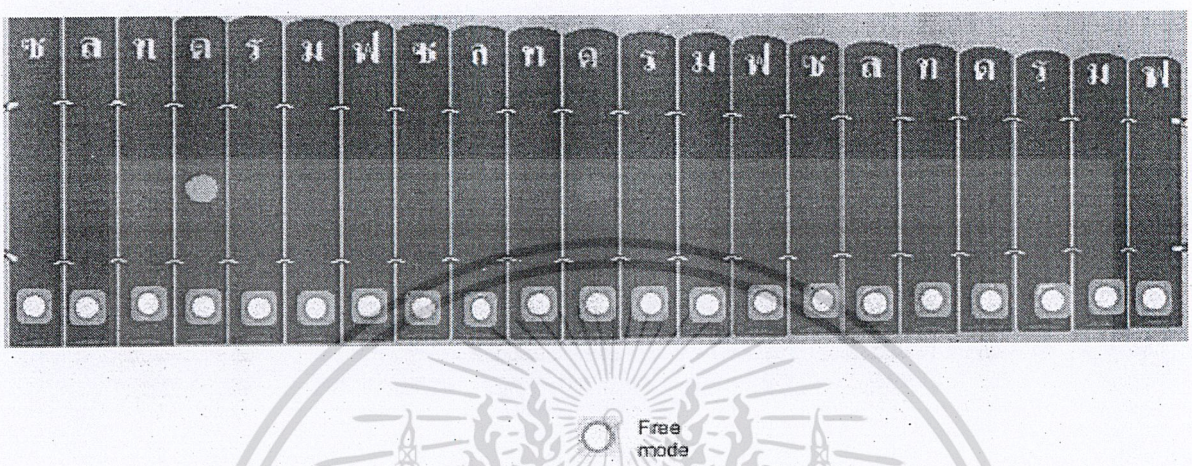
4.1.1.1 เปิดโปรแกรม “FM sound synthesis.exe”



รูปที่ 4.1 โปรแกรม FM sound synthesis

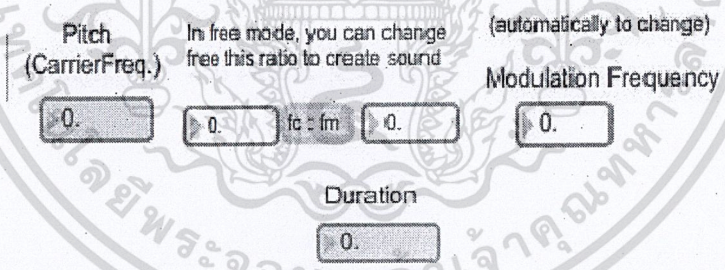
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.2 เลือกโน้ตของเสียงเครื่องดนตรีระนาด ที่มีการสังเคราะห์เสียงไว้แล้ว หรือจะเลือกโหมดปรับอิสระ สำหรับการปรับแต่งค่า parameter ต่างๆด้วยตัวเอง ที่ส่วนของเสียงตัวโน้ตของระนาด



รูปที่ 4.2 ส่วนของการเลือกโน้ตระนาดแต่ละตัวและโหมดปรับอิสระ

4.1.1.3 กำหนดความถี่พื้นฐานหรือระดับเสียงที่ต้องการสังเคราะห์ (Pitch) อัตราส่วนความถี่และความยาวเสียง



รูปที่ 4.3 ส่วนกำหนดความถี่พื้น อัตราส่วนความถี่และความยาวเสียง

4.1.1.4 กำหนดอัตราส่วนความถี่พื้นฐาน f_c :f_m ดังรูปที่ 4.3

- กรณีเลือกโน้ตของระนาดแต่ละตัว อัตราส่วนความถี่จะถูกกำหนดโดยอัตโนมัติ
- กรณีเลือกโหมดปรับอิสระ ให้กำหนดอัตราส่วนความถี่ตามต้องการ

4.1.1.5 กำหนดความยาวเสียง (duration) มีหน่วยเป็น ms

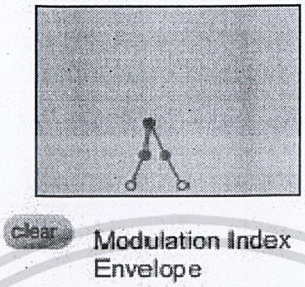
- กรณีเลือกโน้ตของระนาดแต่ละตัว ความยาวเสียงจะถูกกำหนดโดยอัตโนมัติ
- กรณีเลือกโหมดปรับอิสระ ให้กำหนดอัตราส่วนความถี่ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.6 กำหนดกรอบของดัชนีการมอดดูเลชั่น (Modulation Index Envelope)

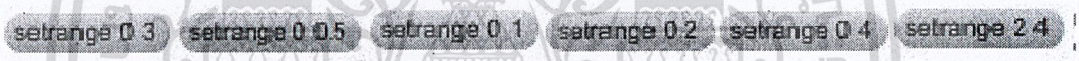
- กรณีเลือกโน้ตของระนาดแต่ละตัว กรอบของดัชนีการมอดดูเลชั่นจะถูกกำหนดโดยอัตโนมัติ

- กรณีเลือกโหมดปรับอิสระ ให้กำหนดกรอบดัชนีการมอดดูเลชั่นตามที่ต้องการ



รูปที่ 4.4 ส่วนกำหนดกรอบของดัชนีการมอดดูเลชั่น

- ใช้ส่วนควบคุมเรนจ์ของดัชนีการมอดดูเลชั่น ช่วยในการปรับแต่งช่วงของดัชนีการมอดูเลชั่นให้เหมาะสมและง่ายในการกำหนดกรอบดัชนีการมอดูเลชั่น

