



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

การสังเคราะห์เสียงฆ้องวงด้วยตัวกรองดิจิทัลและการประยุกต์ใช้งาน

Gong wong sound synthesis using digital filters and applications

กิตติพงษ์ มีสวาสดี*

Kittiphong Meesawat*

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

Received December 2011

Accepted June 2012

บทคัดย่อ

ฆ้องวงเป็นเครื่องดนตรีหลักในการประสมวงดนตรีไทย มีหน้าที่กำกับทิศทางการบรรเลงเพลงของวงดนตรีไทย การสังเคราะห์เสียงฆ้องนับเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาระบบคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยประพันธ์เพลงไทย การสังเคราะห์เสียงฆ้องที่น่าเสนอในบทความนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ได้จากการสังเกตว่าสัญญาณเสียงฆ้องมีลักษณะคล้ายสัญญาณไซน์ซอว์ดที่มีการลดทอนแบบเอกโพเนนเชียล (Exponential Decay Sinusoid) การวิเคราะห์สัญญาณเสียงฆ้องเพื่อให้ทราบความถี่ของสัญญาณไซน์ซอว์ดที่จะสังเคราะห์ทำได้โดยการคำนวณฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง (Power Spectrum Density – PSD) โดยใช้กรรมวิธีของเวลช์ (Welch's Method) การวิเคราะห์สัญญาณเสียงฆ้องเพื่อให้ทราบอัตราการลดทอนของสัญญาณไซน์ซอว์ดที่จะสังเคราะห์ทำได้โดยการวิเคราะห์ค่าเวลากังวาน (Reverberation Time – T60) ของเสียงฆ้องด้วยการอินทิเกรตย้อนกลับของชโรเดอร์ (Schroeder's Backward Integral) แล้วนำค่าความถี่และอัตราการลดทอนที่วิเคราะห์ได้มาออกแบบตัวกรองดิจิทัลแบบผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัด (IIR Digital Filter) โดยใช้ตารางการแปลง z (z – Transform) และนำตัวกรองที่ออกแบบได้ไปประยุกต์ใช้งานโดยโปรแกรม Chuck ซึ่งเป็นโปรแกรมประมวลผลสัญญาณเสียงแบบเวลาจริง (Real-Time Audio Programming Language) ควบคุมการสังเคราะห์เสียงด้วยข้อความ MIDI ที่รับเข้าทางคีย์บอร์ด MIDI (MIDI Keyboard) สัญญาณเสียงที่สังเคราะห์ได้มีเสียงคล้ายเสียงฆ้องวง เป็นที่พึงพอใจแก่ผู้ประพันธ์เพลงที่ทดลองใช้งาน

คำสำคัญ: การประมวลผลสัญญาณไม่ต่อเนื่อง การสังเคราะห์เสียง ดนตรีไทย

Abstract

Gong wong is an important instrument in Thai music orchestra bands. Its role is to be the tune keeper of the bands. Thus gong wong sound synthesis could be a key factor in a development of a computer aided Thai music composition. This article presents a gong wong sound synthesis method based on an assumption that the gong sound is a composition of exponential decay sinusoids. The gong sounds frequency components were determined through the power spectrum density (PSD) function using Welch's periodogram method. The decay rates were measured through the reverberation times (T60) of the gong sounds using Schroeder's backward integral. The frequencies

* Corresponding author.

Email address: ktphong@elec.kku.ac.th

and the decay rates found from the measurements were used to design infinite impulse response digital filters. The filters were designed with an aid of the z – transforms table. These filters were implemented on Chuck programming language which is a real-time audio programming language. The filters were controlled by MIDI messages which the computer received from a MIDI keyboard. The synthesized gong satisfied the primary users, a Thai music composer.

Keywords: Discrete signal processing, Sound synthesis, Thai music

1. บทนำ

ฆ้องวงเป็นส่วนประกอบสำคัญของวงมโหรี และ วงปี่พาทย์ จัดฐานะเป็นเครื่องดนตรีจำพวกตามทำนอง มีหน้าที่บรรเลงทำนองหลักของเพลง ส่วนประกอบหลักๆ ของฆ้องวงประกอบด้วยวงฆ้องและลูกฆ้อง วงฆ้องทำด้วย หวายโป่ง 2 ขด ๆ ละ 2 เส้น ขดหนึ่งอยู่ด้านบนอีกขดหนึ่งอยู่ด้านล่างโดยขดให้ขนานกันไปไม่เต็มวง เว้นช่องว่างสำหรับให้นักดนตรีเข้าไปนั่งบรรเลงได้ ลูกฆ้องมี 16 ลูกไล่จากลูก ฆ้องขนาดใหญ่ที่สุดและมีเสียงต่ำที่สุดอยู่ทางซ้ายเรียกว่า ลูกทวน ไปสิ้นสุดที่ลูกฆ้องขนาดเล็กที่สุดและมีเสียงสูงที่สุด อยู่ทางขวาเรียกว่าลูกยอด ลูกฆ้องสร้างจากโลหะ หล่อหรือ ตีขึ้นรูปให้เป็นเบ้ากลม มีปุมอยู่ตรงกลางเบ้าเรียกว่าปุมฆ้อง การตีให้ตีตรงกลางปุมฆ้อง [1]

