

ขั้นตอนวิธีรู้จำระดับเสียงดนตรีไทยเดิมด้วยวิธีการถดถอยพหุนาม



ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีดิจิทัล
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2568

ขั้นตอนวิธีรู้จำระดับเสียงดนตรีไทยเดิมด้วยวิธีการถดถอยพหุนาม



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานวัตกรรมเทคโนโลยีดิจิทัล

สำนักบริหารและพัฒนานิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2568

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ขั้นตอนวิธีรู้จำระดับเสียงดนตรีไทยเดิมด้วยวิธีการถดถอยพหุนาม

ธีราวุฒิ หงษ์พ่อน

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีดิจิทัล

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณ เชื้อนแก้ว)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พาสน์ ปราโมกษ์ชน)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร.กิตติกร หาญตระกูล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(อาจารย์ ดร.กิตติกร หาญตระกูล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยยศ สัมฤทธิ์สกุล)

รองอธิการบดี

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	ขั้นตอนวิธีรู้จำระดับเสียงดนตรีไทยเดิมด้วยวิธีการถดถอยพหุนาม
ชื่อผู้เขียน	นายธีรารุณ หงษ์ฟ้อน
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีดิจิทัล
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณ เชื้อนแก้ว

บทคัดย่อ

ดนตรีไทยเดิมมีมาตรฐานของเสียงและช่วงความถี่ที่แตกต่างจากดนตรีสากล ซึ่งหากนำขั้นตอนวิธีระบุตัวโน้ตแบบตะวันตกมาใช้กับดนตรีไทยเดิมจะส่งผลให้การระบุตัวโน้ตเพื่อใช้สำหรับสร้างเอกลักษณ์สำหรับการค้นคืนหรือเปรียบเทียบความคล้ายของเพลงไม่แม่นยำ ความถี่ตัวโน้ตของดนตรีไทยเดิมก็มีหลายมาตรฐานแตกต่างกัน งานวิจัยนี้ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการระบุตัวโน้ตดนตรีไทยเดิมโดยใช้วิธีใหม่บนพื้นฐานของการถดถอย จากชุดข้อมูลที่ผู้วิจัยได้รวบรวมมาจากตำราและบทเพลงจากหลายแหล่งจึงได้สมการที่ใช้ระบุความถี่เสียงของโน้ตดนตรีไทยเดิม จากนั้นจึงนำสมการนี้ไปสร้างตารางความถี่ตัวโน้ตขึ้นมาใหม่โดยอ้างอิงลำดับตัวโน้ตของเปียโน ขั้นตอนวิธีการสร้างเอกลักษณ์สำหรับสืบค้นเริ่มจากการแยกข้อมูลเสียงดนตรีออกเป็นส่วนย่อย จากนั้นจึงนำข้อมูลส่วนย่อยนี้ไปแปลงเป็นความถี่ด้วยวิธีแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว จากนั้นจึงนำข้อมูลความถี่เสียง 1 แถบความถี่เสียง มาหาจุดสูงสุด และนำความถี่สูงสุดนั้นไปเทียบจากตารางความถี่ที่นำเสนอ จะได้เป็นตัวโน้ต จึงนำข้อมูลนี้มาร้อยต่อกันเป็นสายอักขระเพื่อใช้เป็นเอกลักษณ์ของเพลง จากการทดลองสร้างระบบค้นคืนเพลง โดยเปรียบเทียบระบบที่นำเสนอกับวิธีการของดนตรีสากลพบว่า วิธีการของดนตรีสากลได้ประสิทธิภาพร้อยละ 70.19 และระบบที่นำเสนอมีประสิทธิภาพร้อยละ 72.53 ซึ่งได้ผลในระดับที่น่าพอใจ

คำสำคัญ : ดนตรีไทยเดิม, แปลงฟูริเยร์แบบเร็ว, การถดถอย

Title	THE THAI CLASSICAL MUSIC PITCH RECOGNITION ALGORITHM BASED ON THE POLYNOMIAL REGRESSION METHOD
Author	Mr. Teerawut Hongfon
Degree	Master of Science in Digital Technology Innovation
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Paween Khoenkaw

ABSTRACT

Thai Classical Music has its own standards for pitch frequency and frequency range that differ from Western music. Therefore, applying Western note identification algorithms to Thai Classical Music results in inaccurate note identification, especially when used for creating musical signatures for retrieval or similarity comparison. Furthermore, the pitch frequencies of Thai Classical Music vary across different standards. This research proposes a new algorithm for identifying notes in Thai Classical Music based on a regression method. Using a dataset compiled from textbooks and musical pieces from various sources, the researchers derived an equation to identify the pitch frequencies of Thai musical notes. This equation was then used to generate a new frequency table, referencing the sequence of notes on a piano. The signature creation process for retrieval begins by segmenting the audio data into smaller parts, then applying the Fast Fourier Transform (FFT) to convert each segment into frequency data. The peak frequency is extracted from the one-sideband frequency data is analyzed to identify peak frequencies, which are then matched with a proposed frequency table to determine the corresponding musical notes. These notes are then concatenated into a character string, forming the signature of the piece. The experimental results from developing a music retrieval system and comparing the proposed method to the conventional Western-based approach revealed that the Western method achieved an accuracy of 70.19%, whereas the proposed method attained 72.53%,

demonstrating a satisfactory performance improvement.

Keywords : Thai Classical Music, Fast Fourier Transform, Regression Method



กิตติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณ เชื้อนแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ความรู้ แนะนำวิธีการ ความเข้าใจ และคำแนะนำในการค้นคว้า ทดลองงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีดิจิทัล และสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ทุกท่านที่คอยให้คำแนะนำ พร้อมช่วยเหลือประสานงานต่าง ๆ เป็นอย่างดี ขอขอบคุณวิทย์ สุขเพราะนา และ นางอรญาพัชร พิทักษ์วัฒนชัย หัวหน้างาน และเจ้าหน้าที่นักวิชาการศึกษา งานดนตรีและนันทนาการ กองส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์เครื่องดนตรีในการตรวจสอบความถูกต้องของงานวิจัย ขอขอบคุณพจ หนองภักดี ค่อยปรึกษาทำนองด้านดนตรีสากล

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่ชาย ที่เป็นแรงผลักดันจนมีวันนี้ ค่อยสนับสนุน และเป็นกำลังใจอย่างดีมาโดยตลอด

ธีราวุฒิ หงษ์ฟ่อน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร	3
2.1 เสียง.....	3
2.2 ระดับเสียง.....	3
2.3 ความถี่เสียงเปียโน	4
2.4 ทฤษฎีบันไดเสียงดนตรีไทย.....	6
2.5 มาตรฐานเสียงของดนตรีไทย	12
2.6 ทฤษฎีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว	15
2.7 ภาษาไพทอน (Python).....	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินวิจัย.....	18
3.1 จำแนกระดับเสียง	19

3.2 การใช้ตัวโน้ตในการเทียบเอกลักษณ์	25
3.3 การสกัดระดับทำนองเพลง.....	26
3.4 การเทียบเอกลักษณ์และประเมินประสิทธิภาพ	28
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	30
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	54
5.1 สรุปผลการทดลอง	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	55
ภาคผนวก.....	56
โค้ดการคำนวณหาค่าเสียงสูง-ต่ำของดนตรีสากล เพื่อนำไปเปรียบเทียบ	56
โค้ดการคำนวณหาค่าเสียงสูง-ต่ำของดนตรีไทยที่ผู้วิจัยนำเสนอ เพื่อนำไปเปรียบเทียบ	59
โค้ดเทียบระหว่างโน้ตการจำแนกระดับเสียง กับผลเฉลย	62
บรรณานุกรม.....	64
ประวัติผู้วิจัย.....	67

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ค่าความถี่เสียงเปียโน (88 คีย์มาตรฐาน).....	5
ตารางที่ 2 ผลการศึกษาของ Ellis และ Hipkins ในการวัดระบบเสียงดนตรีไทย.....	6
ตารางที่ 3 ผลการศึกษาในการวัดระบบเสียงดนตรีไทยระหว่าง ปี ค.ศ. 1967-1970.....	8
ตารางที่ 4 ตารางแสดง Interval ของเสียงดนตรีสากล	13
ตารางที่ 5 ค่าความถี่เสียงดนตรีไทยตามนิ้วเปียโน (7 เสียงเท่ากัน) [อุทิศ นาคสวัสดิ์. 2531].....	14
ตารางที่ 6 ตารางระดับเสียงของระนาดเอกเหล็ก [ธนะรัชต์ อนุกุล. 2563].....	19
ตารางที่ 7 ความถี่ของโน้ตที่นำเสนอในการวิจัย	22
ตารางที่ 8 วิธีการเรียกชื่อตัวโน้ตที่ผู้วิจัยเสนอ.....	25
ตารางที่ 9 ชุดข้อมูลที่ทำการศึกษา.....	28
ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพการจำแนกโน้ตเพลง	30

