ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง ขั้นตอนวิธีสำหรับการรู้จำระดับเสียงและชนิดของเครื่องดนตรีไทย

โดย นายวีระ ทองไพบูลย์

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

_____ คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร มงคล หวังสถิตย์วงษ์)

23 มีนาคม 2550

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____ ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร. วิทวัส ผ่องญาติ)

_____ กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไชยันต์ สุวรรณชีวะศิริ)

_____ กรรมการ

(รองศาสตราจารย์มนูญ พ่วงพูล)

_____ กรรมการ

(อาจารย์ ดร.เบญจพร ลิ้มธรรมาภรณ์)

ขั้นตอนวิธีสำหรับการรู้จำระดับเสียงและชนิดของเครื่องดนตรีไทย

นายวีระ ทองไพบูลย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นายวีระ ทองไพบูลย์
ชื่อวิทยานิพนธ์ : ขั้นตอนวิธีสำหรับการรู้จำระดับเสียงและชนิดของเครื่องดนตรีไทย
สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อาจารย์ ดร.วิทวัส ผ่องญาติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไชยันต์ สุวรรณชีวะศิริ
ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

ดนตรีไทยเป็นศิลปะอันทรงคุณค่าอย่างหนึ่งของประเทศไทย ทั้งนี้เพราะว่าดนตรีไทยมีเอกลักษณ์เฉพาะตัวที่แตกต่างจากดนตรีอื่นทั้งในเรื่องของระดับเสียงและท่วงทำนอง ถึงแม้ว่าดนตรีไทยจะมีประวัติอันยาวนานแต่ว่าการพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับดนตรีไทยนั้นมีอยู่ไม่มาก ทำให้การเข้าถึงและเรียนรู้ดนตรีไทยทำได้ยากในสภาพสังคมปัจจุบัน จึงทำให้ดนตรีไทยได้รับความนิยมน้อยเมื่อเทียบกับดนตรีสากล สาเหตุหนึ่งเนื่องมาจากการที่ดนตรีสากลมีการนำเทคโนโลยีใหม่ๆเข้ามาใช้และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีเครื่องมือและสิ่งประดิษฐ์หลายอย่างที่อำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ที่สนใจศึกษา

เพื่อเป็นการส่งเสริมงานวิจัยด้านวิศวกรรมของดนตรีไทย วิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอขั้นตอนวิธีสำหรับการรู้จำระดับเสียงและชนิดของเครื่องดนตรีไทยสำหรับเครื่องดนตรีไทย 7 ชนิด ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นได้นำไปเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โปรแกรมที่สร้างขึ้นนี้สามารถทำการวิเคราะห์สัญญาณเสียงดนตรีไทยและระบุระดับเสียงได้จากสัญญาณที่บันทึกไว้ครั้งละหนึ่งเสียงจากเครื่องดนตรีแต่ละชิ้น นอกจากนี้โดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมทำให้โปรแกรมนี้สามารถรู้จำชนิดของเครื่องดนตรีได้ ผลการทดสอบเมื่อใช้ลักษณะเด่นของเสียงดนตรีจำนวน 12, 15 และ 17 จุด ได้ผลความถูกต้องสูงสุดถึง 87 % และในการระบุระดับเสียงดนตรีนั้นมีความถูกต้องสูงสุด 94 %

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 78 หน้า)

คำสำคัญ : การหาค่าลักษณะเด่น, โครงข่ายประสาทเทียม, การรู้จำ

_____อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

Name : Mr.Weera Tongpaibul

Thesis Title : An Algorithm for Note and Instrument Recognition of Thai Traditional Music Instrument

Major Field : Electrical Engineering

: King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok

Thesis Advisors : Dr.Witthawas Pongart

Assistant Professor Chaiyan Suwancheewasiri

Academic Year : 2006

Abstract

Thai traditional music is a great valuable art of Thailand, since the Thai traditional music reflects the identity of Thai in its distinctive characteristic, for instance the note and the rhythm, which differ from music from other country. Although the Thai traditional music has a long history, there are few of involved technology and this is an obstacle for the people in computer era to access and to learn the music. Therefore The Thai traditional music is less popular than European music. One of the reasons is the development of new technology and tools, which is helpful for the people, who are interested in European music.

To encourage the engineering research in the area of Thai traditional music, this thesis presents a method for recognition algorithm for 7 Thai traditional music instruments. The algorithm was implemented in a computer program. This program can analyze the recorded signal, single note from one instrument, and identify the note. By using neural network concept, the developed program has capability to recognize the played instrument. The experiments with 12, 15 and 17 features for recognition showed the maximum accuracy up to 87 %, and 94 % for the note identifying.

(Total 78 pages)

Keyword : Feature Extraction, Neural Network, Recognition

_____Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีโดยการสนับสนุนงานวิจัยของ อาจารย์ ดร.วิทวัส ผ่องญาติ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไชยันต์ สุวรรณชีวะศิริ อาจารย์ทั้งสองท่านได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยและชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนความสะดวกในด้านตำราและเอกสารที่ใช้ประกอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ ที่นี้

และที่จะลืมเสียมิได้สำหรับการจัดหาข้อมูลเพื่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณสำหรับความช่วยเหลือจากครูดนตรีไทย นักดนตรีไทยและเพื่อนร่วมงาน ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดีๆ ทำให้เกิดแนวความคิดสำหรับการวิเคราะห์และจัดทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขอขอบคุณ คุณสุธี จันทร์สุกศรี และคุณสุรพล อยู่ชั่วกัลป์ จาก บมจ. กสท โทรคมนาคม ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและช่วยดำเนินการบันทึกเสียงดนตรีไทย ขอขอบคุณ ครูสิทธิ์ สมนาค ครูผู้ควบคุมวงดนตรีไทย "คณะวงดนตรีไทยสิทธิ์สมนาค" ครูประกิต สะเพียรชัยและครูเหมราช เหมหงษา จากวงดนตรีไทย "คณะสำเนียงไพเราะ" สำหรับคำแนะนำข้อมูลและความรู้เกี่ยวกับข้อมูลของดนตรีไทยและช่วยชี้แนะให้คำปรึกษาการทำงานกับดนตรีไทย ซึ่งไม่สามารถค้นหาได้จากตำราการดนตรีไทยโดยทั่วไป รวมถึงนักดนตรีไทยทุกท่านสำหรับการบรรเลงเสียงดนตรีไทย ขอขอบคุณ คุณสิทธิพงษ์ เพ็งพาณิช และเพื่อนนักศึกษาชมรมดนตรีไทย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตลอดจนคณะศิษย์ดนตรีไทยครูดนตรีไทยที่กล่าวมาข้างต้นทุกท่าน

วีระ ทองไพบูลย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย	3
2.1 พื้นฐานและองค์ประกอบของดนตรีไทย	3
2.2 การวิเคราะห์ลักษณะเด่นสัญญาณเสียงดนตรีไทย	9
2.3 โครงข่ายประสาทเทียม	16
บทที่ 3 โครงสร้างระบบการรู้จำระดับเสียงและชนิดของเครื่องดนตรีไทย	23
3.1 ระบบการรู้จำระดับเสียงดนตรีไทย	23
3.2 ระบบการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทย	25
3.3 ระบบรู้จำระดับเสียงและชนิดเครื่องดนตรีไทย	32
บทที่ 4 ขั้นตอนและผลการวิจัย	34
4.1 การเตรียมไฟล์ข้อมูลกลุ่มตัวอย่างเสียงดนตรีไทย	34
4.2 การทดสอบการรู้จำระดับเสียงดนตรีไทย	35
4.3 การเตรียมข้อมูลกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบ	39
4.4 การสอนโครงข่ายประสาทเทียมในระบบการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทย	44
4.5 การทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมในระบบการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทย	48
4.6 การทดสอบระบบการรู้จำระดับเสียงและชนิดเครื่องดนตรีไทย	51

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 54

5.1 สรุปผลการทดลองการรู้จำระดับเสียงดนตรีไทย 54

5.2 สรุปผลการทดลองการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทย 56

5.3 สรุปผลการวิจัย 57

5.4 ข้อเสนอแนะ 57

เอกสารอ้างอิง 58

ภาคผนวก ก วิธีการใช้งานโปรแกรม 60

ภาคผนวก ข บทความตีพิมพ์ของผู้วิจัย 63

ข.1 อัลกอริธึมการรู้จำเสียงและโน้ตดนตรีไทยสำหรับเครื่องดนตรีชิ้นเดียว 64

ข.2 การระบุชนิดเครื่องดนตรีไทยโดยใช้ลักษณะเด่นของเสียงดนตรีและโครงข่ายประสาทเทียม 71

ประวัติผู้วิจัย 78

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ความถี่ที่รวบรวมของนักวิจัยไทย	8
2-2	ระดับเสียงและความถี่เสียงดนตรีไทยสำหรับอ้างอิง	9
3-1	ตารางฐานข้อมูลความถี่เสียงอ้างอิง	24
3-2	ลักษณะเด่นของเสียงดนตรีและการเลือกใช้ลักษณะเด่น	31
4-1	ผลการรู้จำระดับเสียงฆ้องวงใหญ่	35
4-2	ผลการรู้จำระดับเสียงฆ้องวงเล็ก	36
4-3	ผลการรู้จำระดับเสียงขลุ่ยเพียงออ	36
4-4	ผลการรู้จำระดับเสียงระนาดเอก	37
4-5	ผลการรู้จำระดับเสียงระนาดทุ้ม	38
4-6	ผลการรู้จำระดับเสียงซอด้วง	38
4-7	ผลการรู้จำระดับเสียงซออู้	39
4-8	ตัวอย่างข้อมูลสำหรับการสอนระบบรู้จำของเครื่องดนตรีทั้งเจ็ดชนิด	43
4-9	ตัวอย่างข้อมูลสำหรับการทดสอบระบบรู้จำของเครื่องดนตรีทั้งเจ็ดชนิด	43
4-10	ตัวอย่างข้อมูลสำหรับการสอนระบบรู้จำที่ผ่านการปรับปรุงข้อมูล	44
4-11	ตัวอย่างข้อมูลสำหรับการทดสอบระบบรู้จำที่ผ่านการปรับปรุงข้อมูล	44
4-12	ผลการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทยจากข้อมูลการสอนโดยใช้ 12 ลักษณะเด่น	46
4-13	การรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทยจากข้อมูลการสอนโดยใช้ 15 ลักษณะเด่น	47
4-14	การรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทยจากข้อมูลการสอนโดยใช้ 17 ลักษณะเด่น	48
4-15	การรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทยจากข้อมูลทดสอบโดยใช้ 12 ลักษณะเด่น	49
4-16	การรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทยจากข้อมูลทดสอบโดยใช้ 15 ลักษณะเด่น	50
4-17	การรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทยจากข้อมูลทดสอบโดยใช้ 17 ลักษณะเด่น	51
5-1	เปรียบเทียบความถี่หลักมูลและระดับเสียงดนตรีไทย	55
5-2	บันทึกผลการทดสอบการรู้จำโดยใช้ข้อมูลสำหรับการสอนและทดสอบระบบ	56

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	การเขียนโน้ตเพลงไทย	5
2-2	มาตราเสียงของดนตรีไทยและดนตรีสากล	6
2-3	ตัวอย่างรูปคลื่นเสียงดนตรีไทยที่ใช้ในงานวิจัย	10
2-4	ขอบสัญญาณ ADSR	13
2-5	การกำหนดจุดอ้างอิงบนขอบสัญญาณ ADSR	14
2-6	สเปคตรัมของสัญญาณเสียงดนตรี	15
2-7	โครงสร้างของนิวรอนในสมองมนุษย์	17
2-8	แบบจำลองส่วนประกอบนิวรอน	18
2-9	นิวรอนโมเดล	18
2-10	โครงข่ายประสาทเทียมอย่างง่าย	19
2-11	โครงข่ายประสาทเทียมอย่างง่ายแบบหลายชั้น	20
2-12	รูปแบบโครงข่ายมัลติเลเยอร์เพอร์เซ็พตรอน	21
3-1	ระบบการรู้จำระดับเสียงดนตรีไทย	23
3-2	ระบบการรู้จำเครื่องดนตรีไทย	25
3-3	ขั้นตอนวิธีการหาลักษณะเด่นของเสียงดนตรีไทยในขอบเขตเวลา	26
3-4	รูปแบบโครงข่ายที่ใช้ในงานวิจัย	32
3-5	ระบบรู้จำระดับเสียงและชนิดดนตรีไทย	33
4-1	ตัวอย่างการหาลักษณะเด่นบนขอบสัญญาณ ADSR	40
5-1	ตำแหน่งระดับเสียงของเครื่องดนตรีที่ใช้ในงานวิจัย	54
5-2	กราฟแสดงผลความถูกต้องการรู้จำระดับเสียงดนตรี	55
5-3	เปรียบเทียบผลการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทย	56
ก-1	หน้าจอซอฟท์แวร์ระบบรู้จำระดับเสียงและชนิดดนตรีไทย	61
ก-2	ผลการวิเคราะห์สัญญาณเสียง	62

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

งานวิจัยทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับดนตรีสากลได้รับการพัฒนามาเป็นเวลานาน ทำให้มีความก้าวหน้าในการพัฒนาเทคโนโลยีเป็นอย่างมาก ปัจจุบันพบว่ามีงานวิจัยทางเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์สำหรับการพัฒนาวงการดนตรีสากลในด้านต่างๆ เช่น การวิเคราะห์สัญญาณเสียงดนตรี [1] การวิเคราะห์ความถี่เสียงและฮาร์มอนิก [2,3] การสังเคราะห์เสียงดนตรี [4] การรู้จำเสียงดนตรี [5] ทำให้ดนตรีสากลสามารถพัฒนาและใช้ประโยชน์จากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ได้เป็นอย่างดี มีการสร้างฐานข้อมูลและองค์ความรู้ตลอดจนค่าอ้างอิงสำหรับการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องสามารถออกแบบและสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ดนตรีได้มากมาย ส่งผลให้ดนตรีสากลได้รับความนิยมกันโดยทั่วไป นักดนตรีและผู้สนใจดนตรีสากลสามารถเรียนรู้และฝึกฝนดนตรีผ่านเทคโนโลยีที่ทันสมัยได้ด้วยตนเอง แต่เมื่อพิจารณาพัฒนาการของดนตรีไทยพบว่าด้วยวัฒนธรรมและประเพณีที่แตกต่างกันแนวปฏิบัติของการถ่ายทอดความรู้จะทำผ่านศิษย์โดยตรงผู้เรียนจะต้องทำการไหว้ครูและฝากตัวเป็นศิษย์เพื่อเข้ารับการเรียนรู้วิชาการดนตรีไทย ซึ่งนับเป็นวัฒนธรรมที่งดงามและมีคุณค่าของไทย อีกทั้งครูดนตรีไทยโดยทั่วไปนั้นไม่นิยมเขียนโน้ตของดนตรีไทยลงในเอกสารหรือตำราให้คนทั่วไปได้อ่าน [6] ซึ่งบางครั้งความรู้อันมีคุณค่าเป็นจำนวนมากสูญหายไปพร้อมกับครูดนตรีไทย เท่าที่ผ่านมานั้นงานวิจัยดนตรีไทยมีการรวบรวมฐานข้อมูลเสียงระนาดทุ้มเหล็ก [7,8] การวิเคราะห์เสียงขลุ่ยเพียงออ[9] โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการสังเคราะห์เสียงดนตรีไทย [10] ซึ่งคิดเป็นจำนวนที่ไม่มากเมื่อเทียบกับส่วนของดนตรีสากล ทำให้การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการช่วยการเรียนรู้และฝึกฝนการเล่นดนตรีไทยมีการพัฒนาอย่างจำกัด

เพื่อเป็นการส่งเสริมการวิจัยด้านวิศวกรรมของดนตรีไทย รวมถึงการสร้างสรรค์เทคโนโลยีทันสมัยมาใช้กับดนตรีไทย วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอแนวทางการพัฒนาระบบการรู้จำเครื่องดนตรีไทยจำนวน 7 ชนิด วิธีดำเนินการเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเสียงดนตรีไทยเพื่อทำการพัฒนาระบบการรู้จำเสียงและชนิดดนตรีไทยด้วยโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อใช้ประโยชน์สำหรับช่วยการฝึกฝนและเรียนรู้ทักษะดนตรีไทย การปรับเทียบเสียงดนตรีไทย รวมทั้งข้อมูลลักษณะเด่นของเครื่องดนตรีไทยที่ได้จากการวิเคราะห์ สามารถเป็นข้อมูลขั้นต้นสำหรับการวิจัยด้านวิศวกรรมของดนตรีไทยต่อไป อีกทั้งเป็นแนวทางในการสังเคราะห์เสียงดนตรีไทยชนิดต่างๆ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนานำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาประยุกต์ใช้ในวงการของดนตรีไทยต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

พัฒนาซอฟแวร์คอมพิวเตอร์ระบบการรู้จำระดับเสียงและชนิดของเครื่องดนตรีไทย

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ระบบรู้จำเสียงและชนิดดนตรีไทยที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติสามารถระบุระดับเสียงและชนิดของเครื่องดนตรีไทยแบบบรรเลงเสียงดนตรีไม่ต่อเนื่อง เครื่องดนตรีที่ใช้รู้จำมีจำนวน 7 ชนิดคือ ระนาดเอก ระนาดทุ้ม ฆ้องวงเล็ก ฆ้องวงใหญ่ ซอด้วง ซออู้ และขลุ่ยเพียงออ วิธีการรู้จำกระทำจากไฟล์เสียงดนตรีในรูปแบบ .wav การเก็บบันทึกเสียงดนตรีจะทำในสภาวะแวดล้อมที่เงียบ และเพื่อให้การบันทึกเสียงดนตรีมีคุณภาพสูงจึงเลือกใช้อัตราการสุ่มตัวอย่างเสียง (Sampling Rate) เท่ากับ 44100 เฮิรตซ์ (Hz) ความละเอียดข้อมูล 16 บิต ผลการรู้จำระดับเสียงและชนิดของดนตรีไทยให้ความถูกต้องเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 80 %

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1.4.1 ศึกษาข้อมูลและความรู้เกี่ยวกับดนตรีไทย

1.4.2 เก็บบันทึกตัวอย่างเสียงดนตรีไทย

1.4.3 วิเคราะห์หาคุณสมบัติของระดับเสียงของเครื่องดนตรีไทย

1.4.4 ระบุลักษณะเด่นของระดับเสียงดนตรีไทยและชนิดของเครื่องดนตรีไทย

1.4.5 นำข้อมูลที่ได้เข้าระบบการรู้จำโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

1.4.6 สรุปผล ทำรายงานการวิจัย และนำเสนอผลที่ได้จากการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 ช่วยให้ทราบถึงคุณสมบัติและลักษณะเด่นของเสียงและชนิดของดนตรีไทย

1.5.2 ช่วยปรับหรือตั้งค่าความถี่ระดับเสียงของเครื่องดนตรีไทย

1.5.3 เป็นแนวทางสำหรับการสังเคราะห์เสียงดนตรีไทย

1.5.4 เป็นแนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มาใช้ช่วยการเรียนรู้ของดนตรีไทย

บทที่ 2
ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 พื้นฐานและองค์ประกอบของดนตรีไทย

เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์สัญญาณเสียงของดนตรีไทย งานวิจัยนี้จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานของดนตรีไทย เริ่มตั้งแต่เครื่องดนตรีไทย ตัวโน้ตไทย และมาตราเสียงของดนตรีไทย โดยจะนำเสนอเรื่องราวของดนตรีไทยเพื่อนำเข้าสู่การวิเคราะห์เพื่อการรู้จำเสียงโน้ตของดนตรีไทยดังนี้

2.1.1 เครื่องดนตรีไทย

เครื่องดนตรีไทย จำแนกหมวดหมู่ตามหน้าที่การบรรเลงได้เป็น 2 ประเภทคือ เครื่องดนตรีบรรเลงทำนองและเครื่องประกอบจังหวะ [6] สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงเฉพาะข้อมูลเบื้องต้นของเครื่องดนตรีบรรเลงทำนองซึ่งใช้สำหรับทดสอบในงานวิจัยนี้จำนวน 7 ชนิดด้วยกันคือ ฆ้องวงใหญ่ ฆ้องวงเล็ก ระนาดเอก ระนาดทุ้ม ซออู้ ซอด้วง และขลุ่ยเพียงออ เครื่องดนตรีแต่ละชนิดมีลักษณะโดยทั่วไปดังนี้

2.1.1.1 ฆ้องวงใหญ่ เป็นเครื่องดนตรีประเภทเครื่องตีทำด้วยโลหะรูปลักษณะเป็นวงกลมเรียงล้อมรอบผู้ตี มีเสียงกังวาน ส่วนประกอบที่สำคัญคือวงฆ้องและลูกฆ้อง วงฆ้องทำด้วยหวายโป่งจำนวน 4 เส้นขดเป็นวงขนานกันโดยเว้นส่วนที่เป็นทางเข้า ลูกฆ้องทำด้วยโลหะจำนวน 16 ลูก (ในบางวงมี 17 ลูก) เรียงตามขนาดจากลูกใหญ่ไปลูกเล็ก ไม้ตีทำด้วยหนังสัตว์ตัดเป็นวงกลม ระดับเสียงของฆ้องวงใหญ่เริ่มที่เสียง “มี [287.60 Hz ดูตาราง 2-2]” ถึงเสียง “ซอล [1230.40 Hz ดูตาราง 2-2]”

2.1.1.2 ฆ้องวงเล็ก เป็นเครื่องดนตรีประเภทเครื่องตี ลักษณะและโครงสร้างคล้ายกับฆ้องวงใหญ่ ต่างกันที่มีขนาดเล็กกว่า มีลูกฆ้องจำนวน 16-18 ลูก และมีเสียงสูงกว่าระดับเสียงฆ้องวงเล็กเริ่มที่เสียง “โด [457.09 Hz ดูตาราง 2-2]” ถึงเสียง “ฟา [2460.81 Hz ดูตาราง 2-2]”

2.1.1.3 ระนาดเอก เป็นเครื่องดนตรีประเภทตี รูปลักษณะเป็นราง โครงสร้างประกอบด้วยลูกระนาด ทำจากไม้เนื้อแข็ง จำนวน 21-22 ลูก ร้อยด้วยเชือกเรียงตามความยาวของลูกระนาดลดหลั่นลงไปตามความยาวจนเป็นผืนระนาดแขวนบนรางระนาดที่ทำจากไม้เนื้อแข็งมีลักษณะรูปร่างคล้ายเรือหน้าที่เป็นกล่องเสียงของระนาด สำหรับไม้ตีระนาดมีสองชนิดคือไม้นวมและไม้แข็งไม้นวมทำจากผ้าแล้วถักพันด้วยเส้นด้าย ส่วนไม้แข็งทำจากพันผ้าอย่างแน่นแล้วชุบด้วยรักจนมีผิวที่แข็งระดับเสียงระนาดเอก เริ่มที่เสียง “ซอล [169.81 Hz ดูตาราง 2-2]” ถึงเสียง “ซอล [1358.48 Hz ดูตาราง 2-2]”

2.1.1.4 ระนาดทุ้ม เป็นเครื่องดนตรีไทยที่สร้างเลียนแบบระนาดเอก มีระดับเสียงทุ้มต่ำเพื่อเล่นคู่กับระนาดเอกซึ่งมีเสียงสูงกว่า ส่วนของลูกระนาดมีขนาดความกว้างและความยาวมากกว่าของระนาดเอก มีจำนวน 16-17 ลูก ตัวรางเป็นรูปคล้ายหีบไม้แต่เว้ากลาง มีโขนปิดหัวท้าย มีเท้าอยู่สี่มุมด้านล่าง ไม้ตีคล้ายกับไม้นวมของระนาดเอกแต่มีขนาดใหญ่กว่า ระดับเสียงระนาดทุ้มเริ่มจากเสียง “มี [139.30 Hz ดูตาราง 2-2]” ถึงเสียง “ซอล [679.24 Hz ดูตาราง 2-2]”

2.1.1.5 ซอด้วง เป็นเครื่องดนตรีประเภทเครื่องสี ให้เสียงสูงแหลม มีโครงสร้างประกอบด้วยกระบอกซอทำด้วยไม้ไผ่ ไม้เนื้อแข็งหรืองาช้าง ด้านหน้าของกระบอกขึงปิดด้วยหนังสัตว์ คันทวนทำด้วยไม้หรืองาช้างลักษณะกลมยาวสอดปักที่กระบอก ที่ปลายอีกด้านมีลูกบิดเสียบอยู่โดยที่ปลายลูกบิดเจาะรูไว้สำหรับร้อยสายซอเพื่อขึงให้ตึงตามที่ต้องการ มีหย่องลักษณะเป็นไม้ชิ้นเล็กใช้หนุนสายซอให้พ้นขอบกระบอกและเป็นตัวรับแรงสั่นสะเทือนจากสายซอไปสู่หน้าซอ คันชักทำด้วยไม้เนื้อแข็งหรืองาช้างโดยมีหมุดสำหรับให้เส้นหางม้าคล้อง อีกด้านหนึ่งเจาะรูไว้ร้อยเส้นหางม้า ประมาณ 250 เส้น สอดเส้นหางม้าให้อยู่ภายในระหว่างสายเอกกับสายทุ้ม โดยทั่วไประดับเสียงของซอด้วงมี 9 เสียงตั้งแต่เสียง “ซอล [1358.48 Hz ดูตาราง 2-2]” ถึงเสียง “ลา [2999.76 Hz ดูตาราง 2-2]”

2.1.1.6 ซออู้ เป็นเครื่องดนตรีประเภทเครื่องสี เป็นซอที่มีเสียงทุ้มกังวาน โครงสร้างและลักษณะคล้ายซอด้วง ต่างกันที่กะโหลกซอทำด้วยกะลามะพร้าวพันธุ์พิเศษ หน้าซอขึงปิดด้วยหนังวัวหรือหนังแพะ ระดับเสียงซออู้มี 9 เสียงเริ่มจากเสียง “โด [228.55 Hz ดูตาราง 2-2]” ถึงเสียง “เร [504.67 Hz ดูตาราง 2-2]”

2.1.1.7 ขลุ่ยเพียงออ เป็นเครื่องดนตรีประเภทเครื่องเป่า มีโครงสร้างประกอบด้วยเลาขลุ่ยคือส่วนที่เป็นตัวขลุ่ยทำจากไม้รวกหรือไม้ชิงชัน มีรูปิดเปิดจำนวน 8 รู เป็นรูบังคับเสียงด้านหน้า 7 รู และเป็นรูนิ้วค้ำด้านหลัง 1 รู ที่ปากเป่ามีดากขลุ่ยเป็นไม้อุดปากขลุ่ยทำจากไม้สักทองเหลากลมให้คับแน่นกับร่องภายในของปากขลุ่ยฝานให้เป็นช่องว่างลาดเอียงตลอดชิ้นเพื่อให้เป่าลมผ่านเข้าไปทางรูเป่าซึ่งเป็นรูสำหรับเป่าลมเข้าไป รูปากนกแก้วลักษณะเป็นรูสี่เหลี่ยมทำหน้าที่เป็นร่องรับลมทำให้เกิดเสียงขลุ่ย ระดับเสียงของขลุ่ยมี 12 เสียงเริ่มจากเสียง “โด [457.09 Hz ดูตาราง 2-2]” ถึงเสียง “ซอล [749.94 Hz ดูตาราง 2-2]”

2.1.2 ตัวโน้ตไทย

ในอดีตที่ผ่านมาเสียงเพลงและข้อมูลที่เกี่ยวข้องของเพลงดนตรีไทยไม่นิยมการบันทึกลงในเอกสารหรือสื่อใดๆ เนื่องจากยังไม่มีการคิดค้นสัญลักษณ์เกี่ยวกับดนตรีไทยขึ้นมา จวบจนกระทั่งถึงสมัยของรัชกาลที่ 5 แห่งกรุงรัตนโกสินทร์ ได้มีการประยุกต์นำรูปแบบการบันทึกโน้ตเพลงจากรูปแบบของจีน [11] ทำให้เกิดการเขียนโน้ตเพลงไทยเป็นระบบตัวเลข และต่อมาได้พัฒนารูปแบบ

การเขียนโน้ตเพลงเพื่อให้ตรงกับระบบโน้ตเพลงของดนตรีสากล โดยใช้พยัญชนะแทนโน้ตเสียงเพลงซึ่งเป็นรูปแบบที่ครูเพลงไทยนิยมเขียนกันทั่วไปจนถึงปัจจุบัน โดยตัวโน้ตของเพลงไทยมีการแบ่งเป็นช่วงเสียงคู่แปดหรือออคเตฟ (Octave) ภายในแต่ละออคเตฟมีการเรียกชื่อตัวโน้ตดังนี้ โด(Do) เร(Re) มี(Mi) ฟา(Fa) ซอล(Sol) ลา(La) ที(Ti) เมื่อครบรอบแล้วก็จะเริ่มที่เสียงโดอีกครั้งเหมือนกับของดนตรีสากล สำหรับรูปแบบการเขียนสัญลักษณ์ตัวโน้ตเพลงไทยที่นิยมเขียนในปัจจุบันคือ ใช้ตัวย่อภาษาไทยแทนสัญลักษณ์ตัวโน้ตเริ่มตั้งแต่ ด ร ม ฟ ซ ล และ ท ตามลำดับ กรณีที่โน้ตเพลงอยู่ในช่วงสูงกว่า จะเขียนจุดไว้ข้างบนตัวย่อของโน้ต และในทางตรงกันข้ามถ้าอยู่ในช่วงเสียงที่ต่ำกว่าจะเขียนจุดไว้ด้านล่างตัวย่อ การเขียนโน้ตเพลงไทยมีการแบ่งแต่ละบรรทัดออกเป็น 8 ห้อง แต่ละห้องมีโน้ตขนาด 1 จังหวะอยู่ภายใน 4 ตัวโน้ต ตัวอย่างการเขียนโน้ตเพลงไทยแสดงดังภาพที่ 2-1

เพลงแขกบรเทศ ชั้นเดียว

ท่อน ๑

ดำลลล	**ดำลลล**	**ดำซซซ**	**ดำลซม**	**ซมรด**	**ซดรม**	**ซลซม**	**ซมรด**

ท่อน ๒

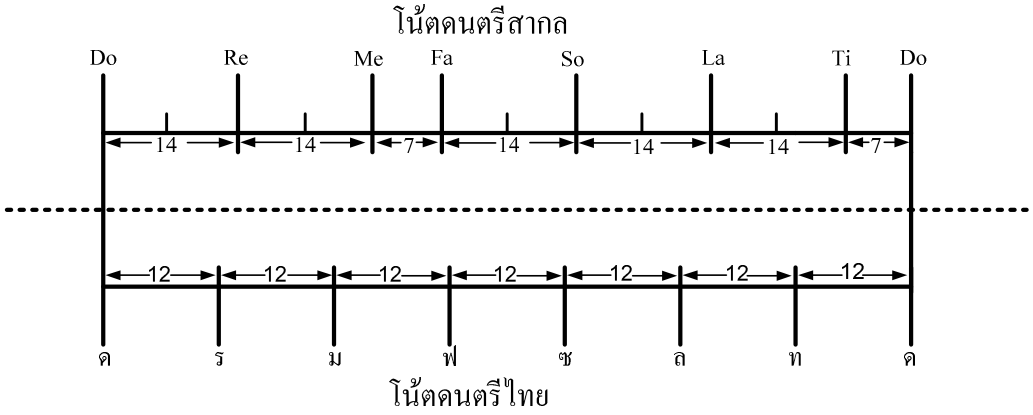
ซมซร	**มรดล**	**ซมซล**	**ซลดำ**	**ซมรด**	**ซดรม**	**ซลซม**	**ซมรด**

ภาพที่ 2-1 การเขียนโน้ตเพลงไทย

2.1.3 มาตราเสียงดนตรีไทย (The Thai Musical Scale)

มาตราเสียงคือช่วงระยะห่างภายในช่วงคู่แปด ของระดับเสียงดนตรีที่เรียงตามลำดับตั้งแต่ระดับเสียงต่ำไปหาระดับเสียงสูง หรือระดับเสียงสูงลงมาหาระดับเสียงต่ำ ภายในมาตราเสียงดนตรีไทยแบ่งเป็น 7 ช่วงของระดับเสียงดนตรีมีระดับเสียงโด เร มี ฟา ซอล ลา ที และเสียงโด โดยระดับเสียงเริ่มต้นและท้ายของมาตราเสียงห่างกันหนึ่งคู่แปด โดยที่มาตราเสียงของดนตรีไทยแบ่งช่วงระยะห่างของระดับเสียงเป็น 7 เสียงเท่ากัน คล้ายกับมาตราเสียงของดนตรีสากลซึ่งเป็นมาตราเสียงไดอะโทนิค (Diatonic Scale) [12] ซึ่งมาตราเสียงของดนตรีสากลจะมีระดับเสียงเสียงเต็ม 5 เสียงคือเสียง โด เร ฟา ซอล และเสียง ลา โดยมีมาตราแบบครึ่งเสียงอยู่ 2 เสียงคือเสียงมีและเสียงที ดังนั้นมาตราเสียงของดนตรีสากลจึงแบ่งย่อยได้เป็น 12 ช่วงครึ่งเสียง (Semi Tone) เมื่อเปรียบเทียบมาตราเสียงของดนตรีไทยและดนตรีสากลโดยเริ่มต้นที่เสียงโดในช่วงคู่แปดเท่ากัน การแบ่งมาตราเสียงของดนตรีไทยเทียบกับดนตรีสากลแสดงดังภาพที่ 2-2 [12] เมื่อพิจารณามาตราเสียงของดนตรีไทยและดนตรีสากลจะพบว่าระดับเสียงเดียวกันของแต่ละตัวโน้ตเสียงดนตรีมีค่า

มาตราเสียงไม่เท่ากัน ยกเว้นเสียงที่เริ่มต้นของแต่ละออคเตฟเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ดนตรีไทยและดนตรีสากลโดยปกติแล้วไม่สามารถนำมาบรรเลงร่วมกันในเพลงเดียวกันได้