การเทียบโน้ตเสียงของฆ้องแต่ละลูกไม่ตายตัว ขึ้นอยู่กับทางบรรเลง เช่นเพลงทางโน ลูกทวนจะเทียบเป็นเสียง ซู ในขณะที่เพลงทางนอก ลูกทวนจะเทียบเป็นเสียง ร เป็นต้น [2] ดังนั้นในการอ้างถึงเสียงของฆ้องแต่ละลูกในบทความนี้จะอ้างเป็นหมายเลขแทนที่จะอ้างเป็นตัวโน้ต โดยให้ลูก ทวนนับเป็นลูกฆ้องหมายเลข 1 และลูกยอดนับเป็นลูกฆ้อง หมายเลข 16

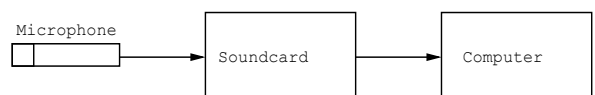
ในการประพันธ์เพลงไทย ผู้ประพันธ์มักจะประพันธ์ ทำนองของฆ้องให้เป็นแกนกลางของเพลงก่อนเป็นอันดับ แรก จากนั้นจึงจะเพิ่มรายละเอียดและลูกเล่นสำหรับเครื่อง ดนตรีอื่นที่บรรเลงร่วมกัน ดังนั้นการสังเคราะห์เสียงฆ้องจึง เป็นบันไดสำคัญในการสร้างระบบคอมพิวเตอร์สำหรับช่วย ประพันธ์เพลงไทยต่อไปในอนาคต

บทความนี้นำเสนอกระบวนการสังเคราะห์เสียง ฆ้องวงด้วยวิทยาการการประมวลสัญญาณพื้นฐานที่มีอยู่ แล้วในปัจจุบันและการประยุกต์ใช้งาน โดยจะนำเสนอตาม ลำดับต่อไปนี้คือ หัวข้อที่ 2 แสดงกรรมวิธีการบันทึกเสียง

ฆ้องที่จะใช้เป็นต้นฉบับในการสังเคราะห์เสียง จากนั้นจะ แสดงกรรมวิธีและผลการวิเคราะห์เสียงฆ้องเพื่อสังเกต คุณสมบัติของเสียงฆ้องในหัวข้อที่ 3 หัวข้อที่ 4 นำเสนอ กรรมวิธีการออกแบบตัวกรองดิจิทัลแบบผลตอบสนอง อิมพัลส์ไม่จำกัด (IIR Filter) โดยใช้ข้อมูลคุณสมบัติของเสียง ฆ้องที่บันทึกและวิเคราะห์ได้ จากนั้นจะแสดงตัวอย่างการ ประยุกต์ใช้งานตัวกรองด้วยโปรแกรม Chuck เพื่อการใช้งาน จริงในหัวข้อที่ 5 และจะสรุปในหัวข้อที่ 6

2. การบันทึกเสียงฆ้อง

รูปที่ 1 แสดงไดอะแกรมของการบันทึกเสียงฆ้อง การบันทึกเสียงจะทำให้ห้องซ้อมดนตรีไทยของคณะ ศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ไม่มีการปรับ แต่งสภาพแวดล้อมทางอคูสติกของห้อง บันทึกเสียงด้วย ไมโครโฟนแบบไดนามิก ยี่ห้อ Shure รุ่น SM57 ซึ่งมีรูปแบบการรับเสียง (Directivity Pattern) แบบคาร์ดิอยด์ (Cardioid) มีความไว (Sensitivity) เท่ากับ 1.6 mV/Pa และ รับสัญญาณเสียงได้ในช่วงความถี่ 40 – 15000 เฮิรตซ์ เชื่อมต่อกับซาวด์การ์ด (Soundcard) ยี่ห้อ M-Audio รุ่น Duo และควบคุมการบันทึกเสียงด้วยโปรแกรม Audacity ตั้งค่า อัตราสุ่มตัวอย่าง (Sampling Frequency - fs) เท่ากับ 44.1 กิโลเฮิรตซ์ บันทึกเสียงลูกฆ้องละ 3 ครั้ง จัดเก็บข้อมูลในแฟ้ม รูปแบบ Waveform Audio File Format (WAV) แบบ 16 บิต การวิเคราะห์สัญญาณกระทำด้วยโปรแกรม Octave