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 แผนผังเปียโน 88 คีย์	4
ภาพที่ 2 กราฟแสดงผลการศึกษาของ David Morton ในการวัดระบบเสียงดนตรีไทย	7
ภาพที่ 3 เปรียบเทียบมาตราเสียงของดนตรีไทยและมาตราเสียงของดนตรีสากล	12
ภาพที่ 4 ภาพรวมขั้นตอนการค้นคว้าสารสนเทศ	18
ภาพที่ 5 การถดถอยที่ผู้วิจัยเสนอ	20
ภาพที่ 6 แผนผังตารางเทียบค่าความถี่เสียงสูง-ต่ำของดนตรีสากลกับค่าความถี่เสียงสูง-ต่ำ ของดนตรีไทยที่น่าเสนอในการวิจัย	23
ภาพที่ 7 ขั้นตอนการสกัดทำนองเพลง	26
ภาพที่ 8 การระบุความถี่เสียงที่เป็นทำนองหลักด้วยวิธีการหาจุดสูงสุด (Peak detection)	27
ภาพที่ 9 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการสกัดระดับทำนองเพลง	27
ภาพที่ 10 ตัวอย่างผลลัพธ์แบบอักษรจากการสกัดระดับทำนองเพลง	27
ภาพที่ 11 กราฟคลื่นความถี่เพลงบุหลันลอยเลื่อน	32
ภาพที่ 12 กราฟคลื่นความถี่เพลงโหมโรงไอยเรศ 3 ชั้น	34
ภาพที่ 13 กราฟคลื่นความถี่เพลงลาวคำหอม (ขลุ่ย)	36
ภาพที่ 14 กราฟคลื่นความถี่เพลงลาวดวงเดือน (ซอสามสาย)	38
ภาพที่ 15 กราฟคลื่นความถี่เพลงขับไม้ (ซอสามสาย)	40
ภาพที่ 16 กราฟคลื่นความถี่เพลงแขกมอญบางช้าง 3 ชั้น	42
ภาพที่ 17 กราฟคลื่นความถี่เพลงลาวเสียงเทียน	44
ภาพที่ 18 กราฟคลื่นความถี่ เพลงสร้อยเพลง (ขลุ่ย)	46

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มา

พัฒนาการดนตรีไทยซึ่งเกิดขึ้นมาตั้งแต่สมัยยุคประวัติศาสตร์ได้เริ่มต้นจากการเป่าสังข์ใช้ใน งานมงคลต่างๆ ตามวัฒนธรรม ความเชื่อของศาสนาพราหมณ์ เมื่อเข้าสู่สมัยทวารวดี เริ่มมีการสร้าง เครื่องดนตรีไทยดังหลักฐานปูนปั้นที่จังหวัดราชบุรี ลักษณะคล้ายพิณน้ำเต้า, พิณ 5 สาย, ฉิ่ง, กรับ และระฆังหิน จนกระทั่งเข้าสู่ยุคสุโขทัย มีหลักฐานปรากฏเด่นชัดคือ วงปี่พาทย์เครื่องห้า และวงขับไม้ หน้าที่หลักๆ คือ บรรเลงประกอบการแสดง, ขับกล่อม, พิธีการ, ทำหน้าที่สัญญาณ ตั้งแต่นั้นเป็นต้น มาดนตรีไทยได้มีบทเพลงที่หลากหลาย และมีการพัฒนาการมากขึ้นจนกระทั่งช่วงรัชกาลที่ 5 ได้มี การบันทึกเสียงจากกระบอกเสียง เมื่อ พ.ศ.2443 จนกระทั่งมีการศึกษาพบว่ามีการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับ เสียงดนตรีไทย ถึง 10 กว่าครั้ง และทำตารางค่าทฤษฎีบันไดเสียงไดอะทอนิก 7 เสียงเท่ากัน หรือ ทฤษฎี 7 เสียงเท่ากันของระบบดนตรีไทย ซึ่งไม่ตรงกับค่าที่บันทึกไว้แต่ละสำนักดนตรี

ระบบเสียงดนตรีไทย และดนตรีสากลมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนซึ่งระบบเสียงดนตรี สากลได้ใช้ค่าสมการการบันไดเสียงโครมาติก 12 เสียงเท่ากัน (12 Tone Equal Temperament Tuning System / Equal temperament) คือระดับเสียงถัดไปแต่ละเสียง ได้จากการคูณเสียงก่อน หน้านั้น ด้วย รากที่ 12 ของ 2 โดย 1 ระดับเสียงสามารถแบ่งออกเป็น 12 ส่วนเท่า ๆ กัน ซึ่งระบบ ดนตรีสากลในการเรียกชื่อตัวโน้ต(การระบุระดับเสียง) จะมีทั้ง C, C[#]/D^b, D, E^b/D[#], E, F, F[#]/G^b, G, A^b/G[#], A, B^b/A[#], และ B ซึ่งแตกต่างกับระบบเสียงดนตรีไทย ที่ปัจจุบันมีการอ้างอิงทฤษฎี บันไดเสียงไดอะทอนิก 7 เสียงเท่ากัน (Diatonic scale) [อุทิศ นาคสวัสดิ์. 2531], [สราวุฒ สุจิตจร. 2546], [สงบศึก ธรรมวิหาร. 2567] โดยตัดครึ่งเสียงของระบบดนตรีสากลออก จะเหลือแค่ C, D, E, F, G, A, และ B แต่ความเป็นจริง ดนตรีไทยตั้งแต่ยุคสมัยที่กล่าวมานั้นไม่มีการบันทึกค่าความถี่เสียง สูง - ต่ำ ที่เป็นมาตรฐาน เนื่องจากเครื่องดนตรีไทยที่มีการประดิษฐ์ออกมา มีการผลิตที่แตกต่างกัน และวัดค่าเสียงโดยใช้หู, เครื่องดนตรีแม่แบบประจำเจ้าสำนัก หรือการเทียบลักษณะเครื่องดนตรี ทำ ให้ความถี่เสียงที่ออกมา ไม่เหมือนกันและมีความเบี่ยงเบนออกไปไม่มากนักน้อยซึ่งเป็นการยากที่จะ จับจุดค่าความถี่ที่คงที่ได้

โดยความท้าทายในการรู้จำระดับเสียงของดนตรีไทย สืบเนื่องจากการเก็บข้อมูลของ ค่าความถี่เสียงสูง-ต่ำจากในแต่ละชุดข้อมูลและแหล่งอ้างอิง ไม่มีความคงที่ของค่าดังกล่าว ผู้วิจัยได้นำ ค่าความถี่เสียงสูง - ต่ำ ของแต่ละที่มารวบรวม และคำนวณโดยใช้วิธีการถดถอยแทนการจับจุดเส้น ความถี่และระบุระดับเสียงแบบตรงๆ เพื่อให้เกิดความถูกต้องและชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งบทนำข้างต้นนี้ นำไปสู่การศึกษาวิจัยเรื่องวิธีรู้จำระดับเสียงดนตรีไทยเดิมด้วยวิธีการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาชุดคำสั่งขั้นตอน (Algorithm) วิธีสำหรับค้นคืนสารสนเทศเสียงดนตรีเพลงไทยเดิม โดยวิธีการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล แปลงค่าสัญญาณของเสียงให้เป็นในรูปแบบตัวอักษร หรือตัวเลข พร้อมกับศึกษา และพิสูจน์ สูตรสมการบันไดเสียงไดอะทอนิก 7 เสียงเท่ากัน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ได้ขั้นตอนวิธีสำหรับค้นคืนสารสนเทศเสียงดนตรี
- 1.3.2 สามารถสืบค้นข้อมูลเพลงไทยเดิมได้ถูกต้อง และแม่นยำ
- 1.3.3 สามารถประยุกต์นำไปต่อยอด และพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันในอนาคตได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.4.1 เพลงที่ใช้ทำชุดข้อมูล เป็นเพลงดนตรีไทยเดิมโดยการใช้การบรรเลง ไม่มีการร้องเอื้อน
- 1.4.2 มีความถูกต้อง และความแม่นยำของการประมวลผลข้อมูลให้ได้มากที่สุด



บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

ในงานวิจัยดังกล่าว เป็นงานวิจัยเพื่อการวิเคราะห์ และพัฒนาขั้นตอน (Algorithm) วิธีการ เพื่อเป็นต้นแบบการเรียนรู้ข้อมูล และ นำไปทดลองใช้

2.1 เสียง

เรื่องของเสียงเป็นศาสตร์สาขาหนึ่งทางวิทยาศาสตร์ เรียกว่า สวณศาสตร์ (อ่านว่า สะ วะ นะ สาด) หมายถึง วิชาที่ว่าด้วยเรื่องเสียง และเนื่องจากดนตรีมีความสัมพันธ์กับเสียงโดยตรง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจเรื่องวิทยาศาสตร์เบื้องต้นที่เกี่ยวกับเสียง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเรียนรู้ วิชาทฤษฎีดนตรี ซึ่งมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

เสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ วัตถุใดที่สั่นสะเทือนได้ก็จะเกิดเสียงได้ เมื่อวัตถุ สั่นสะเทือนจะทำให้เกิดการอัดตัวและขยายตัวของคลื่นเสียง ซึ่งถูกส่งไปยังหูโดยผ่านชั้นบรรยากาศ ดังนั้นเสียงที่ได้ยินก็เป็นผลจากการที่คลื่นเสียงถูกส่งจากวัตถุที่สั่นสะเทือนไปยังหูนั่นเอง เสียงที่ได้ยิน จะเป็นเสียงสูงเสียงต่ำ เสียงดังเสียงเบา หรือมีคุณภาพเสียงในลักษณะต่าง ๆ อย่างไรนั้น จะขึ้นอยู่กับ แหล่งกำเนิดเสียง และจำนวนรอบต่อวินาทีของการสั่นสะเทือนที่ทำให้เกิดเสียงนั้น [ณัชชา พันธุ์ เจริญ. 2556]

2.2 ระดับเสียง

การได้ยินเสียง แบ่งการได้ยินออกเป็น 2 ลักษณะคือ เสียงระดับความดังมากหรือน้อย เกิดจาก พลังงานของแหล่งกำเนิดเสียง และได้ยินเสียงทุ้มหรือเสียงแหลมซึ่งเกิดจากความถี่เสียงสูงหรือความถี่ เสียงต่ำ ต่างกัน ซึ่งเรียกว่า ระดับเสียง (Pitch)

เนื่องจากคนเราได้ยินเสียงที่มีความถี่ 20 - 20,000 Hz ความถี่ที่ต่ำกว่า 20 Hz ลงไปเรียกว่า คลื่นใต้เสียง (Infra Sound) ความถี่ที่สูงกว่า 20,000 Hz ขึ้นไปเรียกว่า คลื่นเหนือเสียง (Ultra Sound) จะเห็นได้ว่าคนเรารับรู้เสียงได้ในช่วงความถี่หนึ่งเท่านั้น สำหรับสัตว์อื่น ๆ ก็เช่นเดียวกัน คือ จะได้ยินเสียงในช่วงความถี่หนึ่งเช่นกัน ซึ่งช่วงความถี่ที่สัตว์แต่ละชนิดได้ยินก็จะแตกต่างกันไป และต่างจากช่วงความถี่ที่คนได้ยิน นอกจากนี้แล้วแหล่งกำเนิดเสียงแต่ละแหล่งก็ให้เสียงได้ในช่วง ความถี่ต่างกัน เช่น คน สามารถเปล่งเสียงได้ในช่วงความถี่ 85 - 1,100 Hz แมวสามารถเปล่งเสียง ได้ในช่วงความถี่ 760 - 1,500 Hz แต่สามารถได้ยินในช่วงความถี่ 60 - 65,000 Hz [ณัชชา พันธุ์ เจริญ. 2556]

2.3 ความถี่เสียงเปียโน

ความถี่เสียงมาตรฐานในหน่วยเฮิรตซ์ (Hz) ของ 88 คีย์มาตรฐาน หรือ 108 คีย์ขยาย โดยใช้เปียโนเป็นตัวหลัก จะอ้างอิงระบบ 12 โทนเท่ากัน ด้วยคีย์ที่ 49 (เสียง A_4) ความถี่ที่ 440 Hz การกระจายความถี่นี้ เรียกกันว่า Equal Temperament นั่นคือ ระดับเสียงถัดไปแต่ละเสียง ได้จากการคูณเสียงก่อนหน้านั้น ด้วย $\sqrt[12]{2}$ [International Organization for Standardization. 1975]

สูตรคำนวณค่าคลื่นความถี่เสียง f

$$f(n) = (\sqrt[12]{2})^{n-49} \times 440\text{Hz} \quad (1)$$

หรือ

$$f(n) = 2^{\frac{n-49}{12}} \times 440\text{Hz} \quad (2)$$

โดยที่ $f(n)$ = ค่าคลื่นความถี่เสียง

n = ลำดับคีย์เสียง

สูตรคำนวณหาลำดับคีย์เสียง

$$n = 12 \log_2 \left(\frac{f}{440\text{Hz}} \right) + 49 \quad (3)$$



ภาพที่ 1 แผงผังเปียโน 88 ลิ่ม

ตารางที่ 1 ค่าความถี่เสียงเปียโน (88 คีย์มาตรฐาน)

ลำดับคีย์	ชื่อโน้ต	ความถี่ (Hz)	ลำดับคีย์	ชื่อโน้ต	ความถี่ (Hz)	ลำดับคีย์	ชื่อโน้ต	ความถี่ (Hz)
1	A0	27.50000	31	D [#] 3/Eb3	155.5635	61	A5	880.0000
2	A [#] 0/Bb0	29.13524	32	E3	164.8138	62	A [#] 5/Bb5	932.3275
3	B0	30.86771	33	F3	174.6141	63	B5	987.7666
4	C1	32.7032	34	F [#] 3/Gb3	184.9972	64	C6	1046.502
5	C [#] 1/Db1	34.64783	35	G3	195.9977	65	C [#] 6/Db6	1108.731
6	D1	36.7081	36	G [#] 3/Ab3	207.6523	66	D6	1174.659
7	D [#] 1/Eb1	38.89087	37	A3	220.0000	67	D [#] 6/Eb6	1244.508
8	E1	41.20344	38	A [#] 3/Bb3	233.0819	68	E6	1318.510
9	F1	43.65353	39	B3	246.9417	69	F6	1396.913
10	F [#] 1/Gb1	46.2493	40	C4	261.6256	70	F [#] 6/Gb6	1479.978
11	G1	48.99943	41	C [#] 4/Db4	277.1826	71	G6	1567.982
12	G [#] 1/Ab1	51.91309	42	D4	293.6648	72	G [#] 6/Ab6	1661.219
13	A1	55.0000	43	D [#] 4/Eb4	311.1270	73	A6	1760.000
14	A [#] 1/Bb1	58.27047	44	E4	329.6276	74	A [#] 6/Bb6	1864.655
15	B1	61.73541	45	F4	349.2282	75	B6	1975.533
16	C2	65.40639	46	F [#] 4/Gb4	369.9944	76	C7	2093.005
17	C [#] 2/Db2	69.29566	47	G4	391.9954	77	C [#] 7/Db7	2217.461
18	D2	73.41619	48	G [#] 4/Ab4	415.3047	78	D7	2349.318
19	D [#] 2/Eb2	77.78175	49	A4	440.0000	79	D [#] 7/Eb7	2489.016
20	E2	82.40689	50	A [#] 4/Bb4	466.1638	80	E7	2637.020
21	F2	87.30706	51	B4	493.8833	81	F7	2793.826
22	F [#] 2/Gb2	92.49861	52	C5	523.2511	82	F [#] 7/Gb7	2959.955
23	G2	97.99886	53	C [#] 5/Db5	554.3653	83	G7	3135.963
24	G [#] 2/Ab2	103.8262	54	D5	587.3295	84	G [#] 7/Ab7	3322.438
25	A2	110.0000	55	D [#] 5/Eb5	622.2540	85	A7	3520.000
26	A [#] 2/Bb2	116.5409	56	E5	659.2551	86	A [#] 7/Bb7	3729.310
27	B2	123.4708	57	F5	698.4565	87	B7	3951.066
28	C3	130.8128	58	F [#] 5/Gb5	739.9888	88	C8	4186.009
29	C [#] 3/Db3	138.5913	59	G5	783.9909			
30	D3	146.8324	60	G [#] 5/Ab5	830.6094			

2.4 ทฤษฎีบันไดเสียงดนตรีไทย

ในประวัติศาสตร์ดนตรีไทยตามคำบอกเล่าทั้งของครูเพลงไทยก็ดีหรือนักดนตรีไทยได้กล่าวไว้ว่าดนตรีไทยนั้นแบ่งลำดับโน้ตในบันไดเสียงออกเป็น 7 เสียงเท่า ๆ กันในหนึ่งคู่ 8 โดยถ่ายทอดกันมาแบบมุขปาฐะ หรือ สืบทอดกันมาแบบปากต่อปาก สามารถค้นพบเอกสารที่เขียนถึงคำกล่าวอ้างนี้ได้โดยทั่วไปทั้งจากหนังสือที่เกี่ยวกับดนตรีไทยก็ดี หรือว่าข้อมูลในอินเทอร์เน็ตก็ดี โดยมีคำบอกกล่าวมาตั้งแต่ครั้งอดีตกาล