ภาพที่ 2-2 มาตราเสียงของดนตรีไทยและดนตรีสากล

ตามหลักการของมาตราเสียงของดนตรีสากล ความถี่ของระดับเสียงดนตรีระหว่างช่วงคู่แปดพบว่าความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency) ของระดับเสียงดนตรีเสียงเดียวกันที่อยู่ในช่วงคู่แปดที่สูงขึ้นจะมีความถี่มากกว่าเป็น 2 เท่า หรือในช่วงคู่แปดที่ต่ำลงจะมีค่าความถี่หลักมูลน้อยลงเป็น 2 เท่าเช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถหาความถี่เสียงภายในช่วงคู่แปดของโน้ตเสียงได้ดังนี้ [1]

$$f(A_4) = 2f(A_3) \tag{2-1}$$

เมื่อ $f(A_4)$ เป็นค่าความถี่ของเสียงลาในออคเตฟที่ 4 และ $f(A_3)$ เป็นค่าความถี่ของเสียงลาในออคเตฟที่ 3 ในทำนองเดียวกันที่ระดับเสียงของโน้ตเสียงอื่นๆในช่วงคู่แปดที่ 4 ก็จะมีค่าความถี่สองเท่าของโน้ตเสียงในช่วงคู่แปดที่ 3 เช่นกัน และจากการที่มาตราเสียงในแต่ละช่วงคู่แปดของดนตรีสากลแบ่งเป็น 12 ช่วงเสียงจึงสามารถหาความถี่เสียงของแต่ละโน้ตเสียงได้ดังสมการที่ 2-2 และสมการที่ 2-3[12]

$$scale = \sqrt[12]{2} \tag{2-2}$$

เมื่อ Scale เป็นค่าระยะมาตราเสียงดนตรีสากลมีค่าเท่ากับ 1.104089514 [12] สำหรับความถี่หลักมูลของเสียงดนตรีสากลมีค่าอ้างอิงที่ระดับเสียง "ลา" ในช่วงคู่แปดที่ 4 หรือ A_4 มีค่าความถี่

เท่ากับ 440 Hz [1,2] เหตุที่เลือกใช้เสียงลาเพราะว่าค่าความถี่หลักมูลเสียงลาของดนตรีสากลมีค่าเป็นตัวเลขที่เป็นจำนวนเต็มในทุกช่วงคู่แปดต่างจากระดับโน้ตเสียงอื่นๆที่ค่าความถี่อาจจะเป็นค่าที่มีเลขทศนิยม [13]

ดังนั้นจากสมการที่ 2-2 จึงสามารถคำนวณหาความถี่ของระดับเสียงของเสียงดนตรีสากลโดยคำนวณเปรียบเทียบกับค่าความถี่อ้างอิงได้ดังสมการที่ 2-3 [12]

$$fn = fo \times 2^{\frac{n}{12}} \qquad (2\text{-}3)$$

เมื่อ f_n เป็นความถี่ของระดับเสียงวัดเทียบกับเสียงอ้างอิง f_o เป็นความถี่ระดับเสียงอ้างอิงของดนตรีสากลคือเสียง "ลา" มีค่าเป็น 440 Hz และ n เป็นระยะห่างของระดับเสียงที่ห่างจากระดับเสียงอ้างอิง ดังนั้นจากสมการ 2-3 จึงสามารถประยุกต์เพื่อคำนวณหาความถี่เสียงของดนตรีไทยได้ดังสมการที่ 2-4 [12]

$$fn = fo \times 2^{\frac{n}{7}} \qquad (2\text{-}4)$$

เนื่องจากค่าระดับเสียงในส่วนของดนตรีไทยจะแตกต่างจากดนตรีสากลตรงที่ค่าความถี่สำหรับอ้างอิงยังไม่มีการกำหนดที่ชัดเจน งานวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลของนักวิจัยของไทย จากข้อมูลของการรวบรวมผลวิเคราะห์ความถี่เสียงของเครื่องดนตรีไทย เช่นระนาดทุ้มเหล็ก จากวงดนตรีหลายสำนัก [7,8] การวิเคราะห์เสียงดนตรีไทยขลุ่ยเพียงออและระนาดเอกเหล็ก [9] ผลการรวบรวมความถี่เสียงที่ได้แต่ละสำนักมีความแตกต่างกันอยู่บ้าง งานวิจัยนี้จึงเสนอการใช้ช่วงความถี่ต่ำสุดถึงสูงสุดที่รวบรวมได้จากงานวิจัยดังกล่าวเป็นฐานข้อมูลที่ใช้ในการรู้จำโน้ตเสียงดนตรีไทย โดยมีข้อมูลที่รวบรวมแสดงในสดมภ์ช่องความถี่รวบรวม ส่วนข้อมูลในสดมภ์ช่วงความถี่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของระดับเสียงที่ติดกันโดยการหาค่าขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างของค่าความถี่ของแต่ละระดับเสียง และสรุปเป็นช่วงความถี่ของโน้ตเสียงได้ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ความถี่ที่รวบรวมของนักวิจัยไทย

โน้ต	ช่วงความถี่รวบรวม	ช่วงความถี่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้
ท	220.6-241.5	221.9-243.1
ด	244.6-270.8	243.1-270.1
ร	269.4-300.3	270.1-297.8
ม	295.3-331.7	297.8-328.0
ฟ	324.3-367.9	328.0-364.1
ซ	360.3-407.8	364.1-402.7
ล	397.5-446.2	402.7-443.8

ในการรวบรวมข้อมูลของนักวิจัยของไทย การหาค่ากลางของแต่ละระดับเสียงโดยการวัดค่าความถี่เสียงดนตรีตามสถานที่ต่างๆแล้วมาหาค่าเฉลี่ยจากการคำนวณทางสถิติ พบว่าค่ากลางเฉลี่ยของโน้ตเสียง “ลา” ของเครื่องดนตรีทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยประมาณ 414 Hz [8] ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทดลองคำนวณค่าลำดับของระดับเสียงสมการที่ 2-4 กำหนดระดับค่า f_o เป็นค่าความถี่ 414 Hz ซึ่งเป็นระดับเสียง “ลา” ไว้ที่ตำแหน่งระดับเสียงที่ 14 ดังนั้นการคำนวณหาระดับเสียงจะได้ดังสมการ 2-5

$$note_level = 14 + 7\lg\frac{f_n}{f_o} \qquad (2\text{-}5)$$

จากตารางที่ 2-1 ระดับเสียงที่นำมาเป็นฐานข้อมูลนั้นยังไม่ครอบคลุมช่วงเสียงของเครื่องดนตรีทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ในทางปฏิบัตินั้นเมื่อระดับเสียงอยู่ในช่วงคู่แปดที่สูงขึ้นจะทำการคูณค่าความถี่ของระดับเสียงจากฐานข้อมูลขึ้นไป และในกรณีเดียวกันถ้าระดับเสียงอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าระดับเสียงในฐานข้อมูลจะใช้วิธีหารค่าความถี่จากฐานข้อมูลลงมา สำหรับสมการที่ 2-4 และสมการที่ 2-5 สามารถสร้างตารางค่าระดับเสียงและความถี่เสียงสำหรับอ้างอิงเพื่อใช้สำหรับงานวิจัยโดยใช้ค่าความถี่ระดับเสียง “ลา” ที่ความถี่ 414 Hz ให้ครอบคลุมระดับเสียงของเครื่องดนตรีไทยได้ดังตารางที่ 2-2

ข้อสังเกตสำหรับค่าความถี่ของระดับเสียงฐานข้อมูลในตารางที่ 2-1 และค่าความถี่ของระดับเสียงอ้างอิงสำหรับงานวิจัยนี้ในตารางที่ 2-2 พบว่าค่าความถี่สำหรับการอ้างอิงมีระดับเสียงสูงกว่าค่าความถี่ของระดับเสียงในฐานข้อมูลอยู่ 1 ระดับเสียง ทั้งนี้เพราะความแตกต่างของเครื่องดนตรีที่ใช้ในงานวิจัยมาจากวงดนตรีต่างประเภทกันโดยที่ค่าความถี่ของระดับเสียงที่นำมาใช้สร้างฐานข้อมูลนั้นเป็นเครื่องดนตรีไทยวงปี่พาทย์ไม้แข็ง ส่วนระดับเสียงของเครื่องดนตรีที่ใช้ในงานวิจัยนั้นเป็นเครื่องดนตรีวงเครื่องสาย การนำข้อมูลความถี่ในตารางที่ 2-1 มาใช้สำหรับงานวิจัยนี้จึงทำการปรับค่าความถี่ที่ใช้ให้เป็นค่าความถี่ของวงเครื่องสาย วิธีการปรับระดับเสียงจากวง

ดนตรีปี่พาทย์ไม้แข็งเป็นระดับเสียงของวงเครื่องสายกระทำได้โดยการปรับค่าระดับเสียงของวงเครื่องสายขึ้นให้มีค่าสูงกว่าระดับเสียงของวงปี่พาทย์ไม้แข็ง 1 ระดับเสียง [14]

ตารางที่ 2-2 ระดับเสียงและความถี่เสียงดนตรีไทยสำหรับอ้างอิง

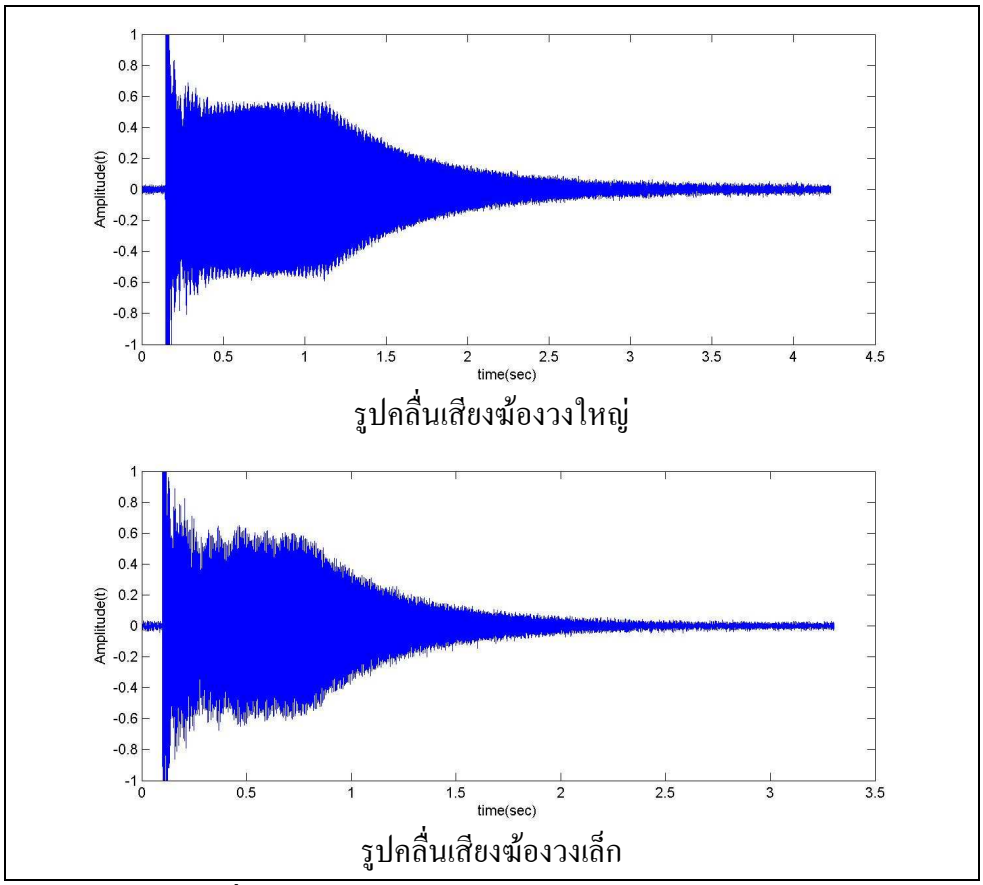
ลำดับที่	ระดับเสียง	ค่าจากการคำนวน
1	ด	114.27
2	ร	126.17
3	ม	139.30
4	ฟ	153.80
5	ซ	169.81
6	ล	187.48
7	ท	207.00
8	ด	228.55
9	ร	252.34
10	ม	278.60
11	ฟ	307.60
12	ซ	339.62
13	ล	374.97
14	ท	414.00
15	ด	457.09
16	ร	504.67
17	ม	557.20
18	ฟ	615.20
19	ซ	679.24
20	ล	749.94
21	ท	828.00
22	ด	914.19
23	ร	1,009.34
24	ม	1,114.41
25	ฟ	1,230.40
26	ซ	1,358.48
27	ล	1,499.88
28	ท	1,656.00
29	ด	1,828.37
30	ร	2,018.69
31	ม	2,228.81
32	ฟ	2,460.81
33	ซ	2,716.95
34	ล	2,999.76
35	ท	3,312.00

2.2 การวิเคราะห์ลักษณะเด่นสัญญาณเสียงดนตรีไทย

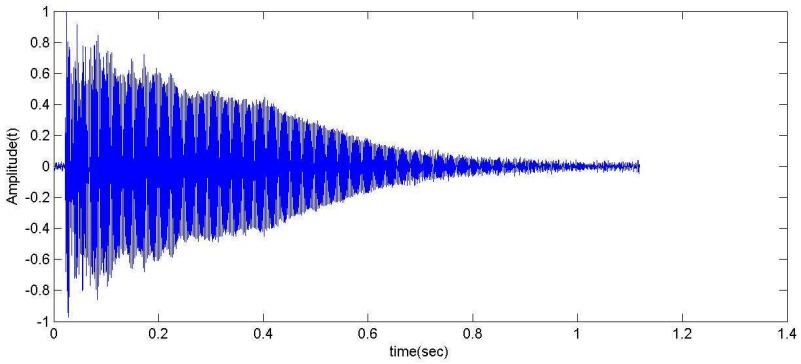
งานวิจัยนี้นอกจากการวิเคราะห์สัญญาณเสียงดนตรีไทยแล้ว ยังได้ทำการกำหนดวิธีการหาค่าลักษณะเด่นของเสียงดนตรีไทยเพื่อนำมาใช้ในการระบุชนิดของเครื่องดนตรีอีกด้วย โดยแบ่งการพิจารณาสัญญาณเสียงดนตรีไทยเป็นสองขอบเขต (Domain) คือ

2.2.1 การหาลักษณะเด่นของรูปคลื่นในขอบเขตแกนเวลา (Time Domain)

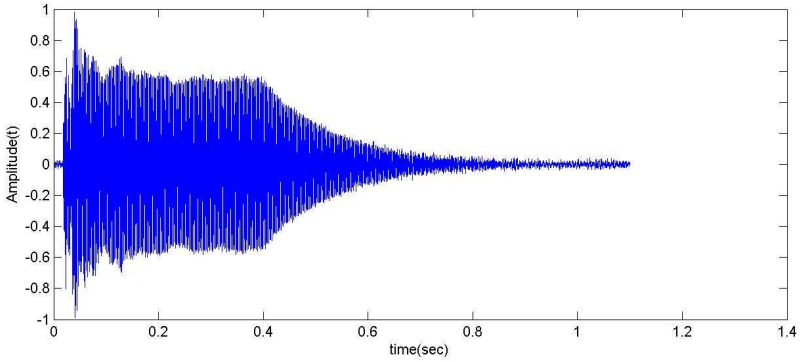
การวิเคราะห์หาค่าลักษณะเด่นของเสียงดนตรีไทยในขอบเขตแกนเวลาเป็นการวิเคราะห์สัญญาณคลื่นเสียงจากเครื่องดนตรีไทย โดยใช้คุณสมบัติสัญญาณคลื่นเสียงของเครื่องดนตรีที่มีแหล่งกำเนิดมาจากเครื่องดนตรีที่มีชนิดหรือระดับเสียงที่แตกต่างกันจะมีคุณลักษณะของรูปคลื่นที่ต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องดนตรีไทยที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีคุณสมบัติทางโครงสร้างและวัสดุที่ใช้ทำเครื่องดนตรี รวมถึงวิธีการบรรเลงที่ต่างกันทำให้คลื่นเสียงที่ได้ของแต่ละเสียงดนตรีมีความแตกต่างกัน หลักการของการตรวจจับลักษณะเด่นของคลื่นเสียงดนตรีไทยตามแกนเวลาจึงเป็นการนำคลื่นเสียงของดนตรีไทย มาวิเคราะห์หาคุณสมบัติของสัญญาณโดยการพิจารณาจากรูปแบบคลื่นเสียง ค่าระดับพลังงาน ระยะเวลาการเปล่งเสียง เป็นต้น สำหรับตัวอย่างของลักษณะรูปคลื่นเสียงของเครื่องดนตรีไทยที่ใช้ในงานวิจัยแสดงดังภาพที่ 2-3 แสดงเสียงดนตรีไทยในระดับเสียง “โด” ในช่วงคู่แปดเดียวกัน ยกเว้นซอด้วงจะใช้ระดับเสียง “โด” ในช่วงคู่แปดที่สูงกว่าทั้งนี้เพราะซอด้วงมีระดับเสียงอยู่ในช่วงคู่แปดที่สูงกว่าเครื่องดนตรีชนิดอื่น สามารถบรรเลงเสียงนี้ได้ การหาค่าลักษณะเด่นของเสียงดนตรีไทยในขอบเขตแกนเวลาพิจารณารายละเอียดและคุณสมบัติดังนี้



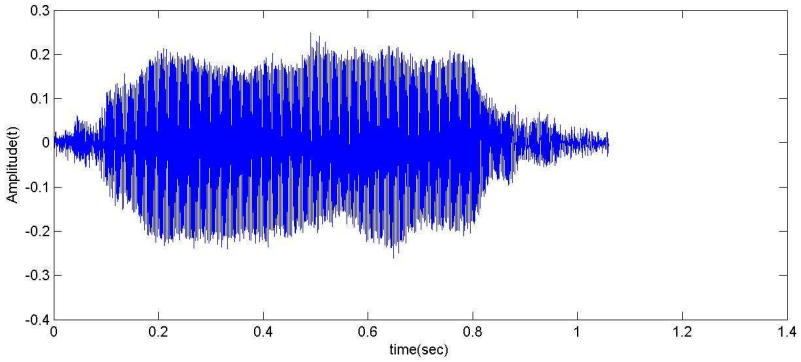
ภาพที่ 2-3 ตัวอย่างรูปคลื่นเสียงดนตรีไทยที่ใช้ในงานวิจัย



รูปคลื่นเสียงระนาดเอก

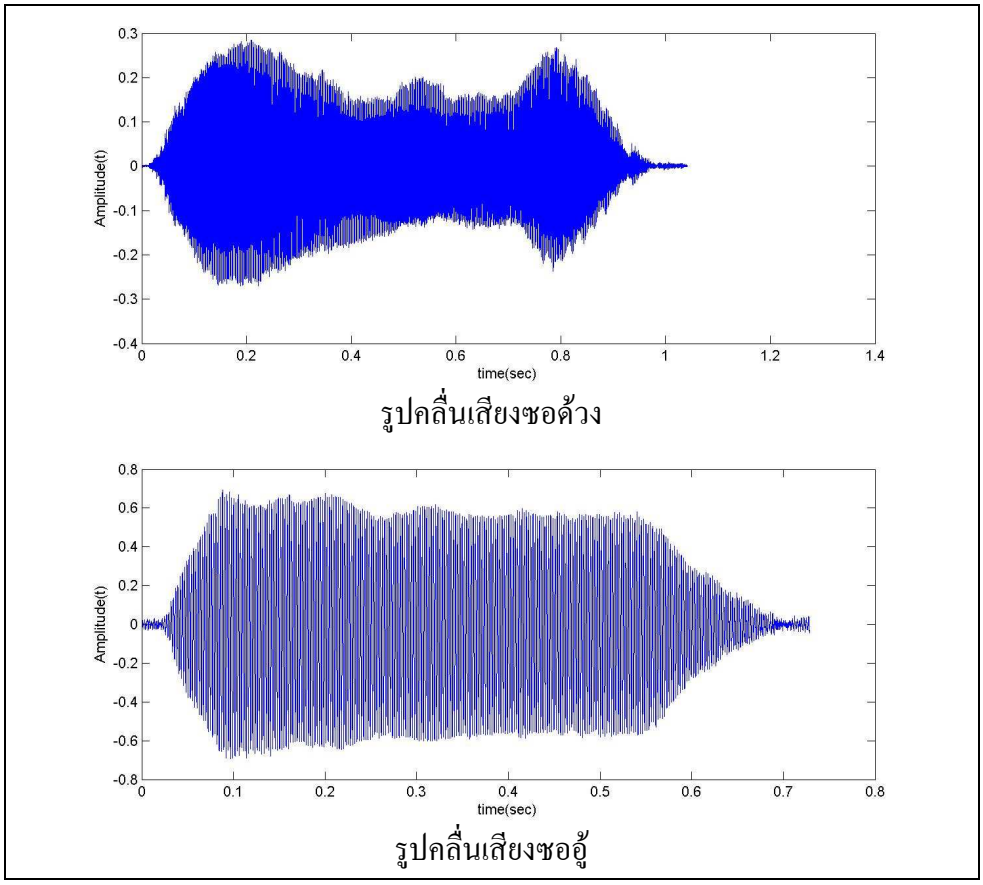


รูปคลื่นเสียงระนาดทุ้ม



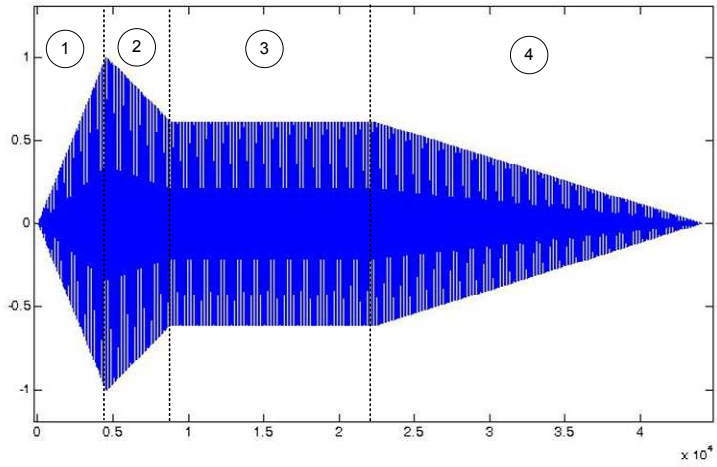
รูปคลื่นเสียงขลุ่ยเพียงออ

ภาพที่ 2-3 (ต่อ)



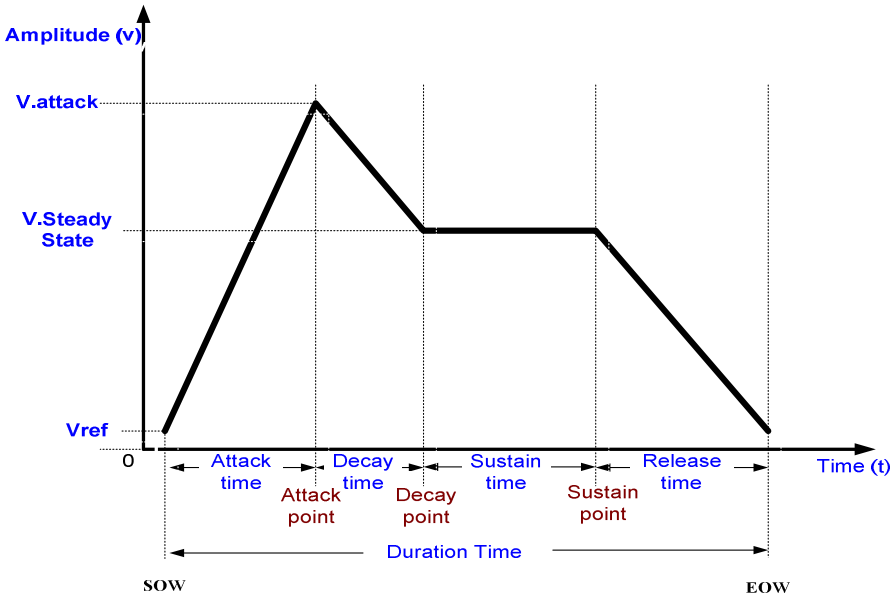
ภาพที่ 2-3 (ต่อ)

2.2.1.1 ขอบสัญญาณ ADSR (ADSR Signal Envelop) ขอบสัญญาณ ADSR เป็นการสร้างเส้นกรอบของรูปแบบค่าพลังงานเสียงของสัญญาณเสียงดนตรีที่แปรเปลี่ยนตามค่าเวลา รูปแบบขอบสัญญาณของเสียงดนตรีแต่ละประเภทจะมีลักษณะเฉพาะของตนเอง ลักษณะเด่นนี้จึงมีความสำคัญสำหรับใช้ในการระบุว่าเสียงของเครื่องดนตรีนั้นเป็นเครื่องดนตรีชิ้นใด รูปแบบของคลื่นเสียงดนตรีไทยที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้พบว่าเครื่องดนตรีแต่ละชนิดจะมีการสร้างรูปแบบของ ADSR ต่างกันตามประเภทของเครื่องดนตรีที่บรรเลง โดยทั่วไปจะจัดแบ่งช่วงเวลาของขอบสัญญาณออกเป็น 4 ช่วงด้วยกันคือ 1.Attack Time, 2.Decay Time, 3.Sustain Time และ 4. Release Time [4] ภาพที่ 2-4 แสดงภาพตัวอย่างลักษณะของรูปคลื่นที่พิจารณาเฉพาะขอบ ADSR ที่สร้างจากคลื่นเสียงดนตรีไทย



ภาพที่ 2-4 ขอบสัญญาณ ADSR

เมื่อพิจารณาขอบสัญญาณ ADSR เฉพาะคลื่นเสียงเฉพาะครึ่งบวก (Half Wave) เพื่อกำหนดจุดอ้างอิงบนขอบสัญญาณ ADSR จะได้ได้ดังภาพที่ 2-5 และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างของเสียงดนตรีจากเครื่องดนตรีไทยในภาพที่ 2-3 จะพบว่าสัญญาณบนขอบสัญญาณ ADSR ของเครื่องดนตรีชนิดต่างๆจะมีรูปแบบลักษณะที่ต่างกัน วิธีการตรวจจับลักษณะเด่นของคาบเวลากระทำโดยการเปรียบเทียบค่าแอมปลิจูดของสัญญาณ โดยเริ่มตรวจจับที่คาบเวลา Attack Time เริ่มที่จุด Start Of Wave (SOW) ถึง V_{attack} คาบเวลา Decay Time เริ่มจาก V_{attack} ถึง $V_{steady\ state}$ คาบเวลา Sustain Time เริ่มจาก $V_{steady\ state}$ ไปตามแกนเวลาจนกระทั่งถึงจุดที่แอมปลิจูดของสัญญาณเสียงเริ่มมีค่าลดลง และคาบเวลา Release Time เริ่มจากจุดที่สัญญาณลดระดับจนถึงจุด End Of Wave (EOW) ลักษณะเด่นของขอบพลังงาน ADSR เป็นการตรวจจับทั้งค่าเวลาและค่าแอมปลิจูดที่จุดตรวจจับ ดังนั้นจึงได้ลักษณะเด่นของสัญญาณ ADSR ทั้งหมด 11 ลักษณะเด่นคือ Attack Point, Decay Point, Release Point, Release Point (EOW), Attack Time, Decay Time, Sustain Time, Release Time, Duration Time, Attack Amplitude(V_{Attack}) และ Steady State Amplitude($V_{Steady\ State}$)ซึ่งลักษณะเด่นที่กล่าวมาแสดงบนกราฟของขอบสัญญาณในภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 การกำหนดจุดอ้างอิงบนขอบสัญญาณ ADSR

2.2.1.2 Duration Time เป็นค่าของคาบเวลาของคลื่นเสียงดนตรีไทยจำนวน 1 เสียง พิจารณาจากภาพที่ 2-5 จะเป็นค่าช่วงเวลาตั้งแต่จุด SOW ถึงจุดสิ้นสุดของเสียง EOW ลักษณะเด่นนี้เป็นคุณสมบัติของเครื่องดนตรีที่มีโครงสร้างต่างกันจะมีค่าช่วงเวลาของคลื่นเสียงต่างกัน ในการหาค่าจุดเริ่มต้นของสัญญาณจะใช้ค่าคาบเวลาที่ระดับค่าเฉลี่ยของสัญญาณเสียงดนตรีที่มีค่ามากกว่าระดับสัญญาณรบกวน (Noise) และการหาจุดสิ้นสุดของสัญญาณจะใช่ช่วงเวลาที่ค่าเฉลี่ยของสัญญาณเสียงดนตรีมีค่าต่ำกว่าสัญญาณรบกวน และเมื่อพิจารณาลักษณะเด่นนี้แยกตามประเภทของเครื่องดนตรี พบว่าค่าเวลาของเครื่องดนตรีประเภทเครื่องตี ประเภทเครื่องโลหะค่าเวลาที่เกิดจะขึ้นกับการใช้แรงของผู้บรรเลง กล่าวคือเมื่อใช้แรงมากค่าเวลาในการกังวานของเสียงหรือค่าเวลา Sustain Time จะมีค่ามากขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ค่าเวลารวมของการเปล่งเสียงดนตรีมากขึ้น แต่ในการบรรเลงดนตรีโดยนักดนตรีผู้เชี่ยวชาญนั้นค่าช่วงเวลาดังกล่าวจะไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนเครื่องตีประเภทที่สร้างจากเครื่องไม้ค่าเวลาในช่วง Sustain Time จะไม่ขึ้นกับความแรงในการตีมากนัก และในส่วนเครื่องดนตรีประเภทเครื่องสีและเครื่องเป่า ค่าเวลาที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับเวลาที่ใช้สีหรือเป่า กล่าวคือเมื่อผู้บรรเลงยังคงบรรเลงเครื่องดนตรีอยู่เครื่องดนตรีที่บรรเลงนั้นก็ยังคงเปล่งเสียงออกมาตลอดเวลา ดังนั้นในงานวิจัยนี้การบรรเลงเครื่องดนตรีประเภทเครื่องสีและเครื่องเป่านั้น ผู้บรรเลงต้องกำหนดจังหวะการบรรเลงให้เสียงดนตรีแต่ละโน้ตเสียงอยู่ในช่วงเวลาของการบรรเลง 1 จังหวะตามจังหวะของดนตรีไทย

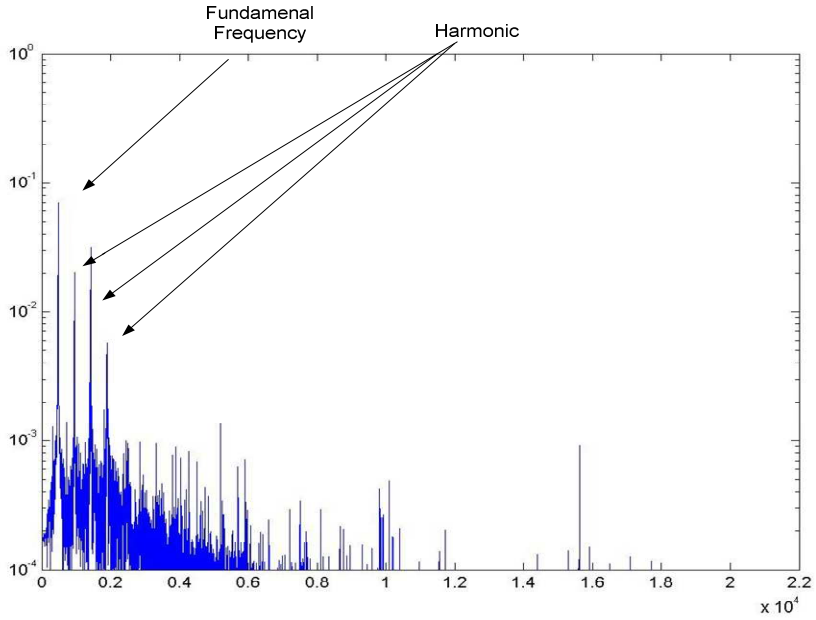
2.1.1.3 ค่า rms (Root Mean Square) เป็นคุณสมบัติที่แสดงค่าระดับพลังงานของคลื่นเสียงของเครื่องดนตรี เมื่อพิจารณาดังภาพที่ 2-3 จะพบว่าระดับพลังงานที่เกิดขึ้นของเครื่องดนตรีต่างชนิด การหาค่า rms สัญญาณเสียงดนตรีไทย ตั้งแต่จุด SOW จนถึง EOW โดยใช้การคำนวณสัญญาณคลื่นเสียงตามสมการที่ 2-6 [2] ค่า rms นี้มีประโยชน์ใช้สำหรับการระบุชนิดของเครื่องดนตรีประเภทเครื่องตีได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะกรณีของเครื่องดนตรีประเภทโลหะ(ฆ้องวงเล็กและฆ้องวงใหญ่) กับเครื่องดนตรีประเภทที่สร้างจากไม้ (ระนาดเอกและระนาดทุ้ม) โดยค่า rms ของเครื่องดนตรีประเภทโลหะจะมีค่ามากกว่าเครื่องดนตรีประเภทเครื่องไม้

$$rms = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1} x[k]^2} \qquad (2\text{-}6)$$

โดยที่ x[k] เป็นฟังก์ชันของคลื่นเสียงดนตรีไทย และ N เป็นจำนวนจุดตัวอย่างสัญญาณคลื่นเสียงดนตรีไทย

2.2.2 ลักษณะเด่นของคลื่นในขอบเขตความถี่(Frequency Domain)

ลักษณะเด่นในขอบเขตแกนความถี่เป็นการพิจารณาค่าความถี่ของเสียงดนตรีในขอบเขตแกนความถี่ที่ได้จากการคำนวณหาสเปคตรัมของขนาดด้วยวิธีการแปลงฟูริเยร์เต็มหน่วยในช่วงเวลาสั้น (Short-Time DFT)[9] สเปคตรัมสัญญาณเสียงดนตรีแสดงในภาพที่ 2-6 โดยจะมีค่าลักษณะเด่นใช้พิจารณาดังนี้



ภาพที่ 2-6 สเปคตรัมของสัญญาณเสียงดนตรี

2.2.2.1 ค่าความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency: f_0) เป็นค่าความถี่ของเสียงดนตรีไทย ใช้สำหรับระบุระดับของเสียงดนตรี ค่าของความถี่หลักมูลหรือ f_0 นี้ คำนวณจากความถี่ที่มีค่าพลังงานสูงสุดบนกราฟสเปคตรัมของพลังงานเสียงจากการคำนวณหาสเปคตรัมของขนาดด้วยวิธีการแปลงฟูริเยร์เต็มหน่วยในช่วงเวลาสั้น (Short-Time DFT)