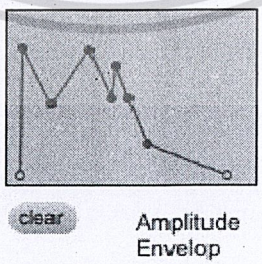


รูปที่ 4.5 ส่วนควบคุมเรนจ์ของดัชนีการมอดูเลชั่น

4.1.1.7 กำหนดกรอบของแอมพลิจูด (Amplitude Envelope)

- กรณีเลือกโน้ตของระนาดแต่ละตัว กรอบของแอมพลิจูดจะถูกกำหนดโดยอัตโนมัติ

- กรณีเลือกโหมดปรับอิสระ ให้กำหนดกรอบของแอมพลิจูดตามที่ต้องการ



รูปที่ 4.6 ส่วนควบคุมกรอบของแอมพลิจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.8 ปรับระดับความดังของเสียง กำหนดโดยใช้เมาส์เลื่อน ขึ้น – ลง

รูปที่ 4.7 อุปกรณ์ปรับระดับความดังเสียง

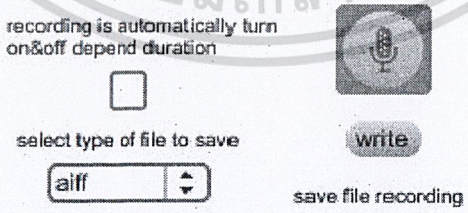
4.1.1.9 กดเปิดการเล่นเสียงที่ปุ่ม เปิด – ปิด การเล่นของเสียง

รูปที่ 4.8 อุปกรณ์ เปิด – ปิด การเล่นเสียง

4.1.1.10 คลิกที่ปุ่ม play note เพื่อการสังเคราะห์เสียงตามพารามิเตอร์ที่กำหนด

รูปที่ 4.9 ปุ่มเล่นเสียง

4.1.1.11 โปรแกรมจะบันทึกเสียงที่สังเคราะห์ขึ้นโดยอัตโนมัติ และจัดเก็บไว้ในหน่วยความจำชั่วคราว



รูปที่ 4.10 ส่วนบันทึกเสียง

คลิกปุ่มเล่น

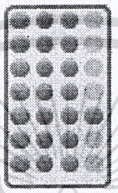
(Audio On)เพื่อเล่นเสียงที่จัดเก็บอยู่ในหน่วยความจำ จากนั้นกด(Record)เพื่อทำการบันทึกเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีต้องการนำเสียงที่สังเคราะห์ได้ใช้ไป เลือกปุ่ม write (Write) เพื่อทำการเก็บไฟล์เสียง โดยกำหนดชื่อไฟล์และชนิดของไฟล์ select type of file to save aiff (.wav,.aiff)และตำแหน่งที่บันทึก

กรณีที่ต้องการจะยกเลิกข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำชั่วคราว เลือกปุ่มเคลียร์ clear (Clear) เพื่อทำการลบข้อมูล

4.1.1.12 ทดลองใช้ตัวอย่างจากส่วนกำหนดตัวอย่างของเสียงล่าวงหน้า ซึ่งกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆไว้พร้อมสำหรับการสังเคราะห์เสียงโน้ตระนาด



รูปที่ 4.11 ส่วนกำหนดตัวอย่างเสียงล่วงหน้า

กรณีต้องการกำหนดตัวอย่างของเสียงใหม่ทำการกำหนดพารามิเตอร์ทุกค่าได้แก่ ความยาวเสียง กรอบของดัชนีมอดูเลชั่น ความถี่ในส่วนต่างๆ และ กรอบของแอมพลิจูด แล้วกดปุ่ม (Shift) ที่แผงแป้นอักขระ(Keyboard) ค้างไว้ พร้อมกับคลิกเลือกช่องใดๆ ในส่วนกำหนดตัวอย่างเสียงล่วงหน้า

เลือกปุ่มเขียน write (Write)ตั้งชื่อชุดตัวอย่างเสียง จากนั้นเลือก “บันทึก” เพื่อบันทึกชุดตัวอย่างเสียงล่วงหน้า และเลือกปุ่มอ่าน read (Read) สำหรับเรียกใช้งานชุดตัวอย่างเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

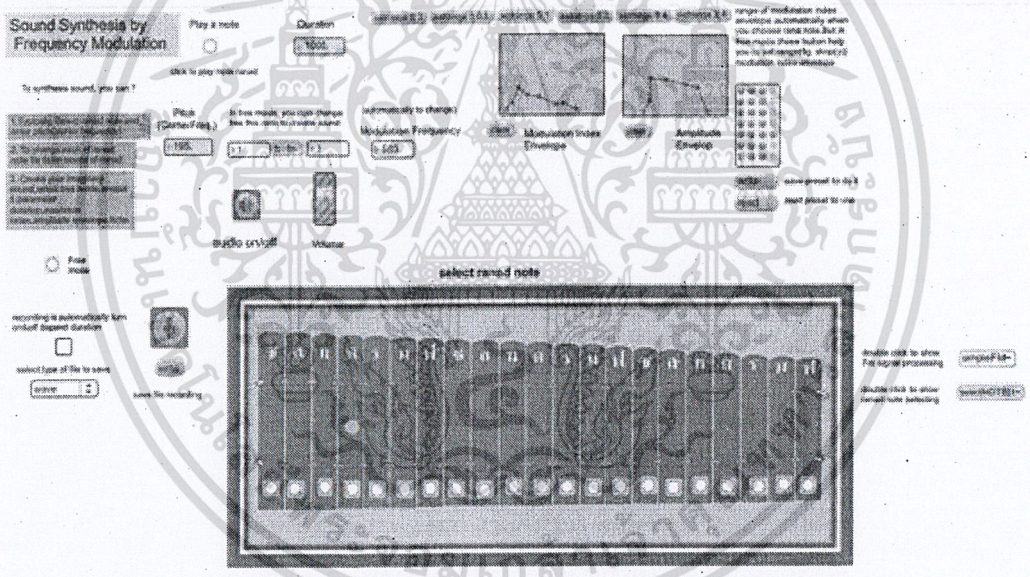
4.1.2ผลการทดลองการใช้โปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคมอดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่าย (FM sound synthesis)

เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ตามขั้นตอนดังกล่าว แล้วคลิกที่ปุ่มเล่นเสียง โปรแกรมจะทำการเล่นเสียงที่สังเคราะห์ออกทางลำโพง พร้อมทั้งทำการจัดเก็บลงในหน่วยความจำชั่วคราว เมื่อทำการบันทึกจะได้ไฟล์เสียงตามที่ต้องการ

ตัวอย่างผลการทดลอง

ทำการเลือกชนิดของเสียงตัวโน๊ตของระนาด คือ ซอล ในOctaveที่ 1 โปรแกรมจะทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้โดยอัตโนมัติ ได้แก่ ความยาวเสียง,อัตราส่วนความถี่,กรอบของดัชนีการมอดูเลชั่น,กรอบของแอมพลิจูด จากนั้นกำหนดระดับเสียง(Pitch) เปิดส่วนเล่นของลำโพงพร้อมทั้งปรับความดังของเสียง

ได้ดังรูปที่ 4.12เมื่อคลิกปุ่มเล่นเสียง (play) จะได้ยินเสียงสังเคราะห์ของเครื่องดนตรีระนาด เพื่อจะเก็บบันทึกเป็นไฟล์เสียงต่อไป



รูปที่ 4.12พารามิเตอร์ของโน้ตระนาดตัวซอลในOctave ที่1ของระนาดที่กำหนดในโปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคมอดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อเปรียบเทียบเสียงสังเคราะห์ จากโปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคมอดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่าย

4.1.3.1 เสียงสังเคราะห์ที่มีระดับเสียงต่างกัน

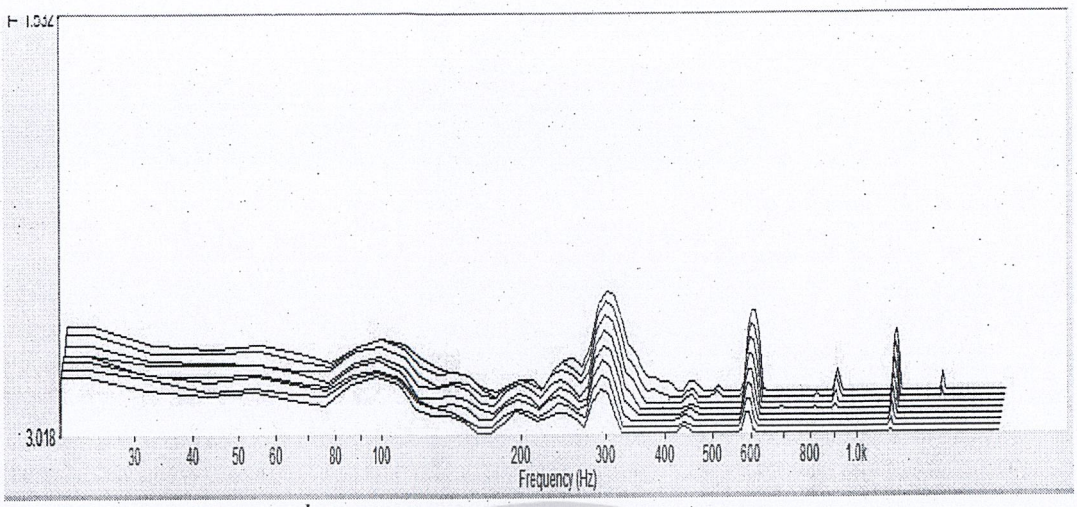
ทดลองสังเคราะห์ที่มีระดับเสียงต่างกัน (Carrier frequency) นำความถี่พื้นฐานโน้ตระนาดซอล octave ที่ 1 และ ลา Octave ที่ 1 โดยมีพารามิเตอร์แสดงในตารางที่ 4.1

พารามิเตอร์ที่กำหนด	เสียงสังเคราะห์ 4.1.3.1(A)	เสียงสังเคราะห์4.1.31(B)
ระดับเสียง (ความถี่พื้นฐาน) (Hz)	Pitch (CarrierFreq.) 293.	
อัตราส่วนความถี่ (f_c:f_m)	1. fc : fm 3.	
ความยาวเสียง (ms)	Duration 1000.	
กรอบดัชนีการมอดูเลชั่น	clear Modulation Index Envelope	clear Modulation Index Envelope
ช่วงของดัชนีการมอดูเลชั่น	0 - 1	
กรอบของแอมพลิจูด	clear Amplitude Envelop	

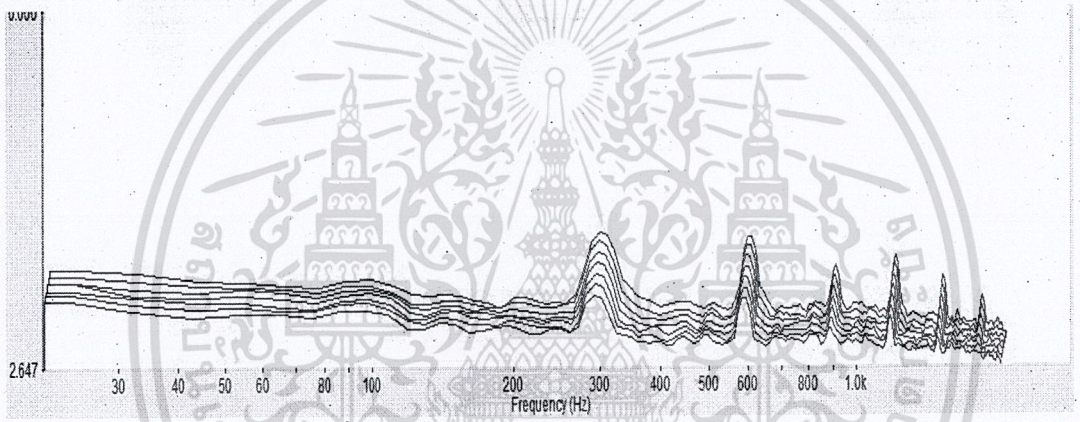
ตารางที่ 4.1ตารางพารามิเตอร์ที่กำหนดในการทำลองสร้างเสียงสังเคราะห์ที่มีกรอบดัชนีการมอดูเลชั่นต่างกันในโปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคการมอดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่าย