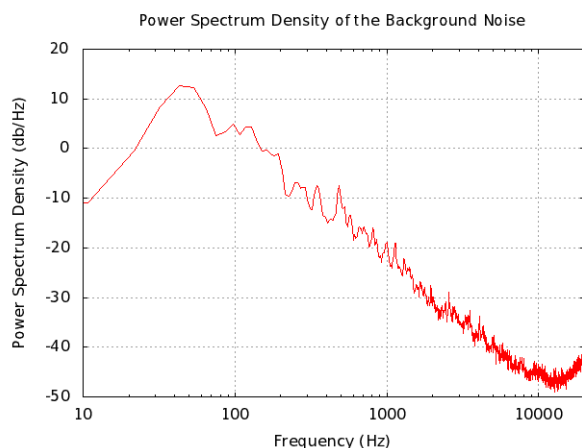


รูปที่ 1 ไดอะแกรมการบันทึกเสียง

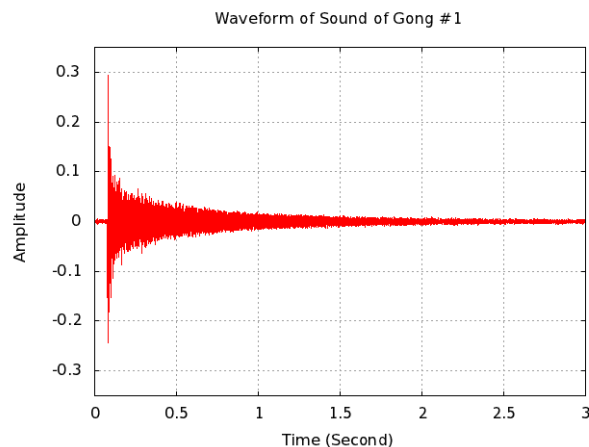
เพื่อให้ทราบถึงลักษณะของสัญญาณรบกวนที่มีอยู่ในห้องซ้อมดนตรี จึงได้ทำการบันทึกเสียงในขณะที่ไม่มีเสียงไว้ด้วย เมื่อวิเคราะห์ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง (Power Spectrum Density - PSD) ของสัญญาณรบกวนด้วยกรรมวิธีของเวลช์ (Welch) [3] โดยใช้การแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว (FFT) และหน้าต่างแฮมมิง (Hamming Window) ขนาด 4096 จุด ให้มีการเหลื่อมกันของหน้าต่างแต่ละเฟรมเท่ากับ 2048 จุด ทำให้ทราบว่าความถี่สัญญาณรบกวนมีกำลังสูงอยู่ในย่าน 0 – 100 เฮิรตซ์ รูปที่ 2 แสดงกราฟความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวน

3.คุณลักษณะของเสียงฆ้อง

เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากเสียงฆ้อง จึงใช้ตัวกรองความถี่สูงผ่าน (Highpass Filter) แบบบัตเตอร์เวิร์ธอันดับ 4 (4th order butterworth filter) ที่มีความถี่ตัดที่ 100 เฮิรตซ์ กรองสัญญาณเสียงก่อน ตัวอย่างรูปสัญญาณเสียงฆ้องที่บันทึกได้และผ่านตัวกรองความถี่สูงผ่านแล้ว แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนในห้องซ้อมดนตรี



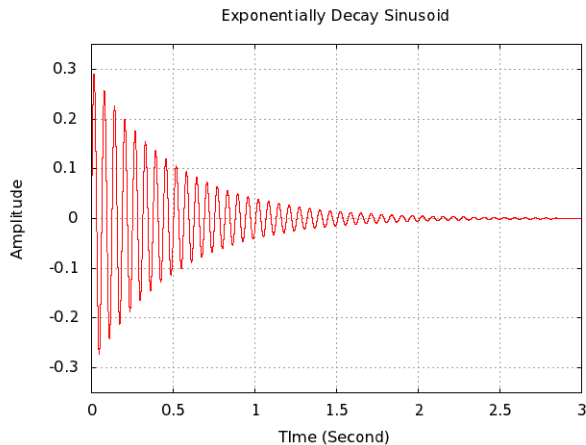
รูปที่ 3 สัญญาณเสียงฆ้องลูกที่ 1

จากรูปที่ 3 สังเกตพบว่าลักษณะสัญญาณเสียงฆ้องมีกรอบ (Envelop) คล้ายการลดทอนแบบเอกโพเนนเชียล (Exponential Decay) หากเราสันนิษฐานว่าเสียงฆ้องประกอบขึ้นจากสัญญาณไซน์ซอยด์ (Sinusoidal Signal) ที่มีการลดทอนเช่นนี้ ณ ความถี่ต่าง ๆ กันดังสมการที่ (1) และตัวอย่างในรูปที่ 4 เราสามารถจำลองเสียงฆ้องได้ด้วยแบบจำลองไซน์ซอยด์ที่มีการลดทอนแบบเอกโพเนนเชียล (Exponentially Decay Sinusoidal Signal) ที่ความถี่ต่าง ๆ กันได้