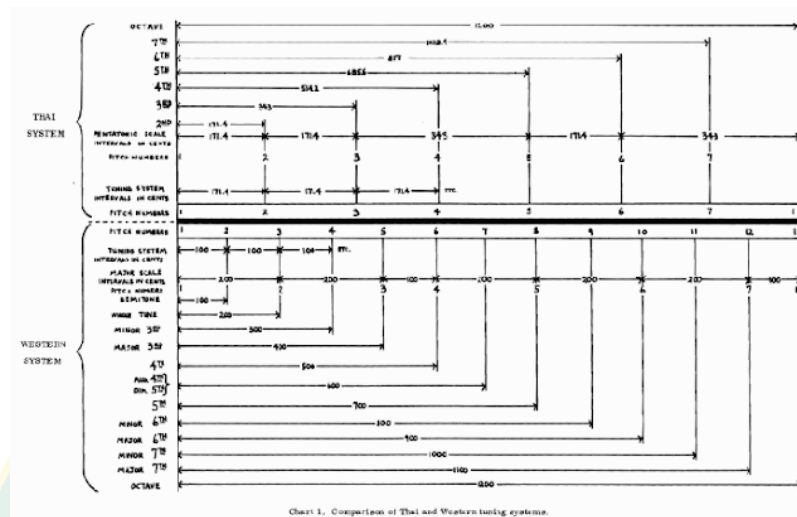
ต่อมาเมื่อได้มีการเริ่มสนใจศึกษาระบบเสียงดนตรีไทยขึ้นแล้ว ได้มีการค้นพบการศึกษาที่เกี่ยวกับเรื่องระบบเสียงของไทยในอดีตโดยมีการศึกษาดังแต่ปี ค.ศ. 1885 โดย Alexander J. Ellis และ Hipkins โดยมีหลักฐานจาก หนังสือ On the sensation of tone ที่ Hermann Helmholtz เขียน ได้อ้างถึงผลการศึกษาของ Ellis และ Hipkins ในการวัดระบบเสียงดนตรีไทยจากคณะนักดนตรีไทยที่ไปทำการแสดงที่ประเทศอังกฤษในงาน London Inventions Exhibition 1885 โดยได้วัดจากเครื่องที่นำมาจัดแสดงใน South Kensington Museum ซึ่งมีเครื่องดนตรีที่ทำการศึกษาคือ ระนาดเอก, ระนาดทอง, ระนาดเหล็ก, จะเข้ ผลการศึกษาดัง ตารางที่ 2 ไว้ว่า

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาของ Ellis และ Hipkins ในการวัดระบบเสียงดนตรีไทย

	โด-เร	เร-มิ	มิ-ฟา	ฟา-ซอล	ซอล-ลา	ลา-ที	ที-โด	เฉลี่ย
ระนาดเอก	208	118	211	161	185	165	160	<u>172.57</u>
ระนาดทุ้ม	200	140	197	162	182	162	164	<u>172.42</u>
ระนาดเอกเหล็ก	150	149	148	167	129	217	219	<u>168.42</u>
จะเข้	198	164	166	192	170	190	170	<u>178.57</u>
ช่วงเสียงเฉลี่ย	<u>189</u>	<u>142.75</u>	<u>180.5</u>	<u>170.5</u>	<u>166.5</u>	<u>183.5</u>	<u>178.25</u>	<u>173</u>

อย่างไรก็ตาม เครื่องดนตรีไทยสมัยนั้นไม่สามารถบอกได้ว่าการตั้งเสียงเท่ากัน และแบ่งออกเป็น 7 เสียงเท่ากัน เพราะหลักฐานของดนตรีเหล่านี้ วัดเสียงได้ไม่เท่ากัน และแบ่งออกเป็น 7 เสียงไม่เท่ากันด้วย

หลังจากการศึกษาในครั้งนั้นก็ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับระบบเสียงดนตรีไทยอีกหลายครั้ง เช่น ในปี ค.ศ. 1961-1962 ได้มีนาย David Morton เข้ามาศึกษาระบบเสียงดนตรีไทยด้วยเครื่อง Strobococonn และได้เขียนเป็นกราฟดัง ภาพที่ 2 ดังนี้



ภาพที่ 2 กราฟแสดงผลการศึกษาของ David Morton ในการวัดระบบเสียงดนตรีไทย

จากตัวอย่างข้างต้นเป็นการศึกษาระบบเสียงดนตรีไทยจากชาวต่างประเทศ สำหรับการศึกษาระบบเสียงดนตรีไทยอย่างจริงจังเริ่มขึ้นระหว่าง ปี ค.ศ. 1967- 1970 โดยพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช ได้พระราชทานแนวพระราชดำริให้มีการศึกษาหาระดับความถี่ของเสียงดนตรีไทยขึ้น โดยพระราชทานแก่นายกสโมสรมนีสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และได้มีการทำการศึกษาขึ้นอีกเป็นครั้งที่ 2 โดยเริ่ม ศึกษาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1994 โดยเลือกวิเคราะห้แต่เฉพาะเครื่อง ดี (ระนาดเหล็ก) โดยใช้เปรียบเทียบกับเสียงโด (C) สากลเป็นมีความถี่ 523.25 *Hz* เป็นหลักในการเปรียบเทียบ

ผลปรากฏว่าไม่มีเสียงโดของระนาดเหล็กของไทยวงไหนที่มีความถี่ตรงกับเสียงโด (C) ของสากลเลยแต่มีความถี่ใกล้เคียงกัน จึงมีผลทำให้ได้ยินเหมือนเป็นเสียงโด (C) เดียวกันนั่นเอง ผลการศึกษาปรากฏดัง ตารางที่ 3 นี้

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาในการวัดระบบเสียงดนตรีไทยระหว่าง ปี ค.ศ. 1967-1970

วงดนตรี	ความถี่ รอบ/นาทิต (Hz)
กรมศิลปากร	510.00
วงหลวง	502.00
โรงเรียนนาฏศิลป์	508.00
พาทยโกศล	500.00
ทองหล่อจวงส์	509.53
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	515.84
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	516.84
ไทยทีวีช่อง 4 บางขุนพรหม	519.94

*เสียงโด (C) สากลมีความถี่ = 523.25 Hz

และในเอกสารงานวิจัยในครั้งนั้นยังได้แสดงผลถึงการศึกษาในการออกเก็บข้อมูลในงานภาคสนามเกี่ยวกับเสียงของระนาดทุ้มเหล็กทั้งในกรุงเทพและอีกหลายๆที่ในประเทศไทย ผลของข้อมูลที่ได้มานั้นสรุปได้ว่าเครื่องดนตรีระนาดเหล็กของแต่ละที่นั้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับระนาดเหล็กของอีกพื้นที่ที่ผลปรากฏว่ามีระดับเสียงที่ไม่เท่ากันและในการศึกษาช่วงเสียงของเครื่องระนาดเหล็กของแต่ละพื้นที่ ระยะห่างระหว่างโน้ตในหนึ่งคู่ 8 ของแต่ละเครื่องก็ยังมีระยะห่างของแต่ละโน้ตไม่เท่ากันตามทฤษฎี 7 เสียงแบ่งเท่าอีกด้วย โดยการวิจัยในครั้งของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเน้นเพียงการศึกษาในเครื่องระนาดเหล็กเป็นหลัก เพราะว่าตามทฤษฎีดนตรีไทยแล้วระนาดเหล็กเป็นเครื่องที่ใช้สำหรับเทียบเสียงหรือตั้งเสียงของวงดนตรีไทยในแต่ละสำนัก

ปี ค.ศ. 1973 ได้มีงานวิจัยของ สมชัย ทยานยง เรื่องเสียงฮาร์โมนิกส์ของเครื่องดนตรีไทย (Harmonics of Thai Music) โดยมีการนำความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วย โดยใช้เครื่อง Oscilloscope ในการวัดเสียงเครื่องดนตรีเพื่อทราบลักษณะโครงสร้าง และได้ศึกษาเกี่ยวกับระดับเสียงของชิ้นคู่ในดนตรีไทยด้วยว่าเสียงฮาร์โมนิกมีผลต่อเสียงอื่นในระบบเสียงของดนตรีไทยอย่างไร และเมื่อเกิดขึ้นแล้วมีความเข้ากันได้หรือไม่

ต่อมาในปีค.ศ. 1997 ได้มีรายงานการวิจัยของ ดร.สุกรี เจริญสุข เกี่ยวกับการวิจัยเพื่อตั้งระดับเสียงและบันไดเสียงมาตรฐานของดนตรีไทยซึ่งออกสำรวจภาคสนาม โดยเดินทางไปในชุมชนบ้านดนตรี จำนวน 30 ที่ และบ้านช่างทำเครื่องดนตรีจำนวน 35 บ้าน โดยกระทำการสัมภาษณ์และได้บันทึกเสียงของวงและเครื่องดนตรีในแต่ละที่ โดยได้กระทำการบันทึกทั้งเป็นเอกสารและความเห็นของบุคคล พร้อมทั้งถ่ายภาพเก็บไว้เป็นหลักฐาน โดยในภายหลังได้นำเอาเสียงของเครื่องดนตรีที่บันทึกไว้ในแต่ละที่มาศึกษา โดยใช้การอ้างอิงความถี่เสียงจากโน้ต ลา (A) จากทางสากลมีใน