เสียงสังเคราะห์ 4.1.3.2(A) และ 4.1.3.2(B) เมื่อป้อนเข้าโปรแกรมสเปคตราแลปเพื่อทำการวิเคราะห์ จะได้รูปองค์ประกอบของสเปคตรัมดังรูปที่ 4.14 และ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13สเปคตรัมของเสียงสังเคราะห์ 4.1.3.1(A)



รูปที่ 4.14สเปคตรัมของเสียงสังเคราะห์ 4.1.3.1(B)

เสียงสังเคราะห์ 4.1.3.1(A) มีการปรับมอดูเลชั่นได้เป็นเสียงที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับเสียงของระนาด แต่เสียงสังเคราะห์ 4.1.3.1(B) จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับเสียงของเครื่องดนตรีประเภทเป่า

เช่นเดียวกับการกำหนดค่า ช่วงของการมอดูเลชั่นที่ต่างกัน เสียงสังเคราะห์ที่มีค่า ดัชนีการมอดูเลชั่นมากกว่าจะมีคุณภาพเสียงที่ใสกว่าและมีจำนวนเทอมของความถี่ข้างเคียงเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงเป็นผลเกิดการกระจายของสเปคตรัมความถี่พื้นฐานออกไปยังความถี่ข้างเคียง ดังนั้นค่ามอดูเลชั่นจะเป็นตัวที่เข้าไปควบคุมจำนวนและแอมพลิจูดสเปคตรัมของคาวมถี่ข้างเคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.2 เสียงสังเคราะห์ที่มีอัตราส่วนความถี่ (f_c:f_m) ต่างกัน

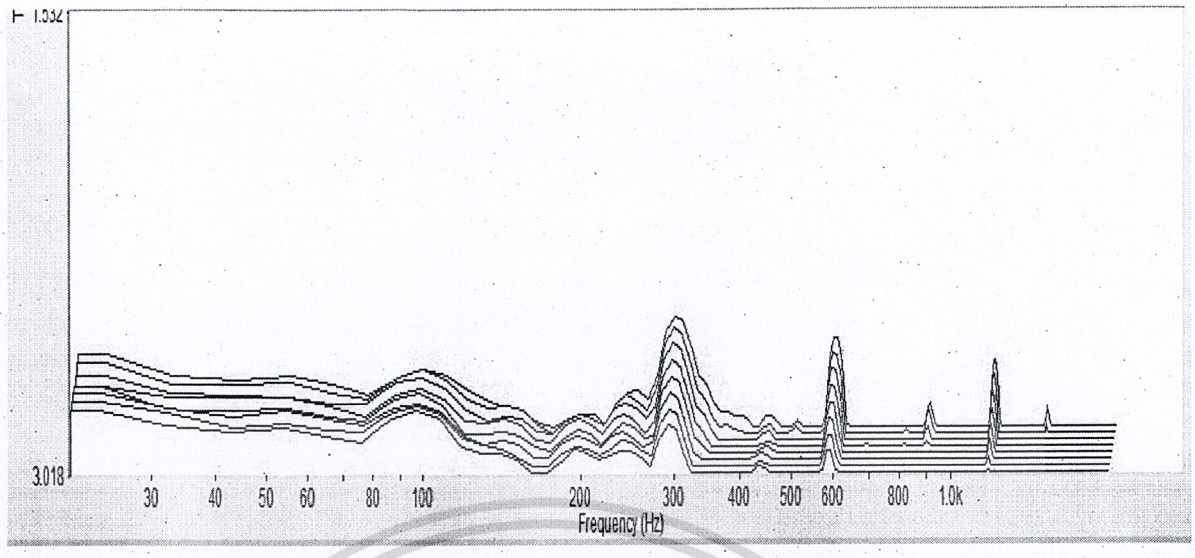
ทดลองสังเคราะห์เสียงตัวโน๊ตของเครื่องดนตรีระนาดที่มีอัตราส่วนความถี่ที่ต่างกัน โดยกำหนดให้เสียงสังเคราะห์ 4.1.3.2(A) ที่ใช้ในการสังเคราะห์ โดยกำหนดให้อัตราส่วนความถี่ 1:3 ซึ่งเป็นอัตราส่วนของโน๊ตระนาดในการเทียบกับเสียงสังเคราะห์ 4.1.3.2(B) กำหนดอัตราส่วนความถี่ 16:11 ให้กับกลองไม้ โดยกำหนดพารามิเตอร์แสดงดังตารางที่ 4.2

พารามิเตอร์ที่กำหนด	เสียงสังเคราะห์ 4.1.3.2(A)	เสียงสังเคราะห์ 4.1.3.2(B)
ระดับเสียง (ความถี่พื้นฐาน) (Hz)	Pitch (CarrierFreq.) 293.	
อัตราส่วนความถี่ (f_c:f_m)	1. fc : fm 3.	16. fc : fm 11.
ความยาวเสียง(ms)	Duration 1000.	
กรอบดัชนีการมอดูเลชั่น	clear Modulation Index Envelope	
ช่วงของดัชนีการมอดูเลชั่น	0 - 1	
กรอบของแอมพลิจูด	clear Amplitude Envelop	