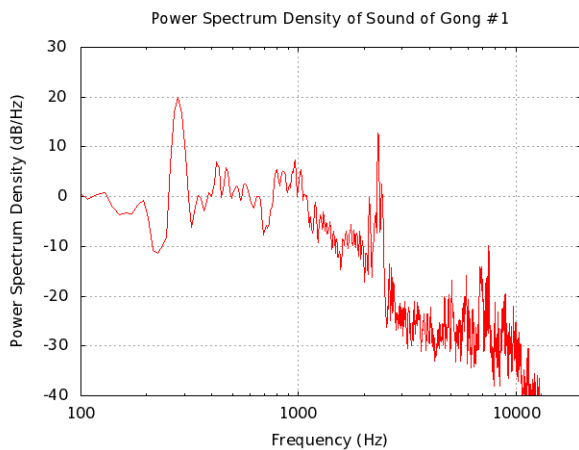
$$\tilde{p}(t) = \sum_{i=1}^N A_i e^{-\alpha_i t} \sin(\omega_i t) \quad (1)$$

เมื่อ $\tilde{p}(t)$ คือสัญญาณเสียงฆ้องตามสมมติฐานข้างต้น A_i α_i และ ω_i คือขนาด อัตราการลดทอน และ ความถี่ของสัญญาณ ณ องค์ประกอบความถี่ที่ i ตามลำดับ

เพื่อให้ทราบองค์ประกอบความถี่ของสัญญาณเสียง จึงทำการวิเคราะห์สัญญาณเสียงฆ้องเชิงความถี่ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์สัญญาณรบกวนในหัวข้อที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นกำลังของสัญญาณเสียงฆ้องลูกที่ 1 แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 ตัวอย่างสัญญาณไซนัสซออยด์ที่มีการลดทอนแบบเอกโพเนนเชียล



รูปที่ 5 ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณเสียงฆ้องลูกที่ 1

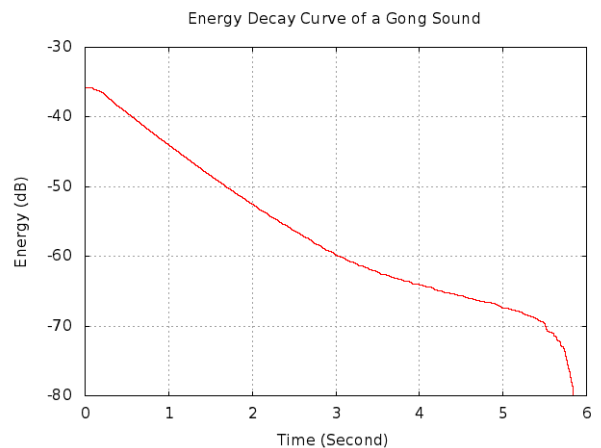
จากรูปที่ 5 จะสังเกตพบว่าสัญญาณเสียงฆ้องลูกที่ 1 มีองค์ประกอบความถี่สำคัญ 2 ความถี่คือ 279.9 เฮิรตซ์ และ 2326 เฮิรตซ์ ที่ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง 20.0 เดซิเบล/เฮิรตซ์ และ 12.8 เดซิเบล/เฮิรตซ์ ตามลำดับ

เนื่องจากอัตราการลดทอนสัญญาณ (α) ของเสียงฆ้องในแต่ละความถี่อาจจะไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงวัดอัตราการลดทอนแยกตามองค์ประกอบความถี่ของเสียงฆ้องแต่ละลูกโดยใช้ตัวกรองกำหนด (Resonance Filter) อันดับ 6 ให้ผ่านเฉพาะความถี่โดดเด่นของสัญญาณเสียงฆ้องแต่ละลูกที่สังเกตได้ แล้วใช้การอินทิกรัลย้อนกลับของชโรเดอร์ (Schroeder's Backward Integral) [4] สร้างฟังก์ชันการลดทอนพลังงานในเสียงขึ้นมามีสมการที่ (2)

$$E_i(t) = \int_{\infty}^t p_i^2(\tau) d\tau \quad (2)$$

เมื่อ $p_i(t)$ คือสัญญาณเสียงที่บันทึกได้และถูกกรองสัญญาณ ณ องค์ประกอบความถี่ที่ i แล้ว วาดกราฟการลดทอนพลังงานในเสียง (Energy Decay Curve) ในแกนเดซิเบลดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 6 เพื่อวัดค่าเวลากังวาน (Reverberation Time - T_{60}) เมื่อนิยามของค่าเวลากังวานคือระยะเวลาที่ใช้ไปเมื่อระดับพลังงานเสียงที่สนใจลดลง 60 เดซิเบล [5] จากนั้นนำค่าเวลากังวานไปคำนวณอัตราลดทอนสัญญาณของเสียงฆ้อง ณ ความถี่นั้น ๆ ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$\alpha = -\frac{\ln(0.001)}{T_{60}} \quad (3)$$