ระดับความถี่เท่ากับ 440 Hz โดยตั้งให้เป็นระดับเสียงหลักในการศึกษาเปรียบเทียบกับระดับเสียงเครื่องดนตรีไทย ซึ่งผลสรุปจากงานวิจัยในครั้งนี้ได้ผลดังนี้ (2546b)

1. ระดับเสียงหลักของจากข้อมูลที่ได้จากภาคสนาม โดยดนตรีไทยที่ได้ไปทำการศึกษาวิเคราะห์มีระดับเสียงความถี่หลักของโน้ต ลา (A) อยู่ระหว่าง 400 - 455 Hz
2. ระดับความถี่ของโน้ตลา (A) ที่มีความนิยมตั้งเสียงอยู่ที่ 420 - 435 Hz โดยแบ่งเป็นโน้ตลา (A) ในความถี่ที่ 425 Hz มีผู้นิยมนำมาใช้ตั้งเสียงมากที่สุด ซึ่งมีจำนวน 46 ชิ้น โดยแบ่งเป็นพบในพื้นที่กรุงเทพมหานคร 23 ชิ้น, ราชบุรี 14 ชิ้น, เพชรบุรีจำนวน 2 ชิ้น, อุรุธยา 1 ชิ้น และที่สุพรรณบุรี 1 ชิ้น
3. ระดับความถี่ของโน้ตลา (A) ที่มีความนิยมนำมาตั้งเสียงรองลงมาจากโน้ตลา (A) ความถี่ที่ 425 Hz คือ โน้ตลา (A) ความถี่ที่ 430 Hz โดยมีจำนวน 16 ชิ้น แบ่งเป็นพบในพื้นที่กรุงเทพมหานคร 14 ชิ้น, อุรุธยา 1 ชิ้น และที่สุพรรณบุรีจำนวน 1 ชิ้น
4. ระดับความถี่ของโน้ตลา (A) ที่ความถี่ 420 Hz มีความนิยมนำมาตั้งเสียงเป็นลำดับสาม โดยพบจำนวน 13 ชิ้น แบ่งเป็น พบในกรุงเทพมหานคร 3 ชิ้น, สมุทรสงคราม 7 ชิ้น, สุพรรณบุรี 2 ชิ้น และที่อุรุธยาจำนวน 1 ชิ้น
5. ระดับความถี่ของโน้ตลา (A) ที่ความถี่ 435 Hz มีความนิยมนำมาตั้งเสียงเป็นอันดับที่ 4 โดยพบเป็นจำนวน 11 ชิ้น แบ่งเป็นพบในกรุงเทพมหานคร 10 ชิ้นและในอุรุธยาจำนวน 1 ชิ้น

สำหรับกลุ่มที่เหลือเป็นการตั้งเสียงแบบกระจัดกระจายกัน ไม่สามารถนำมาจัดอยู่ในกลุ่มได้ โดยการตั้งเสียงของแต่ละที่ขึ้นอยู่กับ ผู้ตั้งเสียงเป็นศิษย์ใคร

จากผลการศึกษาของ ดร.สุกรี เจริญสุข ส่วนใหญ่เป็นทำให้พบว่าจากทฤษฎีดนตรีไทยในระบบเสียงแบบ 7 เสียงแบ่งเท่านั้น ในทางปฏิบัตินั้นไม่มีเครื่องดนตรีชิ้นไหนตั้งเสียงได้ตรงกับระบบ 7 เสียงแบ่งเท่าเลย อาจจะเป็นเพราะเทคโนโลยีในการตั้งเสียงสำหรับดนตรีไทยนั้นยังไม่ได้มีการพัฒนาในขณะเดียวกันการตั้งเสียงของเครื่องดนตรีไทยก่อนออกแสดงในสมัยก่อนนั้นสำหรับคนไทยแล้วไม่ค่อยให้ความสำคัญเทียบเท่ากับชาวตะวันตก ทำให้ระบบเสียงที่เป็นมาตรฐานของดนตรีไทยแบบ 7 เสียงแบ่งเท่านั้นยังไม่มีมาตรฐานที่เดียว และยังไม่มีผู้ใดสามารถระบุความถี่เสียงของโน้ตในระบบเสียงแบบ 7 เสียงแบ่งเท่าได้ ดังเช่นที่มีโน้ตดนตรีตะวันตกซึ่งสามารถพบเห็นได้โดยทั่วไป จึงทำให้เป็นการยากในการที่ผู้ที่สนใจอยากจะเล่นหรือนำเสียงดนตรีไทยไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ และสามารถเข้าถึงอรรถรสของดนตรีไทยได้เพราะด้วยความรู้ที่ไม่มีมาตรฐานนั่นเอง

ผลการศึกษาระบบเสียงดนตรีไทยที่เกิดขึ้นล่าสุดเป็นของ ดร.สมชาย รัศมี ซึ่งได้ทำการศึกษา และเสนอเป็นวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอกในปี ค.ศ. 2012 โดยจากการศึกษานี้ได้ใช้ ค่าอ้างอิงโน้ตหลักเป็นโน้ต ลา (A) ซึ่งได้ปรับระดับเสียงของดนตรีไทย โดยวิเคราะห์จากโน้ตลา (A) ของดนตรีสากลที่มีความถี่อ้างอิงอยู่ที่ $A = 440 \text{ Hz}$ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษานี้มีดังนี้

โน้ตลำดับที่ 1 มีความถี่ = 440 Hz

โน้ตลำดับที่ 2 มีความถี่ = 486 Hz

โน้ตลำดับที่ 3 มีความถี่ = 536 Hz

โน้ตลำดับที่ 4 มีความถี่ = 592 Hz

โน้ตลำดับที่ 5 มีความถี่ = 654 Hz

โน้ตลำดับที่ 6 มีความถี่ = 722 Hz

โน้ตลำดับที่ 7 มีความถี่ = 796 Hz

โน้ตลำดับที่ 8 มีความถี่ = 880 Hz

สำหรับระบบเสียงแบบ 7 เสียงแบ่งเท่านี้ ผู้ที่มีอิทธิพลที่สุดที่ระบุให้ดนตรีไทยนี้มีระบบเสียงแบบ 7 เสียงแบ่งเท่านี้ก็คือ พระเจนดุริยางค์ หรือชื่อเดิม Peter Feit (2546b) โดยในวันที่ 23 มิถุนายน 1956 พระเจนดุริยางค์ได้เขียนหนังสือชื่อ “ทฤษฎีการดนตรีเกี่ยวกับเสียงและเครื่อง” ขึ้น และตีพิมพ์ในนามกองดุริยางค์กรมตำรวจ รวมทั้ง ยังได้มีส่วนร่วมในการจัดทำโน้ตเพลงไทยในชุด “เพลงทำขวัญ เพลงโหมโรงเย็น” ของกรมศิลปากร ซึ่งเป็นพระราชดำริของ สมเด็จพระนางเจ้ารำไพพรรณี พระบรมราชินีในรัชกาลที่ 7 โดยเริ่มทำตั้งแต่วันที่ 19 กุมภาพันธ์ 1930 ซึ่งพระเจนดุริยางค์ได้ทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยการจัดโน้ตเพลง และในปี 1933 งานก็ได้หยุดชะงักลง และเริ่มต้นใหม่อีกเป็นครั้งที่ 2 หลังการเปลี่ยนแปลงการปกครอง ซึ่งได้เริ่มต้นโครงการเมื่อวันที่ 31 สิงหาคม 1936 จนถึง ปี 1941 ก็ได้เลิกกันไปอย่างน่าเสียดาย รวมเพลงที่ได้จัดบันทึกไว้มีจำนวนราว 475 เพลง แต่เพลงที่บันทึกไว้ที่ครบทุกแนวเครื่องดนตรีนั้นกลับมีอยู่ประมาณไม่ถึง 100 เพลง ต่อมากรมศิลปากรได้ให้ บริษัท J. Thibouville-Lamy & Co. ในลอนดอน ประเทศอังกฤษ เป็นผู้จัดพิมพ์ ซึ่งเอกสารชุด “เพลงทำขวัญ เพลงโหมโรงเย็น” ที่มีการกล่าวถึงระบบเสียงดนตรีไทยแบบ 7 เสียงแบ่งเท่านี้ ได้เป็นเอกสารที่แพร่หลายมากที่สุดและได้กลายเป็นทฤษฎีระบบเสียงดนตรีไทย และทั้งนี้ยังได้เขียนหนังสือเกี่ยวกับดนตรีไทยเป็นภาษาอังกฤษชื่อหนังสือว่า THAI MUSIC อยู่ในหมวด ของหนังสือ THAILAND CULTURE SERIES No.8 โดยพิมพ์ครั้งแรกในปี 1948 และพิมพ์ครั้งที่ 2 ในปี 1953 โดยมีข้อความดังนี้

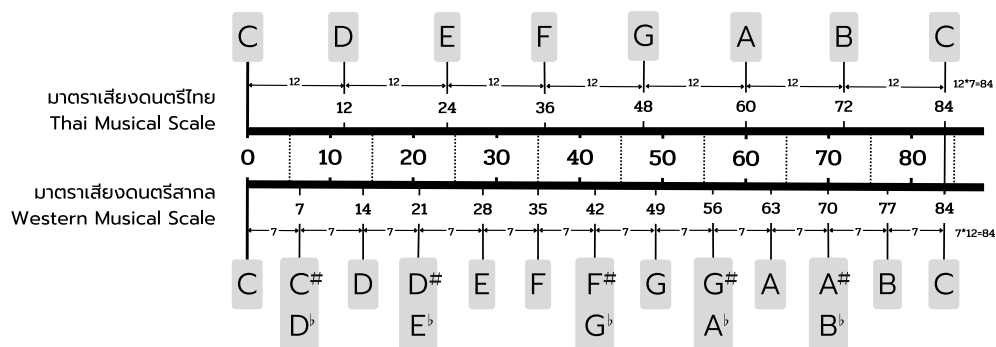
“As already stated, the Thai diatonic scale, is composed of seven full tones within its octave. These are evenly distributed in equidistant steps and there are no semitones between any of these full tone - steps.”