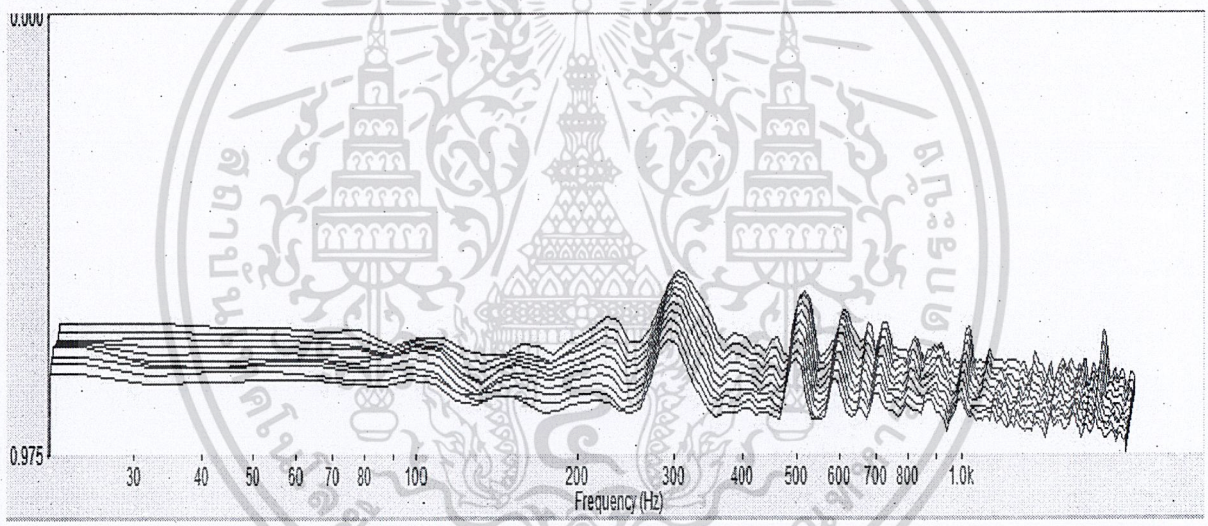
รูปที่ 4.2พารามิเตอร์ที่กำหนดในการทดลองสร้างเสียงสังเคราะห์ที่มีอัตราส่วนความถี่ต่างกันในโปรแกรมสังเคราะห์ด้วยเทคนิคการมอดูเลชั่นเชิงความถี่อย่างง่าย

เสียงสังเคราะห์ 4.1.3.2(A) และ 4.1.3.2(B) เมื่อป้อนเข้าโปรแกรมสเปคตราแลปเพื่อทำการวิเคราะห์ จะได้รูปองค์ประกอบของสเปคตรัมดังรูปที่ 4.16 และ 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 สเปคตรัมของเสียงสังเคราะห์ 4.1.3.2(A)



รูปที่ 4.17 สเปคตรัมของเสียงสังเคราะห์ 4.1.3.2(B)

เสียงสังเคราะห์ 4.1.3.2 (A) ที่ใช้ในการสังเคราะห์ โดยกำหนดให้อัตราส่วนความถี่ 1:3 ซึ่งเป็นอัตราส่วนของโน๊ตระนาดในการเทียบกับเสียงสังเคราะห์ 4.1.3.2(B) กำหนดอัตราส่วนความถี่ 16:11 ให้กับกลองไม้

ดังนั้นอัตราส่วนความถี่ จึงมีความสำคัญในการควบคุมสีสันเสียง โดยอัตราส่วนความถี่จะมีค่าเฉพาะตัวที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์เสียงเครื่องดนตรีแต่ละชนิด ทั่วไปเครื่องดนตรีกลุ่มเดียวกันมีอัตราส่วนความถี่เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน

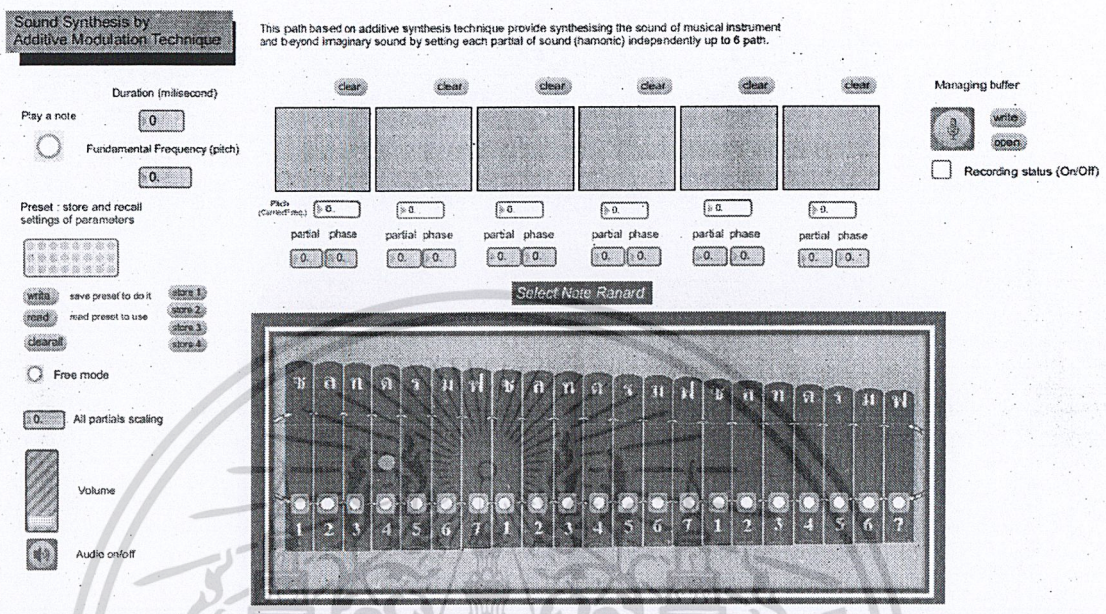
ถ้าอัตราส่วนความถี่และอัตรามอดูเลชั่นคงที่ ขณะที่ ความถี่คลื่นพาร์ , ความยาวเสียง , กรอบแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงไปเสียงที่สังเคราะห์จะมีการเปลี่ยนระดับเสียง (Pitch) แต่สีสันเสียง (Timbre) จะคงเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การใช้งานโปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟบนMAX/MSP