รูปที่ 6 การลดทอนพลังงานเสียงของฆ้องลูกที่หนึ่ง ณ ความถี่ 279.9 เฮิรตซ์

ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่ ขนาดและอัตราการลดทอนสัญญาณในแต่ละความถี่ของเสียงฆ้องทั้ง 16 ลูก ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการบันทึกเสียงฆ้องแต่ละลูกๆ ละ 3 ครั้ง โดยทอน (Normalize) ขนาดสัญญาณให้ขนาดองค์ประกอบความถี่ที่มีขนาดสูงสุดของสัญญาณมีค่าเท่ากับ 1 เนื่องจากมีพื้นที่จำกัดจึงแสดงข้อมูลเฉพาะองค์ประกอบความถี่โดดเด่น

ซึ่งเสียงรบกวนที่บันทึกไว้ส่วนใหญ่มีเพียง 2 องค์ประกอบ ความถี่เท่านั้น แสดงความถี่และอัตราลดทอนสัญญาณ ด้วยเลขนัยสำคัญ 4 ตำแหน่ง และแสดงขนาดสัมพัทธ์ของ สัญญาณด้วยเลขทศนิยม 3 ตำแหน่ง

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่ของ สัญญาณเสียงรบกวนที่บันทึกไว้

รบกวนที่	องค์ประกอบที่ 1			องค์ประกอบที่ 2		
	ความถี่ (Hz)	อัตราลดทอน	ขนาด	ความถี่ (Hz)	อัตราลดทอน	ขนาด
1	279.9	1.045	1.000	2326	14.86	0.475
2	305.1	1.398	0.608	613.7	1.735	1.000
3	344.5	7.327	1.000	656.8	1.888	0.206
4	376.8	0.997	1.000	635.2	2.843	0.268
5	419.9	1.426	1.000	764.4	4.695	0.420
6	463.0	1.470	1.000	786.0	7.203	0.231
7	506.0	1.342	1.000	954.6	6.578	0.087
8	559.9	2.310	1.000	954.6	6.159	0.178
9	613.7	1.700	1.000	1023	7.506	0.130
10	678.3	2.192	1.000	1184	9.374	0.341
11	753.7	2.366	1.000	1249	18.65	0.249
12	829.0	5.424	1.000	1378	22.92	0.202
13	915.2	5.992	1.000	1324	25.01	0.043
14	1023	9.518	1.000	1540	10.60	0.096
15	1113	4.954	1.000	-	-	-
16	1227	5.189	1.000	-	-	-

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 1 พบว่าองค์ประกอบความถี่ที่ 1 ของรบกวนเรียงลำดับจากเสียงต่ำไปหาเสียงสูงตามปกติ และมีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษาก่อนหน้า [2] ในขณะที่องค์ประกอบความถี่ที่ 2 มีข้อมูลบางส่วนไม่เรียงลำดับเช่นนั้น เช่นองค์ประกอบความถี่ที่ 2 ของเสียงรบกวนที่ 1 อยู่ที่ 2326 เฮิรตซ์ ในขณะที่องค์ประกอบความถี่ที่ 2 ของเสียงรบกวนที่ 2 อยู่ที่ 613.7 เฮิรตซ์ นอกจากนี้

องค์ประกอบความถี่ที่ 2 ไม่ใช่ฮาร์โมนิกซ์ขององค์ประกอบความถี่ที่ 1 ลักษณะเช่นนี้นับเป็นเรื่องปกติสำหรับเสียงเครื่องดนตรีที่คล้ายระฆัง [6]