2.2.2.2 ค่าความถี่ฮาร์มอนิก(Harmonic Frequency) เป็นการพิจารณาค่าความถี่ที่มีค่าสูงกว่าความถี่หลักมูลและมีค่าเป็นจำนวนเต็มทวีคูณของค่าความถี่หลักมูล ค่าความถี่นี้ในดนตรีสากลเรียกว่าโอเวอร์โทน(Over Tone) ค่าฮาร์มอนิกเป็นองค์ประกอบที่ระบุถึงความไพเราะหรือคุณภาพของเสียงดนตรีซึ่งเมื่อวิเคราะห์ส่วนประกอบทางความถี่ของเสียงดนตรีจะพบว่าในเสียงดนตรี 1 โน้ตเสียงดนตรีนั้นนอกจากความถี่หลักมูลแล้วยังมีค่าฮาร์มอนิกหลายๆค่าประกอบอยู่ด้วย ในเครื่องดนตรีสากลนั้นค่าฮาร์มอนิกที่ชัดเจนที่สุดจะเป็นค่าฮาร์มอนิคที่เรียกว่า Perfect 8^{th} หรือค่าความถี่ของคู่แปดนั่นเอง การหาค่าความถี่หลักมูลนั้นจะเป็นค่าฮาร์มอนิกราก(Root Harmonic) หรือเรียกว่าฮาร์มอนิกที่หนึ่ง และค่าความถี่ที่มีความถี่เป็นสองเท่าของความถี่พื้นฐานจะเรียกว่าฮาร์มอนิกที่สอง และค่าความถี่สามเท่าของความถี่พื้นฐานเรียกว่าฮาร์มอนิกที่สาม ความถี่สี่เท่าเรียกว่า ฮาร์มอนิกที่สี่ สำหรับงานวิจัยนี้พิจารณาค่าฮาร์มอนิกของดนตรีไทยถึงฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 คุณลักษณะนี้เกิดจากกลุ่มของความถี่ประสม ซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวของแต่ละเครื่องดนตรีที่จะถูกเปล่งออกมาพร้อมๆ กับเสียงความถี่หลักของเครื่องดนตรี ซึ่งเครื่องดนตรีแต่ละชนิดจะมีค่าฮาร์มอนิกลำดับที่แตกต่างกัน

2.2.2.3 ค่าพลังงานของแถบความถี่ช่วงต่ำกว่าความถี่หลักมูล (Sub-Band Frequency Energy) เป็นการพิจารณาค่าพลังงานของแถบความถี่ในช่วงที่อยู่ในย่านความถี่ต่ำกว่าค่าความถี่พื้นฐาน สำหรับค่าที่ใช้ในงานวิจัยนี้คำนวณจากค่าความถี่ทั้งย่านโดยเริ่มตั้งแต่ค่า 1 Hz จนถึงความถี่ f_0 ดังสมการที่ 2-7

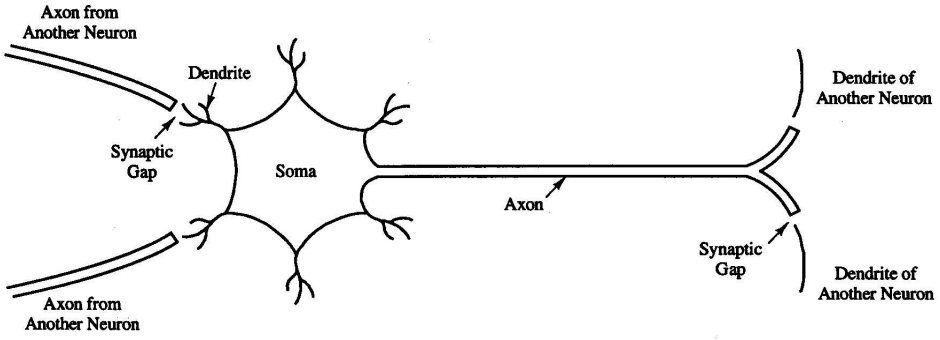
$$subband_energy = \sum_{k=1}^{f_0-1} p[k] \qquad (2\text{-}7)$$

โดยที่ p[k] เป็นสเปคตรัมความถี่ของสัญญาณเสียงดนตรี และ k เป็นย่านความถี่ต่ำกว่าความถี่หลักมูล

2.3 โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network)

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นระบบการประมวลผลข้อมูลสารสนเทศที่จำลองแบบมาจากระบบการทำงานทางธรรมชาติด้านชีววิทยาของระบบเซลล์ประสาทในสมองมนุษย์โดยใช้เครื่องมือในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) [15] การประมวลผลตามโมเดลนี้โครงข่ายประสาทเทียมเป็นการทำงานของการเชื่อมต่อระหว่างนิวรอนจนเป็นโครงข่ายที่มี

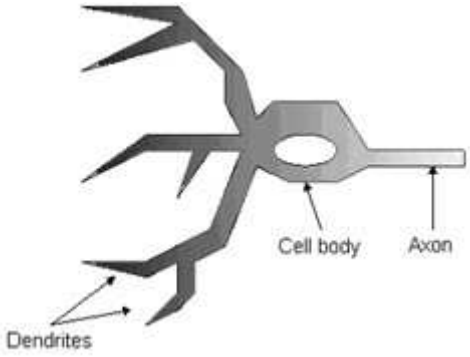
ความสามารถในการเก็บความรู้ที่ได้จากการสอน (Training) สามารถรู้จำและเรียกข้อมูลการเรียนรู้มาใช้ในภายหลังได้เอง โครงข่ายประสาทเทียมมีหลักการทำงานโดยการจำลองแบบการทำงานของโครงสร้างภายในเซลล์ประสาทของสมองมนุษย์ดังภาพที่ 2-7 จะพบว่ามีเซลล์ประสาทมีองค์ประกอบหลักคือ โซมา(Soma)ซึ่งเป็นตัวเซลล์ประสาท(Nerve Cell) หรือนิวรอน (Neurons) และเส้นใยประสาท (Nerve Fiber) เป็นส่วนของเซลล์ที่ยื่นออกจากนิวรอนมี 2 ลักษณะคือ เดนไดรต์ (Dendrite) และแอคซอน(Axon) หน้าที่การทำงานของเดนไดรต์ เป็นส่วนของนิวรอนที่ยื่นออกไปรอบๆ ทำหน้าที่รับกระแสประสาทเข้าสู่ตัวเซลล์ นิวรอนหนึ่งตัวจะมีเดนไดรต์ได้หลายแขนง และที่ส่วนปลายของเดนไดรต์มีส่วนที่ยื่นออกไปเป็นต่อมเล็กๆเรียกว่าหนาม (Spine) ซึ่งเป็นที่สำหรับเชื่อมต่อกับกิ่งแอกซอนหรือเดนไดรต์ อื่นๆที่เรียกว่าบริเวณซิแนปส์ (Synapse Gap) หรือจุดประสานงานของประสาท สำหรับนิวรอนของมนุษย์มีจำนวนประมาณ 10^{10} ถึง 10^{11} เซลล์ เชื่อมโยงกันทำหน้าที่รับ และส่งสัญญาณระหว่างเซลล์ประสาทรับรู้ภายนอกกับเซลล์ประสาทภายในร่างกายของมนุษย์



ภาพที่ 2-7 โครงสร้างของเซลล์ประสาทในสมองมนุษย์

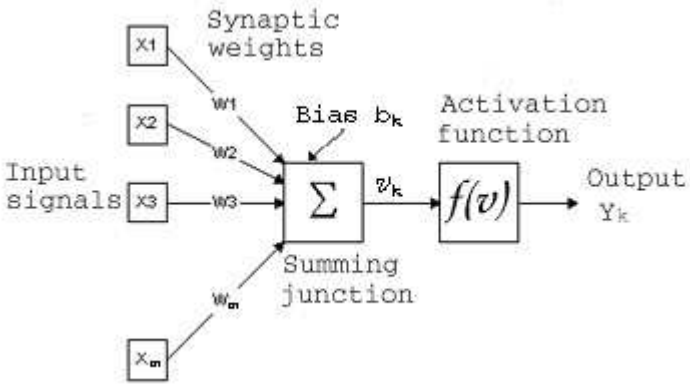
2.3.1 แบบจำลองนิวรอน(Neuron Model)

แนวความคิดการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมแสดงดังแบบจำลองส่วนประกอบของนิวรอนขนาด 1 เซลล์ดังภาพที่ 2-8 ซึ่งมีเดรนไดรท์ทำหน้าที่รับข้อมูลหรือเป็นส่วนอินพุทของนิวรอน และมีแอคซอนทำหน้าที่ส่งข้อมูลการประมวลผลหรือเป็นส่วนเอาท์พุทของนิวรอน



ภาพที่ 2-8 แบบจำลองของนิวรอน

พิจารณาจากแบบจำลองของนิวรอนในภาพที่ 2-8 สามารถเลียนแบบสร้างเป็นโครงสร้างนิวรอนขนาด 1 โนด หรือเรียกว่าเพอร์เซ็บตรอน (Perceptron) ได้ดังภาพที่ 2-9 เมื่ออินพุท X_i เข้ามายังนิวรอน จะมีขั้นตอนวิธีการประมวลผลโดยการหาค่าผลรวมของอินพุท X_i คูณน้ำหนัก w_i ของอินพุท และนำผลที่ได้มาคำนวณกับฟังก์ชันการกระตุ้น(Activation Function) นอกจากนี้ยังมีโนดไบอัส (Bias Node) สำหรับปรับย่านการทำงานของฟังก์ชันกระตุ้น และได้เป็นค่าผลลัพธ์หรือค่าเอาท์พุทของนิวรอน



ภาพที่ 2-9 นิวรอนโมเดล

โครงข่ายประสาทเทียมโดยทั่วไปมีหลักการทำงานพื้นฐานดังนี้

1. การประมวลผลข้อมูลเกิดขึ้นพร้อมกันในหลายๆนิวรอน

2. การส่งผ่านสัญญาณระหว่างนิวรอนกระทำผ่านส่วนการเชื่อมโยง (Connection Link)

3. แต่ละส่วนของการเชื่อมต่อจะมีค่าน้ำหนัก(Weight) ที่สัมพันธ์กัน และแต่ละนิวรอนสามารถส่งข้อมูลไปหานิวรอนอื่นๆได้หลายทาง

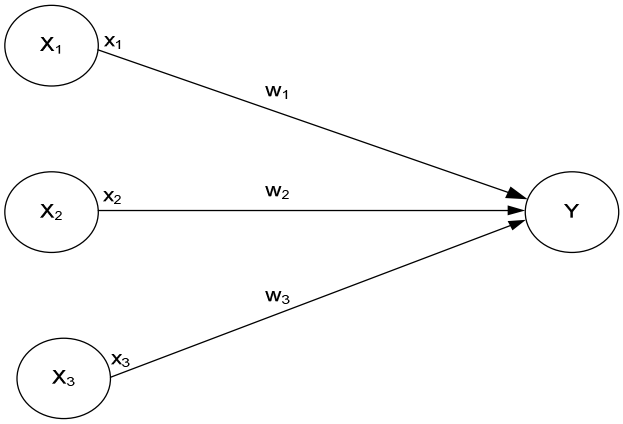
4. แต่ละนิวรอนจะใช้ฟังก์ชัน ที่ป้อนเข้ามาทางอินพุทของโครงข่ายเพื่อตัดสินใจรูปแบบของสัญญาณเอาท์พุท

แต่ละนิวรอนจะมีส่วนประกอบสำคัญสองส่วนคือค่าน้ำหนักการเชื่อมโยง (Connection Weights) เป็นค่าตัวแปรอิสระสำหรับเก็บข้อมูลความรู้ที่ได้จากขั้นตอนการสอนโครงข่ายและฟังก์ชันการกระตุ้น ซึ่งเป็นฟังก์ชันภายในของนิวรอนมีหน้าที่เปลี่ยนระดับจากการกระตุ้นภายในเป็นข้อมูลเอาท์พุทของนิวรอน ฟังก์ชันการกระตุ้นอาจเป็นฟังก์ชันเชิงเส้น ฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นก็ได้ แต่การใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมนิยมใช้ฟังก์ชันการกระตุ้นที่ไม่เป็นเชิงเส้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการเป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์งานหรือแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ แต่ละนิวรอนมีสถานะภายในหรือระดับการกระตุ้น โดยที่เมื่อได้รับข้อมูลอินพุทเข้ามานิวรอนจะส่งสัญญาณกระตุ้นไปยังนิวรอนอื่นตามค่าน้ำหนักการเชื่อมโยงและระดับการกระตุ้นภายในของนิวรอน

เพื่อเป็นการสร้างความเข้าใจการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม พิจารณาจากภาพที่ 2-10 นิวรอน Y ได้รับอินพุทมาจาก X_1, X_2 และ X_3 ซึ่งมีการกระตุ้น หรือสัญญาณเอาท์พุทคือ x_1, x_2 และ x_3 ตามลำดับ และมีการถ่วงน้ำหนักการเชื่อมโยงคือ w_1, w_2 และ w_3 เชื่อมโยงกับข้อมูลอินพุทของโครงข่าย (y_{in}) ไปยังนิวรอน Y ซึ่งก็คือผลรวมของค่าน้ำหนักของสัญญาณจากนิวรอน X_1, X_2 และ X_3 ดังนี้

$$y_{in} = w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 \tag{2-8}$$

$$= \sum wixi \tag{2-9}$$



ภาพที่ 2-10 โครงข่ายประสาทเทียมอย่างง่าย

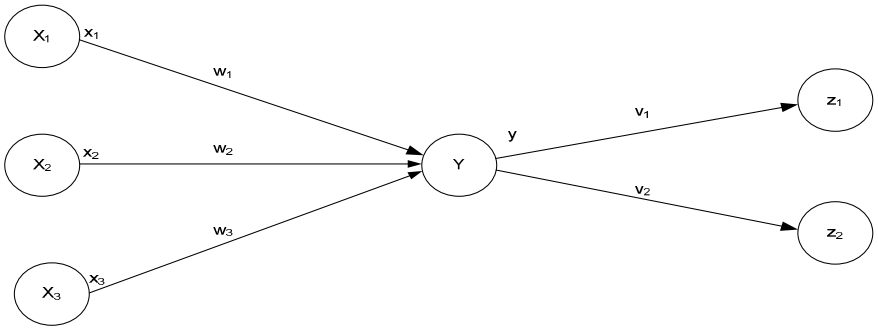
ฟังก์ชันการกระตุ้น y ของนิวรอน Y กำหนดโดยฟังก์ชันอินพุทของโครงข่าย $y = f(y_{in})$ ตัวอย่างเช่นการใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid)[15]

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \tag{2-10}$$

สำหรับฟังก์ชันการกระตุ้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะเป็นฟังก์ชันการกระตุ้นแบบไฮเปอร์บอลิคแทนเจ็นต์ (Hyperbolic Tangent) ดังสมการที่ 2-11 [15] ซึ่งฟังก์ชันการกระตุ้นไฮเปอร์บอลิคแทนเจ็นต์ นี้มีคุณลักษณะเป็นเส้นโค้งคล้ายตัวเอสทำหน้าที่เสมือนฟังก์ชันตรรกวิทยาและมีสัญญาณอินพุทเอาท์พุทอยู่ในบริเวณ -1 ถึง +1 สามารถทำหน้าที่ทางตรรกได้ดีเพราะว่ามีความสมมาตรกัน เหมาะสำหรับการทำงานกับโครงข่ายประสาทเทียมแบบมีชั้นซ่อน

$$f(x) = \frac{e^{n} - e^{-n}}{e^{n} + e^{-n}} \tag{2-11}$$

เมื่อนำเอาท์พุทของนิวรอน Y เชื่อมต่อกับนิวรอน Z_1 และ Z_2 ด้วยค่าน้ำหนัก v_1 และ v_2 ดังภาพที่ 2-11 นิวรอน Y จะส่งสัญญาณ y_i ไปที่แต่ละนิวรอน อย่างไรก็ตามค่าที่ได้รับที่นิวรอน Z_1 และ Z_2 จะแตกต่างกันเพราะว่าแต่ละสัญญาณจะต่างกันที่ค่าน้ำหนัก v_1 และv_2 ในการทำงานของโครงข่ายนั้นสัญญาณกระตุ้น z_1 และ z_2 ของนิวรอน Z_1 และ Z_2 มีการเชื่อมต่ออยู่กับสัญญาณอินพุทที่มาจากนิวรอนอื่นจำนวนมาก



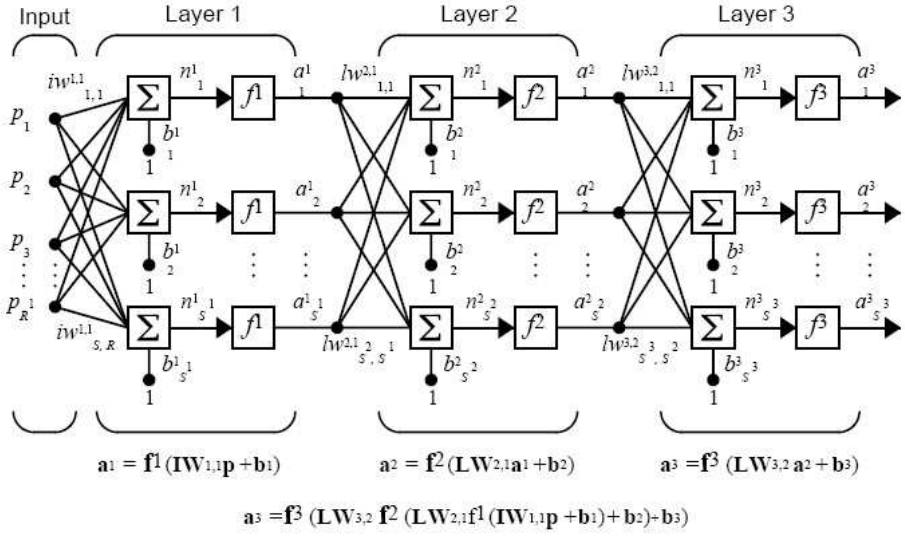
ภาพที่ 2-11 โครงข่ายประสาทเทียมอย่างง่ายแบบหลายชั้น

ตามภาพที่ 2-11 แสดงถึงโครงข่ายประสาทเทียมที่มีชั้นซ่อน (Hidden Layer) โดยมีชั้นอินพุทคือชั้น X ชั้นซ่อนคือชั้น Y และชั้นเอาท์พุทคือชั้น Z ที่ชั้น Y เมื่อใช้ฟังก์ชันการกระตุ้นแบบไม่

เป็นเชิงเส้นตามสมการที่ 2-10 จะมีความสามารถในการแก้ปัญหาได้ดีกว่าโครงข่ายที่มีเพียงชั้นอินพุทและชั้นเอาท์พุทเท่านั้น ทั้งนี้เพราะในโครงข่ายที่มีชั้นซ่อนจะมีความซับซ้อนในการสอนหรือการหาค่าน้ำหนักรวมถึงโครงสร้างสถาปัตยกรรมและวิธีการสอนที่ซับซ้อนมากกว่า จึงสามารถแก้ปัญหาการทำงานที่ซับซ้อนได้มากกว่า ผลลัพธ์ของการแก้ปัญหาที่ต้องการไม่จำเป็นต้องมีเส้นขอบเขตการตัดสินใจแบบเชิงเส้น ความสามารถและประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมจะกำหนดที่การเลือกรูปแบบการเชื่อมต่อของโครงข่ายประสาทเทียมและวิธีการเรียนรู้เพื่อปรับค่าการถ่วงน้ำหนักของการเชื่อมต่อ

2.3.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า (Multilayer Feed-Forward Networks)

รูปแบบสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมได้มีการคิดค้นมากมายหลายรูปแบบด้วยกัน สำหรับงานวิจัยนี้ใช้รูปแบบโครงข่ายแบบมัลติเลเยอร์เพอร์เซ็พตรอน (Multilayer Perceptron Neural Network) โดยการนำเพอร์เซ็บตรอนมาเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายดังภาพที่ 2-12 โดยมีจำนวนชั้นของโครงข่าย คือชั้นอินพุท(Input Layer) ชั้นซ่อน (Hiden Layer) และชั้นเอาท์พุท (Output Layer) จำนวนนิวรอนของแต่ละชั้นไม่จำเป็นต้องเท่ากัน ฟังก์ชันการกระตุ้นของแต่ละชั้นไม่จำเป็นต้องเหมือนกัน โดยจะมีการเชื่อมต่อระหว่างชั้นต่างๆ โนดในชั้นอินพุตจะส่งสัญญาณไปยังทุกๆโนดในชั้นซ่อน และทุกโนดในชั้นซ่อนจะส่งสัญญาณไปยังทุกๆโนดในชั้นเอาต์พุต ตามภาพเป็นแบบป้อนข้อมูลไปข้างหน้า ฟังก์ชันการกระตุ้นของ โครงข่ายแบบสองชั้นที่มีฟังก์ชันการแปลงชั้นแรกเป็นแบบโค้งตัวเอส (Sigmiod) และชั้นที่สองเป็นแบบเชิงเส้น (Linear) สามารถสอนให้เรียนรู้เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาฟังก์ชันส่วนใหญ่ได้



ภาพที่ 2-12 รูปแบบโครงข่ายมัลติเลเยอร์เพอร์เซ็พตรอน

จากภาพที่ 2-12 โครงข่ายประสาทเทียมแต่ละชั้นมีขนาดเมทริกซ์เท่ากับ W มีเวคเตอร์การไบอัสเท่ากับ b และมีเอาท์พุทเป็น a เพื่อแยกน้ำหนักของแต่ละชั้นจะแสดงสมการการคำนวณไว้ที่ข้างล่างของแต่ละขั้นดังภาพจะพบว่าที่ชั้นที่ 1 มีอินพุทขนาด R^1 และมีจำนวนนิวรอนเท่ากับ S^1 และที่ชั้นที่ 2 มีจำนวนนิวรอนเท่ากับ S^2 และไบอัสค่าคงที่ 1 ป้อนเข้าที่ทุกนิวรอน และค่าเอาท์พุทของชั้นข้างหน้าจะถูกป้อนเป็นข้อมูลอินพุทของชั้นถัดไป ดังนั้นเมื่อพิจารณาชั้นที่ 2 ของโครงข่ายจะพบว่ามีขนาด S^1 อินพุท และ S^2 เอาท์พุท และมีขนาดเมทริกซ์ค่าน้ำหนักเป็น W^2 ค่าอินพุทที่ป้อนเข้าที่ชั้นที่ 2 คือ a^1 และค่าเอาท์พุทคือ a^2 และจะพบว่าที่ชั้นที่ 2 เป็นโครงข่ายแบบชั้นเดียว (Single Layer) เช่นเดียวกัน แต่ละชั้นภายในโครงข่ายแบบมัลติเลเยอร์มีบทบาทต่างกัน ชั้นที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลออกนอกโครงข่ายเรียกว่าชั้นเอาท์พุท ส่วนชั้นที่เหลือจะเรียกว่าชั้นซ่อน ดังนั้นจากภาพที่แสดงนั้นจะมี 3 ชั้นคือ 1 เอาท์พุท และ 2 ชั้นซ่อน

2.3.3 ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาแบบแบคพรอพะเกชัน(Back Propagation Algorithm)

ขั้นตอนวิธีแบคพรอพะเคชันเป็นเทคนิคกาการควบคุมการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นสำหรับกระบวนการสอนโครงข่ายประสาทเทียม เป็นขั้นตอนวิธีที่สร้างขึ้นครั้งแรกโดย Paul Werbos ในปี 1974 ได้รับการพัฒนาต่อโดย David E. Rumelhart, Geoffrey E. Hinton และ Ronald J. Williams ในปี 1986 โดยจะใช้ในโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า[15] โดยการส่งข้อมูลของความผิดพลาดแพร่ย้อนกลับจากโนดเอาท์พุทไปที่โนดอินพุทของนิวรอนข้างหน้าผ่านโนดภายใน (Local Node) โดยใช้อัลกอริธึมสต็อคคาติกดีซ็นเด้นซ์แกรเดียน (Stochastic Gradient Descent) เพื่อปรับลดค่าน้ำหนักของความผิดพลาดให้น้อยที่สุด ข้อสำคัญของอัลกอริธึมคือจำเป็นต้องเป็นโครงข่ายแบบป้อนไปข้างหน้าหลายชั้น ตามปกติจะเป็นแบบ 3 ชั้นคือมีชั้นอินพุท ชั้นซ่อน ชั้นเอาท์พุท ส่วนละ 1 ชั้น การทำงานของอัลกอริธึมมีขั้นตอนสำคัญดังนี้

1. นำข้อมูลสำหรับการสอนส่งเข้าโครงข่ายประสาทเทียม

2. เปรียบเทียบผลลัพธ์ค่าเอาท์พุทของโครงข่ายกับค่าตัวอย่างข้อมูลที่ป้อนเข้ามา หลังจากนั้นคำนวณค่าความผิดพลาดของแต่ละนิวรอน

3. ที่แต่ละนิวรอนจะคำนวณหาความผิดพลาดภายใน(Local Error) โดยการคำนวณและหาค่าปัจจัยของน้ำหนักของค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดที่ต้องปรับเปลี่ยนเพื่อจับคู่ผลที่ถูกต้อง

4. ปรับค่าน้ำหนักของแต่ละนิวรอนเป็นค่าต่ำสุดของค่าความผิดพลาดภายใน

5. กำหนดขอบเขตของความรับผิดชอบสำหรับความผิดความผิดภายในไปที่นิวรอนในระดับก่อนหน้า และส่งค่าผลลัพธ์ที่ถูกต้องด้วยค่าน้ำหนักที่ปรับปรุงแล้ว

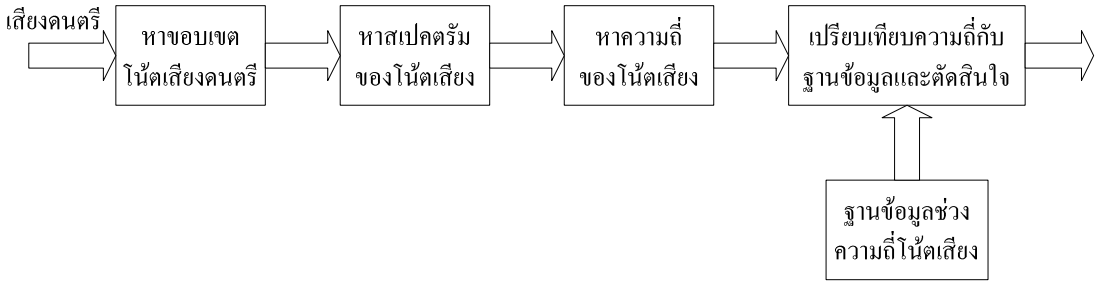
6. ทำซ้ำขั้นตอนทั้งหมดที่นิวรอนในลำดับก่อนหน้าโดยใช้ค่าความผิดพลาดภายในของแต่ละนิวรอนที่เกิดจากค่าความผิดพลาดของนิวรอนนั้นๆ

บทที่ 3
โครงสร้างระบบการรู้จำระดับเสียงและชนิดของเครื่องดนตรีไทย

แนวความคิดการออกแบบระบบการรู้จำเสียงและชนิดของเครื่องดนตรีไทยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ระบบการรู้จำระดับเสียงดนตรีไทย ระบบการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทย รายละเอียดการทำงานของแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ระบบการรู้จำระดับเสียงดนตรีไทย

ระบบรู้จำระดับเสียงดนตรีไทย เป็นระบบที่ออกแบบสำหรับการบอกค่าระดับเสียงของดนตรีไทยโดยใช้ลักษณะเด่นที่มาจากจากค่าความถี่หลักมูลหรือ f_0 ของเสียงดนตรี มีการทำงานของระบบรู้จำดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 ระบบการรู้จำระดับเสียงดนตรีไทย

3.1.1 การหาขอบเขตของสัญญาณเสียง

เนื่องจากข้อมูลไฟล์เสียงดนตรีที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้เป็นไฟล์ที่มีเพียงเสียงดนตรีเพียงหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นขอบเขตของสัญญาณเสียงดนตรีจึงเป็นการหาจุดเริ่มต้นของสัญญาณเสียงโดยตรวจสอบที่ระดับพลังงานของสัญญาณเสียงที่มีค่ามากกว่าค่าพลังงานอ้างอิง และในทำนองเดียวกันจุดสิ้นสุดของสัญญาณเสียงจะตรวจสอบจากจุดที่ระดับพลังงานของสัญญาณเสียงมีค่าต่ำกว่าพลังงานอ้างอิง ซึ่งก็คือจุดอ้างอิง SOW และ EOW ของบนกราฟของสัญญาณเสียง การหาจุดอ้างอิงมีขั้นตอนวิธีดังอัลกอริธึมที่ 3-1

3.1.2 การคำนวณหาสเปคตรัมและความถี่ของเสียงดนตรี

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำเสียงดนตรีที่ผ่านขั้นตอนการสร้างขอบเขตของเสียงมาทำการหาค่าความถี่หลักมูลโดยใช้การวิธีการแปลงฟูริเยร์เต็มหน่วยในช่วงเวลาสั้น กำหนดขนาดวินโดวส์ของข้อมูลสำหรับการคำนวณเท่ากับอัตราการสุ่มตัวอย่างเสียงคือ 44100 จุดเพื่อให้ความละเอียดของการคำนวณหาค่าความถี่มีขนาด 1 เฮิรตซ์ สำหรับค่าความถี่หลักมูลหาได้จากสเปคตรัมของขนาดบนสเปคตรัม ตำแหน่งของความถี่ที่มีขนาดสูงสุดจะเป็นความถี่ของโน้ตเสียง

3.1.3 การสร้างฐานข้อมูลความถี่เสียง

การสร้างฐานข้อมูลความถี่เสียงดนตรีสำหรับงานวิจัยนี้ได้จากผลการวิเคราะห์และรวบรวมความถี่เสียงดนตรีไทยของระนาดทุ้มเหล็กจากหลายๆสำนัก[7, 8, 9] ซึ่งเป็นเครื่องดนตรีของวงปี่พาทย์ โดยรวบรวมข้อมูลความถี่พื้นฐานของระดับเสียงที่ 8 ถึง 14 จากตารางอ้างอิงตามตารางที่ 2-1 โดยการหาค่าเฉลี่ยจากค่าความถี่เสียงในระดับเสียงที่ติดกันและค่าความถี่ที่ใช้ได้ปรับค่าความถี่เพื่อใช้สำหรับสำหรับวงดนตรีเครื่องสายแล้ว สามารถสรุปเป็นช่วงความถี่ของโน้ตเสียงได้ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ตารางฐานข้อมูลความถี่เสียงอ้างอิง

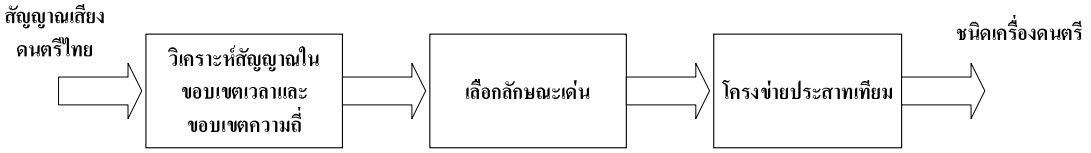
ลำดับที่	โน้ต	ช่วงความถี่รวบรวม	ช่วงความถี่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้
8	ด	220.6-241.5	221.9-243.1
9	ร	244.6-270.8	243.1-270.1
10	ม	269.4-300.3	270.1-297.8
11	ฟ	295.3-331.7	297.8-328.0
12	ซ	324.3-367.9	328.0-364.1
13	ล	360.3-407.8	364.1-402.7
14	ท	397.5-446.2	402.7-443.8

3.1.4 การเปรียบเทียบความถี่กับฐานข้อมูล

การเปรียบเทียบความถี่ของโน้ตเสียงดนตรีไทยที่นำมาเข้าระบบการรู้จำระดับเสียงดนตรี จะใช้ฐานข้อมูลจากการที่ได้รวบรวมได้ในตารางที่ 3-1 จะได้เป็นระดับเสียงออกมา กรณีที่ระดับเสียงที่นำมาเปรียบเทียบอยู่ต่างช่วงคู่แปดกัน จะใช้วิธีลดหรือเพิ่มค่าความถี่ของตารางอ้างอิงให้มากขึ้นหรือลดลงไปในช่วงคู่แปดถัดไปแล้วทำการเปรียบเทียบอีกครั้ง หลังจากนั้นจะนำระดับเสียงไปแปลงเป็นชื่อของโน้ตเสียงดนตรีต่อไป

3.2 ระบบการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทย

ระบบการรู้จำชนิดของเครื่องดนตรีไทยมีความซับซ้อนมากกว่าระบบการรู้จำระดับเสียงดนตรีไทย ทั้งนี้เนื่องจากระบบการรู้จำเครื่องดนตรีไทยจะต้องใช้ลักษณะเด่นจากเสียงดนตรีไทยในจำนวนที่มากกว่า และยังต้องใช้เครือข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการระบุชนิดของเครื่องดนตรีที่นำมาทดสอบ การออกแบบระบบการรู้จำเครื่องดนตรีไทยแสดงดังภาพที่ 3-2

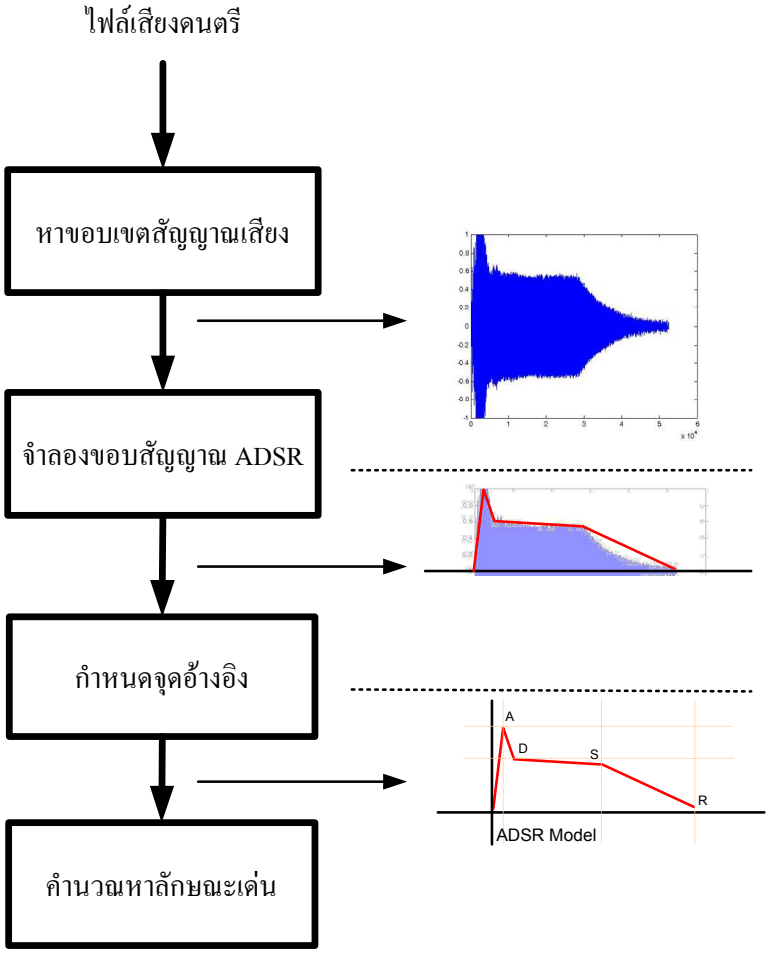


ภาพที่ 3-2 ระบบการรู้จำเครื่องดนตรีไทย

3.2.1 การระบุลักษณะเด่นของเสียงดนตรีในขอบเขตเวลา

ลักษณะเด่นของเสียงดนตรีไทยในขอบเขตแกนเวลา มีขั้นตอนวิธีการทำงานดังภาพที่ 3-3 พิจารณาจากไดอะแกรมพบว่ามีขั้นตอนการทำงานที่สำคัญอยู่ 4 ขั้นตอนด้วยกันคือ