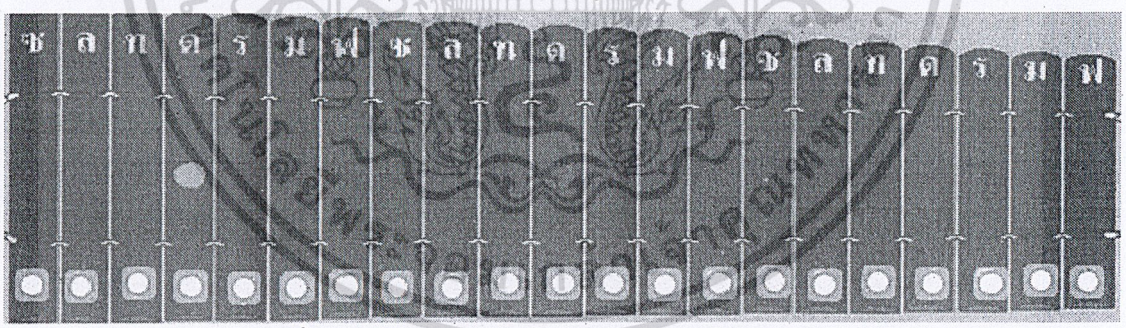
4.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

4.2.1.1 เปิดโปรแกรม “Additive sound synthesis.exe”



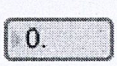
รูปที่ 4.18 โปรแกรม “Additive sound synthesis.exe”

4.2.1.2เลือกโน้ตที่ต้องการสังเคราะห์เสียง ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ส่วนของการเลือกโน้ตระนาดแต่ละตัว

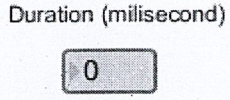
4.2.1.3 กำหนดความถี่พื้นฐานหรือระดับเสียงที่ต้องการสังเคราะห์ (Pitch)



รูปที่ 4.20 ส่วนกำหนดความถี่พื้นฐาน

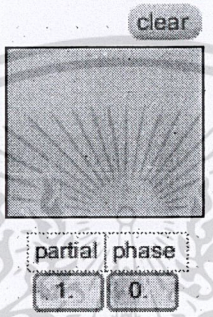
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.4 กำหนดความยาวเสียง (Duration)



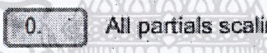
รูป ที่ 4.21 ส่วนกำหนดความยาวเสียง

4.2.1.5 กำหนดกรอบของแอมพลิจูด ตำแหน่งพาร์เชียลเป็นจำนวนเท่าของความถี่พื้นฐาน และเฟสของแต่ละองค์ประกอบของเสียงที่ต้องการสังเคราะห์ ที่ส่วนควบคุมองค์ประกอบของสัญญาณในแต่ละพาร์เชียล (Partial setting)



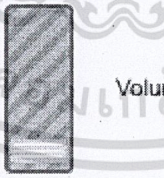
รูปที่ 4.22 ส่วนควบคุมองค์ประกอบของสัญญาณในแต่ละพาร์เชียล

4.2.1.6 กำหนดขนาดของแอมพลิจูดของสัญญาณที่สังเคราะห์ทุกพาร์เชียล



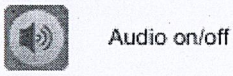
รูปที่ 4.23 ส่วนกำหนดขนาดของแอมพลิจูดของสัญญาณที่สังเคราะห์ทุกพาร์เชียล

4.2.1.7 ปรับระดับความดังของเสียง กำหนดโดยใช้เมาส์เลื่อนขึ้น-ลง



รูปที่ 4.24 ส่วนปรับความดังของเสียง

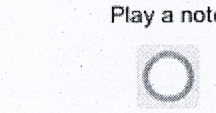
4.2.1.8 กดเปิดการเล่นเสียงที่ปุ่มเลือกเปิด – ปิดการเล่นเสียง



รูปที่ 4.25 ส่วนเปิด/ปิด การเล่นเสียง

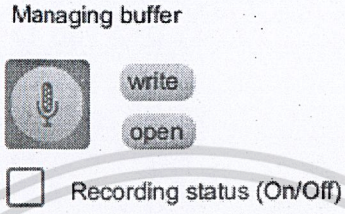
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.9 คลิกที่ปุ่มเล่นเสียง (Run) เพื่อทำการสังเคราะห์เสียงตามพารามิเตอร์ที่กำหนด



รูปที่ 4.26 ปุ่มเล่นเสียง

4.2.1.10 โปรแกรมจะบันทึกเสียงที่สังเคราะห์ขึ้น จัดเก็บไว้ที่หน่วยความจำชั่วคราว

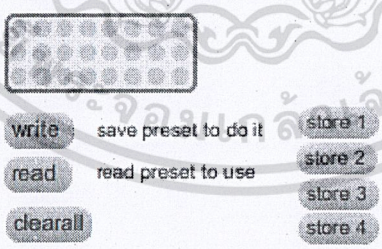


รูปที่ 4.27ส่วนบันทึกเสียง

กรณีต้องการนำเสียงที่สังเคราะห์ได้ไปใช้ เลือกปุ่มเขียน (Write) เพื่อทำการบันทึกไฟล์เสียง โดยกำหนดชื่อไฟล์และชนิดของไฟล์ (.wav, .aiff) และตำแหน่งที่จะบันทึก

กรณีต้องการนำเสียงมาเล่นบนโปรแกรม เลือกปุ่มอ่าน (Read) จากนั้นเลือกเปิดไฟล์เสียงชนิด .wav หรือ .aiffที่มีความยาวเสียงไม่เกินกว่า 15 วินาที