4.การออกแบบตัวกรองดิจิทัล

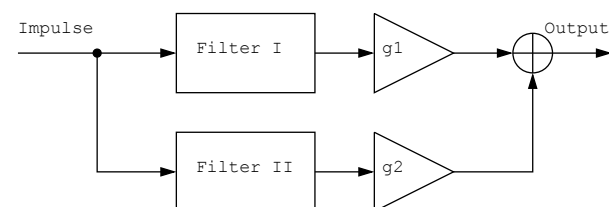
การสังเคราะห์เสียงรบกวนทำได้โดยใช้ตัวกรองที่มีผลตอบสนองอิมพัลส์เป็นสัญญาณไซนูซอยด์ที่มีการลดทอนแบบเอกโพเนนเชียลของแต่ละองค์ประกอบความถี่มารวมกันตามสัดส่วนขนาดสัญญาณสัมพัทธ์ที่วัดได้ ซึ่งตัวกรองเหล่านี้สามารถออกแบบได้โดยตรงจากตารางการแปลง z (z - Transform) ผลการแปลง z ของสัญญาณไซนูซอยด์ที่มีการลดทอนแบบเอกโพเนนเชียลแสดงในสมการที่ (4) และ (5)ซึ่ง[3] ซึ่งหากทราบค่าองค์ประกอบความถี่และอัตราลดทอนแล้วสามารถออกแบบตัวกรองได้โดยง่าย

$$\tilde{p}[n] = a^n \sin(\omega_0 n) u[n] \quad (4)$$

เมื่อ $\tilde{p}[n]$ คือผลตอบสนองอิมพัลส์ที่ต้องการ ระบบที่มีผลตอบสนองอิมพัลส์เช่นนี้คือ

$$\tilde{P}(z) = \frac{a \cdot \sin(\omega_0 n) \cdot z^{-1}}{1 - 2a \cdot \cos(\omega_0) z^{-1} + a^2 z^{-2}}, |z| > a \quad (5)$$

เมื่อ $a = e^{-\alpha/fs}$ และ $\omega_0 = 2\pi f_0/f$ เนื่องจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่ของสัญญาณเสียงรบกวนระบุว่าองค์ประกอบความถี่ที่สำคัญอยู่ 2 องค์ประกอบ ดังนั้นในการออกแบบตัวสังเคราะห์เสียงรบกวนจึงต้องใช้ตัวกรองดิจิทัล 2 ตัวต่อขนานกันและปรับขนาดสัญญาณสัมพัทธ์กันให้สอดคล้องกับข้อมูลที่วัดได้ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ไดอะแกรมการต่อตัวกรองดิจิทัลแบบขนานเพื่อสังเคราะห์เสียงรบกวน

5.การประยุกต์ใช้งานด้วยโปรแกรม Chuck

Chuck เป็นโปรแกรมที่ออกแบบมาสำหรับงานประมวลผลทางเสียงในเวลาจริง (Real-Time Audio Programming Language) ผู้ใช้สามารถใช้ Chuck สังเคราะห์เสียงต่าง ๆ ได้ [7]

โปรแกรม Chuck เป็นโปรแกรมแบบเปิดเผยรหัสต้นฉบับ (Open Source) ที่ประกาศสัญญาอนุญาตแบบสาธารณะทั่วไป (General Public License – GPL) ซึ่งหมายความว่าผู้ใช้สามารถใช้งานโปรแกรมและศึกษาด้านต้นฉบับโปรแกรมได้โดยเสรี

การสร้างตัวกรองดิจิทัลเพื่อสังเคราะห์เสียงไซนูซอยด์ที่มีการลดทอนแบบเอกโพเนนเชียลและเชื่อมต่อกับตัวกรองต่างๆ เข้าด้วยกันทำได้โดยใช้โมดูล BiQuad ของ Chuck ดังแสดงในตารางที่ 2 ในการใช้งานจริงจะต้องสร้างโปรแกรมเพื่อสังเคราะห์เสียงซ็องแต่ละลูกให้ครบ 16 ลูก ตั้งแต่ gong01.ck สำหรับเสียงซ็องลูกที่ 1 ไปจนถึง gong16.ck สำหรับเสียงซ็องลูกที่ 16