1. การหาขอบเขตของสัญญาณเสียงดนตรี
2. การจำลองขอบ ADSR
3. การกำหนดจุดอ้างอิง
4. การคำนวณหาลักษณะเด่น



ภาพที่ 3-3 ขั้นตอนวิธีการหาลักษณะเด่นของเสียงดนตรีไทยในขอบเขตเวลา

3.2.1.1 การหาขอบเขตเสียงดนตรี เป็นการกำหนดจุดเริ่มต้น (SOW) และจุดสิ้นสุดของสัญญาณเสียงดนตรี (EOW) ไฟล์เสียงดนตรีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับการตัดต่อเสียงดนตรีให้มีเพียงหนึ่งเสียงเป็นที่เรียบร้อยแล้ว แต่ยังคงอาจจะมีสัญญาณรบกวนหรือสัญญาณเสียงอาจจะยังไม่ได้อยู่ที่จุดเริ่มต้นของไฟล์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตัดสัญญาณส่วนเกินที่ไม่ต้องการออกจากชุดข้อมูลออกเสียก่อน วิธีการตัดสัญญาณที่ไม่ต้องการกระทำโดยใช้การเปรียบเทียบจุดที่สัญญาณเสียงดนตรีมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวน หรือจุดที่สัญญาณเสียงมีค่ามากกว่าจุดแบ่งเขตอ้างอิง (Threshold) ขั้นตอนวิธีการหาขอบเขตแสดงดังอัลกอริธึมที่ 3-1

Algorithm 3-1 การหาขอบเขตของสัญญาณเสียงดนตรี

ข้อมูลอินพุท : สัญญาณเสียง (y)\\

ข้อมูลส่งกลับ : สัญญาณเสียง (y) ตั้งแต่จุด SOW ถึงจุด EOW

---

1. หาจุด SOW เริ่มจากจุดเริ่มต้นของสัญญาณเสียง ที่ตำแหน่งค่าพลังงานเสียงมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของช่วงสัญญาณ ดังสมการที่ 3-1

$$SOW = t; |y(t)| > \frac{1}{100} \sum_{t-100}^{t} y(t) \quad (3\text{-}1)$$

2. หาจุด EOW เริ่มจากจุดสุดท้ายของสัญญาณเสียงที่ตำแหน่งค่าพลังงานเสียงมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของช่วงสัญญาณ ดังสมการที่

$$EOW = t; \frac{1}{100} \sum_{t-100}^{t} y(t) < |y(t)| \quad (3\text{-}2)$$

3. Return y(SOW:EOW)

3.2.1.2 การจำลองขอบ ADSR เมื่อพิจารณารูปคลื่นสัญญาณเสียงของดนตรีไทยมีลักษณะสัญญาณเป็นแบบแอมปลิจูดมอดดูเลชัน(Amplitude Modulation) ของความถี่เสียงหลายๆ ความถี่เข้าด้วยกัน แนวคิดการจำลองขอบ ADSR แสดงดังอัลกอริธึมที่ 3-2 ซึ่งเป็นการสร้างขอบพลังงานของสัญญาณเสียง โดยมีหลักการทำงานจะแบ่งเป็นเซ็กเมนต์ของช่วงเสียงซึ่งจากการทดลองใช้ช่วงละ 100 จุด และจะนำค่าแอมปลิจูดสูงสุดของแต่ละเซ็กเมนต์เป็นส่วนที่นำมาใช้เป็นค่าขอบพลังงาน ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองขอบพลังงาน ADSR จะได้รูปขอบสัญญาณของคลื่นเสียงดนตรีไทยสำหรับใช้หาค่าลักษณะเด่นต่อไป

Algorithm 3-2 การจำลองขอบสัญญาณ ADSR

ข้อมูลอินพุท : สัญญาณเสียง (y)

ข้อมูลส่งกลับ : ขอบพลังงานของสัญญาณเสียง (Env)

1. นอร์มอลไลซ์สัญญาณเสียง
2. กำหนดให้ L = ความยาวของสัญญาณเสียงดนตรี
3. กำหนดให้ step = ค่าความกว้างของช่วงเสียง มีค่าเท่ากับ 100
4. กำหนดค่าตัวชี้ index = 1
5. loop :
6. สำเนาค่าสูงสุดของช่วงสัญญาณเสียงตั้งแต่ y[index] ถึง y[index + 100] ไปเก็บที่ Env[index] ถึง Env[index + 100]
7. เพิ่มค่าตัวชี้ index = index+100
8. กลับไปที่ loop จนกว่าค่า index > ค่าความยาวของสัญญาณเสียง(L)
9. Return ค่า Env

3.2.1.3 การกำหนดจุดอ้างอิงเป็นการกำหนดจุดอ้างอิงบนขอบพลังงานของสัญญาณ ADSR ที่จำลองขึ้น โดยจุดอ้างอิงที่กำหนดจะเป็นจุดที่เป็นค่าลักษณะเด่นของเสียงดนตรีไทยตามที่กล่าวถึงในบทที่ 2 จุดอ้างอิงที่สร้างขึ้นมีดังนี้คือ Attack Point, Decay Point และ Sustain Point ขั้นตอนการกำหนดจุดอ้างอิงมีวิธีการกำหนดดังอัลกอริธึมที่ 3-3

Algorithm 3-3 การกำหนดจุดอ้างอิงบนสัญญาณเสียงดนตรี

ข้อมูลอินพุท : สัญญาณเสียง (y) และ สัญญาณขอบพลังงานเสียง

ข้อมูลส่งกลับ : จุดอ้างอิงบนขอบพลังงานเสียง

---

1. กำหนดจุดอ้างอิง Attack Point จุด Attack Point เป็นจุดที่สัญญาณเสียงมีค่าพลังงานสูงสุด

1.1 กำหนดค่า index มีค่าเท่ากับ SOW

1.2 Loop:

1.3 เพิ่มค่าตำแหน่ง index

1.4 กำหนดค่าพลังงานของจุดตรวจสอบ(Test Point Value : V Test)

$$VTest = Env[index] \tag{3-3}$$

1.5 กำหนดค่าอ้างอิงแบบพลวัต(Dynamic Reference Value : V Ref) มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของพลังงานเสียงจากจุด index จนถึงค่า index + 100

$$Vrev = \frac{1}{100} \sum_{index}^{index+100} Env[index] \tag{3-4}$$

1.6 ตรวจสอบค่า $V Test < V Ref$ หรือไม่ ถ้าใช่กลับไปที่ Loop:

1.7 ค่า Attack Point = index

2. กำหนดจุดอ้างอิง Sustain Point การกำหนดจุด Sustain Point เป็นกำหนดจุดจากจุดสุดท้ายของสัญญาณย้อนกลับมาที่จุดเริ่มต้น โดยการพิจารณาหาจุดที่ค่าพลังงานของสัญญาณเสียงเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ค่าพลังงานเสียงไม่เพิ่มขึ้นหรือลดลง

2.1 กำหนดค่า index มีค่าเท่ากับ EOW

2.2 Loop:

2.3 ลดค่าตำแหน่ง index

2.4 กำหนดค่าพลังงานของจุดตรวจสอบ(Test Point Value : V Test)

$$VTest = Env[index] \tag{3-5}$$

2.5 กำหนดค่าอ้างอิงแบบพลวัต(Dynamic Reference Value : V Ref) มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของพลังงานเสียงจากจุด index-100 จนถึงค่า index

---

$$Vrev = \frac{1}{100} \sum_{index-100}^{index} Env[index] \quad (3\text{-}6)$$

2.6 ตรวจสอบค่า $V Test < V Ref$ หรือไม่ ถ้าใช่กลับไปที่ Loop:

2.7 ค่า Sustain Point = index

3. กำหนดจุดอ้างอิง Decay Point จุด Decay Point เป็นจุดอ้างอิงที่อยู่ระหว่างจุด Attack Point และจุด Sustain Point สามารถกำหนดต่อจากจุด Attack Point หรือพิจารณาย้อนกลับจากจุด Sustain Point ก็ได้ สำหรับงานวิจัยนี้จะพิจารณาต่อจากจุด Attack Point

3.1 กำหนดค่า index = Attack Point

3.2 ตรวจสอบค่า index มีค่า ≤ Sustain หรือไม่ ถ้าไม่ใช่แสดงว่าไม่มีค่า Decay Time และ Sustain Time ไม่ต้องทำการกำหนดจุด Decay Point

3.3 Loop:

3.4 เพิ่มค่า index

3.4 กำหนดค่าพลังงานของจุดตรวจสอบ(Test Point Value : V Test)

$$VTest = Env[index] \quad (3\text{-}7)$$

3.5 กำหนดค่าอ้างอิงแบบพลวัต(Dynamic Reference Value:V Ref) มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของพลังงานเสียงจากจุด index จนถึงค่า index + 100

$$Vrev = \frac{1}{100} \sum_{index}^{index+100} Env[index] \quad (3\text{-}8)$$

3.6 ตรวจสอบค่า $V Test > V Ref$ หรือไม่ ถ้าใช่กลับไปที่ Loop:

3.7 ค่า Decay = index

การกำหนดจุดอ้างอิงตามอัลกอริธึม 3-1 ผลการเปรียบเทียบค่าของจุดทดสอบกับจุดอ้างอิงมีการปรับค่าออฟเซ็ต (Offset) เนื่องจากในบางครั้งค่าผลลัพธ์อาจจะไม่ลงตัว ซึ่งในงานวิจัยใช้ค่าในช่วงประมาณ 10 %

3.2.1.4 การคำนวณค่าลักษณะเด่นบนจุดอ้างอิงหลังจากการกำหนดจุดอ้างอิงบนขอบสัญญาณ ADSR ที่สร้างขึ้นสามารถคำนวณหาลักษณะเด่นของสัญญาณเสียงดนตรีไทยในขอบเขตแกนเวลาดังนี้

Duration time = *(EOW-SOW) / Sampling Rate*

Attack Time = *(Attack Point - SOW) / Sampling Rate*

Decay Time = *(Decay Point - Attack Point) / Sampling Rate*

Sustain Time = *(Sustain Point - Decay Point) / Sampling Rate*

Release Time = *(EOW - Sustain Point) / Sampling Rate*

V attack = *y[Attack Point]*

Vsteady State = *y[Sustain Point]*

ในทางปฏิบัติ ค่าของ Steady State จะใช้ค่าเฉลี่ยของพลังงานตั้งแต่จุด Attack Point จนถึงจุด Sustain Point ดังนั้นจึงปรับปรุงการหาค่า Steady State ดังนี้

$$VsteadyState = \frac{1}{\text{SustainPoint} - \text{AttackPoint}} \sum_{index=\text{AttackPoint}}^{\text{SustainPoint}} y[index] \qquad (3\text{-}9)$$

สำหรับลักษณะเด่น rms คำนวณได้จากสัญญาณคลื่นเสียงโดยตรง ดังนั้นจากสมการที่ 2-6 จะได้

$$rms = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{SOW}^{EOW} x[k]^2} \qquad (3\text{-}10)$$

เมื่อ x[k] เป็นสัญญาณเสียงดนตรีไทยที่นำมาทดสอบ

3.2.2 การระบุลักษณะเด่นของเสียงดนตรีในขอบเขตความถี่

การหาลักษณะเด่นในขอบเขตแกนความถี่ เป็นการหาค่าความถี่หลักมูลและค่าลำดับความถี่ฮาร์มอนิกบนกราฟสเปคตรัมความถี่ที่ได้จากการคำนวณการแปลงฟูริเยร์เต็มหน่วยในช่วงเวลาสั้น หลังจากนั้นจะทำการจัดลำดับค่าความถี่ฮาร์มอนิก ในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าความถี่หลักมูลและค่าความถี่ฮาร์มอร์นิกที่ 1 ถึง 4 ไปใช้เป็นค่าลักษณะเด่น สำหรับค่าลักษณะเด่น Subband Energy นั้นได้จากการหาค่าผลรวมของค่าพลังงานของความถี่ทั้งหมดที่มีค่าต่ำกว่าค่าความถี่หลักมูล

3.2.3 การเลือกใช้ลักษณะเด่นสำหรับงานวิจัย เมื่อผ่านขั้นตอนการกำหนดจุดอ้างอิงและคำนวณหาค่าลักษณะเด่นที่ทั้งหมดแล้ว จะได้ค่าลักษณะเด่นดังนี้

ลักษณะเด่นในขอบเขตแกนเวลามีดังนี้ Attack Point, Decay Point, Sustain Point, Release Point(EOW), Duration Time, Attack Time, Decay Time, Sustain Time, Release Time, V Attack, V Steady State และ rms

ลักษณะเด่นในขอบเขตความถี่มีดังนี้ Fundamental (f_0), 1st Harmonic (f_1), 2nd Harmonic (f_2), 3rd Harmonic (f_3), 4th Harmonic (f_4), Subband Energy

งานวิจัยนี้ออกแบบการทำงานของระบบโดยเลือกการสอนและทดสอบระบบรู้จำโดยใช้ลักษณะเด่นจำนวน 12, 15 และ 17 ลักษณะเด่น โดยมีรายละเอียดและการเลือกใช้ลักษณะเด่นแต่ละชุด ดังตารางที่ 3-2 มีข้อสังเกตในการสร้างลักษณะเด่นใน Decay time และ Sustain Time เนื่องจากในบางเครื่องดนตรีจะมีไม่ครบทุกช่วงเวลาเช่นมีเฉพาะช่วงเวลา Attack Time และช่วงเวลา Release

Time เท่านั้น ดังนั้นในการทดลองจะรวมลักษณะเด่นนี้เข้าด้วยกันรวมเป็น Steady State Time วิธีการเลือกลักษณะเด่นสำหรับการทดลองมีดังนี้

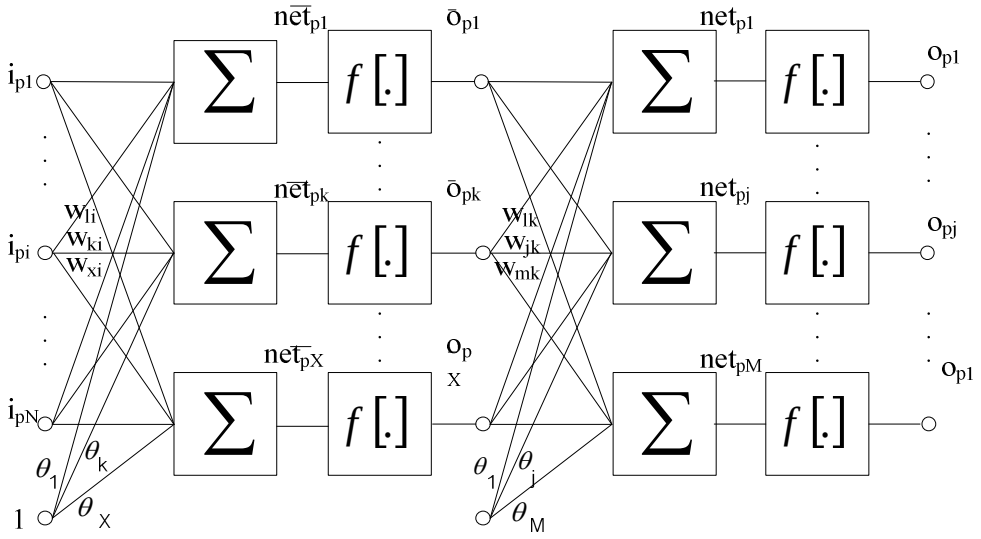
ตารางที่ 3-2 ลักษณะเด่นของเสียงดนตรีและการเลือกใช้

Item	Feature	12 Feature	15 Feature	17 Feature
1	Duration Time	/	/	/
2	Attack Point	/	/	/
3	Attack Time	-	/	/
4	V Attack	-	-	/
5	Decay Point	/	/	/
6	Sustain Point	/	/	/
7	V Steady State	-	-	/
8	Steady State Time	-	/	/
9	Release Point	/	/	/
10	Release Time	-	/	/
11	rms	/	/	/
12	Fundamental Frequency	/	/	/
13	1 Harmonics	/	/	/
14	2 Harmonics	/	/	/
15	3 Harmonics	/	/	/
16	4 Harmonic	/	/	/
17	Sub Band Ratio	/	/	/

การเลือกลักษณะเด่นจะแบ่งลักษณะเด่นออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกเป็นลักษณะเด่นที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการทดลองทุกครั้งได้แก่ Duration Time, rms, Fundamental Frequency(f_0), 1st Harmonic (f_1), 2nd Harmonic (f_2),3rd Harmonic (f_3), 4th Harmonic (f_4), Subband Energy และกลุ่มที่สองเป็นลักษณะเด่นที่เลือกใช้สำหรับการทดลองซึ่งได้แก่กลุ่มลักษณะเด่นที่เกิดจากจุดอ้างอิงบนขอบสัญญาณ ADSR ได้แก่ Attack Point, Decay Point, Sustain Point, Release Point(EOW), Attack Time, Steady State Time, Release Time, V Attack, V Steady State ข้อพิจารณาการเลือกลักษณะเด่นสำหรับการทดลองที่ 12 ลักษณะเด่นจะใช้ลักษณะเด่นในกลุ่มแรกคือลักษณะเด่นที่ต้องใช้ทุกครั้งจำนวน 8 จุด และเลือกใช้ลักษณะเด่นในกลุ่มที่สองอีก 4 จุดคือ Attack Point, Decay Point, Sustain Point, Release Point กล่าวคือใช้เฉพาะจุดอ้างอิงบนขอบสัญญาณ ADSR สำหรับการทดลองที่ใช้ 15 ลักษณะเด่นจะเพิ่ม ข้อมูลที่เป็นเวลาอ้างอิงเข้ามาอีก 3 ลักษณะเด่นคือ Attack Time, Steady State Time และ Release Time ส่วนการทดลองสำหรับ 17 ลักษณะเด่นจะเพิ่มคือ V Attack และ V Steady State

3.2.4 โครงข่ายประสาทเทียม

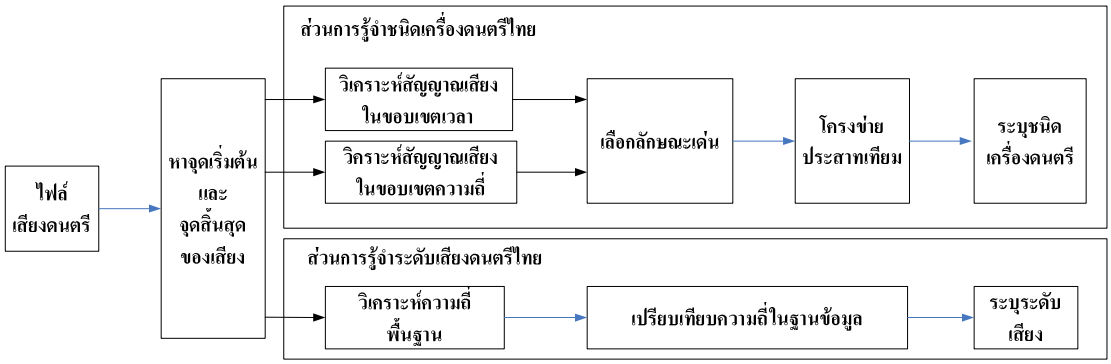
งานวิจัยนี้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบมัลติเลเยอร์เพอร์เซ็บตรอน ใช้ฟังก์ชันการกระตุ้นแบบไฮเปอร์บอลิคแทนเจ้นท์ โครงสร้างของโครงข่ายมีจำนวน 3 ชั้นคือ ชั้นอินพุท ชั้นซ่อน และชั้นเอาท์พุท กำหนดให้ชั้นอินพุทใช้จำนวนโนด 12 ถึง 17 โนด ชั้นซ่อนมีจำนวนโนด 29 โนด และชั้นเอาท์พุทมีจำนวนโนด 7 โนด ระบบการรู้จำจะใช้มัลติเลเยอร์นิวรอลแมปปิ้ง (Mapping) เชื่อมความ สัมพันธ์ระหว่างเซ็ตของรูปแบบ (Pattern) อินพุท i_{pi} และรูปแบบเอาท์พุท t_{pj} โดยใช้คุณสมบัติการเรียนรู้ของสมองเทียมที่ได้จากการสอนจาก กลุ่มตัวอย่างอินพุทและรูปแบบเอาท์พุทที่ต้องการ อัลกอริธึมสำหรับการสอนโครงข่ายใช้แบบแบคพรอพะเคชันเพื่อลดค่าผิดพลาดของระบบให้น้อยที่สุด ข้อมูลชั้นอินพุทจะเป็นข้อมูลลักษณะเด่นของเสียงดนตรีจำนวน 12 ถึง 17 ลักษณะเด่น และข้อมูลเอาท์พุทจะได้เป็นชนิดของเครื่องดนตรีไทยจำนวน 7 โนด ในการสอนโครงข่ายเลือกสอนโครงข่ายจำนวน 1000 ถึง 6000 รอบ ภาพที่ 3-4 แสดงถึงโครงข่ายที่ใช้ในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 3-4 รูปแบบโครงข่ายที่ใช้ในงานวิจัย

3.3 ระบบรู้จำระดับเสียงและชนิดเครื่องดนตรีไทย

ระบบการรู้จำระดับเสียงและชนิดเครื่องดนตรีไทยเป็นการทำงานร่วมกันของระบบรู้จำระดับเสียงดนตรีไทยและระบบรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทย แสดงโครงสร้างการทำงานของระบบแสดงดังบล็อกไดอะแกรมในภาพที่ 3-5



ภาพที่ 3-5 ระบบรู้จำระดับเสียงและชนิดดนตรีไทย

บทที่ 4
ขั้นตอนและผลการวิจัย

4.1 การเตรียมไฟล์ข้อมูลกลุ่มตัวอย่างเสียงดนตรี

การเตรียมไฟล์ข้อมูลของเสียงดนตรีไทยเริ่มต้นด้วยขั้นตอนการบันทึกเสียงดนตรีไทยจากวงดนตรีไทยจำนวน 3 แห่งด้วยกันคือ เครื่องดนตรีของคุณสิทธิพงษ์ เพ็งพาณิช, วงดนตรีสิทธิ์สมนาค และวงดนตรีคณะสำเนียงไพเราะ การบันทึกเสียงกระทำในสภาพแวดล้อมที่เงียบ การรับสัญญาณเสียงผ่านไมโครโฟนของเครื่องบันทึกยี่ห้อ JVC Everio G-series ข้อมูลที่บันทึกจัดเก็บเป็นไฟล์ในรูปแบบของดิจิตอลวิดีโอ (DVD) ลักษณะการบรรเลงเครื่องดนตรีแบบไม่ต่อเนื่องกันครั้งละหนึ่งเสียงดนตรี เมื่อเสียงดนตรีที่บรรเลงหยุดแล้วจึงการบรรเลงเสียงถัดไป การบรรเลงทำระดับเสียงละ 20 ครั้ง เมื่อเสร็จแล้วจึงบรรเลงเสียงในระดับเสียงถัดไป จนกระทั่งครบทุกระดับเสียงแล้วจึงบรรเลงเครื่องดนตรีไทยชนิดถัดไปจนครบเครื่องดนตรีทั้งเจ็ดชนิด ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำไฟล์เสียงดนตรีไทยที่บันทึกไว้มาทำการตัดต่อเสียงแต่ละโน้ตเสียง ข้อดีจากเครื่องบันทึกวิดีโอที่ใช้จะมีระบบการบันทึกเป็นไฟล์คอมพิวเตอร์ภายในเครื่องเรียบร้อยแล้ว จึงสามารถแยกระบบเสียงที่บันทึกไว้มาตัดต่อได้ทันที ในการเก็บตัวอย่างเสียงใช้ซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์สำหรับตัดต่อเสียง Audition2000 จากบริษัท Adobe ซึ่งมีความสามารถสูงสำหรับการตัดต่อเสียง การตัดต่อเสียงจะตัดต่อไฟล์ละ 1 เสียงและการบันทึกเป็นไฟล์เสียงในรูปแบบ .wav โดยมีความละเอียดการบันทึกข้อมูลขนาด 16 บิต อัตราการสุ่มตัวอย่าง 44100 เฮิรตซ์ บันทึกเสียงในระบบเสียงทิศทางเดียว (Monophonic) จำนวนไฟล์ตัวอย่างเสียงดนตรีของเครื่องดนตรีไทยแต่ละชนิดมีดังนี้

ฆ้องวงใหญ่จำนวน 16 ระดับเสียงมีจำนวนไฟล์เสียงเท่ากับ 320 ไฟล์
ฆ้องวงเล็กจำนวน 16 ระดับเสียง มีจำนวนไฟล์เสียงเท่ากับ 320 ไฟล์
ขลุ่ยเพียงออจำนวน 12 ระดับเสียง มีจำนวนไฟล์เสียงเท่ากับ 240 ไฟล์
ระนาดเอกจำนวน 21 ระดับเสียง มีจำนวนไฟล์เสียงเท่ากับ 420 ไฟล์
ระนาดทุ้มจำนวน 17 ระดับเสียง มีจำนวนไฟล์เสียงเท่ากับ 340 ไฟล์
ซอด้วงจำนวน 8 ระดับเสียง มีจำนวนไฟล์เสียงเท่ากับ 160 ไฟล์
ซออู้จำนวน 8 ระดับเสียง มีจำนวนไฟล์เสียงเท่ากับ 160 ไฟล์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกและตัดต่อเสียงดนตรีไทย

1. กล้องถ่ายวิดีโอ JVC EverioG-20 สำหรับใช้บันทึกเสียงดนตรีไทย

2. โปรแกรมตัดต่อเสียงดนตรี ใช้สำหรับตัดเสียงดนตรีแต่ละระดับเสียงของแต่ละเครื่องดนตรี และบันทึกเป็นไฟล์คอมพิวเตอร์ในรูปแบบ .wav

4.2 การทดสอบการรู้จำระดับเสียงดนตรีไทย

การทดสอบระบบรู้จำระดับเสียงดนตรีไทย เป็นการทดลองโดยการหาค่าระดับเสียงของดนตรีไทยจากค่าความถี่หลักมูลเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่ได้รวบรวมไว้ตามตารางที่ 2-1 ในการทดลองใช้เครื่องดนตรีไทยประเภทบรรเลงทำนอง 7 ชนิดคือ ระนาดเอกจำนวน 4 ราง ระนาดทุ้มจำนวน 2 ราง ฆ้องวงใหญ่จำนวน 2 วง ฆ้องวงเล็กจำนวน 2 วง ซออู้จำนวน 2 คัน ซอด้วงจำนวน 2 คัน และขลุ่ยเพียงออจำนวน 2 เลา ผลการวัดค่าความถี่ของเครื่องดนตรีไทยทั้ง 7 ชนิดแสดงดังตารางที่ 4-1 ถึงตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-1 ผลการรู้จำระดับเสียงฆ้องวงใหญ่

ลำดับโน้ต	เสียงโน้ต	ความถี่หลักมูล			ค่าความถี่ฐานข้อมูล	ความถูกต้อง (%)
		Min	Max	Average		
1	มี	277	285	280	270.1-297.8	80.00
2	ฟา	303	313	308	297.8-328.0	90.00
3	ซอล	338	342	340	328.0-364.1	90.00
4	ลา	371	374	372	364.1-402.7	100.00
5	ที	410	415	412	402.7.443.8	100.00
6	โด	456	460	458	443.8-486.2	100.00
7	เร	501	509	505	486.2-540.2	100.00
8	มี	558	561	559	540.2-595.6	100.00
9	ฟา	615	628	620	595.6-656.0	80.00
10	ซอล	682	686	684	656.0-728.2	100.00
11	ลา	754	757	755	728.2-805.4	100.00
12	ที	833	840	836	805.4-887.6	100.00
13	โด	930	937	933	887.6-972.4	100.00
14	เร	1010	1029	1019	972.4-1080.4	100.00
15	มี	1129	1140	1134	1080.4-1191.2	100.00
16	ฟา	1252	1268	1262	1191.2-1312	100.00
					ความถูกต้องเฉลี่ย	96.25

ตารางที่ 4-2 ผลการรู้จำระดับเสียงฆ้องวงเล็ก

ลำดับโน้ต	เสียงโน้ต	ความถี่หลักมูล			ค่าความถี่ฐานข้อมูล	ความถูกต้อง (%)
		Min	Max	Average		
1	โด	450	455	452	443.8-486.2	100.00
2	เร	500	507	502	486.2-540.2	100.00
3	มี	543	565	550	540.2-595.6	100.00
4	ฟา	610	614	611	595.6-656.0	100.00
5	ซอล	676	692	680	656.0-728.2	100.00
6	ลา	744	773	755	728.2-805.4	100.00
7	ที	829	847	840	805.4-887.6	100.00
8	โด	920	932	925	887.6-972.4	100.00
9	เร	1014	1029	1020	972.4-1080.4	100.00
10	มี	1110	1139	1120	1080.4-1191.2	100.00
11	ฟา	1228	1230	1229	1191.2-1312	100.00
12	ซอล	1340	1382	1355	1312.0-1456.4	100.00
13	ลา	1527	1543	1530	1456.4-1610.8	100.00
14	ที	1675	1680	1679	1610.8-1775.2	100.00
15	โด	1840	1867	1851	1775.2-1944.8	100.00
16	เร	2070	2094	2080	1944.8-2160.8	100.00
17	มี	2295	2305	2301	2160.8-2382.4	100.00
18	ฟา	2518	2571	2542	2382.4-2624.0	100.00
					ความถูกต้องเฉลี่ย	100.00

ตารางที่ 4-3 ผลการรู้จำระดับเสียงขลุ่ยเพียงออ

ลำดับโน้ต	เสียงโน้ต	ความถี่หลักมูล			ค่าความถี่ฐานข้อมูล	ความถูกต้อง (%)
		Min	Max	Average		
1	โด	460	476	466	443.8-486.2	100.00
2	เร	509	536	518	486.2-540.2	90.00
3	มี	564	587	575	540.2-595.6	90.00
4	ฟา	619	648	640	595.6-656.0	100.00
5	ซอล	680	699	687	656.0-728.2	100.00
6	ลา	743	762	755	728.2-805.4	100.00
7	ที	822	840	830	805.4-887.6	100.00
8	โด	920	938	930	887.6-972.4	100.00
					ความถูกต้องเฉลี่ย	97.50

ตารางที่ 4-4 ผลการรู้จำระดับเสียงระนาดเอก

ลำดับโน้ต	เสียงโน้ต	ความถี่หลักมูล			ค่าความถี่ฐานข้อมูล	ความถูกต้อง (%)
		Min	Max	Average		
1	ซอล	170	174	172	164.0-182.0	85.00
2	ลา	185	188	186	182.0-201.3	85.00
3	ที	200	210	209	201.3-221.9	85.00
4	โด	228	231	229	221.9-243.1	95.00
5	เร	253	256	254	243.1-270.1	100.00
6	มี	277	280	278	270.1-297.8	100.00
7	ฟา	305	307	306	297.8-328.0	90.00
8	ซอล	343	345	343	328.0-364.1	100.00
9	ลา	375	377	376	364.1-402.7	100.00
10	ที	411	413	412	402.7.443.8	100.00
11	โด	457	459	458	443.8-486.2	100.00
12	เร	505	508	506	486.2-540.2	100.00
13	มี	561	563	562	540.2-595.6	100.00
14	ฟา	610	613	611	595.6-656.0	100.00
15	ซอล	683	685	683	656.0-728.2	100.00
16	ลา	758	761	760	728.2-805.4	100.00
17	ที	841	844	843	805.4-887.6	100.00
18	โด	927	929	928	887.6-972.4	100.00
19	เร	1026	1030	1029	972.4-1080.4	100.00
20	มี	1138	1143	1141	1080.4-1191.2	100.00
21	ฟา	1245	1248	1246	1191.2-1312	100.00
22	ซอล	1375	1381	1380	1312.0-1456.4	100.00
					ความถูกต้องเฉลี่ย	97.27

ตารางที่ 4-5 ผลการรู้จำระดับเสียงระนาดทุ้ม

ลำดับโน้ต	เสียงโน้ต	ความถี่หลักมูล			ค่าความถี่ฐานข้อมูล	ความถูกต้อง (%)
		Min	Max	Average		
1	มี	136	139	137	135.0-148.9	60.00
2	ฟา	150	158	154	148.9-164.0	70.00
3	ซอล	164	180	168	164.0-182.0	60.00
4	ลา	185	188	186	182.0-201.3	100.00
5	ที	206	208	207	201.3-221.9	100.00
6	โด	229	234	231	221.9-243.1	100.00
7	เร	252	256	253	243.1-270.1	100.00
8	มี	279	282	280	270.1-297.8	100.00
9	ฟา	309	312	311	297.8-328.0	100.00
10	ซอล	340	344	342	328.0-364.1	100.00
11	ลา	374	378	376	364.1-402.7	100.00
12	ที	412	416	414	402.7.443.8	100.00
13	โด	453	459	455	443.8-486.2	100.00
14	เร	509	512	510	486.2-540.2	100.00
15	มี	565	574	567	540.2-595.6	100.00
16	ฟา	626	630	627	595.6-656.0	100.00
17	ซอล	686	690	688	656.0-728.2	100.00
					ความถูกต้องเฉลี่ย	93.53