4.2.1.11 ทดลองใช้ตัวอย่างเสียงจากส่วนกำหนดตัวอย่างเสียงล่วงหน้า ซึ่งกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ไว้พร้อมสำหรับการสังเคราะห์เสียงโน้ตระนาดตัวอย่างแล้ว



กรณีต้องการกำหนดตัวอย่างเสียงล่วงหน้าใหม่ ทำการกำหนดพารามิเตอร์ทุกค่าแล้วกดปุ่มชิป (Shift) ที่แผงป้อนอักขระ (Keyboard) ค้างไว้ พร้อมกับคลิกช่องใดๆ หรือกดปุ่ม store 1 เพื่อบันทึกค่า ในส่วนกำหนดตัวอย่างเสียงล่วงหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

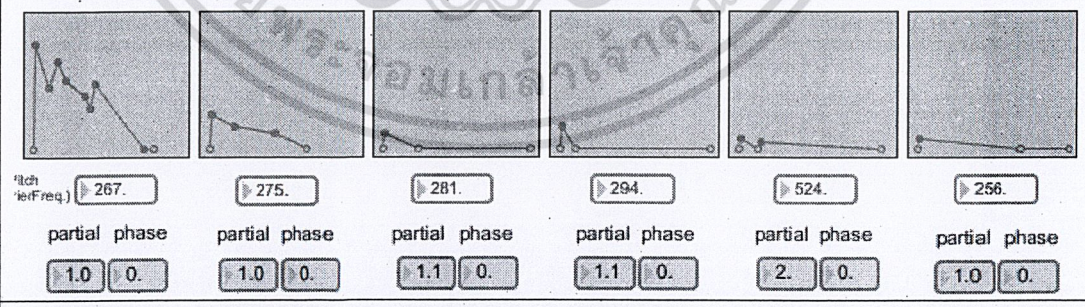
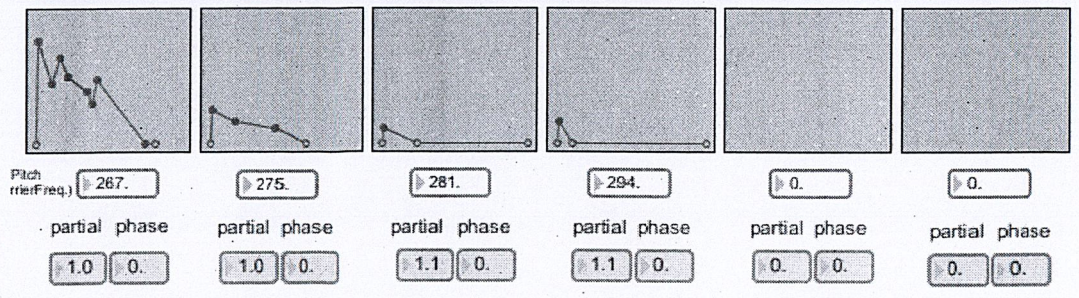
4.2.2 ผลการทดลองใช้โปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ (Additive sound synthesis.exe)

เมื่อทำการเลือกโน้ตที่ต้องการจะสังเคราะห์ โปรแกรมจะทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติ ได้แก่ ความยาวเสียง กรอบของแอมพลิจูด ตำแหน่งของพาร์เชียลและเฟสของแต่ละพาร์เชียลที่เป็นองค์ประกอบของเสียง ขนาดของแอมพลิจูดของทุกพาร์เชียล จากนั้นกำหนดระดับเสียง (Pitch) เปิดตส่วนเล่นเสียงออกทางลำโพง ปรับระดับความดังของเสียง เมื่อคลิกปุ่มเล่นเสียง (Play a Note) จะได้ยินเสียงสังเคราะห์ของโน้ตระนาด

4.2.3 ผลการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อเปรียบเทียบเสียงสังเคราะห์ จากโปรแกรมสังเคราะห์เสียงด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ

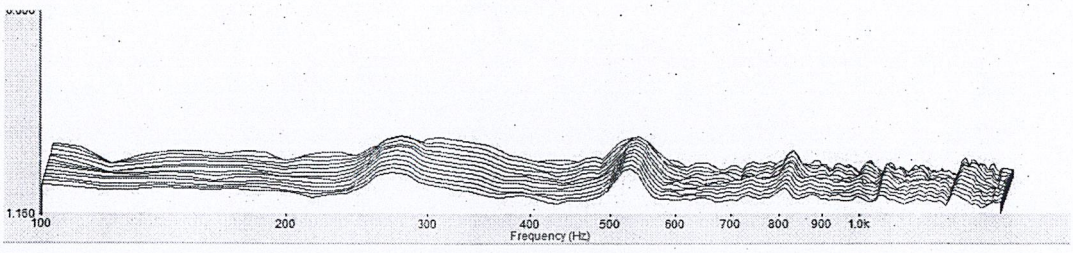
4.2.3.1 เสียงสังเคราะห์ที่มีจำนวนของพาร์เชียลแตกต่างกัน

ทดลองสังเคราะห์เสียงโน้ตที่มีจำนวนพาร์เชียลแตกต่างกัน โดยการกำหนดพารามิเตอร์แสดงดังตารางที่ 4.3