ตารางที่ 2 ชุดคำสั่งของ Chuck ที่ใช้สร้างเสียงซ็องลูกที่ 1 (gong01.ck)

```

1  Impulse i => BiQuad f1 => Gain g1 => Gain g => dac;
2  0.0000000000 => f1.b0;
3  0.0398674780 => f1.b1;
4  0.0000000000 => f1.b2;
5  1.0000000000 => f1.a0;
6  -1.9983625026 => f1.a1;
7  0.9999525888 => f1.a2;
8  1.0000000000 => g1.gain;
9
10 i => BiQuad f2 => Gain g2 => g;
11 0.0000000000 => f2.b0;
12 0.3252563943 => f2.b1;
13 0.0000000000 => f2.b2;
14 1.0000000000 => f2.a0;
15 -1.8905387410 => f2.a1;
16 0.9993259048 => f2.a2;
17 0.4753000000 => g2.gain;
18
19 1.0000000000 => i.next;
20
21 5::second => now;

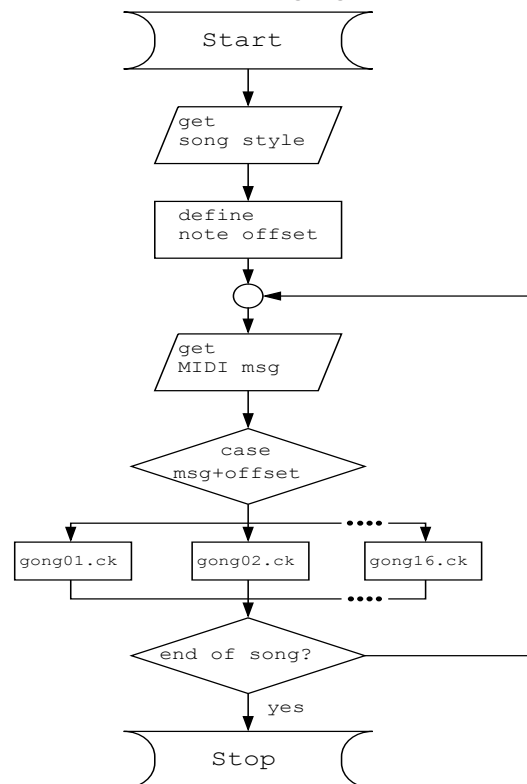
```

บรรทัดที่ 1 และบรรทัดที่ 10 เป็นการเชื่อมต่อตัวกำเนิดอิมพัลส์ i เข้ากับตัวกรองดิจิทัล f1 และ f2 ตามลำดับ และเชื่อมเอาต์พุตของตัวกรองผ่านตัวขยายสัญญาณ g1 และ g2 เข้ากับตัวผสมสัญญาณ g และส่งสัญญาณออกไปที่ฮาร์ดการ์ด dac

บรรทัดที่ 2 – 8 และบรรทัดที่ 11 – 17 เป็นการตั้งค่าสัมประสิทธิ์ตัวกรองและอัตราขยายของตัวกรองตามที่ต้องการได้

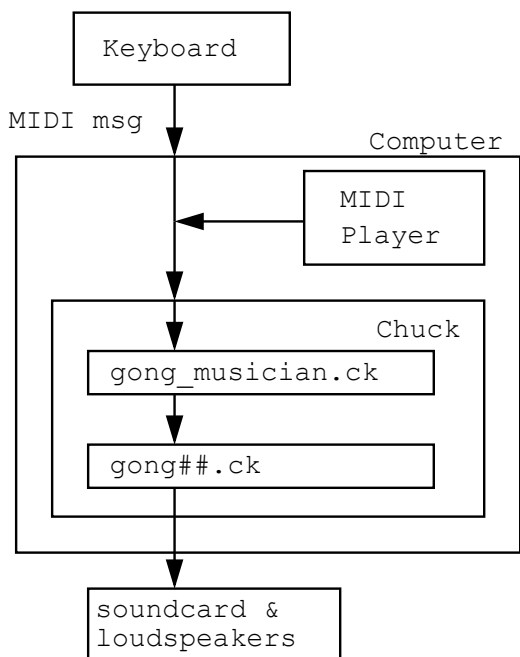
บรรทัดที่ 19 เป็นการสั่งให้ตัวกำเนิดอิมพัลส์ส่งอิมพัลส์ออกมาทันทีเมื่อโปรแกรม gong01.ck นี้ถูกเรียกใช้โดย Chuck และบรรทัดที่ 21 เป็นการสั่งให้โปรแกรมนี้ทำงานไป 5 วินาทีจึงจะหยุดทำงาน

การสั่งการให้ Chuck เรียกใช้โปรแกรมสังเคราะห์เสียงซ็องแต่ละลูกสามารถทำได้โดยการสร้างโปรแกรม gong_musician.ck ซึ่งทำหน้าที่รับคำสั่งที่เป็นข้อความ MIDI เข้ามากำหนดตำแหน่งลูกซ็องตามตัวโน้ตและแจกคำสั่งไปยังซ็องลูกต่าง ๆ ตามข้อความ MIDI ที่ได้รับ รูปที่ 8 แสดงโฟลว-ชาร์ตของโปรแกรม gong_musician.ck



รูปที่ 8 โฟลวชาร์ตการทำงานของโปรแกรม gong_musician.ck

การส่งข้อความ MIDI ให้โปรแกรม Chuck สามารถทำได้หลายวิธีเช่น เรียกใช้โปรแกรมจำพวก MIDI Player กับแฟ้มข้อมูล MIDI หรือจะส่งข้อความ MIDI โดยตรงจากคีย์บอร์ด (เครื่องดนตรี) ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์โดยผ่านชาวต์การ์ดก็ได้ รูปที่ 9 แสดงไดอะแกรมการเชื่อมต่อของระบบที่กล่าวถึงนี้