ตารางที่ 4-6 ผลการรู้จำระดับเสียงซอด้วง

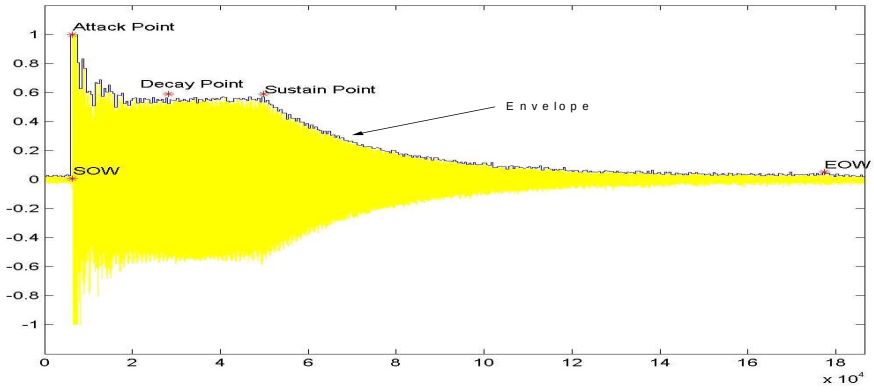
ลำดับโน้ต	เสียงโน้ต	ความถี่หลักมูล			ค่าความถี่ฐานข้อมูล	ความถูกต้อง (%)
		Min	Max	Average		
1	ซอล	1359	1380	1368	1312.0-1456.4	90.00
2	ลา	1507	1533	1525	1456.4-1610.8	80.00
3	ที	1633	1680	1655	1610.8-1775.2	70.00
4	โด	1780	1790	1785	1775.2-1944.8	70.00
5	เร	2093	2109	2102	1944.8-2160.8	100.00
6	มี	2307	2356	2330	2160.8-2382.4	80.00
7	ฟา	2513	2555	2535	2382.4-2624.0	80.00
8	ซอล	2740	2780	2762	2624.0-2912.8	80.00
9	ลา	2975	3050	3015	2912.8-3221.6	70.00
					ความถูกต้องเฉลี่ย	80.00

ตารางที่ 4-7 ผลการรู้จำระดับเสียงซออู้

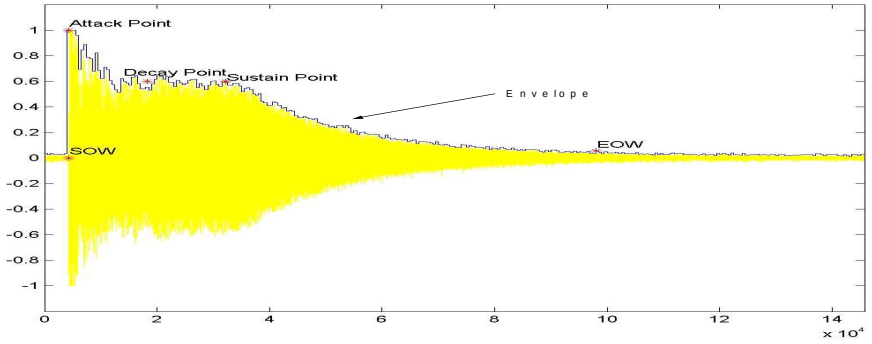
ลำดับโน้ต	เสียงโน้ต	ความถี่หลักมูล			ค่าความถี่ฐานข้อมูล	ความถูกต้อง (%)
		Min	Max	Average		
1	โด	225	236	233	221.9-243.1	80.00
2	เร	250	262	258	243.1-270.1	90.00
3	มี	275	288	285	270.1-297.8	80.00
4	ฟา	301	320	346	297.8-328.0	100.00
5	ซอล	338	349	254	328.0-364.1	100.00
6	ลา	384	388	385	364.1-402.7	100.00
7	ที	415	419	416	402.7.443.8	100.00
8	โด	460	478	474	443.8-486.2	100.00
9	เร	501	515	508	486.2-540.2	90.00
					ความถูกต้องเฉลี่ย	93.33

4.3 การเตรียมข้อมูลกลุ่มตัวอย่างการสอนและกลุ่มทดสอบระบบรู้จำเสียงดนตรี

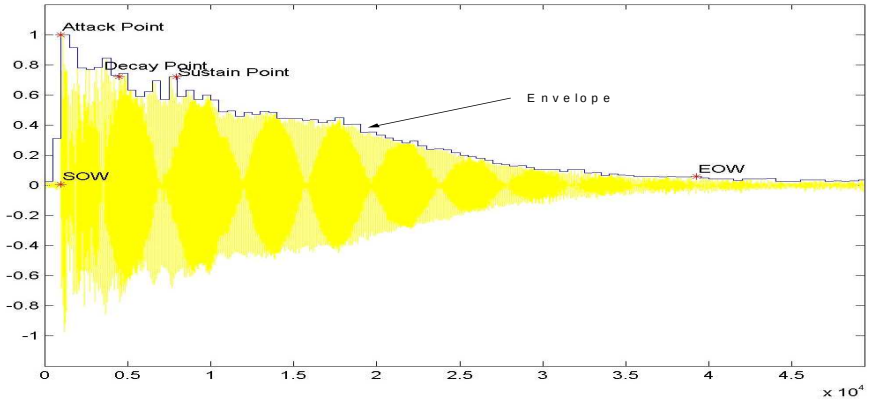
การสร้างข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มทดสอบเป็นการนำไฟล์ข้อมูลของเสียงดนตรีไทยที่บันทึกและผ่านขั้นตอนการเตรียมไฟล์ข้อมูลตามที่กล่าวมาข้างต้น มาดำเนินการหาลักษณะเด่นของสัญญาณเสียง โดยการนำไฟล์เสียงดนตรีที่เตรียมไว้ทั้ง 1960 ไฟล์มาผ่านขั้นตอนการหาลักษณะเด่นเสียงดนตรีตามขั้นตอนวิธีการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทยที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ซึ่งมีขั้นตอนที่สำคัญอยู่ 4 ขั้นตอนคือ การหาขอบเขตของสัญญาณเสียงดนตรี การจำลองขอบ ADSR การกำหนดจุดอ้างอิง และ การคำนวณหาลักษณะเด่น ในภาพที่ 4.1 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของขั้นตอนการหาขอบเขตของสัญญาณเสียงดนตรี การจำลองขอบ ADSR และการกำหนดจุดอ้างอิง โดยแสดงรูปคลื่นของสัญญาณเสียง รูปขอบสัญญาณ ADSR และจุดอ้างอิง Attack Point, Decay Point, Sustain Point และ EOW โดยการนำไฟล์เสียงดนตรีที่แสดงในภาพที่ 2-3 มาใช้สำหรับทดสอบขั้นตอนวิธีการหาลักษณะเด่น



รูปคลื่นเสียงฆ้องวงใหญ่

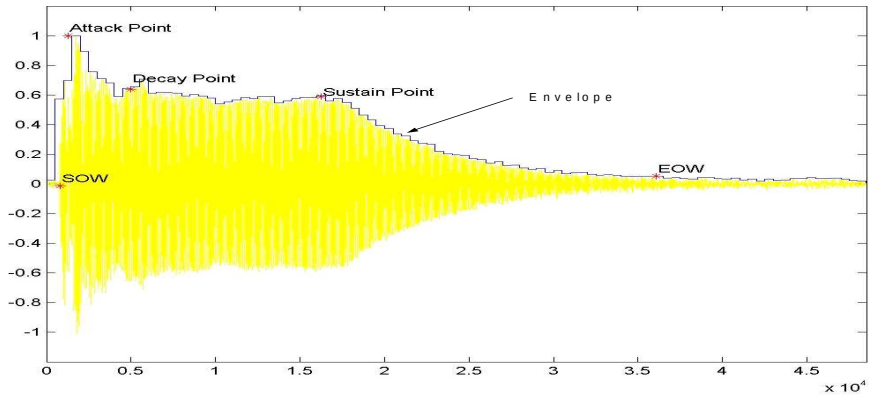


รูปคลื่นเสียงฆ้องวงเล็ก

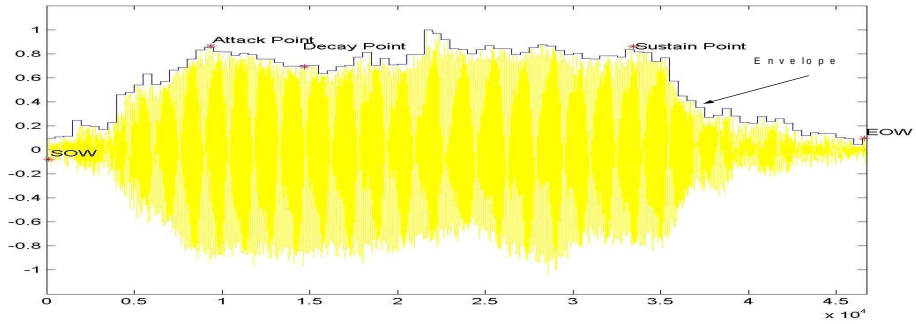


รูปคลื่นเสียงระนาดเอก

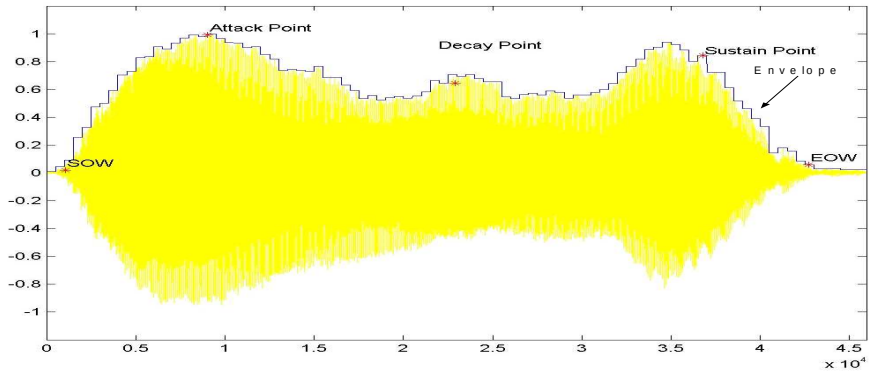
ภาพที่ 4-1 ตัวอย่างการหาลักษณะเด่นบนขอบสัญญาณ ADSR



รูปคลื่นระนาดทุ้ม

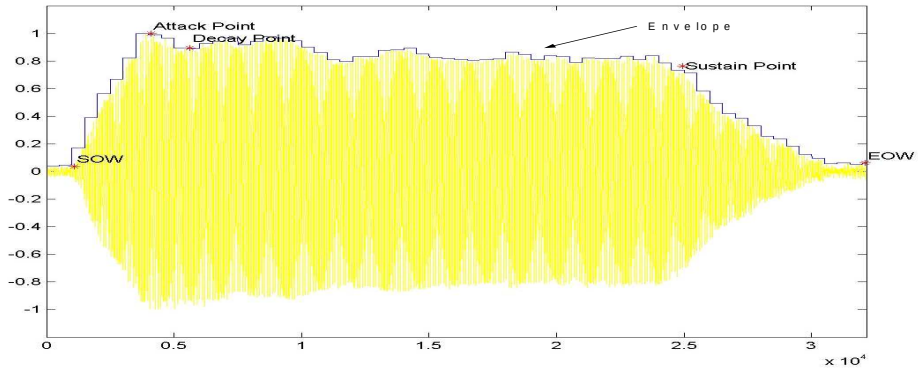


รูปคลื่นขลุ่ยเพียงออ



รูปคลื่นเสียงซอด้วง

ภาพที่ 4-1 (ต่อ)



รูปคลื่นเสียงซออู้

ภาพที่ 4-1 ต่อ

ในขั้นตอนการเตรียมข้อมูลมีการแบ่งไฟล์ข้อมูลของเสียงดนตรีแต่ละชนิดออกเป็น 2 กลุ่ม เพื่อใช้สำหรับเป็นข้อมูลสำหรับการสอนระบบและเป็นข้อมูลสำหรับการทดสอบระบบ เมื่อแบ่งไฟล์ข้อมูลเรียบร้อยแล้วจะได้ไฟล์ข้อมูลสำหรับการสอนระบบจำนวน 980 ไฟล์ และไฟล์ข้อมูลสำหรับการทดสอบระบบจำนวน 980 ไฟล์ หลังจากนั้นจะนำข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมาหาลักษณะเด่นตามอัลกอริธึมที่กล่าวมาในบทที่ 3 ซึ่งจะได้ข้อมูลสำหรับลักษณะเด่นสำหรับสร้างข้อมูลกลุ่มตัวอย่างดังตารางที่ 4-8 และข้อมูลกลุ่มทดสอบแสดงดังตารางที่ 4-9 โดยข้อมูลที่แสดงในตารางเป็นข้อมูลจากการบรรเลงเสียงดนตรีที่เป็นเสียงในลำดับที่ 1 ของแต่ละเครื่องดนตรี

ตารางที่ 4-8 ตัวอย่างข้อมูลสำหรับการสอนระบบรู้จำของเครื่องดนตรีทั้งเจ็ดชนิด

Feature	ฆ้องวงใหญ่	ฆ้องวงเล็ก	ขลุ่ยเพียงออ	ระนาดเอก	ระนาดทุ้ม	ซอด้วง	ซออู้
Duration Time	1.38	1.96	1.00	0.95	0.52	0.57	0.75
rms	0.24	0.33	0.70	0.21	0.36	0.60	0.74
Attack Point	1001	1	8001	501	501	6001	5501
Attack Time	0.02	0.00	0.18	0.01	0.01	0.14	0.12
V Attack	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
V Steady State	0.53	0.60	0.88	0.49	0.58	0.84	0.99
Decay Point	5462	11095	16242	2299	2740	12300	15496
Steady State Time	0.20	0.50	0.37	0.08	0.10	0.29	0.45
Sustain Point	9922	22189	24482	4096	4979	18599	25490
Release Point	60922	86489	43982	41796	22979	24999	33290
Release Time	1.16	1.46	0.44	0.85	0.41	0.15	0.18
Fundamental Frequency	515.68	569.49	427.84	158.43	382.56	1530.00	204.63
1 Harmonics	0.00	956.49	1278.30	0.00	1128.15	2753.30	408.04
2 Harmonics	0.00	0.00	0.00	0.00	571.01	1838.30	612.67
3 Harmonics	0.00	0.00	0.00	0.00	1309.80	0.00	0.00
4 Harmonic	0.00	0.00	0.00	0.00	1256.30	0.00	0.00
Sub Band Ratio	6.78	3.39	3.83	1.93	9.77	17.48	2.72

ตารางที่ 4-9 ตัวอย่างข้อมูลสำหรับการทดสอบระบบรู้จำของเครื่องดนตรีทั้งเจ็ดชนิด

Feature	ฆ้องวงใหญ่	ฆ้องวงเล็ก	ขลุ่ยเพียงออ	ระนาดเอก	ระนาดทุ้ม	ซอด้วง	ซออู้
Duration Time	1.50	1.98	0.91	0.88	0.51	0.71	0.83
rms	0.27	0.33	0.70	0.24	0.37	0.58	0.80
Attack Point	1001	1	26501	1501	1001	4001	5501
Attack Time	0.02	0.00	0.60	0.03	0.02	0.09	0.12
V Attack	1.00	1.00	0.89	0.99	1.00	1.00	1.00
V Steady State	0.63	0.61	0.96	0.61	0.59	0.85	0.94
Decay Point	5027	13255	26825	2773	2974	12000	17730
Steady State Time	0.18	0.60	0.01	0.06	0.09	0.36	0.55
Sustain Point	9053	26509	27149	4045	4947	19998	29958
Release Point	66153	87509	40149	38745	22647	31298	36558
Release Time	1.29	1.38	0.29	0.79	0.40	0.26	0.15
Fundamental Frequency	515.70	569.41	426.00	159.37	381.54	1535.20	340.38
1 Harmonics	0.00	956.15	1274.00	769.55	1128.46	2758.80	679.59
2 Harmonics	0.00	0.00	849.00	0.00	571.36	0.00	1696.10
3 Harmonics	0.00	0.00	0.00	0.00	1311.40	0.00	0.00
4 Harmonic	0.00	0.00	0.00	0.00	1255.00	0.00	0.00
Sub Band Ratio	5.94	3.47	3.65	2.82	8.03	24.16	6.48

หลังจากได้ข้อมูลที่เป็นลักษณะเด่นแล้ว ในการนำข้อมูลไปสอนและทดสอบระบบรู้จำเครื่องดนตรีไทยนั้นจะต้องทำการปรับปรุงขอบเขตข้อมูล(Normalize) ให้ข้อมูลทุกลักษณะเด่นมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 (ในงานวิจัยนี้ปรับให้มีค่าอยู่ระหว่าง -0.9 ถึง 0.9) เนื่องจากฟังก์ชันการกระตุ้นของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้เป็นฟังก์ชันไฮเปอร์บอลิคแทนเจนท์ จึงต้องการข้อมูลอินพุทและเอาท์พุทอยู่ในช่วงดังกล่าว วิธีการปรับปรุงข้อมูลกระทำโดยการนำข้อมูลลักษณะเด่นแต่ละค่าของเครื่องดนตรีทั้งหมดมารวมกันและทำการหารด้วยค่าข้อมูลที่มีค่าสูงสุดของลักษณะเด่นนั้นเมื่อผ่าน

ขั้นตอนนี้จะได้ข้อมูลทุกค่าของแต่ละลักษณะเด่นมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หลังจากนั้นจึงนำค่าดังกล่าวมาปรับให้มีค่าอยู่ระหว่า -1 ถึง 1 อีกครั้งจึงได้ข้อมูลของค่าลักษณะเด่นในตารางที่ 4-8 และตารางที่ 4-9 ที่ผ่านขั้นตอนการปรับปรุงค่าดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 4-10 และตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-10 ตัวอย่างข้อมูลสำหรับการสอนระบบรู้จำที่ผ่านการปรับปรุงข้อมูล

Feature	ฆ้องวงใหญ่	ฆ้องวงเล็ก	ขลุ่ยเพียงออ	ระนาดเอก	ระนาดทุ้ม	ซอด้วง	ซออู้
Input Node 1	0.4603	-0.0028	0.3137	0.3170	0.2962	0.2962	0.4590
Input Node 2	0.4121	-0.1047	0.0331	0.0141	0.0178	0.0178	0.2276
Input Node 3	-0.8120	-0.7557	-0.3343	-0.5675	-0.6627	-0.6627	-0.2118
Input Node 4	-0.8120	-0.7557	-0.3343	-0.5675	-0.6627	-0.6627	-0.2118
Input Node 5	0.9000	0.8991	0.8226	0.8707	0.8929	0.8929	0.8293
Input Node 6	0.1517	0.2754	0.5611	0.2788	0.1826	0.1826	0.5736
Input Node 7	-0.1094	-0.3015	0.0457	-0.4046	-0.3160	-0.3160	0.1185
Input Node 8	-0.1138	-0.3133	-0.2392	-0.5012	-0.3746	-0.3746	-0.1137
Input Node 9	-0.1116	-0.3074	0.2066	-0.4515	-0.3447	-0.3447	0.3198
Input Node 10	0.4603	-0.0028	0.3137	0.3170	0.2962	0.2962	0.4590
Input Node 11	0.3278	0.1411	-0.5687	0.2597	0.1634	0.1634	-0.3249
Input Node 12	-0.2666	-0.3008	-0.3224	-0.4812	-0.4303	-0.4303	0.1533
Input Node 13	-0.7365	-0.5784	-0.3219	-0.6138	-0.5364	-0.5364	-0.3574
Input Node 14	0.0000	-0.8582	-0.2197	-0.8198	-0.5430	-0.5430	-0.7086
Input Node 15	0.0000	-0.9000	-0.5460	-0.8389	-0.6831	-0.6831	-0.5259
Input Node 16	0.0000	-0.9000	-0.8808	-0.8554	-0.7536	-0.7536	-0.6163
Input Node 17	-0.2187	-0.5643	-0.3644	-0.5595	-0.6277	-0.6277	-0.4924

ตารางที่ 4-11 ตัวอย่างข้อมูลสำหรับการทดสอบระบบรู้จำที่ผ่านการปรับปรุงข้อมูล

Feature	ฆ้องวงใหญ่	ฆ้องวงเล็ก	ขลุ่ยเพียงออ	ระนาดเอก	ระนาดทุ้ม	ซอด้วง	ซออู้
Input Node 1	-0.1563	-0.5057	0.4754	-0.2030	0.2430	0.5067	0.3523
Input Node 2	-0.0839	-0.5563	0.3522	-0.2955	0.2939	0.3674	0.1608
Input Node 3	-0.8654	-0.2947	-0.5950	-0.7725	-0.5939	-0.0030	-0.2774
Input Node 4	-0.8654	-0.2947	-0.5950	-0.7725	-0.5939	-0.0030	-0.2774
Input Node 5	0.9000	0.8863	0.8663	0.8835	0.8891	0.7793	0.8423
Input Node 6	0.1720	0.2696	0.6940	0.2181	0.2656	0.6381	0.6096
Input Node 7	-0.3392	-0.6883	-0.0051	-0.5661	-0.0042	0.2898	0.0198
Input Node 8	-0.3409	-0.7377	0.0964	-0.5947	-0.0733	-0.1960	-0.1922
Input Node 9	-0.3400	-0.7130	0.3311	-0.5800	-0.0380	0.5251	0.2006
Input Node 10	-0.1563	-0.5057	0.4754	-0.2030	0.2430	0.5067	0.3523
Input Node 11	-0.3154	-0.3907	-0.4682	-0.2877	-0.0525	-0.0687	-0.3303
Input Node 12	0.4094	0.3844	0.0515	0.2701	-0.3178	0.1546	0.1148
Input Node 13	-0.5979	-0.6011	-0.6842	-0.6955	-0.8405	-0.3111	-0.3917
Input Node 14	0.0000	-0.7981	-0.8503	-0.8306	-0.8538	-0.2380	-0.4790
Input Node 15	0.0000	-0.8353	-0.9000	-0.8767	-0.8655	0.1217	-0.7356
Input Node 16	0.0000	-0.8312	-0.9000	-0.8839	-0.8876	0.0518	-0.8903
Input Node 17	-0.1017	-0.3769	-0.5965	-0.2551	-0.7824	-0.2421	-0.5962

4.4 การสอนโครงข่ายประสาทเทียมในระบบการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทย

การสอนระบบการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทยเป็นการนำข้อมูลชุดที่เตรียมไว้สำหรับการสอนระบบรู้จำมาป้อนเข้าเครือข่ายประสาทเทียมแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล หลักการทำงานมีขั้นตอนที่สำคัญ 5 ขั้นตอนคือ

1. การสุ่มค่าน้ำหนักและพิกัดของเครือข่ายประสาทเทียม สำหรับค่าน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมได้จากการสุ่มค่า(Random) ส่วนค่าพิกัดเป็นการกำหนดขนาดของเครือข่ายประสาทเทียมว่าจะกำหนดให้มีขนาดของชั้นอินพุท, ชั้นซ่อน และชั้นเอาท์พุทว่าจะกำหนดให้แต่ละชั้นมีขนาดหรือจำนวนโนดเท่าใด ในการทดลองงานวิจัยนี้มีการกำหนดขนาดของโครงข่าย 3 ชุด ตามลำดับชั้นอินพุท ชั้นซ่อน และชั้นเอาท์พุท ดังนี้คือ (12,29,7) (15,29,7) และ (17,29,7)

2. การสอนโครงข่ายประสาทเทียมกำหนดให้มีจำนวนรอบที่ทำการสอนเท่ากับ 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 และ 6000 รอบ

3. คำนวณค่าทางเอาท์พุทของข้อมูลที่นำมาใช้สอน

4. เปรียบเทียบข้อมูลที่คำนวณกับข้อมูลที่ใช้สอนระบบรู้จำเพื่อทดสอบความถูกต้องของการรู้จำของแต่ละชนิดเครื่องดนตรีของชุดข้อมูลสำหรับการสอนโครงข่าย

5. บันทึกค่าน้ำหนักและพิกัดที่ได้จากการคำนวณลงในไฟล์

ผลการทดสอบการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทยจากข้อมูลการสอนโครงข่ายประสาทเทียมแสดงดังตารางที่ 4-12 ถึงตารางที่ 4-14

ตารางที่ 4-12 ผลการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทยจากข้อมูลการสอนโดยใช้ 12 ลักษณะเด่น

จำนวนรอบการสอน	เครื่องดนตรี	ค่าความถูกต้อง (%)						
		ฆ้องวงใหญ่	ฆ้องวงเล็ก	ขลุ่ยเพียงออ	ระนาดเอก	ระนาดทุ้ม	ซอด้วง	ซออู้
1,000.00	ฆ้องวงใหญ่	100.00	-	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	26.88	72.50	0.63	-	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	-	95.83	-	-	0.83	3.33
	ระนาดเอก	-	-	-	49.05	50.95	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	10.00	90.00	-	-
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	2.50	-	-	-	97.50
2,000.00	ฆ้องวงใหญ่	98.75	1.25	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	2.50	97.50	-	-	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	-	99.17	-	-	-	0.83
	ระนาดเอก	-	-	-	94.76	5.24	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	51.18	48.82	-	-
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	-	-	-	-	100.00
3,000.00	ฆ้องวงใหญ่	99.38	0.63	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	1.25	98.75	-	-	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	-	99.17	-	-	-	0.83
	ระนาดเอก	-	-	-	97.62	2.38	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	25.29	74.71	-	-
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	-	-	-	-	100.00
4,000.00	ฆ้องวงใหญ่	99.38	0.63	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	0.63	99.38	-	-	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	-	100.00	-	-	-	-
	ระนาดเอก	-	-	-	88.10	11.90	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	3.53	96.47	-	-
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	-	-	-	-	100.00
5,000.00	ฆ้องวงใหญ่	100.00	-	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	0.63	99.38	-	-	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	-	100.00	-	-	-	-
	ระนาดเอก	-	-	-	98.10	1.90	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	1.76	98.24	-	-
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	-	-	-	-	100.00
6,000.00	ฆ้องวงใหญ่	100.00	-	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	-	100.00	-	-	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	-	100.00	-	-	-	-
	ระนาดเอก	-	-	-	98.10	1.90	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	1.18	98.82	-	-
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	-	-	-	-	100.00

ตารางที่ 4-13 การรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทยจากข้อมูลการสอนโดยใช้ 15 ลักษณะเด่น

จำนวนรอบการสอน	เครื่องดนตรี	ค่าความถูกต้อง (%)						
		ฆ้องวงใหญ่	ฆ้องวงเล็ก	ขลุ่ยเพียงออ	ระนาดเอก	ระนาดทุ้ม	ซอด้วง	ซออู้
1,000.00	ฆ้องวงใหญ่	96.88	3.13	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	3.75	95.63	-	0.63	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	-	98.33	-	-	-	1.67
	ระนาดเอก	-	-	-	94.76	5.24	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	64.12	35.88	-	-
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	3.75	-	-	-	96.25
2,000.00	ฆ้องวงใหญ่	98.13	1.88	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	1.25	98.75	-	-	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	-	99.17	-	-	-	0.83
	ระนาดเอก	-	-	-	78.10	21.90	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	4.71	95.29	-	-
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	-	-	-	-	100.00
3,000.00	ฆ้องวงใหญ่	99.38	0.63	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	-	100.00	-	-	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	-	100.00	-	-	-	-
	ระนาดเอก	-	-	-	100.00	-	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	6.47	93.53	-	-
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	-	-	-	-	100.00
4,000.00	ฆ้องวงใหญ่	100.00	-	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	-	100.00	-	-	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	-	100.00	-	-	-	-
	ระนาดเอก	-	-	-	100.00	-	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	0.59	99.41	-	-
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	-	-	-	-	100.00
5,000.00	ฆ้องวงใหญ่	100.00	-	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	-	100.00	-	-	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	-	100.00	-	-	-	-
	ระนาดเอก	-	-	-	100.00	-	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	0.59	99.41	-	-
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	-	-	-	-	100.00
6,000.00	ฆ้องวงใหญ่	100.00	-	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	-	100.00	-	-	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	-	100.00	-	-	-	-
	ระนาดเอก	-	-	-	100.00	-	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	0.59	99.41	-	-
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	-	-	-	-	100.00

ตารางที่ 4-14 การรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทยจากข้อมูลการสอนโดยใช้ 17 ลักษณะเด่น

จำนวนรอบการสอน	เครื่องดนตรี	ค่าความถูกต้อง (%)						
		ฆ้องวงใหญ่	ฆ้องวงเล็ก	ขลุ่ยเพียงออ	ระนาดเอก	ระนาดทุ้ม	ซอด้วง	ซออู้
1,000.00	ฆ้องวงใหญ่	94.38	4.38	-	1.25	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	3.13	95.63	-	1.25	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	-	99.17	-	-	-	0.83
	ระนาดเอก	-	-	-	78.10	21.90	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	30.00	70.00	-	-
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	2.50	-	-	-	97.50
2,000.00	ฆ้องวงใหญ่	96.25	3.75	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	-	100.00	-	-	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	-	99.17	-	-	-	0.83
	ระนาดเอก	-	-	-	97.62	2.38	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	27.06	72.94	-	-
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	2.50	-	-	-	97.50
3,000.00	ฆ้องวงใหญ่	99.38	0.63	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	-	100.00	-	-	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	-	99.17	-	-	-	0.83
	ระนาดเอก	-	-	-	98.57	1.43	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	7.06	92.94	-	-
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	2.50	-	-	-	97.50
4,000.00	ฆ้องวงใหญ่	99.38	0.63	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	-	100.00	-	-	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	-	99.17	-	-	-	0.83
	ระนาดเอก	-	-	-	99.05	0.95	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	5.88	94.12	-	-
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	1.25	-	-	-	98.75
5,000.00	ฆ้องวงใหญ่	99.38	0.63	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	-	100.00	-	-	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	-	99.17	-	-	-	0.83
	ระนาดเอก	-	-	-	100.00	-	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	5.88	94.12	-	-
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	1.25	-	-	-	98.75
6,000.00	ฆ้องวงใหญ่	100.00	-	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	-	100.00	-	-	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	-	99.17	-	-	-	0.83
	ระนาดเอก	-	-	-	100.00	-	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	5.29	94.71	-	-
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	1.25	-	-	-	98.75

4.5 การทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมในระบบการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทย

การทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเป็นการนำชุดข้อมูลสำหรับที่เตรียมไว้สำหรับการสอนและการทดสอบระบบ ซึ่งก็คือ ข้อมูลในตารางที่ 4-10 ส่งเข้าสู่ระบบรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทยเพื่อทดสอบความถูกต้องของการระบุชนิดเครื่องดนตรี ขั้นตอนการทดสอบมี 2 ขั้นตอนคือ

1. ข้อมูลเข้าระบบรู้จำเพื่อคำนวณหาค่าเอาท์พุทซึ่งจะได้ค่าเอาท์พุทเป็นชนิดเครื่องดนตรีของเสียงที่นำมาทดสอบ

2. เปรียบเทียบเอาท์พุทที่ได้เพื่อหาความถูกต้องของการรู้จำ กับค่าเอาท์พุทของชุดข้อมูลที่นำมาทดสอบ

ผลการทดสอบการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทยจากข้อมูลการสอนโครงข่ายประสาทเทียมแสดงดังตารางที่ 4-15 ถึงตารางที่ 4-17

ตารางที่ 4-15 การรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทยจากข้อมูลทดสอบโดยใช้ 12 ลักษณะเด่น

จำนวนรอบการสอน	เครื่องดนตรี	ค่าความถูกต้อง (%)						
		ฆ้องวงใหญ่	ฆ้องวงเล็ก	ขลุ่ยเพียงออ	ระนาดเอก	ระนาดทุ้ม	ซอด้วง	ซออู้
1,000.00	ฆ้องวงใหญ่	96.88	2.50	-	-	0.63	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	30.00	66.88	-	3.13	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	0.83	-	87.50	-	-	-	11.67
	ระนาดเอก	-	-	-	51.43	48.57	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	15.29	84.12	-	0.59
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	-	-	-	-	100.00
2,000.00	ฆ้องวงใหญ่	86.25	13.75	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	6.25	90.63	-	3.13	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	0.83	1.67	87.50	-	-	0.83	9.17
	ระนาดเอก	-	-	-	91.43	8.57	-	-
	ระนาดทุ้ม	0.59	-	-	62.94	35.88	-	0.59
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	-	-	1.25	-	98.75
3,000.00	ฆ้องวงใหญ่	86.25	13.75	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	3.75	92.50	-	3.75	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	0.83	1.67	88.33	-	-	0.83	8.33
	ระนาดเอก	-	-	-	90.95	9.05	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	46.47	52.94	-	0.59
	ซอด้วง	-	1.25	-	-	-	98.75	-
	ซออู้	-	-	1.25	1.25	1.25	-	96.25
4,000.00	ฆ้องวงใหญ่	88.75	11.25	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	3.75	92.50	0.63	3.13	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	1.67	87.50	-	-	0.83	10.00
	ระนาดเอก	-	-	-	81.43	18.57	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	14.12	85.29	-	0.59
	ซอด้วง	-	1.25	-	-	-	98.75	-
	ซออู้	-	-	1.25	1.25	1.25	-	96.25
5,000.00	ฆ้องวงใหญ่	88.75	11.25	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	3.75	92.50	0.63	3.13	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	0.83	1.67	83.33	-	1.67	2.50	10.00
	ระนาดเอก	-	-	-	88.10	11.90	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	15.29	84.12	-	0.59
	ซอด้วง	-	1.25	-	-	-	98.75	-
	ซออู้	-	-	1.25	-	1.25	-	97.50
6,000.00	ฆ้องวงใหญ่	87.50	12.50	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	5.00	91.88	-	3.13	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	0.83	1.67	83.33	-	3.33	0.83	10.00
	ระนาดเอก	-	-	-	89.05	10.95	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	15.29	84.12	-	0.59
	ซอด้วง	-	2.50	-	-	-	97.50	-
	ซออู้	-	-	1.25	-	1.25	-	97.50

ตารางที่ 4-16 การรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทยจากข้อมูลทดสอบโดยใช้ 15 ลักษณะเด่น

จำนวนรอบการสอน	เครื่องดนตรี	ค่าความถูกต้อง (%)						
		ฆ้องวงใหญ่	ฆ้องวงเล็ก	ขลุ่ยเพียงออ	ระนาดเอก	ระนาดทุ้ม	ซอด้วง	ซออู้
1,000.00	ฆ้องวงใหญ่	91.25	8.75	-	-	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	14.38	82.50	-	3.13	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	0.83	-	98.33	-	-	-	0.83
	ระนาดเอก	-	-	-	92.38	7.62	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	0.59	-	76.47	22.35	-	0.59
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	3.75	1.25	-	-	95.00
2,000.00	ฆ้องวงใหญ่	91.25	8.13	-	0.63	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	8.75	88.13	-	2.50	0.63	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	1.67	97.50	-	-	-	0.83
	ระนาดเอก	-	0.95	-	60.00	39.05	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	12.35	87.06	-	0.59
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	2.50	-	-	-	97.50
3,000.00	ฆ้องวงใหญ่	86.25	10.00	-	3.75	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	10.63	85.63	-	3.13	0.63	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	0.83	92.50	0.83	-	1.67	4.17
	ระนาดเอก	-	-	-	91.90	8.10	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	49.41	50.00	-	0.59
	ซอด้วง	-	-	1.25	-	-	98.75	-
	ซออู้	-	-	1.25	1.25	-	-	97.50
4,000.00	ฆ้องวงใหญ่	88.75	9.38	-	1.88	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	10.00	87.50	-	1.88	0.63	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	-	93.33	-	-	2.50	4.17
	ระนาดเอก	-	0.95	-	88.57	10.48	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	38.24	61.76	-	-
	ซอด้วง	-	1.25	1.25	-	-	97.50	-
	ซออู้	-	-	-	2.50	-	-	97.50
5,000.00	ฆ้องวงใหญ่	85.63	12.50	-	1.88	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	8.75	88.75	-	1.88	0.63	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	-	92.50	-	-	2.50	5.00
	ระนาดเอก	-	0.95	-	89.05	10.00	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	38.24	61.18	-	0.59
	ซอด้วง	-	2.50	1.25	-	-	96.25	-
	ซออู้	-	-	-	1.25	-	-	98.75
6,000.00	ฆ้องวงใหญ่	84.38	13.13	-	2.50	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	9.38	88.75	-	1.88	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	0.83	-	90.00	0.83	-	3.33	5.00
	ระนาดเอก	-	0.48	-	89.52	10.00	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	41.76	57.65	-	0.59
	ซอด้วง	-	1.25	-	-	-	98.75	-
	ซออู้	-	-	-	-	-	-	100.00