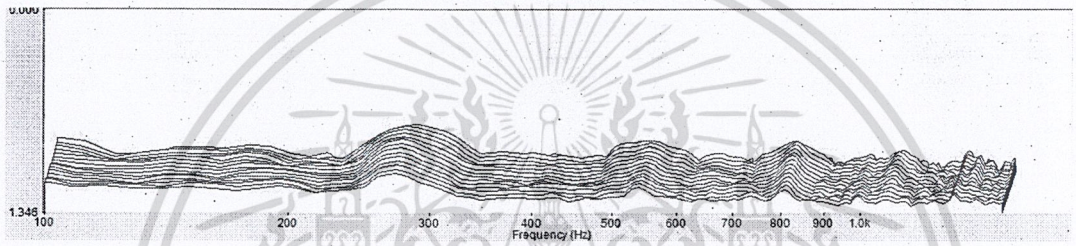
พารามิเตอร์ที่กำหนด	เสียงสังเคราะห์ 4.2.3.1(A)	เสียงสังเคราะห์ 4.2.3.1(B)
ความถี่พื้นฐาน	262	262
ความยาวเสียง(ms)	1000 ms	1000 ms
กรอบแอมพลิจูด 4.2.3.2(A)		
กรอบแอมพลิจูด 4.2.3.2(B)		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียงสังเคราะห์ 4.2.3.1(A) และ 4.2.3.1(B) เมื่อป้อนเข้าโปรแกรมสเปคตราแลปเพื่อทำการวิเคราะห์ จะได้รูปองค์ประกอบของสเปคตรัมดังรูปที่ 4.18 และ 4.19



รูปที่ 4.18สเปคตรัมของเสียงสังเคราะห์ 4.2.3.1(A)



รูปที่ 4.19สเปคตรัมของเสียงสังเคราะห์ 4.2.3.1(B)

เสียงสังเคราะห์ 4.2.3.1 (A) ที่ใช้ในการสังเคราะห์ โดยกำหนดให้ใช้พาร์เชียล6 ตัว และเสียงสังเคราะห์ 4.2.3.2 (B) ที่ใช้ในการสังเคราะห์ โดยกำหนดให้ใช้พาร์เชียล4ตัว ซึ่งเสียงสังเคราะห์4.2.3.1 (A) จะให้ความชัดเจน และไพเราะมากกว่าเสียง 4.2.3.1 (B) เพราะพาร์เชียลเป็นองค์ประกอบของเสียงที่เราได้ยิน ซึ่งถ้าเราตัดจำนวนพาร์เชียลออกไป องค์ประกอบของเสียงก็จะน้อยรายละเอียดของเสียงก็จะต่ำลง ทำให้เสียงที่ได้ยินนั้นมีความชัดเจน และไพเราะน้อยลง

จากการทดลอง วิธีการมอดดูเลชั่นด้วยเทคนิคแอดดิทีฟ (Additive Synthesis) สามารถสังเคราะห์เสียงได้เหมือนจริง แต่ถ้าเป็นเสียงที่มีความซับซ้อนมาก จะซับซ้อนต่อการสังเคราะห์เสียง เนื่องจากจำเป็นต้องข้อมูลในการวิเคราะห์มาก ในการหาองค์ประกอบของเสียง และต้องกำหนดเทอมในการมอดดูเลชั่นมากๆ ต่างจากวิธีการมอดดูเลชั่นความถี่อย่างง่าย(Simple FM Synthesis) ที่เราสามารถสังเคราะห์เสียงที่มีความซับซ้อนมากๆได้ โดยกำหนดพารามิเตอร์แค่สองตัว

ดังนั้น ถ้าต้องการสังเคราะห์เสียงที่มีความซับซ้อนมาก ควรใช้วิธี Simple FM Modulation ในการสังเคราะห์เสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ปัญหาที่เกิดขึ้นและการพัฒนาโครงงาน

5.1 ปัญหาข้อจำกัดในการส่งผ่านค่าพารามิเตอร์ของโปรแกรมที่พัฒนาบนแมกซ์ – เอ็มเอสพี

เนื่องจากการพัฒนาโปรแกรมบน MAX/MSP มีข้อจำกัดในการส่งผ่านค่าพารามิเตอร์ร่วมกับการพัฒนาโปรแกรมบนเทคโนโลยีอื่นๆ ในการพัฒนาโปรแกรมแมกซ์ – เอ็มเอสพี จึงจำเป็นต้องพัฒนาโปรแกรมทั้งหมดขึ้นด้วยแมกซ์ – เอ็มเอสพีเท่านั้น แม้ว่าแมกซ์ – เอ็มเอสพี จะรองรับการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมด้านเสียงได้อย่างหลากหลายและยืดหยุ่นมาก แต่จากข้อจำกัดดังกล่าว ทำให้โปรแกรมที่พัฒนาโดยแมกซ์ – เอ็มเอสพี ไม่สามารถพัฒนาให้ใช้งานได้ในบางกรณี เช่น การให้บริการแบบไคลเอนท์ – เซิร์ฟเวอร์บนระบบเครือ เป็นต้น

โปรแกรมสังเคราะห์เสียงที่พัฒนานี้สามารถเรียกใช้งานได้อย่างอิสระ จากการเปิดโปรแกรม FM sound systhesis.exe และ Additive sound systhesis.exe โดยอาศัยส่วนรันไทม์ (Runtime) ที่รวมอยู่ด้วยแล้วในโปรแกรม โดยไม่จำเป็นต้องมีการติดตั้งโปรแกรมแมกซ์ – เอ็มเอสพีโดยใช้ไฟล์ FM sound systhesis.exe และ Additive sound systhesis.exe ที่รวมอยู่ในชุดโปรแกรมที่ให้บริการได้

5.2 ปัญหาความสมบูรณ์ของตัวอย่างเสียงสังเคราะห์

เสียงสังเคราะห์ขึ้นมาได้ ยังคงมีความคลาดเคลื่อนจากเสียงจริงอยู่บ้าง ซึ่งจะขึ้นกับความละเอียดของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์สัญญาณเสียงต้นฉบับ การจะทำให้เสมือนจริงจะต้องอาศัยการศึกษาองค์ประกอบของเสียงที่สลับซับซ้อนมากขึ้น และต้องออกแบบวงจรสังเคราะห์เสียงที่มีความสลับซับซ้อนสูงขึ้นเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Moore,F.R(1990), “Element of computer music”

[2] Manning,P(1987), “Electronic and computer music”

[3] http://maxingmsp.wordpress.com

[4] http://x2.i-dat.org/~csem/UNESCO/index.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้