แปลได้ใจความโดยรวมว่า “ระบบบันไดเสียงของไทยสร้างขึ้นมาจาก 7 เสียงแบ่งเท่าในหนึ่งคู่ 8 โดยในแต่ละโน้ตจะมีระยะห่างเท่า ๆ กัน และไม่มีการแบ่งเป็นครึ่งเสียงในแต่ละโน้ตในระหว่าง 7 เสียงแบ่งเท่า”



2.5 มาตราเสียงของดนตรีไทย

มาตราเสียงของดนตรีไทย ถ้านำมาเทียบกับของดนตรีสากลที่เรียกว่า Diatonic Scale คือ มี 7 เสียงเท่ากัน แต่ว่าระดับการวางเสียงผิดกันมาก ของไทยเรานั้นว่า 7 เสียงเท่ากันหมด ไม่มี ครึ่งเสียงกันอยู่ในตอนใดเลย ผิดกับมาตราเสียงดนตรีสากล ซึ่งใน 7 เสียงนั้นมันมีเต็มอยู่ 5 เสียง และมีครึ่งเสียงอยู่ 2 เสียงดัง ภาพที่ 3 ดังนี้



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบมาตราเสียงของดนตรีไทยและมาตราเสียงของดนตรีสากล

แบ่งมาตราเสียงทั้งสองออกเป็น 84 มาตราเท่านั้น มาตราเสียงของไทยนี้แบ่งระดับเสียง ออกเป็น 7 เสียงเท่า ๆ กันนั้น แต่เสียงจะประกอบกันด้วยจำนวน 12 มาตราเท่านั้น ($84 \div 7 = 12$) แต่สำหรับมาตราเสียงสากลนั้น หากได้มีการวางระดับเสียงเท่ากันดังกล่าวไ้ไหนไม่ ควรจะแบ่งไว้ว่าระดับ แรก ระดับที่สอง ระดับที่หก และระดับที่ห้านั้นเขาแบ่งออกเป็นระดับละ 14 มาตราเท่านั้น แต่ระดับที่ สามและระดับที่เจ็ดนั้น คงมีเพียงระดับละ 7 มาตรา ซึ่งเท่ากับเป็นครึ่งเสียงเท่านั้น มาตราเสียงสากลนั้น ถ้าแบ่งเป็นครึ่งเสียงหมดแล้ว ก็จะได้เท่ากับ 12 ครึ่งเสียง โดยแบ่งระดับละ 7 มาตราเท่านั้น ($7 \times 12 = 84$) มาตราเสียงนี้มีชื่อเรียกว่า “Chromatic Scale” ส่วนมาตราเสียงดนตรีไทยนั้นแบ่งออกเป็น 7 ระดับเสียง ถ้าสมมุติว่าแบ่งกันให้ได้เท่ากับแบ่งเป็น 14 ครึ่งเสียง แทนที่จะเป็น 12 ครึ่งเสียงอย่าง ดนตรีสากล ($7 \times 2 = 14$) และระบบที่แบ่งเป็น 14 ครึ่งเสียงนี้

ความถี่ของเสียงดนตรีไทยเทียบกับเสียงสากล

ได้กล่าวแล้วว่า Diatonic Scale ของสากลนั้นมีครึ่งเสียงกันอยู่ 2 แห่ง คือ ระหว่าง **มี (E)** กับ **ฟา (F)** และ **ที (B)** กับ **โด (C)** ด้วยเหตุนี้ เมื่อหา Interval ระหว่างเสียงต่าง ๆ แล้ว จึงจะแสดงเป็น ตารางที่ 5 ดังนี้

ตารางที่ 4 ตารางแสดง Interval ของเสียงดนตรีสากล

จาก	ถึง	ค่า Interval
B (ที)	C (โด)	= 1.06
C (โด)	D (เร)	= 1.12
D (เร)	E (มี)	= 1.12
E (มี)	F (ฟา)	= 1.06
F (ฟา)	G (ซอล)	= 1.12
G (ซอล)	A (ลา)	= 1.12
A (ลา)	B (ที)	= 1.12

หลังจากแสดง Interval ของเสียงดนตรีสากลดัง ตารางที่ 4 แสดงว่า Diatonic Scale ของสากลประกอบขึ้นด้วยเสียงเต็ม 5 เสียง และเสียงครึ่งเสียงอีก 2 เสียง เสียงเท่ากันทุกเสียง interval ระหว่างเสียง = 1.12 แต่ครึ่งเสียงนั้น interval ระหว่างเสียงเพียง 1.06 เท่านั้น

ความถี่ของดนตรีไทยนั้น ยังไม่ได้มีผู้ใดวัดหรือคำนวณเป็นตัวเลขไว้ แต่ถ้าจะมีการคำนวณหา ค่าความถี่ต้องอาศัยความถี่เสียงเปียโนเป็นหลัก แต่การแบ่งเสียงภายในมาตราระหว่างโดต่ำกับโดสูง ผิดกัน โดยเสียงเปียโนมีครึ่งเสียงอยู่ระหว่าง **มี (E)** กับ **ฟา (F)** และ **ที (B)** กับ **โด (C)** แต่เสียงไทย นั้นเท่ากันตลอดเสียง [อุทิศ นาคสวัสดิ์. 2531]

ตารางที่ 5 ค่าความถี่เสียงดนตรีไทยตามนิ้วเปียนโน (7 เสียงเท่ากัน) [อุทิศ นาคสวัสดิ์. 2531]

ลำดับคีย์	ชื่อโน้ต	ความถี่ (Hz)	ลำดับคีย์	ชื่อโน้ต	ความถี่ (Hz)	ลำดับคีย์	ชื่อโน้ต	ความถี่ (Hz)
16	C2	65	46	F#4/Gb4		75	B6	1899
17	C#2/Db2		47	G4	389	76	C7	2097
18	D2	72	48	G#4/Ab4		77	C#7/Db7	
19	D#2/Eb2		49	A4	430	78	D7	2315
20	E2	80	50	A#4/Bb4		79	D#7/Eb7	
21	F2	88	51	B4	475	80	E7	2556
22	F#2/Gb2		52	C5	524	81	F7	2822
23	G2	97	53	C#5/Db5		82	F#7/Gb7	
24	G#2/Ab2		54	D5	579	83	G7	3116
25	A2	107	55	D#5/Eb5		84	G#7/Ab7	
26	A#2/Bb2		56	E5	639	85	A7	1440
27	B2	119	57	F5	705	86	A#7/Bb7	
28	C3	131	58	F#5/Gb5		87	B7	3798
29	C#3/Db3		59	G5	779	88	C8	4194
30	D3	145	60	G#5/Ab5				
31	D#3/Eb3		61	A5	860			
32	E3	160	62	A#5/Bb5				
33	F3	176	63	B5	949			
34	F#3/Gb3		64	C6	1048			
35	G3	195	65	C#6/Db6				
36	G#3/Ab3		66	D6	1157			
37	A3	215	67	D#6/Eb6				
38	A#3/Bb3		68	E6	1278			
39	B3	237	69	F6	1411			
40	C4	262	70	F#6/Gb6				
41	C#4/Db4		71	G6	1558			
42	D4	289	72	G#6/Ab6				
43	D#4/Eb4		73	A6	1720			
44	E4	319	74	A#6/Bb6				
45	F4	353	75	B6	1899			