ตารางที่ 4-17 การรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทยจากข้อมูลทดสอบโดยใช้ 17 ลักษณะเด่น

จำนวนรอบการสอน	เครื่องดนตรี	ค่าความถูกต้อง (%)						
		ฆ้องวงใหญ่	ฆ้องวงเล็ก	ขลุ่ยเพียงออ	ระนาดเอก	ระนาดทุ้ม	ซอด้วง	ซออู้
1,000.00	ฆ้องวงใหญ่	90.00	8.13	-	1.25	0.63	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	10.63	85.63	-	3.75	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	1.67	91.67	-	-	-	6.67
	ระนาดเอก	-	-	-	72.86	27.14	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	41.76	57.65	-	0.59
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	-	1.25	1.25	-	97.50
2,000.00	ฆ้องวงใหญ่	87.50	11.25	-	1.25	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	3.75	93.13	-	3.13	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	2.50	93.33	-	-	1.67	2.50
	ระนาดเอก	-	-	-	85.24	14.76	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	55.29	44.12	-	0.59
	ซอด้วง	-	1.25	-	-	-	98.75	-
	ซออู้	-	-	-	1.25	-	-	98.75
3,000.00	ฆ้องวงใหญ่	92.50	6.88	-	0.63	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	8.75	87.50	-	3.13	0.63	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	1.67	90.00	-	0.83	3.33	4.17
	ระนาดเอก	-	-	-	81.90	18.10	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	35.29	64.12	-	0.59
	ซอด้วง	-	1.25	-	-	-	98.75	-
	ซออู้	-	-	1.25	2.50	-	-	96.25
4,000.00	ฆ้องวงใหญ่	91.88	7.50	-	0.63	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	8.13	88.13	-	3.13	0.63	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	1.67	90.83	-	0.83	2.50	4.17
	ระนาดเอก	-	-	-	81.90	18.10	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	35.88	64.12	-	-
	ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
	ซออู้	-	-	1.25	6.25	-	-	92.50
5,000.00	ฆ้องวงใหญ่	90.63	8.75	-	0.63	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	6.88	89.38	-	3.75	-	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	1.67	90.83	-	0.83	2.50	4.17
	ระนาดเอก	-	-	-	84.76	15.24	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	37.65	62.35	-	-
	ซอด้วง	-	2.50	-	-	-	97.50	-
	ซออู้	-	-	1.25	5.00	-	-	93.75
6,000.00	ฆ้องวงใหญ่	90.63	8.75	-	0.63	-	-	-
	ฆ้องวงเล็ก	8.13	88.13	-	3.13	0.63	-	-
	ขลุ่ยเพียงออ	-	1.67	90.83	-	0.83	3.33	3.33
	ระนาดเอก	-	-	-	82.86	17.14	-	-
	ระนาดทุ้ม	-	-	-	32.35	67.65	-	-
	ซอด้วง	-	3.75	-	-	-	96.25	-
	ซออู้	-	-	1.25	6.25	-	-	92.50

4.6 การทดสอบระบบการรู้จำระดับเสียงและชนิดเครื่องดนตรีไทย

การทดสอบระบบรู้จำระบบการรู้จำเครื่องดนตรีไทยขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบระบบรู้จำทั้งระบบโดยเริ่มตั้งแต่การนำไฟล์มาวิเคราะห์เพื่อหาลักษณะเด่น การรู้จำระดับเสียงดนตรีไทยและการรู้จำเครื่องดนตรีไทย โดยมีลำดับขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. อ่านไฟล์ข้อมูลเสียงดนตรีที่จะนำมาทดสอบ
2. คำนวณค่าลักษณะเด่นของเสียงดนตรีไทยในขอบเขตแกนเวลาและขอบเขตแกนความถี่

3. ปรับปรุงลักษณะเด่นที่ได้มาทำนอร์มอลไลซ์ ให้ทุกโนดมีค่าระหว่าง -0.9 ถึง 0.9 ก่อนส่งเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม

4. หาค่าระดับเสียงดนตรีไทย

5. ทดสอบการรู้จำเครื่องดนตรีโดยใช้ 12 ลักษณะเด่น

6. ทดสอบการรู้จำเครื่องดนตรีโดยใช้ 15 ลักษณะเด่น

7. ทดสอบการรู้จำเครื่องดนตรีโดยใช้ 17 ลักษณะเด่น

การทดลองที่ 1 ทำการทดสอบระบบโดยทดลองป้อนข้อมูลเป็นไฟล์เสียงระนาดเอกที่ระดับเสียงซอล ได้ผลการทดสอบดังนี้

```
ENTER FILE NAME :   sound\rnn2_02.wav
Processing Note Recognigtion
Fundamental Frequency  = 176.00 Hz
Note  =  ซ
--------------------------------------------------
Processing for 12 feature.....
od2 =   -1.00 -0.99 -0.99  0.44 -0.21 -0.94 -0.93
The instrument name is ระนาดเอก
--------------------------------------------------
Processing for 15 feature.....
od2 =   -0.98 -1.00 -0.93  0.87 -0.92 -0.95 -0.89
The instrument name is ระนาดเอก
--------------------------------------------------
Processing for 17 feature.....
od2 =    -0.99   .00 -0.99  0.99 -0.98 -0.99 -0.98
The instrument name is ระนาดเอก
--------------------------------------------------
```

จากการทดลองพบว่าที่เอาท์พุทจะแสดงเป็นชนิดของเครื่องดนตรีไทย ตำแหน่งของเครื่องดนตรีระนาดเอก(คอลัมน์ที่ 4) จะมีผลความน่าเชื่อถือสูงสุด ดังนั้น จากการทดสอบจึงระบุผลการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีเป็นชนิดระนาดเอก และแสดงค่าระดับเสียงเป็นเสียงซอล(ซ)

การทดลองที่ 2 ทำการทดสอบระบบโดยทดลองป้อนข้อมูลเป็นไฟล์เสียงขลุ่ยเพียงออที่ระดับเสียงโด ได้ผลการทดสอบดังนี้

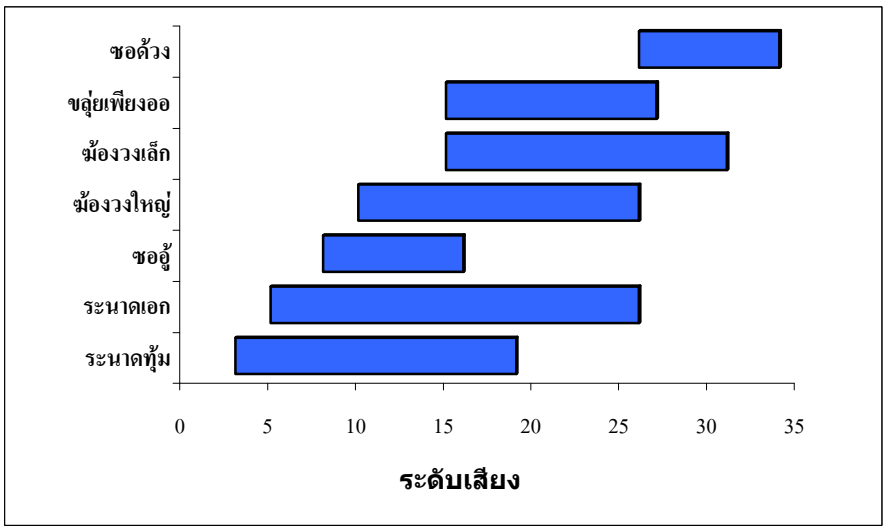
```
ENTER FILE NAME :   sound\kun2_02.wav
Processing Note Recognigtion
Fundamental Frequency  = 468.00 Hz
Note  =  ด
--------------------------------------------------
Processing for 12 feature.....
od2 =  -1.00   -1.00    0.90   -1.00   -1.00   -0.88  -0.97
The instrument name is ขลุ่ยเพียงออ
--------------------------------------------------
Processing for 15 feature.....
od2 = -1.00   -1.00   0.99   -1.00   -1.00   -0.86   -0.99
The instrument name is ขลุ่ยเพียงออ
--------------------------------------------------
Processing for 17 feature.....
od2 = -1.00   -1.00    0.99   -1.00   -1.00   -0.95   -0.98
The instrument name is ขลุ่ยเพียงออ
--------------------------------------------------
```

ที่เอาท์พุทจะแสดงเป็นชนิดของเครื่องดนตรีไทย โดยการทดลองจะพบว่าที่ตำแหน่งของเครื่องดนตรีขลุ่ยเพียงออ(คอลัมน์ที่ 3) จะมีผลความน่าเชื่อถือสูงสุด ดังนั้น จากการทดสอบจึงระบุผลการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีเป็นชนิดขลุ่ยเพียงออ และแสดงค่าระดับเสียงเป็นเสียงโด (ด)

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการรู้จำระดับเสียงดนตรีไทย

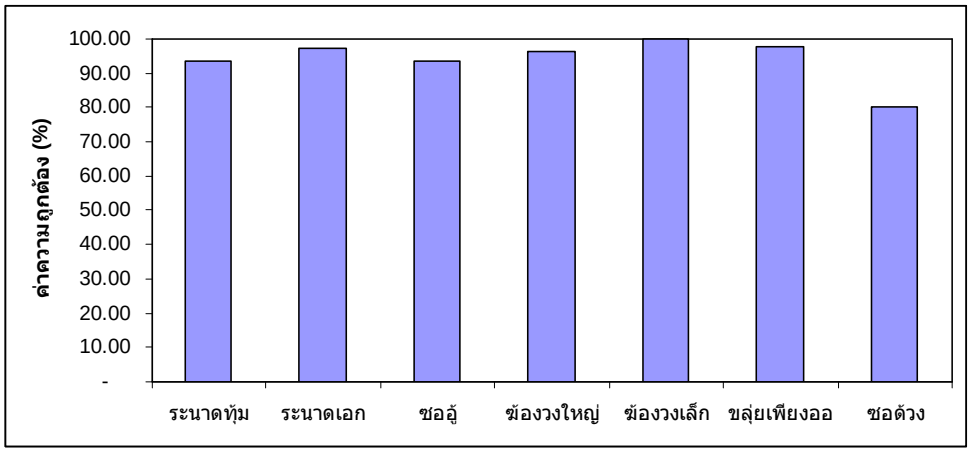
การทดลองการรู้จำระดับเสียงดนตรีไทยของเครื่องดนตรีไทย เป็นการทดลองโดยการหาค่าความถี่หลักมูลขอเครื่องดนตรีทั้ง 7 ชนิดและเปรียบเทียบกับข้อมูลความถี่ในฐานข้อมูลอ้างอิงในตารางที่ 2-1 และตารางที่ 2-2 จะได้ผลลัพธ์แสดงการเปรียบเทียบช่วงของระดับเสียงของเครื่องดนตรีทั้งหมดเป็นกราฟได้ดังภาพที่ 5-1 และแสดงผลการบันทึกข้อมูลค่าความถี่หลักมูลของเครื่องดนตรีดังตารางที่ 5-1 สำหรับผลลัพธ์ความถูกต้องของการรู้จำระดับเสียงดนตรีไทยทุกชนิดเมื่อหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าความถูกต้องเฉลี่ย 94% โดยแสดงผลเปรียบเทียบผลของเครื่องดนตรีแต่ละชนิดเป็นกราฟแสดงผลค่าความถูกต้องดังภาพที่ 5-2 สำหรับความผิดพลาดของการรู้จำระดับเสียงที่พบเกิดจากสาเหตุการบรรเลงเครื่องดนตรีที่มีเสียงเพี้ยนหรือเสียงไม่ชัดเจน และสาเหตุอีกประการหนึ่งจะอยู่ที่การปรับเทียบเสียงดนตรีซึ่งใช้หลักการเทียบเสียงโดยใช้การฟังเป็นหลักทำให้ค่าความถี่เบี่ยงเบนไปอยู่ในระดับเสียงข้างเคียง ซึ่งปัญหาดังกล่าวนั้นเกิดกับเครื่องดนตรีที่ต้องตั้งเสียงทุกครั้งที่บรรเลงเช่นเครื่องดนตรีซอด้วงและซออู้ สำหรับความผิดพลาดของการรู้จำของเครื่องดนตรีประเภทเครื่องตีนั้นเกิดจากการปรับเทียบเสียงเช่นเดียวกันโดยจะสังเกตว่าจะเกิดในระดับเสียงที่มีความถี่ต่ำซึ่งมีพิสัยของความถี่แคบกว่าช่วงความถี่ของระดับเสียงในลำดับที่สูงขึ้น



ภาพที่ 5-1 ตำแหน่งระดับเสียงของเครื่องดนตรีที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ 5-1 เปรียบเทียบความถี่หลักมูลและระดับเสียงดนตรีไทย

ลำดับ	ระดับเสียง	เครื่องดนตรีไทย						
		ระนาดเอก	ระนาดทุ้ม	ฆ้องวงใหญ่	ฆ้องวงเล็ก	ขลุ่ยเพียงออ	ซอด้วง	ซออู้
1	ด	-	-	-	-	-	-	-
2	ร	-	-	-	-	-	-	-
3	ม	-	137.50	-	-	-	-	-
4	ฟ	-	154.00	-	-	-	-	-
5	ซ	172.00	172.00	-	-	-	-	-
6	ล	186.50	186.50	-	-	-	-	-
7	ท	205.00	207.00	-	-	-	-	-
8	ด	229.50	231.50	-	-	-	-	230.50
9	ร	254.50	254.00	-	-	-	-	256.00
10	ม	278.50	280.50	281.00	-	-	-	281.50
11	ฟ	306.00	310.50	308.00	-	-	-	310.50
12	ซ	344.00	342.00	340.00	-	-	-	343.50
13	ล	376.00	376.00	372.50	-	-	-	386.00
14	ท	412.00	414.00	412.50	-	-	-	417.00
15	ด	458.00	456.00	458.00	452.50	468.00	-	469.00
16	ร	506.50	510.50	505.00	503.50	522.50	-	508.00
17	ม	562.00	569.50	559.50	554.00	575.50	-	-
18	ฟ	611.50	628.00	621.50	612.00	633.50	-	-
19	ซ	684.00	688.00	684.00	684.00	689.50	-	-
20	ล	759.50	-	755.50	758.50	752.50	-	-
21	ท	842.50	-	836.50	838.00	831.00	-	-
22	ด	928.00	-	933.50	926.00	929.00	-	-
23	ร	1028.00	-	1019.50	1021.50	-	-	-
24	ม	1140.50	-	1134.50	1124.50	-	-	-
25	ฟ	1246.50	-	1260.00	1229.00	-	-	-
26	ซ	1378.00	-	-	1361.00	-	1369.50	-
27	ล	-	-	-	1535.00	-	1520.00	-
28	ท	-	-	-	1677.50	-	1656.50	-
29	ด	-	-	-	1853.50	-	1785.00	-
30	ร	-	-	-	2082.00	-	2101.00	-
31	ม	-	-	-	2300.00	-	2331.50	-
32	ฟ	-	-	-	2544.50	-	2534.00	-
33	ซ	-	-	-	-	-	2760.00	-
34	ล	-	-	-	-	-	3012.50	-



ภาพที่ 5-2 กราฟแสดงผลความถูกต้องการรู้จำระดับเสียงดนตรี

5.2 สรุปผลการทดลองการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทย

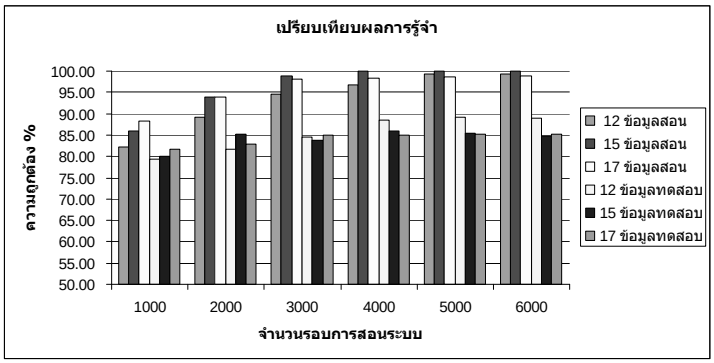
พิจารณาผลการทดลองการรู้จำเครื่องดนตรีโดยใช้ข้อมูลจากกลุ่มที่ใช้สำหรับสอนและทดสอบระบบดังรารางที่ 4-12 ถึงตารางที่ 4-17 สามารถสรุปผลความถูกต้องของการทดลองการรู้จำเครื่องดนตรีไทยโดยใช้ลักษณะเด่น 12 จุด ได้ผลลัพธ์การทดสอบสูงสุด 84 % ที่การสอนระบบ 6000 รอบ เมื่อเพิ่มลักษณะเด่นเป็น 15 จุดจะได้ผลความถูกต้องมากขึ้นเป็น 85 % ที่การสอนระบบ 3000 รอบ และเมื่อทดสอบการรู้จำโดยเพิ่มลักษณะเด่นเป็น 17 จุดนั้นให้ผลที่ดีขึ้นโดยการทดสอบกับชุดข้อมูลสำหรับทดสอบระบบสูงสุดถึง 87 % ที่การสอนระบบ 4000 รอบ ความผิดพลาดของการรู้จำที่เกิดขึ้นสามารถระบุได้ 2 ลักษณะคือ

1. เครื่องดนตรีประเภทเดียวกันและมีระดับเสียงใกล้เคียงกัน
2. เครื่องดนตรีต่างประเภทแต่คลื่นเสียงดนตรีมีรูปคลื่นและระดับเสียงใกล้เคียงกัน

จากความผิดพลาดของการรู้จำดังกล่าวข้างต้นเมื่อเพิ่มลักษณะเด่นให้มากขึ้นหรือเพิ่มจำนวนรอบการสอนระบบให้มากขึ้นสามารถแก้ไขข้อผิดพลาดดังกล่าวได้เป็นอย่างดี สำหรับเครื่องดนตรีประเภทเดียวกันที่มีโครงสร้างและลักษณะคลื่นเสียงคล้ายกันในการใช้ลักษณะเด่นที่มากขึ้นจะสามารถระบุชนิดเครื่องดนตรีได้ดีกว่า สำหรับผลการทดสอบการรู้จำระดับเสียงดนตรีไทยโดยใช้ข้อมูลจากชุดสอนระบบและข้อมูลจากชุดทดสอบระบบมีความถูกต้องแสดงดังตารางที่ 5-3 และแสดงผลเปรียบเทียบเป็นกราฟได้ดังภาพที่ 5-3

ตารางที่ 5-2 บันทึกผลการทดสอบการรู้จำโดยใช้ข้อมูลสำหรับการสอนและทดสอบระบบ

	ผลการรู้จำจากชุดข้อมูลสอนระบบ (%)			ผลการรู้จำจากชุดข้อมูลทดสอบระบบ (%)		
จำนวนรอบ	12 Feature	15 Feature	17 Feature	12 Feature	15 Feature	17 Feature
1000	84.90	83.78	89.08	80.20	79.29	81.94
2000	89.08	93.27	92.96	82.65	83.06	83.57
3000	93.27	98.57	98.27	83.16	85.10	85.61
4000	96.33	99.49	99.49	83.37	84.08	87.04
5000	98.27	99.59	99.80	84.18	83.57	86.12
6000	99.59	99.59	99.90	84.49	83.57	86.02



ภาพที่ 5-3 เปรียบเทียบผลการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทย

5.3 สรุปผลการวิจัย

ขั้นตอนวิธีสำหรับการรู้จำระดับเสียงและชนิดของเครื่องดนตรีไทยที่สร้างขึ้นสำหรับงานวิจัยมีโครงสร้างการทำงานประกอบด้วย 2 ระบบคือการรู้จำระดับเสียงดนตรีและระบบการรู้จำเครื่องดนตรีไทย ขั้นตอนการทำงานของระบบการรู้จำระดับเสียงหลักการทำงานใช้ค่าความถี่หลักมูลของเสียงดนตรีนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลในตารางระดับเสียงอ้างอิงจำได้ค่าเอาท์พุทเป็นระดับเสียงดนตรีไทยซึ่งให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ย 94 % ส่วนการทำงานของระบบการรู้จำเครื่องดนตรีมีขั้นตอนวิธีการทำงานหลักคือ ส่วนการสร้างจุดอ้างอิงเพื่อหาค่าลักษณะเด่นของเสียงดนตรีไทยโดยมีส่วนย่อยของการทำงานคือการตรวจจับลักษณะเด่นในขอบเขตแกนเวลาและส่วนการตรวจจับลักษณะเด่นในแกนความถี่ ส่วนการประมวลผลลักษณะเด่นเพื่อเลือกใช้ลักษณะเด่นของเสียงดนตรี และส่วนการรู้จำซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบการป้อนกลับสำหรับความสามารถรู้จำชนิดของเครื่องดนตรีไทยมีผลความถูกต้องสูงสุดประมาณ 84%, 85% และ 87 % โดยใช้ข้อมูลลักษณะเด่นจำนวน 12, 15 และ 17 โนดตามลำดับ

5.4 ข้อเสนอแนะ

การนำขั้นตอนวิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้เมื่อพัฒนาระบบการรู้จำจังหวะของดนตรีไทยโดยทำการสอนระบบให้รู้จำจังหวะของเครื่องดนตรีไทย สามารถใช้งานสำหรับการสร้างโน้ตเพลงไทยจากเสียงเพลงได้ ตามปกตินั้นการบอกจังหวะของเพลงไทยจะเป็นหน้าที่ของ “ฉิ่ง” ซึ่งมีลักษณะของเสียงจำนวน 2 เสียงคือเสียง “ฉิ่ง” ใช้สำหรับตอนเปิดจังหวะ และเสียง “ฉับ”สำหรับตอนปิดจังหวะของบทเพลง ซึ่งเมื่อพัฒนาเสร็จแล้วจะสามารถใช้เป็นเครื่องมือสำหรับช่วยในการฝึกและเรียนรู้ดนตรีไทยได้

เอกสารอ้างอิง

1. J.A. Moorer. "Signal Processing Aspects of Computer Music: A Survey." Proceedings of the IEEE. Volume 65, August 1977 : 1108 – 1137.
2. J.O. Smith III. "Physical Audio Signal Processing." [Online] 2000 [cited 10 October 2004]. Available from : http://ccrma.stanford.edu/~jos/pasp/pasp.html
3. W.J. Pielemeier, G.H. Wakefield and M.H. Simoni. "Time-Frequency Analysis of Musical Signals." Proceedings of the IEEE. Volume 84, September 1996 : 1216 – 1230
4. K. Jensen. "Envelope Model of Isolated Musical Sounds." Proceedings of the 2nd COST G-6 Workshop on Digital Audio Effects (DAFx99), Dec. 1999 : W99-1–W99-5.
5. A. Eronen. Automatic Musical Instrument Recognition. Master of Science Thesis Department of Information Technology Tampere University of Technology, 2001.
6. เฉลิมศักดิ์ พิกุลศรี. สังคีตนิยมว่าด้วยดนตรีไทย (ฉบับปรับปรุง). พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2542.
7. บุญช่วย โสวัตร. "ความถี่ของเสียงดนตรีไทยโดยพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว." จุฬาวิจัย [วารสารออนไลน์] ธันวาคม 2542. [สืบค้นวันที่ 10 ตุลาคม 2547] จาก http://www.chula.ac.th/research/activity/journal/rj4212.htm
8. บุญช่วย โสวัตร. "ความถี่ของเสียงดนตรีไทยโดยพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว." จุฬาวิจัย [วารสารออนไลน์] ธันวาคม 2542. [สืบค้นวันที่ 10 ตุลาคม 2547] จาก http://www.chula.ac.th/research/activity/journal/rj43_1.htm
9. สราวุฒิ สุจิตรจร. การวิเคราะห์เสียงดนตรีไทย. พิมพ์ครั้งที่หนึ่ง. จำนวน 2000 เล่ม. นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2545.
10. ทีมงานไทยคิดและมูลนิธิหลวงประดิษฐไพเราะ. เสียงระนาดเอกและวิธีการดำเนินกลอนเพลงแบบต่างๆ. [ออนไลน์] 2542 [สืบค้นวันที่ 10 ตุลาคม 2547]. จาก http://www.thaikids.com/ranad/chap5/fc5s4p1.htm
11. ภิชาต เลณะสวัสดิ์. ปฏิบัติพื้นฐานเครื่องสายไทย. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ศิลปาบรรณาคาร, 2543.
12. อุทิศ นาคสวัสดิ์. ทฤษฎีและหลักปฏิบัติดนตรีไทย ภาค1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์บริษัทศิริวิทย์ จำกัด, 2530.

13. ณัชชา โสคติยานุรักษ์. ทฤษฎีดนตรี. พิมพ์ครั้งที่ 6. จำนวน 16000 เล่ม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

14. สวิต ทับทิมศรี. ดนตรีไทยภาคปฏิบัติ เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. จำนวน 3000 เล่ม. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ประชุมทอง พริ้นติ้ง กรุ๊ป จำกัด, 2548.

15. L. Fausett. Fundamentals of Neural Networks : Architectures Algorithms and Applications. NJ : Prentice Hall, 1994.

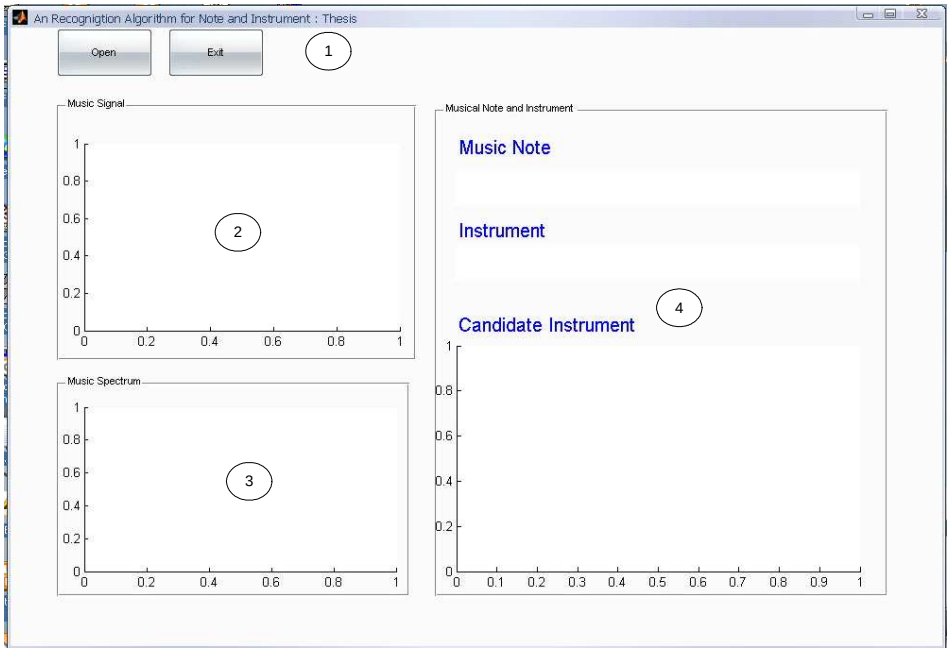
ภาคผนวก ก

วิธีการใช้งานโปรแกรม

ภาคผนวก ก.
วิธีการใช้งานโปรแกรม

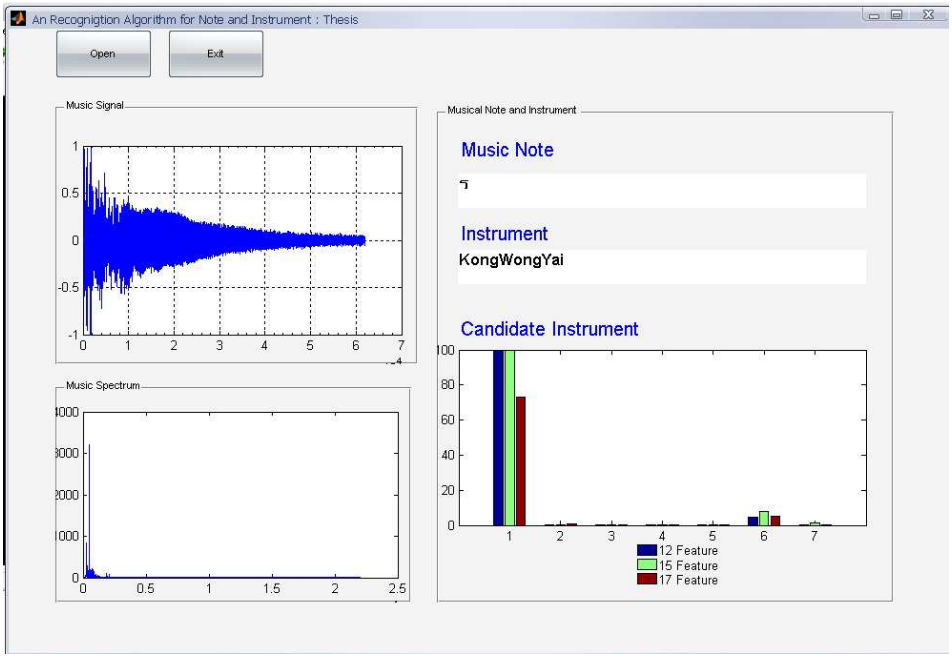
ซอฟท์แวร์ระบบรู้จำระดับเสียงและชนิดดนตรีไทยเป็นแอพพลิเคชันที่สร้างตามขั้นตอนวิธีการรู้จำระดับเสียงและชนิดเครื่องดนตรีไทย ใช้สำหรับแสดงผลการวิเคราะห์ไฟล์เสียงดนตรี การสร้างซอฟท์แวร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB แสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณในรูปกราฟฟิก ภาพแสดงการติดต่อจอสำหรับใช้งานแสดงดังภาพที่ ก-1 โดยหน้าจอแบ่งการทำงานเป็น 5 ส่วน ด้วยกันคือ

1. ส่วนควบคุมการทำงานในส่วนนี้จะมีปุ่มควบคุมการทำงานของซอฟท์แวร์ ซึ่งมีสองคำสั่งคือ Open ใช้สำหรับเปิดไฟล์เสียงดนตรีเพื่อนำมาวิเคราะห์และ Close สำหรับจบการทำงาน
2. ส่วนแสดงภาพคลื่นเสียงในขอบเขตเวลา
3. ส่วนแสดงผลสเปคตรัมในขอบเขตความถี่
4. ส่วนแสดงผลจากการประมวลผลการรู้จำระดับเสียงและชนิดเครื่องดนตรีไทย โดยแบ่งหน้าเป็นการแสดงผล 3 ค่าคือ ผลการรู้จำระดับเสียงดนตรีไทย ส่วนการแสดงผลการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทย และส่วนการแสดงผลการวิเคราะห์การรู้จำระดับเสียงโดยเปรียบเทียบผลการรู้จำโดยใช้ลักษณะเด่น 12, 15 และ 17 ลักษณะเด่น



ภาพที่ ก-1 หน้าจอซอฟท์แวร์ระบบรู้จำระดับเสียงและชนิดดนตรีไทย

ผลลัพธ์การประมวลผลของซอฟท์แวร์แสดงดังภาพที่ ก-2 โดยในภาพเป็นผลการวิเคราะห์สัญญาณเสียงของฆ้องวงใหญ่ ระดับเสียง เร



ภาพที่ ก-2 ผลการวิเคราะห์สัญญาณเสียง

ภาคผนวก ข

บทความตีพิมพ์ของผู้วิจัย

ข.1 อัลกอริธึมการรู้จำเสียงและโน้ตดนตรีไทยสำหรับเครื่องดนตรีชิ้นเดียว

▷ อัลกอริทึมการรู้จำเสียงและโน้ตดนตรีไทย
สำหรับเครื่องดนตรีชิ้นเดียว
An Recognition Algorithm of Thai Tradition
Music for Tone and Note of Single Instrument

NCSEC 9th
National Computer Science and Engineering Conference
2005

วีระ ทองไพบูลย์
ไชยันต์ สุวรรณชีวะศิริ
วิทวัส พ่องญาติ
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ถนนพิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร
Email: mrweera@yahoo.com, chaiyan9@yahoo.com, wwp@kmitnb.ac.th

อัลกอริทึมการรู้จำเสียงและโน้ตดนตรีไทยสำหรับเครื่องดนตรีชิ้นเดียว

An Recognition Algorithm of Thai Tradition Music for Tone and Note of Single Instrument

วีระ ทองไพบูลย์ ไชยันต์ สุวรรณชีวะศิริ วิทวัส ผ่องญาติ
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ถนนพิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร
Email: mrweera@yahoo.com, chaiyan9@yahoo.com, wwp@kmitnb.ac.th

บทคัดย่อ

การตั้งเสียงของเครื่องดนตรีนั้นเป็นเรื่องที่สำคัญยิ่งในการบรรเลงจนถึงในยุคปัจจุบันนี้ สำหรับดนตรีไทยนั้นการตั้งเสียงก็ยังต้องทำโดยอาศัยการฟังของผู้เชี่ยวชาญเป็นหลัก นอกจากนี้การที่ไม่มีบาตรฐานที่ชัดเจนในการเขียนโน้ตของเครื่องดนตรีแต่ละชนิด ทำให้การจดบันทึกเพลงในรูปของเอกสารนั้นไม่เป็นที่นิยม ดังนั้นในการศึกษาดนตรีไทยนอกจากต้องอาศัยความจำแล้วยังต้องใช้ทักษะในการฟังเป็นอย่างมากในการที่จะจำแนกเสียงที่ได้ยินออกมาเป็นโน้ตของเครื่องดนตรี งานวิจัยนี้จึงเสนอเครื่องมือที่ช่วยในการรู้จำเสียงดนตรีไทยโดยใช้อัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้น ในการหาขอบเขตของเสียงสำหรับแต่ละโน้ต การวิเคราะห์ความถี่ของเสียง การเปรียบเทียบและการตัดสินใจ จะอาศัยฐานข้อมูลช่วงความถี่ของโน้ตของเครื่องดนตรีจากวงดนตรีไทยหลายๆวง ผลการทดสอบการรู้จำเสียงกับเครื่องดนตรีไทย 7 ชนิดพบว่ามีความถูกต้องเฉลี่ย 94 % และมีความถูกต้องในการรู้จำโน้ตของเพลงเฉลี่ย 85 %

Abstract

Tuning is a very important procedure for music performance. For Thai tradition music, this process relies on listening skill of the experts. Since there is no standard for Thai note for each instrument, documentation is not a favorite way for recording. The learners need, therefore, good memory skill and the capability to recognize the tone. This research proposes a tool for identifying the tone and the notes of Thai traditional music instruments. After colleting data from many bands a data base was created, which is used for determination the note bandwidth, frequency analyzing, and decision making. The results, for 7 kinds of instrument, show that the accuracy for tone recognition is about 94 % and 85% for notes recognition.