รูปที่ 9 ไดอะแกรมการเชื่อมต่อระบบเพื่อการใช้งานตัวสังเคราะห์เสียงซ็อง

จากการทดลองใช้งานพบว่าเสียงที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะคล้ายเสียงซ็องจริง แต่ยังมีส่วนที่ผู้ฟังสามารถระบุความแตกต่างกับเสียงซ็องจริงได้ เมื่อวิเคราะห์สัญญาณที่มีความแตกต่างกันพบว่าส่วนที่ทำให้เกิดความแตกต่างคือองค์ประกอบที่ไม่ได้อยู่ในรูปไซน์ซอว์ดที่มีการลดทอนแบบเอกโพเนนเชียล แต่เป็นองค์ประกอบที่แสดงการมอดูเลตสัญญาณอันเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนของลูกซ็องกับวงซ็อง ซึ่งน่าสนใจที่จะศึกษาวิเคราะห์ต่อไป

6. สรุป

บทความนี้นำเสนอแนวคิดในการสังเคราะห์เสียงซ็อง-วงด้วยการประยุกต์ใช้งานเครื่องมือประมวลผลสัญญาณพื้นฐาน อันประกอบด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่ของสัญญาณเสียงโดยใช้การวิเคราะห์ความหนาแน่น

สเปกตรัมกำลังแบบเวลซ์ การวิเคราะห์อัตราการลดทอนของสัญญาณด้วยค่าเวลากังวานโดยใช้การอินทิเกรตย้อนกลับของซโรเดอร์และการออกแบบตัวกรองโดยใช้การแปลง z กระบวนการทั้งหมดนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าเสียงซ็องมีลักษณะเป็นสัญญาณไซน์ซอว์ดที่มีการลดทอนสัญญาณแบบเอกโพเนนเชียล

การออกแบบตัวกรองดิจิทัลแบบผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัดอ้างอิงจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่เสียงและอัตราการลดทอนสัญญาณแยกตามความถี่ซึ่งบันทึกไว้

การใช้งานตัวกรองทำโดยใช้โปรแกรม Chuck ซึ่งเป็นโปรแกรมประมวลผลสัญญาณเสียงแบบเวลาจริง ที่มีการเปิดเผยรหัสต้นฉบับและประกาศสัญญาณอนุญาตสาธารณะทั่วไป ควบคุมโปรแกรม Chuck ด้วยข้อความ MIDI ที่ส่งจากคีย์บอร์ดเข้ามาทางพอร์ต USB ของคอมพิวเตอร์

ตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากการสังเคราะห์เสียงซ็อง-วงด้วยตัวกรองดิจิทัลและการประยุกต์ใช้งานโดยใช้ภาษาโปรแกรม Chuck มีดังเช่น ผู้ประพันธ์เพลงสามารถประพันธ์เพลงและทดลองฟังเพลงที่ประพันธ์ได้ด้วยคีย์บอร์ดที่เชื่อมต่อกับระบบสังเคราะห์เสียงที่น่าเสนอนี้ โดยไม่ต้องตีซ็องจริง หากนำไปเชื่อมต่อกับวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ภายนอกก็อาจพัฒนาระบบให้เป็นซ็องไฟฟ้าที่นักดนตรีใช้ฝึกหัดได้ตลอดเวลาเป็นต้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์จรัส กาญจนประดิษฐ์ อาจารย์ประจำคณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ผู้ให้คำแนะนำในด้านทฤษฎีดนตรีไทยและเอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องดนตรีสำหรับการบันทึกเสียงที่ใช้ในการออกแบบระบบสังเคราะห์เสียงซ็องที่น่าเสนอนี้

8.เอกสารอ้างอิง

- [1] Chalernsak Pikulsri. Music Appreciation. Odeon Store; 1999. (In Thai).
- [2] Sarawut Sujitjorn. Thai Music Analysis. Suranaree University of Technology; 2002. (In Thai).
- [3] John G. Proakis and Dimitris G. Manolakis. Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications. 3rd ed. Prentice-Hall; 1996.
- [4] M. R. Schroeder. New Method of Measuring Reverberation Time. J. Acoust. Soc. Am. 1965; 37 (3): 409 – 412.
- [5] Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey, Alan B. Copens, and James V. Sanders. Fundamentals of Acoustics. 3rd ed. John Wiley and Sons; 1982.
- [6] Harry F. Olsen. Music, Physics and Engineering. 2nd ed. Dover; 1967.
- [7] Ge Wang and Perry R. Cook. Chuck: A Concurrent, On-the-fly, In Audio Programming Language, Proceedings of the 2003 International Computer Music Conference (ICMC); September; Singapore; 1992.