2.6 ทฤษฎีการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว

การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transformation, FFT) เป็นอัลกอริทึมที่คำนวณการแปลงฟูรีเยร์แบบไม่ต่อเนื่อง (DFT) ของลำดับหรือการผกผัน (IDFT) การวิเคราะห์ฟูรีเยร์จะแปลงสัญญาณจากโดเมนเดิม (มักเป็นเวลาหรือพื้นที่) เป็นตัวแทนในโดเมนความถี่และในทางกลับกัน DFT ได้มาจากการแยกลำดับของค่าออกเป็นส่วนประกอบของความถี่ต่างๆ การดำเนินการนี้มีประโยชน์ในหลายสาขา แต่การคำนวณโดยตรงจากค่าจำกัดความถี่มักจะช้าเกินไปที่จะนำไปใช้จริง FFT คำนวณการแปลงดังกล่าวอย่างรวดเร็วโดยการแยกตัวประกอบของเมทริกซ์ DFT ให้เป็นผลคูณของปัจจัยที่เบาบาง (ส่วนใหญ่เป็นศูนย์) เป็นผลให้สามารถจัดการเพื่อลดความซับซ้อนของการคำนวณ DFT จาก $O(n^2)$ ซึ่งเกิดขึ้นหากใช้ค่าจำกัดความถี่ของ DFT เพียงเพื่อ $O(n \log n)$ โดย n คือขนาดข้อมูล ความแตกต่างของความเร็วอาจมีขนาดใหญ่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับชุดข้อมูลที่มีความยาว โดยที่ n อาจอยู่ในหลักพันหรือหลายล้าน เมื่อมีข้อผิดพลาดในการปิดเศษ อัลกอริทึม FFT จำนวนมากมีความแม่นยำมากกว่าการประเมินค่าจำกัดความถี่ของ DFT โดยตรงหรือโดยอ้อม มีอัลกอริทึม FFT ที่แตกต่างกันมากมายตามทฤษฎีที่เผยแพร่มากมาย ตั้งแต่เลขคณิตเชิงซ้อนอย่างง่ายไปจนถึงทฤษฎีกลุ่มและทฤษฎีจำนวน

โดยให้ $x_0, \dots, x_{N-1}$ เป็นจำนวนเชิงซ้อน DFT ถูกกำหนดโดยสูตร

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-i2\pi kn/N} \quad k = 0, \dots, N-1 \quad (4)$$

($e^{i2\pi/N}$ เป็นสูตรของรูทรากที่ 1)

โดยที่ X_k = ค่าสเปกตรัมความถี่ (เชิงซ้อน)

x_n = สัญญาณโดเมนเวลา

N = จำนวนตัวอย่าง

2.7 ภาษาไพทอน (Python)

ไพทอน (อังกฤษ: Python) เป็นอินเทอร์พรีเตอร์ภาษาระดับสูงซึ่งสร้างโดยคีโด ฟัน โรสซิม โดยเริ่มใน พ.ศ. 2533 การออกแบบของภาษาไพทอนมุ่งเน้นให้ผู้โปรแกรมสามารถอ่านชุดคำสั่งได้ โดยง่ายผ่านการใช้งานอักขระเว้นว่าง (whitespaces) จำนวนมาก นอกจากนั้นการออกแบบภาษาไพทอนและการประยุกต์ใช้แนวคิดการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุในตัวภาษายังช่วยให้นักเขียนโปรแกรมสามารถเขียนโปรแกรมที่เป็นระเบียบ อ่านง่าย มีขนาดเล็ก และง่ายต่อการบำรุง

ไพทอนเป็นภาษาแบบไดนามิกพร้อมตัวเก็บขยะ ไพทอนรองรับกระบวนการเขียนโปรแกรมหลายรูปแบบ ซึ่งรวมถึงแต่ไม่จำกัดเพียงการเขียนโปรแกรมตามลำดับขั้น การเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ หรือการเขียนโปรแกรมเชิงฟังก์ชัน นอกจากนี้ไพทอนเป็นภาษาที่มักถูกอธิบายว่าเป็นภาษาโปรแกรมแบบ "มาพร้อมถ่าน" (batteries included) กล่าวคือไพทอนมาพร้อมกับไลบรารีมาตรฐานจำนวนมาก เช่นโครงสร้างข้อมูลแบบซับซ้อน และไลบรารีสำหรับคณิตศาสตร์

ไพทอนมักถูกมองว่าเป็นภาษาที่สร้างต่อจากภาษา ABC โดยไพทอน 2.0 ซึ่งออกเผยแพร่เมื่อ พ.ศ. 2543 มาพร้อมกับเครื่องมือสำหรับการเขียนโปรแกรมจำนวนหนึ่ง อย่างเช่นตัวสร้างแถวรายการ (list comprehension)

อินเทอร์พรีเตอร์ของภาษาไพทอนสามารถใช้งานได้บนหลายระบบปฏิบัติการ ชุมชนนักพัฒนาโปรแกรมของไพทอนร่วมกันดูแลโครงการซีไพทอนโดยมีมูลนิธิซอฟต์แวร์ไพทอนซึ่งเป็นองค์กรไม่แสวงผลกำไร ทำหน้าที่ดูแลและจัดการทรัพยากรสำหรับการพัฒนาไพทอนและซีไพทอน

คุณสมบัติและปรัชญาการออกแบบ

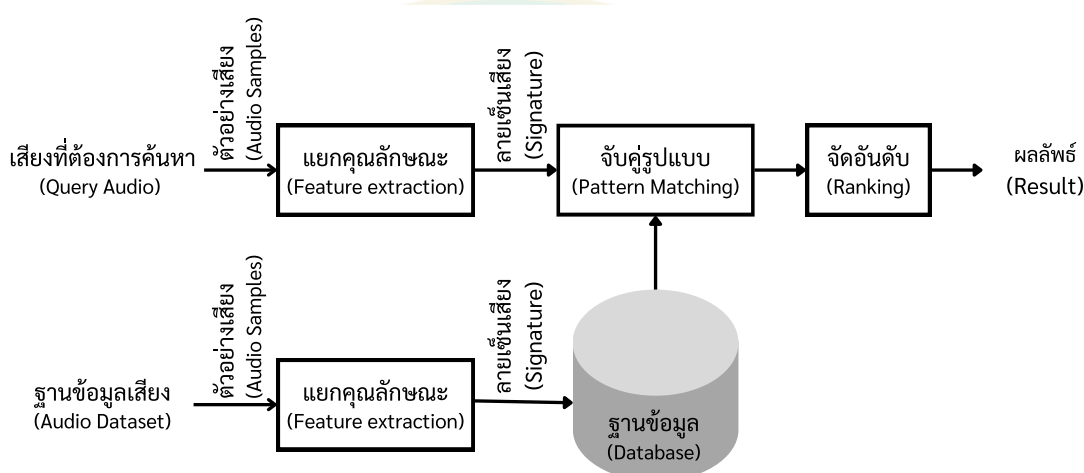
ผู้ใช้ภาษาไพทอนสามารถเลือกกระบวนการทัศนการเขียนโปรแกรมตามที่ตนเองถนัดได้ โดยรองรับการเขียนโปรแกรมเชิงโครงสร้างและการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุอย่างเต็มรูปแบบ รวมถึงรองรับการเขียนโปรแกรมเชิงฟังก์ชัน (ทั้งในรูปแบบของการเขียนโปรแกรมเชิงลักษณะ และการเขียนโปรแกรมเชิงเมตาออบเจกต์) ส่วนขยายของไพทอนทำให้สามารถเขียนโปรแกรมด้วยกระบวนการทัศนอื่น เช่นการเขียนโปรแกรมเชิงตรรกะ

ไพทอนเก็บข้อมูลแบบไดนามิก (dynamic type) และใช้ขั้นตอนวิธีการนับการอ้างอิง (Reference counting) ประกอบร่วมกับตัวเก็บขยะ (garbage collector) เพื่อจัดการหน่วยความจำซึ่งมาพร้อมเครื่องมือสำหรับการเขียนโปรแกรมเชิงฟังก์ชันแบบที่พบในภาษาลิสป์ นอกจากนี้ไพทอนมีเครื่องมืออย่างเช่นฟังก์ชัน filter map และ reduce, เครื่องมือการสร้างลิสต์ (list comprehension), แถวลำดับแบบจับคู่ (ในชื่อของ Dictionary), เซต และเครื่องมือสร้างการวนซ้ำ (generator)

ไพทอนไม่ได้ถูกออกแบบมาให้มีคุณสมบัติและความสามารถในการทำงานทุกอย่าง แต่ไพทอนถูกออกแบบมาให้สามารถถูกต่อยอดได้ง่าย การออกแบบในลักษณะนี้ทำให้ตัวของภาษาไพทอนได้รับความนิยมเนื่องด้วยความสามารถในการเพิ่มส่วนต่อขยายหรือชุดคุณสมบัติลงไปในแอปพลิเคชันที่มีอยู่ก่อนหน้านี้ การออกแบบในลักษณะนี้มาจากวิสัยทัศน์ของฟัน โรสซิมที่ต้องการเห็นการออกแบบภาษาโปรแกรมที่มีระบบแกนกลางขนาดเล็ก แต่มาพร้อมไลบรารีชุดคำสั่งขนาดใหญ่ โดยเป้าหมายการออกแบบลักษณะนี้มาจากความไม่สะดวกในการใช้ภาษา ABC ที่ฟัน โรสซิมเคยเจอมาก่อนหน้านี้