1. บทนำ

ดนตรีไทยเป็นมรดกทางวัฒนธรรมที่สำคัญยิ่งของชาติ นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันการสืบทอดจะอยู่ภายใต้การดูแลควบคุมของครูดนตรีผู้ชำนาญในศาสตร์และศิลป์ของดนตรีไทย[1-5] เริ่มตั้งแต่กระบวนการปรับแต่งและเทียบเสียงของเครื่องดนตรีแต่ละชิ้นที่นำมาบรรเลงร่วมกันในวงดนตรีไทย จะอาศัยประสพการณ์ในการฟังเสียงดนตรีของผู้ควบคุมเป็นเครื่องมือในการตรวจวัดและเปรียบเทียบเสียง ส่วนการสืบทอดความรู้ดนตรีและเพลงไทยกระทำโดยการสอนตัวต่อตัวและเรียนรู้โดยตรงจากครูดนตรีไทย ผู้เรียนจะต้องสร้างเสริมทักษะ โดยอาศัยการฟังและจดจำโน้ตเพลงที่ได้รับการถ่ายทอดจากครูเป็นหลัก ประกอบกับผู้เรียนก็ไม่มีเครื่องมืออื่นมาช่วย ทำให้การสืบทอดเป็นไปด้วยความลำบาก

เมื่อเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มีความเจริญก้าวหน้ามากขึ้น หน่วยงานการศึกษาและผู้ดูแลงานด้านศิลปะและดนตรีไทยได้พยายามศึกษาค้นคว้าวิจัยความถี่เสียงดนตรีไทย โดยการรวบรวมผลวิเคราะห์ความถี่เสียงของเครื่องดนตรีไทย เช่นระนาดทุ้มเหล็กจากวงดนตรีหลายสำนัก[2-3] และขลุ่ยเพียงออและระนาดเอกเหล็ก[4] เป็นต้น ซึ่งผลการรวบรวมความถี่เสียงที่ได้แต่ละสำนักมีความแตกต่างกันอยู่บ้าง บทความนี้จึงเสนอการใช้ช่วงความถี่ต่ำสุดถึงสูงสุดที่รวบรวมได้จากงานวิจัยดังกล่าวเป็นฐานข้อมูลที่ใช้ในการรู้จำโน้ตเสียงดนตรีไทย และได้ทำการทดสอบกับเครื่องดนตรีไทยหลายชนิดจากสำนักอื่น รวมถึงการนำเสนออัลกอริทึมการหาขอบเขตของโน้ตเสียงดนตรีไทยในเพลงที่บรรเลงจากเครื่องดนตรีเดี่ยว

2. องค์ประกอบของดนตรีไทย

การวิเคราะห์เสียงของดนตรีไทย ต้องมีความรู้และเข้าใจพื้นฐานของดนตรีไทยตั้งแต่เครื่องและวงดนตรีไทย ตัวโน้ตไทยและมาตราเสียงของดนตรีไทย บทความนี้นำเสนอพื้นฐานดังกล่าวในแง่มุมของการนำเครื่องดนตรีไทยมาวิเคราะห์เพื่อการรู้จำโน้ตเสียงดนตรีไทย โดยมีการพิจารณาในองค์ประกอบต่างๆดังนี้

2.1 เครื่องดนตรีไทย

หน้าที่ของเครื่องดนตรีไทยแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ เครื่องดนตรีและเครื่องประกอบจังหวะ บทความนี้จะกล่าวถึงเฉพาะข้อมูลเบื้องต้นของเครื่องดนตรีสำหรับบรรเลงทำนองที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้เท่านั้น ซึ่งมีทั้งสิ้น 7 ชนิดด้วยกัน คือ ระนาดเอก, ระนาดทุ้ม, ฆ้องวงเล็ก, ฆ้องวงใหญ่, ซออู้, ซอด้วง และขลุ่ยเพียงออ โดยสี่ชนิดแรกเป็นเครื่องตี ระนาดเอกและระนาดทุ้ม ทำจากไม้เนื้อแข็งให้ช่วงความถี่เสียงกว้างประมาณ 3 ช่วงคู่แปดสำหรับระนาดเอกและ 2 ช่วงคู่แปดสำหรับระนาดทุ้ม ส่วนฆ้องวงเล็กและฆ้องวงใหญ่ ทำจากโลหะให้ความกังวานของเสียงมาก ใช้สำหรับบรรเลงทำนองร่วมกับระนาด สำหรับซออู้และซอด้วงเป็นเครื่องสี โครงสร้างหลักประกอบด้วยคันซอ กะโหลกซอและคันชัก เสียงซอเกิดจากการสีระหว่างสายซอที่ขึงติดอยู่กับคันซอและสายคันชัก ส่วนกะโหลกซอนั้นช่วยทำให้เสียงมีความกังวานและสุดท้ายคือขลุ่ยเพียงออเป็นเครื่องเป่าทำจากไม้เช่นไม้ไผ่ ไม้ชิงชันให้ระดับเสียงปานกลาง ความถี่และโน้ตของเครื่องดนตรีแสดงดังตารางผลการรู้จำที่ 2 ถึง 8 และเนื่องจากว่าเสียงโน้ตของดนตรีไทยเป็นเสียงเต็ม ทำให้ดนตรีไทยจึงมีการเล่นเพลงที่สามารถทำให้เสียงสูงหรือต่ำกว่าปกติได้ ดังนั้นการวัดความถี่ของเครื่องดนตรีไทยนั้น ต้องพิจารณาที่มาของเครื่องดนตรีที่จะนำมาวัดความถี่นั้น โดยการตรวจสอบว่าเครื่องดนตรีที่นำมาบรรเลงเป็นเครื่องดนตรีที่ใช้บรรเลงในทาง[1] หรือเป็นวงดนตรีไทยประเภทใดตัวอย่างเช่นวงดนตรีประเภทเครื่องสายหรือวงมโหรี ความถี่เสียงจะต่ำกว่าวงปี่พาทย์ 1 ตัวโน้ต ดังนั้นเพื่อความถูกต้องจึงต้องมีการปรับระดับของความถี่เสียงด้วย

2.2 ตัวโน้ตไทย

ตัวโน้ตเพลงไทยมีการแบ่งเป็นช่วงเสียงคู่แปด (Octave) เหมือนกับดนตรีสากลโดยมีการเรียกชื่อตัวโน้ตดังนี้ โด(Do) เร(Re) มี(Me) ฟา(Fa) ซอล(Sol) ลา(La) ที(Ti) เมื่อครบรอบแล้วก็จะเริ่มที่เสียงโดอีกครั้ง การเขียนสัญลักษณ์ตัวโน้ตที่ครูเพลงยังนิยมเขียนในปัจจุบันอีกชนิดก็คือ ใช้ตัวย่อภาษาไทยแทนสัญลักษณ์ตัวโน้ตเริ่มตั้งแต่ ด, ร, ม, ฟ, ซ, ล และ ท ตามลำดับ กรณีที่โน้ตเพลงอยู่ในช่วงสูงกว่าจะเขียนจุดไว้ข้างบนตัวย่อของโน้ต และตรงกันข้ามถ้าอยู่ในช่วงเสียงที่ต่ำกว่าจะเขียนจุดไว้ด้านล่างตัวย่อ การเขียนโน้ตเพลงไทยมีการแบ่งแต่ละบรรทัดออกเป็น 8 ห้อง แต่ละห้องมีโน้ตขนาด 1 จังหวะอยู่ภายใน 4 ตัวโน้ต ตัวอย่างโน้ตเพลงไทยเพลงแขกบรเทศชั้นเดียวแสดงดังภาพที่ 1

ท่อน ๑

ดลลล	ดลลล	ดชชช	ดลชม	ชมรด	ชดรม	ชลชม	ชมรด

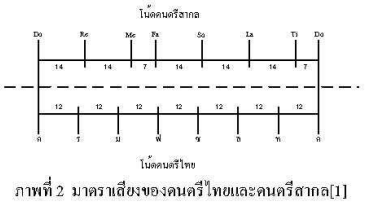
ท่อน ๒

ชมชร	มรดล	ชมชล	ชลดร์	ชมรด	ชดรม	ชลชม	ชมรด

ภาพที่ 1 โน้ตเพลงแขกบรเทศชั้นเดียว

2.3 มาตราเสียงดนตรีไทย

มาตราเสียงของดนตรีไทยคล้ายกับของดนตรีสากล คือมี 7 เสียงเท่ากันตั้งแต่เสียงโดถึงเสียงที ต่างกันที่มาตราเสียงของดนตรีไทยแบ่งช่วงเสียงเท่ากันหมด แต่ของดนตรีสากลจะมีเสียงเต็ม 5 เสียงและมีกึ่งเสียงอยู่ 2 เสียงคือเสียงมีและที[1] ดังภาพที่ 2

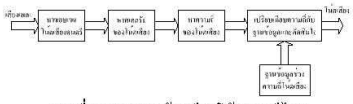


ภาพที่ 2 มาตราเสียงของดนตรีไทยและดนตรีสากล[1]

เมื่อพิจารณาความถี่โน้ตเสียงดนตรีไทยระหว่างช่วงคู่แปด เช่นจากโดไปโดสูง พบว่ามีความถี่เพิ่มเป็น 2 เท่า ดังนั้นเมื่อมาตราเสียงของดนตรีไทยวางตำแหน่ง 7 เสียงโน้ตเท่ากันจึงมีอัตราส่วนระหว่างแต่ละเสียงเท่ากันคือ 1.104089514 [3-4]

3. ระบบการรู้จำโน้ตเสียงดนตรีไทย

ระบบการรู้จำเสียงโน้ตดนตรีไทย แสดงเป็นบล็อกไดอะแกรม ได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ระบบการรู้จำเสียงโน้ตดนตรีไทย

3.1 การหาขอบเขตโน้ตเสียงดนตรี

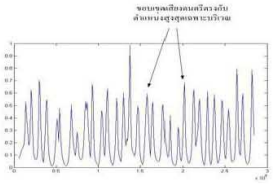
เป็นการหาเส้นแบ่งเขตแต่ละโน้ตเสียงในเพลง โดยใช้อัลกอริทึมที่ 1 ตัวอย่างกราฟผลต่างสเปกตรัมและผลการหาขอบ เขตแสดงในภาพที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

อัลกอริทึมที่ 1 การหาขอบเขตโน้ตเสียงดนตรี

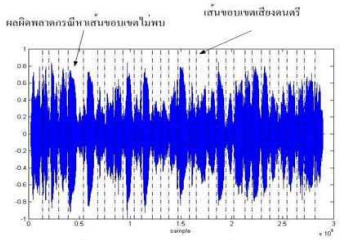
1. คำนวนหาสเปกตรัมของขนาดด้วยวิธีการแปลงฟูริเยร์เต็มหน่วยในช่วงเวลาสั้น (Short-Time DFT) ได้สเปกตรัมของขนาดเฟรมที่ n คือ
   $x_n(k)$ $;0 \le k < N_w, 1 \le n \le N_f$
   เมื่อ N_w คือความกว้างของหน้าต่างแฮมมิ่งขนาด 11025 จุด, N_f คือจำนวนเฟรมโดยระยะห่างระหว่างเฟรมเท่ากับ 1000 จุด และความถี่แซมปลิ้งเท่ากับ 44100 Hz
2. นอร์มอลไลซ์สเปกตรัมของขนาด $\hat{x}_n(k) = \dfrac{x_n(k)}{\max(x_n(k))}$, $1 \le n \le N_f$
3. คำนวนผลต่างสเปกตรัมของขนาดในเฟรมที่ติดกัน $E_n = \left\| \hat{x}_{n+1}(k) - \hat{x}_n(k) \right\|_2$; $1 \le n \le (N_f - 1)$
4. หาตำแหน่งสูงสุดเฉพาะบริเวณของผลต่างสเปกตรัมจะตรงกับขอบเขตของโน้ตเสียง
   $S(j) = b + \left\lfloor \dfrac{w}{2} \right\rfloor$ if $\underset{b \le i < (b+w)}{\arg\max}\, E(i) = b + \left\lfloor \dfrac{w}{2} \right\rfloor$
   เมื่อ $1 \le b \le (N_f - w + 1)$, $1 \le j \le N_S$
   N_s คือจำนวนเส้นขอบเขตของโน้ตเสียง
   w คือจำนวนเฟรมเฉพาะบริเวณที่พิจารณา เป็นเลขที่

3.2 การหาสเปคตรัมและความถี่โน้ตเสียง

หลังจากที่ได้ขอบเขตของโน้ตเสียงแล้ว ก็จะนำเสียงในแต่ละขอบเขตไปหาสเปคตรัมของขนาด บนสเปคตรัมตำแหน่งของความถี่ที่มีขนาดสูงสุดจะเป็นความถี่ของโน้ตเสียง [4]



ภาพที่ 4 กราฟผลต่างสเปคตรัม



ภาพที่ 5 ผลการหาขอบเขตโน้ตเสียงดนตรี
ของอัลกอริทึมในงานวิจัยนี้

3.3 ฐานข้อมูลช่วงความถี่เสียง

จากผลการวิเคราะห์และรวบรวมความถี่เสียงดนตรีไทยของระนาดทุ้มเหล็กจากหลายๆสำนัก ซึ่งเป็นเครื่องดนตรีของวงปี่พาทย์ [3] สามารถสรุปเป็นช่วงความถี่ของโน้ตเสียงได้ดังตารางที่ 1

ลำดับที่	โน้ต	ช่วงความถี่รวบรวม	ช่วงความถี่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้
8	ท	220.6-241.5	221.9-243.1
9	ด	244.6-270.8	243.1-270.1
10	ร	269.4-300.3	270.1-297.8
11	ม	295.3-331.7	297.8-328.0
12	ฟ	324.3-367.9	328.0-364.1
13	ซ	360.3-407.8	364.1-402.7
14	ล	397.5-446.2	402.7-443.8

ตารางที่ 1 ช่วงความถี่เสียงดนตรีไทยที่รวบรวม
จากหลายสำนัก

เนื่องจากช่วงความถี่ที่รวบรวมอาจมีความถี่สูงสุดมากหรือน้อยกว่าความถี่ต่ำสุดในขั้นเสียงถัดไป ดังนั้นเพื่อให้ค่าตรงกันจึงทำการเฉลี่ยค่าดังกล่าว ได้เป็นค่าความถี่ที่ใช้งานวิจัยนี้ สำหรับความถี่ในช่วงคู่แปดที่สูงหรือต่ำกว่านี้ก็จะทำการคูณช่วงด้วยสองหรือหารด้วยสองตามลำดับ

3.4 การเปรียบเทียบความถี่ฐานข้อมูลและตัดสินใจ

เมื่อได้ความถี่เสียงดนตรีก็นำมาเปรียบเทียบกับช่วงความถี่ในฐานข้อมูล จะสามารถทราบโน้ตเสียงได้แต่กรณีที่เสียงดนตรีมาจากวงเครื่องสายหรือมโหรีจะต้องเลื่อนโน้ตขึ้นไปอีก 1 เสียงเสมอ[1]

4. ขั้นตอนและผลการทดลอง

การทดลองการรู้จำโน้ตเสียงดนตรีไทยในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องดนตรีไทยจากสองสำนักคือของวงดนตรีสิทธิ์ สมนาค ดนตรีไทย และชมรมดนตรีไทยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ การทดลองแบ่งเป็นสองส่วนคือการรู้จำโน้ตเสียงของเครื่องดนตรีบรรเลงทำนอง และการรู้จำโน้ตเสียงเพลงไทย การเก็บบันทึกเสียงดนตรีจะทำในสภาวะแวดล้อมที่เงียบ โดยใช้ความถี่แซมปลิ้งเท่ากับ 44100 Hz. และความละเอียด 16 บิต

4.1 การรู้จำโน้ตเสียงของเครื่องดนตรี

การทดลองได้ใช้เครื่องดนตรีประเภทบรรเลงทำนอง 7 ชนิดคือระนาดเอกจำนวน 4 ราง, ระนาดทุ้ม 2 ราง, ฆ้องวงใหญ่ 2 วง, ฆ้องวงเล็ก 2 วง, ซออู้ 2 คัน, ซอด้วง 2 คัน และขลุ่ยเพียงออ 2 เลา ทำการบรรเลงโน้ตดนตรีจากเสียงต่ำสุดไปสูงสุดแบบไม่ต่อเนื่องคือมีช่องว่างระหว่างโน้ตเสียงแต่ละโน้ตโดยเครื่องดนตรีแต่ละชนิดบรรเลงทั้งหมด 5 รอบ จากนั้นนำข้อมูลเสียงทุกชุดไปทดสอบการรู้จำโน้ตเสียง ผลการรู้จำแสดงในตารางที่ 2 – 8 กรณีที่ผลการรู้จำถูกต้องจะมีการบันทึกความถี่ของโน้ตเสียงลงในตาราง

เสียงโน้ต	ความถี่ที่วัดได้			ค่าความถี่มาตรฐาน	ผลการทดสอบเสียงโน้ต(%)
	Min	Max	Average		
ซอล	170	174	172	164.0-182.0	85
ลา	185	188	186	182.0-201.3	85
ที	200	210	209	201.3-221.9	85
โด	228	231	229	221.9-243.1	95
เร	253	256	254	243.1-270.1	100
มี	277	280	278	270.1-297.8	100
ฟา	305	307	306	297.8-328.0	90
ซอล	343	345	343	328.0-364.1	100
ลา	375	377	376	364.1-402.7	100
ที	411	413	412	402.7-443.8	100
โด	457	459	458	443.8-486.2	100
เร	505	508	506	486.2-540.2	100
มี	561	563	562	540.2-595.6	100
ฟา	610	613	611	595.6-656.0	100
ซอล	683	685	683	656.0-728.2	100
ลา	758	761	760	728.2-805.4	100
ที	841	844	843	805.4-887.6	100
โด	927	929	928	887.6-972.4	100
เร	1026	1030	1029	972.4-1080.4	100
มี	1138	1143	1141	1080.4-1191.2	100
ฟา	1245	1248	1246	1191.2-1312	100
ซอล	1375	1381	1380	1312.0-1456.4	100

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความถี่และรู้จำโน้ตเสียง
ของระนาดเอก

เสียงโน้ต	ความถี่ที่วัดได้			ค่าความถี่มาตรฐาน	ผลการทดสอบเสียงโน้ต(%)
	Min	Max	Average		
มี	136	139	137	135.0-148.9	60
ฟา	150	158	154	148.9-164.0	70
ซอล	164	180	168	164.0-182.0	60
ลา	185	188	186	182.0-201.3	100
ที	206	208	207	201.3-221.9	100
โด	229	234	231	221.9-243.1	100
เร	252	256	253	243.1-270.1	100
มี	279	282	280	270.1-297.8	100
ฟา	309	312	311	297.8-328.0	100
ซอล	340	344	342	328.0-364.1	100
ลา	374	378	376	364.1-402.7	100
ที	412	416	414	402.7-443.8	100
โด	453	459	455	443.8-486.2	100
เร	509	512	510	486.2-540.2	100
มี	565	574	567	540.2-595.6	100
ฟา	626	630	627	595.6-656.0	100
ซอล	686	690	688	656.0-728.2	100

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความถี่และรู้จำโน้ตเสียง
ของระนาดทุ้ม

เสียงโน้ต	ความถี่ที่วัดได้			ค่าความถี่มาตรฐาน	ผลการทดสอบเสียงโน้ต(%)
	Min	Max	Average		
โด	450	455	452	443.8-486.2	100
เร	500	507	502	486.2-540.2	100
มี	543	565	550	540.2-595.6	100
ฟา	610	614	611	595.6-656.0	100
ซอล	676	692	680	656.0-728.2	100
ลา	744	773	755	728.2-805.4	100
ที	829	847	840	805.4-887.6	100
โด	920	932	925	887.6-972.4	100
เร	1014	1029	1020	972.4-1080.4	100
มี	1110	1139	1120	1080.4-1191.2	100
ฟา	1228	1230	1229	1191.2-1312	100
ซอล	1340	1382	1355	1312.0-1456.4	100
ลา	1527	1543	1530	1456.4-1610.8	100
ที	1675	1680	1679	1610.8-1775.2	100
โด	1840	1867	1851	1775.2-1944.8	100
เร	2070	2094	2080	1944.8-2160.8	100
มี	2295	2305	2301	2160.8-2382.4	100
ฟา	2518	2571	2542	2382.4-2624.0	100

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความถี่และรู้จำโน้ตเสียง
ของฆ้องวงเล็ก

เสียงโน้ต	ความถี่ที่วัดได้			ค่าความถี่มาตรฐาน	ผลการทดสอบเสียงโน้ต(%)
	Min	Max	Average		
มี	277	285	280	270.1-297.8	80
ฟา	303	313	308	297.8-328.0	90
ซอล	338	342	340	328.0-364.1	90
ลา	371	374	372	364.1-402.7	100
ที	410	415	412	402.7-443.8	100
โด	456	460	458	443.8-486.2	100
เร	501	509	505	486.2-540.2	100
มี	558	561	559	540.2-595.6	100
ฟา	615	628	620	595.6-656.0	80
ซอล	682	686	684	656.0-728.2	100
ลา	754	757	755	728.2-805.4	100
ที	833	840	836	805.4-887.6	100
โด	930	937	933	887.6-972.4	100
เร	1010	1029	1019	972.4-1080.4	100
มี	1129	1140	1134	1080.4-1191.2	100
ฟา	1252	1268	1262	1191.2-1312	100

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความถี่และรู้จำโน้ตเสียง
ของฆ้องวงใหญ่

เสียงโน้ต	ความถี่ที่วัดได้			ค่าความถี่มาตรฐาน	ผลการทดสอบเสียงโน้ต(%)
	Min	Max	Average		
โด	225	236	233	221.9-243.1	80
เร	250	262	258	243.1-270.1	90
มี	275	288	285	270.1-297.8	80
ฟา	301	320	346	297.8-328.0	100
ซอล	338	349	254	328.0-364.1	100
ลา	384	388	385	364.1-402.7	100
ที	415	419	416	402.7-443.8	100
โด	460	478	474	443.8-486.2	100
เร	501	515	508	486.2-540.2	90

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความถี่และรู้จำโน้ตเสียง
ของซออู้

เสียงโน้ต	ความถี่ที่วัดได้			ค่าความถี่มาตรฐาน	ผลการทดสอบเสียงโน้ต(%)
	Min	Max	Average		
ซอล	1359	1380	1368	1312.0-1456.4	90
ลา	1507	1533	1525	1456.4-1610.8	80
ที	1633	1680	1655	1610.8-1775.2	70
โด	1780	1790	1785	1775.2-1944.8	70
เร	2093	2109	2102	1944.8-2160.8	100
มี	2307	2356	2330	2160.8-2382.4	80
ฟา	2513	2555	2535	2382.4-2624.0	80
ซอล	2740	2780	2762	2624.0-2912.8	80
ลา	2975	3050	3015	2912.8-3221.6	70

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความถี่และรู้จำโน้ตเสียง
ของซอด้วง

เสียงโน้ต	ความถี่ที่วัดได้			ค่าความถี่มาตรฐาน	ผลการทดสอบเสียงโน้ต(%)
	Min	Max	Average		
โด	460	476	466	443.8-486.2	100
เร	509	536	518	486.2-540.2	90
มี	564	587	575	540.2-595.6	90
ฟา	619	648	640	595.6-656.0	100
ซอล	680	699	687	656.0-728.2	100
ลา	743	762	755	728.2-805.4	100
ที	822	840	830	805.4-887.6	100
โด	920	938	930	887.6-972.4	100

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความถี่และรู้จำโน้ตเสียง
ของขลุ่ยเพียงออ

4.2 การรู้จำเพลงไทย

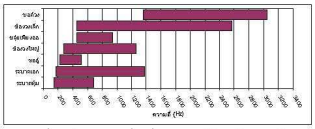
การทดลองคล้ายกับการรู้จำโน้ตเสียงของเครื่องดนตรี เพียงแต่ต่างกันตรงที่จะบรรเลงตามโน้ตและจังหวะของเพลง ดังนั้น ข้อมูลเสียงดนตรีที่บันทึกได้จะมีความต่อเนื่องของโน้ตเสียงตามจังหวะของเพลง การทดสอบจะเลือกใช้เฉพาะเครื่องดนตรีบรรเลงทำนองหลักประเภทเครื่องตี, สี และเป่า อย่างละชนิดคือ ระนาดเอก, ซอสี และขลุ่ยเพียงออ ทำการบรรเลงเดี่ยวโดยเพลงไทยที่ใช้บรรเลงคือเพลงแขกบรเทศชั้นเดียว โน้ตเพลงแสดงดังภาพที่ 1 ผลการรู้จำดังตารางที่ 9

ชนิดเครื่องดนตรี	ผลการแบ่งขอบเขต	ผลการรู้จำโน้ตเพลง
ระนาดเอก	90	87
ซอสี	96	86
ขลุ่ยเพียงออ	85	82

ตารางที่ 9 ผลการรู้จำโน้ตเพลง

5. สรุปผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ข้อดีของการรู้จำโน้ตเสียงดนตรีไทยของงานวิจัยนี้คือไม่ต้องทำการสอนระบบให้เรียนรู้โน้ตเสียง เหมือนระบบการรู้จำทั่วๆไป แต่ใช้การรวบรวมผลวิเคราะห์ความถี่โน้ตเสียงจากสำนักต่างๆในงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นความรู้และเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลอ้างอิงของระบบ ผลการรู้จำโน้ตเสียงของเครื่องดนตรีไทยถูกต้องเฉลี่ยถึง 94 % โดยโน้ตเสียงที่มีการรู้จำผิดพลาดเกิดจากสาเหตุหลัก 2 ประการคือ 1. เสียงที่บันทึกไว้เป็นเสียงบอด หรือไม่ชัดเจนที่เกิดจากการบรรเลงของผู้เล่นทำให้บนสเปคตรัมมีความถี่อื่นเด่นกว่าความถี่ของโน้ตเสียงมักเกิดกับโน้ตที่มีความถี่ต่ำ ถ้ามีการบรรเลงใหม่ให้ถูกต้องก็จะให้ผลรู้จำถูกต้องด้วย และ 2.เกิดจากการใช้ช่วงความถี่คงที่บนโน้ตเสียงดนตรีไทยที่พบส่วนใหญ่เป็นฐานข้อมูลอ้างอิงซึ่งอาจจะมีบางโน้ตเสียงที่มีความถี่ก้ำกึ่งระหว่างช่วงความถี่ของโน้ตเสียงที่อยู่ติดกันทำให้ผลการรู้จำผิดไป 1 เสียงช่วงความถี่เสียงของเครื่องดนตรีไทยที่ใช้ในงานวิจัยนี้สรุปได้ในภาพที่ 6 สำหรับผลการรู้จำโน้ตเพลงความถูกต้องเฉลี่ย 85 % ซึ่งต่ำกว่าผลการรู้จำโน้ตเสียงของเครื่องดนตรีไทย เพราะรวมผลผิดพลาดจากการหาขอบเขตโน้ตเสียงไว้ด้วย



ภาพที่ 6 ช่วงความถี่เครื่องดนตรีไทยในงานวิจัย

6 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดเตรียมเสียงดนตรีไทยโดยเฉพาะคุณสุธี จันทร์สุกศรี คุณสุรพล อยู่ชั่วกัลป์ บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด(มหาชน) ช่วยอำนวยความสะดวกและจัดหาเครื่องมือสำหรับการบันทึกเสียง คุณสิทธิพงษ์ เพ็งพาณิช นักศึกษาปริญญาเอกและสมาชิกชมรมดนตรีไทยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และครูสิทธิ์ สมนาค ผู้ควบคุมวงดนตรี สิทธิ์ สมนาคดนตรีไทยในความสนับสนุนของเขตราษฎร์บูรณะ กรุงเทพมหานคร ช่วยทำการบรรเลงเพลงจากเครื่องดนตรีไทยและข้อมูลความรู้ในศาสตร์และศิลป์ของดนตรีไทยพร้อมทั้งตอบข้อสงสัยต่างๆ รวมถึงเพื่อนนักศึกษาชมรมดนตรีไทย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ช่วยในการเก็บตัวอย่างเสียงดนตรีไทย

7 บรรณานุกรม

[1] ศ.ดร.อุทิศ นาคสวัสดิ์, "ทฤษฎีและหลักปฏิบัติดนตรีไทย ภาค1," โรงพิมพ์บริษัท ศิริวิทย์ จำกัด กรุงเทพมหานคร, 2530

[2] บุญช่วย โสวัตร, "ความถี่ของเสียงดนตรีไทยโดยพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว," วารสารจุฬาวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ธันวาคม, 2542

[3] บุญช่วย โสวัตร "ความถี่ของเสียงดนตรีไทยโดยพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว," วารสารจุฬาวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, มกราคม, 2543

[4] นท.สราวุฒิ สุจิตรจร, "การวิเคราะห์เสียงดนตรีไทย," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2545

[5] ฉัชชา โสตถิยานุรักษ์, "ทฤษฎีดนตรี," สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2548

ข.2 การระบุชนิดเครื่องดนตรีไทยโดยใช้ลักษณะเด่นของเสียงดนตรีและโครงข่ายประสาทเทียม

National Computer Science and Engineering Conference (NCSEC 2006)
25-27 October 2006

P41

การระบุชนิดเครื่องดนตรีไทยโดยใช้ลักษณะเด่นของเสียงดนตรี และโครงข่ายประสาทเทียม

An Identification of Thai Traditional Musical Instruments by Feature Extraction using Neural Network

วีระ ทองไพบูลย์ ไชยันต์ สุวรรณชีวะศิริ วิทวัส ผ่องญาติ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ถนนพิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร

Email: mrweera@yahoo.com, chaiyan9@yahoo.com, witthawas@gmail.com

Abstract

Engineering researches in the filed of western music have got developed for a long time, and then the progress of technology have more than Thai Traditional Music. In order that culture and society have differences, Thai traditional music will be used benefit a few of new technologies. For the promotion of engineering research of Thai traditional music, This paper present the method to developed a recognition algorithm for 7 Thai traditional musical instruments by analyzing the wave properties of Thai traditional music, for feature extraction we're used 12, 15 and 17 features for recognition by neural network. Feature 12 showed an accuracy rate of 84%. However the system failed to distinguish between instruments with similar note scales. Finally feature 15 and 17 result in accuracy rates of up to 85% and 87%. The overall results show improvement of feature extraction of neural network in instruments sharing closely related note scale.

บทคัดย่อ

งานวิจัยทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับดนตรีสากลได้รับการพัฒนามาเป็นเวลานาน ทำให้มีความก้าวหน้าในด้านเทคโนโลยีมากกว่าดนตรีไทย ทั้งนี้เนื่องจากวัฒนธรรมและประเพณีที่แตกต่างกัน การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อใช้ในงานดนตรีไทยเป็นไปอย่างจำกัด เพื่อเป็นการส่งเสริมการวิจัยด้านวิศวกรรมของดนตรีไทย บทความนี้นำเสนอแนวทางการพัฒนาระบบการรู้จำเครื่องดนตรีไทยจำนวน 7 ชนิด วิธีการดำเนินการเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติของคลื่นเสียงดนตรีไทยเพื่อตรวจจับลักษณะเด่น การทดลองใช้ลักษณะเด่นของเสียงดนตรีจำนวน 12 และ 17 จุดเพื่อทำการรู้จำด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ผลการทดลองเมื่อใช้ลักษณะเด่น 12 จุด จะได้ความถูกต้องการรู้จำสูงสุด 84 % ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากการจำแนกเสียงจากเครื่องดนตรีที่มีโครงสร้างและมีระดับเสียงคล้ายกัน เมื่อทดลองเพิ่มลักษณะเด่นเป็น 15 และ 17 จุด จะให้ความถูกต้องการรู้จำสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น 85 % และ 87 % ตามลำดับ และสามารถแก้ไขข้อบกพร่องการรู้จำที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี

1. บทนำ

ดนตรีสากลมีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง มีความทันสมัยตลอดเวลา ทั้งนี้เพราะมีการนำเสนอผลงานวิจัยที่วิเคราะห์คุณสมบัติของสัญญาณเสียงดนตรีออกมาอย่างมากมาย ทำให้สามารถระบุมาตรฐานของความถี่ระดับเสียงอ้างอิง[1] วิเคราะห์และสังเคราะห์ลักษณะรูปแบบของสัญญาณ เสียง [2และ3], คุณภาพของระดับเสียง [4] การรู้จำเสียงดนตรี[5] ทำให้ดนตรีสากลสามารถนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้สูงสุด มีการพัฒนาจัดสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ของดนตรีสากลจากระบบคอมพิวเตอร์ขึ้นมาใช้งานหลายชนิด รวมไปถึงพัฒนาการด้านการสร้างสื่อการเรียนการสอนในรูปแบบทันสมัย ต่างกับดนตรีไทยที่ไม่ได้รับความสนใจในการวิเคราะห์คลื่นเสียงจากนักวิจัยของไทยมากนัก ทำให้การพัฒนาดนตรีไทยมีผลงานออกมาน้อยและอยู่ในวงจำกัด

บทความนี้นำเสนอแนวทางการพัฒนาระบบการรู้จำเครื่องดนตรีไทยโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม เป็นการหาจุดเด่นของคลื่นเสียงดนตรีไทยเพื่อใช้สำหรับระบุชนิดเครื่องดนตรีไทย ใช้เครื่องดนตรีไทยจำนวน 7 ชนิด ประกอบด้วย ฆ้องวงเล็ก, ฆ้องวงใหญ่, ระนาดเอก, ระนาดทุ้ม, ซออู้, ซอด้วง และขลุ่ยเพียงออ การบันทึกเสียงกระทำในสภาพแวดล้อมที่เงียบ การบรรเลงของเสียงดนตรีกระทำแบบเสียงไม่ต่อเนื่อง ตัวอย่างเสียงของดนตรีในแต่ละชนิดมีจำนวนการบรรเลงระดับเสียงละ 20 ครั้ง และบันทึกเสียงดนตรีในรูปแบบไฟล์คอมพิวเตอร์ไฟล์ละ 1 เสียง ความถี่การแซมปลิ้ง 44100 Hz ความละเอียด 16 บิต

NCSEC 2006

2. เครื่องดนตรีไทย

เครื่องดนตรีไทยแบ่งตามลักษณะการบรรเลงได้ 4 ประเภท คือเครื่องดนตรีประเภทเครื่องดีด, เครื่องสี, เครื่องตี และเครื่องเป่า หรือแบ่งตามโครงสร้างและวัสดุที่นำมาสร้างเป็นเครื่องดนตรีไทยพบว่ามีการสร้างจากไม้ หนังสัตว์ และโลหะ เป็นต้น บทความนี้จะกล่าวถึงเครื่องดนตรีเฉพาะที่ใช้สำหรับการทดลองจำนวน 7 ชนิดดังนี้

2.1 ฆ้องวงใหญ่ เป็นเครื่องดนตรีประเภทเครื่องตีมีเสียงกังวาน ส่วนประกอบที่สำคัญคือวงฆ้องและลูกฆ้อง วงฆ้องทำด้วยหวายโป่งจำนวน 4 เส้นขดเป็นวงขนานกันโดยเว้นส่วนที่เป็นทางเดินเข้าไป ลูกฆ้องทำด้วยโลหะจำนวน 16 ลูกเรียงตามขนาดจากลูกใหญ่ไปลูกเล็ก ไม้ตีทำด้วยหนังสัตว์ตัดเป็นวงกลม ระดับเสียงของฆ้องวงใหญ่เริ่มที่เสียง **"มี"** ถึงเสียง **"ซอล"**

2.2 ฆ้องวงเล็ก เป็นเครื่องดนตรีประเภทเครื่องตี ลักษณะและโครงสร้างคล้ายกับฆ้องวงใหญ่ ต่างกันที่มีขนาดเล็กกว่า มีลูกฆ้องจำนวน 18 ลูก และมีเสียงสูงกว่าระดับเสียงฆ้องวงเล็กเริ่มที่เสียง **"โด"** ถึงเสียง **"ฟา"**

2.3 ระนาดเอก เป็นเครื่องดนตรีประเภทตี โครงสร้างประกอบด้วยลูกระนาด ทำจากไม้เนื้อแข็งหรือไม้ไผ่บงจำนวน 21-22 ลูก ร้อยด้วยเชือกเรียงตามความยาวของลูกระนาดลดหลั่นลงไปตามความยาวจนเป็นผืนระนาด แขวนบนรางระนาดที่ทำจากไม้เนื้อแข็งมีลักษณะรูปร่างคล้ายเรือหน้าที่เป็นกล่องเสียงของระนาด สำหรับไม้ตีระนาดมีสองชนิดคือไม้นวมและไม้แข็ง ไม้นวมทำจากผ้าแล้วถักพันด้วยเส้นด้าย ส่วนไม้แข็งทำจากผ้าอย่างแน่นแล้วชุบด้วยรักจนมีความแข็ง ระดับเสียงระนาดเอกเริ่มที่เสียง **"ซอล"** ถึงเสียง **"ซอล"** จำนวน 3 ช่วงคู่แปด

2.4 ระนาดทุ้ม เป็นเครื่องดนตรีไทยที่สร้างเลียนแบบระนาดเอก มีระดับเสียงทุ้มต่ำเพื่อเล่นคู่กับระนาดเอกที่มีเสียงสูง ลูกระนาดมีขนาดกว้างและยาวกว่าของระนาดเอกจำนวน 16-17 ลูก ตัวรางเป็นรูปคล้ายหีบไม้แต่เว้ากลาง มีโขนปิดหัวท้าย มีเท้าอยู่สี่มุมด้านล่าง ไม้ตีคล้ายกับไม้นวมของระนาดเอกแต่มีขนาดใหญ่กว่า ระดับเสียงระนาดทุ้มเริ่มจากเสียง **"มี"** ถึงเสียง **"ซอล"**

2.5 ซอด้วง เป็นเครื่องดนตรีประเภทเครื่องสี ให้เสียงสูงแหลม ส่วนประกอบคือ กระบอกเป็นส่วนที่อุ้มเสียงให้เกิดกังวาน ทำด้วยไม้เนื้อแข็งหรืองาช้าง ด้านหน้าของกระบอกขึงปิดด้วยหนังสัตว์ ก้านซอทำด้วยไม้หรืองาช้าง ลักษณะกลมยาวสอดปักที่กระบอก และที่ปลายอีกด้านมีลูกบิดเสียบอยู่โดยที่ปลายลูกบิดเจาะรูไว้สำหรับร้อยสายซอเพื่อขึงให้ตึงตามที่ต้องการ โดยมีหย่องเป็นไม้ชิ้นเล็กใช้หนุนสายซอให้พ้นขอบกระบอกและเป็นตัวรับแรงสั่นสะเทือนจากสายซอไปสู่หน้าซอ ก้นชักทำด้วยไม้เนื้อแข็งหรืองาช้างโดยมีหมุดสำหรับให้เส้นหางม้าคล้อง อีกด้านหนึ่งเจาะรูไว้ร้อยเส้นหางม้า ประมาณ 250 เส้น สอดเส้นหางม้าให้อยู่ภายในระหว่างสายเอกกับสายทุ้ม ระดับเสียงของซอด้วงมี 9 เสียงตั้งแต่เสียง **"ซอล"** ถึงเสียง **"ลา"**

2.6 ซออู้ เป็นเครื่องดนตรีประเภทเครื่องสี เป็นซอที่มีเสียงทุ้มกังวาน โครงสร้างและลักษณะคล้ายซอด้วง ต่างกันที่กะโหลกซอทำด้วยกะลามะพร้าวพันธุ์พิเศษ หน้าซอขึงปิดด้วยหนังวัวหรือหนังแพะ ระดับเสียงซออู้มี 9 เสียงเริ่มจากเสียง **"โด"** ถึงเสียง **"เร"**

2.7 ขลุ่ยเพียงออ เป็นเครื่องดนตรีประเภทเครื่องเป่า โครงสร้างประกอบด้วย เลาขลุ่ยคือส่วนที่เป็นตัวขลุ่ยทำจากไม้รวก ไม้ชิงชัน โดยมีดากขลุ่ยทำหน้าที่เป็นไม้อุดปากขลุ่ยทำจากไม้สักทองเหลากลมให้คับแน่นกับร่องภายในของปากขลุ่ยฝานให้เป็นช่องว่างลาดเอียงตลอดชิ้นเพื่อให้เป่าลมผ่านเข้าไปทางรูเป่าซึ่งเป็นรูสำหรับเป่าลมเข้าไป รูปากนกแก้วเป็นรูสี่เหลี่ยมทำหน้าที่เป็นร่องรับลม ทำให้เกิดเสียงขลุ่ย และมีรูบังคับเสียงเป็นรูที่เจาะเรียงอยู่ด้านบนของเลาขลุ่ยจำนวน 7 รู ระดับเสียงของขลุ่ยมี 12เสียงเริ่มจากเสียง **"โด"** ถึงเสียง **"ซอล"**

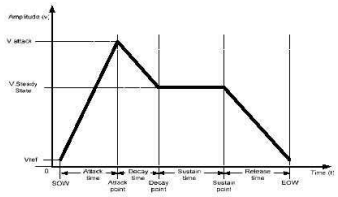
3. ลักษณะเด่นของเสียงดนตรีไทย

ลักษณะเด่นของเสียงดนตรีไทยในงานวิจัยนี้แบ่งการพิจารณาสัญญาณเสียงดนตรีไทยเป็นสองส่วนด้วยกัน คือ ลักษณะเด่นของรูปคลื่นในแกนเวลา (Time Domain) และลักษณะเด่นในแกนความถี่ (Frequency Domain) การพิจารณาตรวจจับลักษณะเด่นของแต่ละส่วนมีดังนี้

3.1 ลักษณะเด่นในแกนเวลา

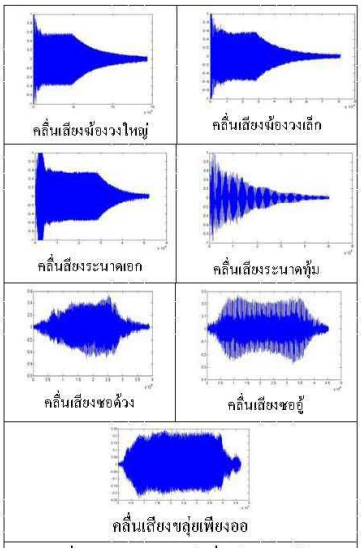
การตรวจจับลักษณะเด่นของคลื่นเสียงดนตรีไทยตามแกนเวลา เป็นการนำคลื่นเสียงมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของคลื่นเสียงดนตรีไทยโดยใช้หลักการของเครื่องดนตรีที่มีวิธีการบรรเลงและโครงสร้างทางวัสดุต่างกันจะให้ลักษณะทางไฟฟ้าของเสียงที่ต่างกัน ลักษณะเด่นในแกนเวลาที่ใช้มีดังนี้

3.1.1 Duration Time เป็นค่าช่วงเวลาของคลื่นเสียงดนตรีตั้งแต่จุด SOW (Start of Wave) ถึงจุด EOW (End of Wave) ลักษณะเด่นนี้เป็นการใช้คุณสมบัติจากเครื่องดนตรีที่มีโครงสร้างต่างกัน จะมีค่าช่วงเวลาของคลื่นเสียงต่างกัน ในการวัดค่าช่วงเวลาใช้จุดเปรียบ เทียบสัญญาณ (V_{ref}) โดยเปรียบเทียบระดับสัญญาณเสียง ดนตรีที่มีค่ามากกว่าระดับสัญญาณรบกวนเป็นค่าอ้างอิง



ภาพที่ 1 แสดงการแบ่งช่วงเวลาของเสียงดนตรีไทย

3.1.2 ขอบสัญญาณ ADSR (ADSR Envelop) เป็นลักษณะเด่นที่ได้จากรูปร่างของคลื่นเสียงดนตรีไทย โดยเครื่องดนตรีแต่ละชนิดจะมีการสร้างรูปแบบของ ADSR ต่างกัน โดยทั่วไปเสียงดนตรีจะจัดแบ่งขอบสัญญาณออกเป็น 4 ช่วงด้วยกันคือ Attack time, Decay time, Sustain time และ Release time[2] ดังภาพที่ 1 ในภาพจะแสดงเฉพาะคลื่นเสียงเฉพาะครึ่งบวก (Half wave) จากการจัดแบ่งคาบเวลาของเสียงดนตรีไทย เปรียบเทียบกับตัวอย่างของเสียงดนตรีจากเครื่องดนตรีไทยในภาพที่ 2 จะพบว่าคาบเวลาต่างๆของรูปคลื่นของเครื่องดนตรีไทยแต่ละชนิดอาจมีสถานะคาบเวลาต่างๆไม่ครบทุกช่วงเวลา เช่นเครื่องดนตรีบางประเภทหรือบางเสียงอาจมีช่วงเวลาขาขึ้น (Attack) และขาลง (Release) เท่านั้น



ภาพที่ 2 แสดงสัญญาณรูปคลื่นเสียงดนตรีไทย

วิธีการตรวจจับลักษณะเด่นของคาบเวลา ADSR กระทำโดยการเปรียบเทียบค่าแอมปลิจูดของสัญญาณตามภาพที่ 1 โดยเริ่มตรวจจับที่คาบเวลา Attack time เริ่มที่ SOW จนถึง V_{max} Decay time จาก V_{max} จนถึง Vs Sustain time เริ่มจาก Vs จนกระทั่งสัญญาณจุดที่สัญญาณเริ่มลดระดับ และ Release time เริ่มจากจุดที่สัญญาณลดระดับจนถึงจุด EOW ลักษณะเด่นของ ADSR เป็นการตรวจจับทั้งค่าเวลาและค่าแอมปลิจูดที่จุดตรวจจับดังนั้นจึงได้จุดเด่นของสัญญาณ ADSR ทั้งหมด 6 จุดเด่นคือ Attack time, Decay Time, Sustain Time, Release Time, Attack Amplitude และ Sustain Amplitude การตรวจจับสัญญาณแต่ละช่วงแสดงดังอัลกอริทึมที่ 1

อัลกอริทึมที่ 1 การหาลักษณะเด่นตามแกนเวลา

```
1. ตรวจจับสัญญาณอ้างอิง
    SOW ← |y(t)| > Vref
    EOW ← |y(t) < Vref
    Duration Time ← EOW – SOW
2. สร้างขอบสัญญาณ Envelope Signal
    L ← length[y]
    step←L/100
    while i < L
        j←1 to step
        do copy Env(i+j) ← max(y(i)) ;
        i ← i+step
3. ตรวจจับช่วงเวลา Attack
    i←SOW
    do repeat i←i+1
      vref ←Env(i)
      tp← do Average(i to i+step)
    until vref > tp
    AP ← i
    Av ←y(i)
    t ime← i – SOW
4. ตรวจจับช่วงเวลา Release
    i←EOW
    do repeat i←i-1
      vr ←Env(i)
      tp← do Average(i to i-step)
    until vr > tp
    RP ← i
    Rv ←y(i)
    time← EOW-i
5. ตรวจจับ Sustain time
    if AP < RP
    i←RP
    vref ←Env(i)
      do repeat i←i-1
              tp← do Average(i to i-step)
      until vref/tp > 0.8 to1.2
    SP ← i
    time← RP-i
6. ตรวจจับ Decay time
     if AP < SP
     i←AP
     do repeat i←i+1
              vref ←Env(i)
              tp← do Average(i to i+step)
        until vref = tp
    SP ← i
    Time← RP-i
```

3.1.3 ค่า rms เป็นการหาค่า rms คลื่นเสียงดนตรีไทยตั้งแต่จุด SOW จนถึง EOW โดยหาได้จากการคำนวณสัญญาณเสียงตาม (1)

$$rms = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1} x[k]^2} \qquad (1)$$

เมื่อ x(k) เป็นฟังก์ชั่นของคลื่นเสียงดนตรีไทย และ N เป็นจำนวนจุดตัวอย่างคลื่นเสียงดนตรีไทย

3.2 ลักษณะเด่นของรูปคลื่นในแกนความถี่

ดนตรีสากลกำหนดค่าความถี่สำหรับอ้างอิงเป็นเสียง **"ลา"** ช่วงคู่แปดลำดับที่ 5 (A4) กำหนดค่าความถี่ 440Hz [1] และสามารถคำนวนหาความสัมพันธ์ของความถี่ในระดับเสียงได้ตามสมการที่ (2)

$$fn = fo.2^{n/12} \qquad (2)$$

เมื่อ fn เป็นความถี่ของระดับเสียงวัดเทียบกับเสียงอ้างอิง fo เป็นความถี่ระดับเสียงอ้างอิงของดนตรีสากลคือเสียง "ลา" มีค่าเป็น 440 Hz และ n เป็นระดับเสียงที่ห่างจากระดับเสียงอ้างอิง สำหรับดนตรีไทยจะแตกต่างจากดนตรีสากลตรงที่ค่าความถี่สำหรับอ้างอิง ยังไม่มีการกำหนดให้ชัดเจน แต่จากการรวบรวมจากนักวิจัยของไทย [6,7และ 8] พบว่าค่าความถี่ที่เหมาะสมมีค่าเฉลี่ยของเสียง**"ลา"**อ้างอิงที่ 414 Hz ดังนั้นจาก (2) จึงสามารถประยุกต์เพื่อหาค่าความถี่ของดนตรีไทยดังสมการที่ (3)

$$fn = fo.2^{n/7} \qquad (3)$$

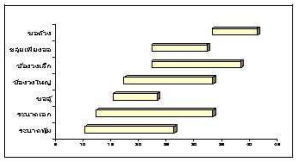
3.2.1 Fundamental Frequency (f0) เป็นความถี่พื้นฐานของระดับเสียงดนตรี เป็นค่าที่ใช้กำหนดระดับเสียงของดนตรี f0 เป็นความถี่ที่มีระดับสูงสุด[8] บนกราฟที่ได้จากการคำนวนหาสเปคตรัมของขนาดด้วยวิธี การแปลงฟูริเยร์เต็มหน่วยในช่วงเวลาสั้น (Short-Time DFT) [9] ระดับเสียงดนตรีไทยมีชื่อเรียกเหมือนกับของดนตรีสากล คือมีระดับเสียง 7 ระดับเหมือนกัน เป็น โด, เร, มี, ฟา, ซอล, ลา ที และแบ่งความสเกลเสียงเป็นคู่แปด(Octave)

เหมือนกัน จะต่างกันที่ในแต่ละช่วงคู่แปดดนตรีไทยจะมี 7 ระดับเสียง แต่ดนตรีสากลจะแบ่งระดับเสียงดนตรีเป็น 7 เสียงเต็ม และมี 5 ครึ่งเสียง รวมเป็น 12 ระดับเสียง [4] และในดนตรีสากลมีการบรรเลงเสียงได้ประมาณ 7 ช่วงคู่แปดหรือ 88 ระดับเสียง [1] เมื่อพิจารณาระดับเสียงดนตรีไทย แม้ว่าจะไม่มีการระบุค่าความถี่ชัดเจนเหมือนกับดนตรีสากล แต่เพื่อความสะดวกต่องานวิจัยนี้จึงสร้างตารางค่าความถี่โดยการทดลองวัดค่า f0 ของเครื่องดนตรีที่ใช้ในงานวิจัยทั้งหมด และนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับการคำนวณจากสมการ (3) แสดงระดับเสียงของดนตรีไทยได้ดังตารางที่ 1

ลำดับที่	(3)	ค่าที่วัดได้	
		ต่ำสุด	สูงสุด
1	139	136	140
2	154	150	156
3	170	164	180
4	187	183	186
5	207	200	210
6	229	225	231
7	252	252	256
8	278	277	280
9	306	303	307
10	340	343	345
11	375	375	377
12	414	411	413
13	457	457	459
14	505	505	508
15	557	543	563
16	615	610	645
17	678	676	688
18	750	758	762
19	826	841	844
20	914	927	938
21	1,008	1,010	1,030
22	1,114	1,110	1,143
23	1,230	1,243	1,248
24	1,356	1,375	1,381
25	1,500	1,527	1,543
26	1,656	1,675	1,680
27	1,826	1,840	1,857
28	2,016	2,070	2,084
29	2,228	2,205	2,303
30	2,461	2,513	2,571
31	2,717	2,740	2,760
32	3,000	2,875	3,050

ตารางที่ 1 แสดงค่าระดับเสียงและค่าความถี่ดนตรีไทย

เมื่อตรวจสอบค่าความถี่ของเสียงดนตรีไทยที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถแสดงระดับเสียงตามที่เครื่องดนตรีแต่ละชนิดสามารถบรรเลงได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงค่าระดับเสียงเครื่องดนตรีไทย

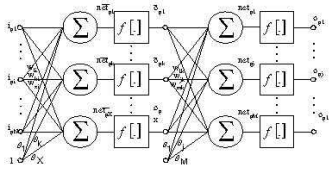
3.2.2 ความถี่ฮาร์มอนิกส์ (Harmonic) เครื่องดนตรีแต่ละชนิดมีคุณภาพเสียงเฉพาะของตนเองเมื่อรับฟังเสียงคล้ายกับว่ามีระดับเสียงเพียงความถี่เดียว แต่เมื่อพิจารณาในรายละเอียดของเสียงจะพบว่ามีระดับความถี่เสียงที่สูงขึ้นไปเป็นค่าจำนวนเท่าของค่าความถี่พื้นฐานหรือที่เรียกว่าความถี่ฮาร์มอนิกส์ เครื่องดนตรีที่มีการกำเนิดเสียงจากการสั่นของสาย เช่นเครื่องดนตรีประเภทเครื่องดีดและเครื่องสี กับเครื่องดนตรีที่การกำเนิดเสียงจากการสั่นของอากาศประเภทเครื่องตี จะมีค่าระดับความถี่ฮาร์มอนิกส์ที่ต่างกัน การตรวจจับค่าฮาร์มอนิกส์พิจารณาจากกราฟที่ได้จากการคำนวนหาสเปคตรัมของขนาดด้วยวิธี การแปลงฟูริเยร์เต็มหน่วยในช่วงเวลาสั้น เช่นเดียวกับ f0

3.1.3 Sub-Band Energy Ratio เป็นค่าพลังงานของแถบความถี่ที่ต่ำกว่าความถี่พื้นฐาน เนื่องจากความสมบูรณ์ของเสียงดนตรี [4] นอกจากค่าความถี่พื้นฐานและฮาร์มอนิกส์แล้ว ยังมีเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่พื้นฐานของเสียงและมีค่าพลังงานในระดับที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งจะช่วยในการจำแนกเสียงของเครื่องดนตรีประเภทเครื่องสี และประเภทเครื่องเป่า

4. โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับในงานวิจัยนี้เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบมัลติเลเยอร์เพอร์เซ็บตรอน (Multi-Layer Perceptrons Neural Network) ใช้ฟังก์ชันการกระตุ้นแบบไฮเปอร์บอลิคแทนเจ้นท์ (Hyper -bolic Tangent) แบ่งโครงสร้างเครือข่ายจำนวน 3 ชั้นคือ ชั้นอินพุท (Input Layer) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และชั้นเอาท์พุท (Output Layer) กำหนดให้ชั้นอินพุทใช้จำนวนโนด 12-17 โนด ชั้นซ่อนมีจำนวนโนด 19-35 โนด และชั้นเอาท์พุทมีจำนวนโนด 7 โนด ระบบการรู้จำจะใช้มัลติเลเยอร์นิวรอลแมปปิ้ง(Mapping) เชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างเซ็ตของรูปแบบ (Pattern) อินพุท i_{pi} และรูปแบบเอาท์พุท t_{pj} โดยใช้คุณสมบัติการเรียนรู้ของสมองเทียมที่ได้จากการสอนจาก กลุ่มตัวอย่างอินพุทและรูปแบบเอาท์พุทที่ต้องการ อัลกอริทึมสำหรับการสอนโครงข่ายใช้แบบแบคพรอพะเคชั่น (Back-Propagation)

เพื่อลดค่าผิดพลาดของระบบให้น้อยที่สุด ภาพแสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงโครงข่ายประสาทเทียม

ข้อมูลชั้นอินพุทจะเป็นข้อมูลลักษณะเด่นของเสียงดนตรีจำนวน 12 – 17 ลักษณะเด่น และข้อมูลเอาท์พุทจะได้เป็นชนิดของเครื่องดนตรีไทย ส่วนค่าระดับเสียงได้จากอัลกอริทึมการรู้จำเสียงและโน้ตดนตรีไทยสำหรับเครื่องดนตรีชิ้นเดียว [9]

5. ขั้นตอนและผลการทดลอง

การทดลองสำหรับการระบุชนิดเครื่องดนตรีในงานวิจัยนี้ ใช้เครื่องดนตรีไทยจำนวน 7 ชนิด ใช้ตัวอย่างเสียงจำนวน 1960 ตัวอย่างเสียง แบ่งตัวอย่างเสียงเป็นสองชุดสำหรับการสอนระบบรู้จำ 980 ตัวอย่างเสียง และการทดสอบการระบบรู้จำ 980 ตัวอย่าง ระบบการรู้จำชนิดเครื่องดนตรีไทยที่ใช้ในงานวิจัยมีโครงสร้างดังภาพที่ 5 โดยการทำงานเริ่มจากการนำไฟล์เสียงดนตรีไทย ส่งเข้าทางอินพุท จากนั้นนำลักษณะเด่นที่ได้มาทำนอร์มอลไลซ์ ให้ทุกโนดมีค่าระหว่าง -0.9 ถึง 0.9 ก่อนส่งเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม ระบบในโครงข่ายประสาทเทียมจะมีขั้นตอนการทำงาน 2 ช่วงคือ การสอนระบบรู้จำ และการทดสอบระบบรู้จำ สำหรับขั้นตอนการทดสอบระบบรู้จำจะพิจารณาข้อมูลลักษณะเด่นที่ตรวจจับที่ส่งเข้ามาและเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการสอนระบบ ผลลัพธ์ที่ได้คือชนิดของเครื่องดนตรีไทยจะส่งออกที่เอาท์พุทของระบบ

ภาพที่ 5 ระบบการรู้จำชนิดของเสียงดนตรีไทย

การทดลองเบื้องต้นเป็นการเลือกลักษณะเด่นของเสียงดนตรีไทยจำนวน 12 ข้อมูลคือ Duration Time, RMS, Attack Point, Decay Point, Sustain Point, Release Point, Fundamental Frequency, Harmonics ลำดับที่1-4 และ Sub-Band Energy Ratio โดยใช้การสอนระบบจำนวน 1000 ถึง 6000 รอบ พบว่าการแยกความแตกต่างระหว่างเครื่องดนตรีในกลุ่มเดียวกัน เช่นฆ้องวงใหญ่กับฆ้องวงเล็ก และระนาดเอกกับระนาดทุ้มการรู้จำทำได้ไม่ชัดเจน การแก้ไขโดยการตัดลักษณะเด่น Release Point ออกและเพิ่มลักษณะเด่นเพิ่มเข้าไปคือ Attack time ,Decay time, Sustain time, Release time รวมเป็น 15 ลักษณะเด่น พบว่าระบบสามารถแก้ปัญหาการรู้จำเครื่องดนตรีในกลุ่มเดียว กันได้ดีมากขึ้น และเมื่อทดลองเพิ่มลักษณะเด่น Attack Amplitude และSteady state Amplitude รวมเป็น 17 ลักษณะเด่นจะได้ผลการรู้จำมากขึ้น ตารางแสดงตัวอย่างผลการรู้จำของระบบเป็นเปอร์เซ็นต์โดยใช้ลักษณะเด่น 12, 15 และ 17 จุด ที่การสอนระบบ 3000 รอบ แสดงดังตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 4 และบันทึกผลการทดสอบของระบบการรู้จำเปรียบเทียบการใช้ลักษณะเด่น 12, 15 และ 17 จุด ผลการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องข้อมูลสำหรับการสอนและข้อมูลสำหรับการทดสอบระบบแสดงดังตารางที่ 5

เครื่องดนตรี	ค่าที่ได้จากโน้ต (%)						
	ฆ้องวงใหญ่	ฆ้องวงเล็ก	บลุ่ยเพียงออ	ระนาดเอก	ระนาดทุ้ม	ซออู้	ซอด้วง
ฆ้องวงใหญ่	83.75	15.63	-	-	0.63	-	-
ฆ้องวงเล็ก	6.88	91.88	-	1.25	-	-	-
บลุ่ยเพียงออ	0.83	-	86.67	-	-	4.17	8.33
ระนาดเอก	-	0.48	-	60.95	38.57	-	-
ระนาดทุ้ม	-	0.59	-	12.94	85.88	-	0.59
ซอด้วง	-	2.50	-	-	-	97.50	-
ซออู้	-	-	-	-	1.25	1.25	97.50

ตารางที่ 2 ผลการรู้จำโดยใช้ 12 ลักษณะเด่น

เครื่องดนตรี	ค่าที่ได้จากโน้ต (%)						
	ฆ้องวงใหญ่	ฆ้องวงเล็ก	บลุ่ยเพียงออ	ระนาดเอก	ระนาดทุ้ม	ซอด้วง	ซออู้
ฆ้องวงใหญ่	91.25	8.13	-	-	-	-	0.63
ฆ้องวงเล็ก	6.25	90.63	-	3.13	-	-	-
บลุ่ยเพียงออ	0.83	3.33	92.50	-	0.83	-	2.50
ระนาดเอก	-	-	-	77.14	22.86	-	-
ระนาดทุ้ม	-	-	-	30.00	69.41	-	0.59
ซอด้วง	-	2.50	-	-	-	97.50	-
ซออู้	-	-	1.25	2.50	2.50	1.25	92.50

ตารางที่ 3 ผลการรู้จำโดยใช้ 15 ลักษณะเด่น

เครื่องดนตรี	ค่าที่ได้จากโน้ต (%)						
	ฆ้องวงใหญ่	ฆ้องวงเล็ก	บลุ่ยเพียงออ	ระนาดเอก	ระนาดทุ้ม	ซอด้วง	ซออู้
ฆ้องวงใหญ่	91.25	7.50	-	1.25	-	-	-
ฆ้องวงเล็ก	5.00	92.50	-	1.88	0.63	-	-
บลุ่ยเพียงออ	0.83	-	91.67	-	-	-	7.50
ระนาดเอก	0.48	-	-	82.86	16.67	-	-
ระนาดทุ้ม	-	-	-	36.47	62.94	-	0.59
ซอด้วง	-	-	-	-	-	100.00	-
ซออู้	-	-	2.50	5.00	-	-	92.50

ตารางที่ 4 ผลการรู้จำโดยใช้ 17 ลักษณะเด่น

	Training			Testing		
จำนวนรอบ	12 Feature	15 Feature	17 Feature	12 Feature	15 Feature	17 Feature
1,000	84.90	83.78	89.08	80.20	79.29	81.94
2,000	89.08	93.27	92.96	82.65	83.06	83.57
3,000	93.27	98.57	98.27	83.16	85.10	85.61
4,000	96.33	99.49	99.49	83.37	84.08	87.04
5,000	98.27	99.59	99.80	84.18	83.57	86.12
6,000	99.59	99.59	99.90	84.49	83.57	86.02

ตารางที่ 5 ผลความถูกต้องของระบบรู้จำเครื่องดนตรี

6. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการรู้จำเสียงดนตรีไทยที่ได้จากการตรวจจับลักษณะเด่นมีผลการรู้จำเมื่อทำการเปรียบเทียบโดยการใช้ลักษณะเด่น 12 จุด ได้ผลลัพธ์การทดสอบสูงสุด 84 % ที่การสอนระบบ 5000 รอบ เมื่อเพิ่มลักษณะเด่นเป็น 15 จุด จะได้ผลความถูกต้องมากขึ้นเป็น 85 % ที่การสอนระบบ 3000 รอบ และเมื่อทดสอบการรู้จำโดยเพิ่มลักษณะเด่นเป็น 17 จุดนั้นให้ผลที่ดีขึ้นโดยการทดสอบกับชุดข้อมูลสำ หรับทดสอบระบบสูงสุดถึง 87 % ที่การสอนระบบ 4000 รอบ ความผิดพลาดของการรู้จำที่เกิดขึ้นสามารถระบุได้ 2 ลักษณะคือ 1)เครื่องดนตรีประเภทเดียวกันและมีระดับเสียงใกล้เคียงกัน 2) เครื่องดนตรีต่างประเภทแต่คลื่นเสียงดนตรีมีรูปคลื่นและระดับเสียงใกล้เคียงกัน ส่วนเครื่องดนตรีประเภทเครื่องสีคือซอด้วงกับซออู้ที่แม้ว่ามีโครงสร้างและลักษณะคลื่นเสียงคล้ายกัน แต่เนื่องจากระดับเสียงของเครื่องดนตรีทั้งสองมีระดับเสียงอยู่ต่างช่วงคู่แปดกันจึงไม่มีปัญหาเรื่องการรู้จำผิดประเภทแต่อย่างใด จากความผิดพลาดของการรู้จำดังกล่าวข้างต้นเมื่อเพิ่มลักษณะเด่นให้มากขึ้นสามารถแก้ไขข้อผิดพลาดดังกล่าวได้เป็นอย่างดี

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณสุธี จันทร์สุกศรี คุณสุรพล อยู่ชั่วกัลป์ จาก บมจ. กสท โทรคมนาคม ที่ช่วยดำเนินการบันทึกเสียงดนตรีไทย รวมทั้งช่วยจัดหาอุปกรณ์สำหรับบันทึกเสียงดนตรีไทย ครูสิทธิ์ สมนาค จากวงดนตรีไทยคณะ"วงดนตรีไทยสิทธิ์สมนาค" ครูประกิต สะเพียรชัย และครูเหมราช เหมหงษา จาก"วงดนตรีไทยคณะสำเนียงไพเราะ" ตลอดจนครูดนตรีไทยท่านอื่นๆ ที่มิได้กล่าวถึงในที่นี้ สำหรับการให้คำปรึกษาและให้ความรู้เกี่ยวกับข้อมูลของดนตรีไทยซึ่งไม่สามารถค้นหาได้จากตำราการดนตรีไทยโดยทั่วไป รวมถึงนักดนตรีไทยทุกท่านที่ช่วยสำหรับการช่วยบรรเลงดนตรีไทยโดยเฉพาะคุณสิทธิพงษ์ เพ็งพาณิช และเพื่อนนักศึกษาชมรมดนตรีไทย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

8. เอกสารอ้างอิง

[1] http://www.dolmetsch.com/theoryintro.htm

[2] James Anderson Moorer, "Signal Processing Aspects of Computer Music: A Survey" Proceeding of The IEEE, Vol.,65, No. 8, August 1977

[3] Kristoffer Jensen, "Envelope Model of Isolates Musical Sound" Proc. Of 2 COST G-6 Workshop on Digital Audio Effect, NTNU, December,1999

[4] William J. Pielemeier, Gregory H. Wakefield and Mary H. Simoni, " Time-Frequency Analysis of Musical Signals" Proceeding of the IEEE, Vol. 84, No. 9, September 1996

[5] Antti Eronen, "AUTOMATIC Musical Instrument Recognition" Tampare University of Technology, 2001

[6] บุญช่วย โสวัตร, "ความถี่ของเสียงดนตรีไทยโดยพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว," วารสารจุฬาวิจัย จุฬาลงกรณ์มหา วิทยาลัย, ธันวาคม, 2542

[7] บุญช่วย โสวัตร "ความถี่ของเสียงดนตรีไทยโดยพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว," วารสารจุฬาวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, มกราคม, 2543

[8] www.thaikids.com

[9] วีระ ทองไพบูลย์, ไชยันต์ สุวรรณธีวะศิริ, วิทวัส ผ่องญาติ," อัลกอริทึมการรู้จำเสียงและโน้ตดนตรีไทยสำหรับเครื่องดนตรีชิ้นเดียว," The 9th National Computer Science and Engineering Conference, 2005

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายวีระ ทองไพบูลย์
ชื่อวิทยานิพนธ์ : ขั้นตอนวิธีสำหรับการรู้จำระดับเสียงและชนิดของเครื่องดนตรีไทย
สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ประวัติ

เกิดวันที่ 5 สิงหาคม 2512 ณ จังหวัดนครสวรรค์ สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาอีเลคทรอนิกส์(คอมพิวเตอร์) วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันปฏิบัติงานเป็นพนักงานบริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) ตำแหน่งวิศวกรระดับ 8

สถานที่ติดต่อเลขที่19/36 หมู่ที่ 1 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร โทร. 081-5555-139