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนวิธีการนำเสนอในงานวิจัยนี้ได้ทำการประมวลผลโดยวัดความถูกต้องในการจำแนกเสียงดนตรี โดยชุดข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วยเพลง บุหลั่นลอยเลื่อน, โหมโรงโอยเรศ 3 ชั้น (วงเครื่องสาย), ลาวคำหอม (ขลุ่ยเพียงออ), ลาวดวงเดือน (ซอสามสาย), ขับไม้ (ซอสามสาย), แกรมมอญ บางซ่าง 3 ชั้น, ลาวเสียงเทียน (เครื่องสายวงใหญ่) และสร้อยเพลง (ขลุ่ยเพียงออ) จากต้นฉบับที่บันทึกในรูปแบบของตลับเทป แผ่นซีดี และช่องทางออนไลน์ ซึ่งถูกแปลงเป็นรูปแบบแฟ้มข้อมูลดิจิทัลโดยการจำแนกโน้ตดนตรีใช้วิธีการดัง *ภาพที่ 4* โดยมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้



ภาพที่ 4 ภาพรวมขั้นตอนการค้นคืนสารสนเทศ

โดยขั้นตอนแรกทำการนำเข้าข้อมูลเสียงเพลงดิจิทัล และทำการประมวลผลด้วยการสกัดคุณลักษณะเด่น (Feature Extraction) จะได้ออกมาเป็นข้อมูลเอกลักษณ์ของเสียงดนตรีที่รับเข้ามา (Signature) เพื่อบันทึกเป็นฐานข้อมูล เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกับเสียงเพลงที่ต้องการค้นคืนต่อไป [P. Khoenkaw & P. Piamsa-nga. 2014], [Uitdenbogerd, Alexandra & Zobel, Justin. 2002], [W. -j. Liu and J. -l. Feng. 2001], [Asif Ghias, Jonathan Logan, David Chamberlin, & Brian C Smith. 1995]

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความถูกต้องในการรู้จำระดับเสียงดนตรีไทยเดิมคือเอกลักษณ์ที่สกัดออกมาได้ต้องสามารถเป็นตัวแทนของเพลงหรือทำนองนั้นได้อย่างสมบูรณ์ หากขั้นตอนการสกัดเอกลักษณ์หรือสกัดลักษณะเด่นมีความผิดพลาด ย่อมจะส่งผลให้การค้นคืนทำงานผิดพลาดตามไปด้วย วิธีการหนึ่งที่เป็นที่นิยมคือการใช้ โครโมแกรม (Chromogram, Chroma feature) เพื่อระบุระดับเสียงในระบบโน้ตสากล [Shah, Ayush & Kattel, Manasi & Nepal, Araj & Shrestha, D.. 2019] ซึ่งวิธีการนี้จะสกัดระดับเสียงดนตรี ในรูปแบบของดนตรีสากล 12 ระดับแบบระบบการตั้งเสียงในดนตรีที่แบ่งช่วงเสียงออกเป็น 12 ส่วนที่เท่ากัน (Equal Temperament) ดังแสดงใน *สมการที่ (1)*

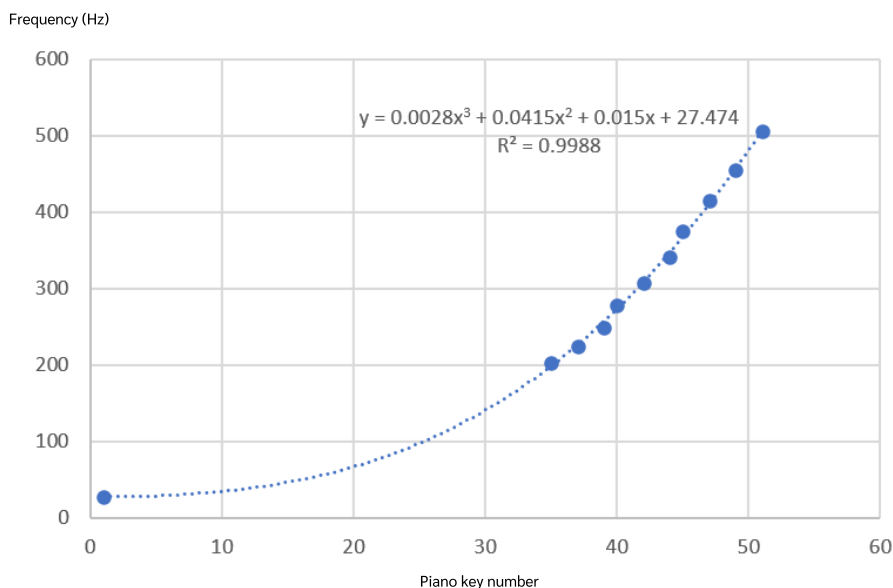
โดยที่ 88 คีย์มาตรฐาน หรือ 108 คีย์ขยาย โดยใช้เปียโนเป็นตัวหลัก จะอ้างอิงระบบ 12 โทน เท่ากัน ด้วยคีย์ที่ 49 (เสียง A_4) ความถี่ที่ 440 Hz [International Organization for Standardization. 1975] การกระจายความถี่นี้ระดับเสียงถัดไปแต่ละเสียง ได้จากการคูณเสียงก่อนหน้านี้นี้ ด้วย $^{12}\sqrt{2}$

3.1 จำแนกระดับเสียง

การใช้โครโมแกรม (Chromogram or Chroma feature) นั้นไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับดนตรีไทยเดิมได้โดยสมบูรณ์ เนื่องจากดนตรีไทยเดิมไม่ได้กำหนดระดับเสียงแบบระบบการตั้งเสียงในดนตรีที่แบ่งช่วงเสียงออกเป็น 12 ส่วนที่เท่ากัน (Equal Temperament) หากแต่จะมีระบบที่เป็นของไทยเอง ซึ่งไม่ได้แบ่งเป็น 12 ระดับ นอกจากนั้นการคำนวณหาความถี่เสียงสูง-ต่ำของดนตรีไทยนั้น มีแหล่งอ้างอิง เอกสารวิชาการ และหนังสือเรียนที่ไม่สามารถระบุได้ว่าความถี่เสียงสูง-ต่ำเป็นของโน้ตตัวใด ผู้วิจัยได้ดำเนินการสืบค้นและรวบรวมความถี่เสียงสูง-ต่ำของเสียงฆ้องวง, ระนาดเอกเหล็ก ดังสรุปค่าความถี่เสียงสูง-ต่ำได้ใน ตารางที่ 6 มาคำนวณหาระยะห่างและความเบี่ยงเบนของเสียงโดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุนาม และใช้สมการนั้นในการสกัดข้อมูลระดับเสียงดนตรีดัง ภาพที่ 5 นี้

ตารางที่ 6 ตารางระดับเสียงของระนาดเอกเหล็ก [ธนะรัชต์ อนุกุล. 2563]

โน้ต	ความถี่ (Hz)
G (ซอล)	203.60
A (ลา)	224.80
B (ที)	249.70
C (โด)	277.70
D (เร)	307.50
E (มี)	341.00
F (ฟา)	375.10
G (ซอล)	415.10
A (ลา)	456.20
B (ที)	606.90



ภาพที่ 5 การถดถอยที่ผู้วิจัยเสนอ

การถดถอยนี้ได้มาจากการรวบรวมบันทึกข้อมูลค่าความถี่เสียงสูง-ต่ำ โดยนำมาจากการเก็บบันทึกค่าความถี่เสียงสูง-ต่ำของดนตรีไทยที่พบ โดยแกน X คือลำดับโน้ตโดยเทียบเคียงกับคีย์เปียโนสากล (Piano key number) และแกน Y คือค่าความถี่เสียงสูง-ต่ำที่พบ (Frequency) จึงได้การถดถอย ดัง สมการที่ (5) โดยใช้พหุนามกำลัง 3 ซึ่งให้ผลลัพธ์ใกล้เคียง และดีที่สุดของการประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองของวิธีการคำนวณหาค่าความถี่ ซึ่งผู้วิจัยได้ทดลองพหุนามกำลังอื่นๆ พบว่าผลลัพธ์มีความเบี่ยงเบนสูง และไม่สามารถนำไปใช้ได้ เนื่องจากค่าแกน X แกน Y ไม่มีความสัมพันธ์กันนำไปสู่ค่าความถี่ที่สูงกว่าความเป็นจริง

$$A_x = (0.0028x^3) + (0.0415x^2) + (0.015x) + 27.474 \quad (5)$$

โดยที่ A_x = ค่าความถี่ที่นำเสนอ

x = ลำดับโน้ต (Piano key number) จาก ภาพที่ 5

ทำการหาค่าลำดับเสียงสูง-ต่ำวิธีคล้ายกับการหาค่าความถี่เสียงสูง-ต่ำของดนตรีสากล ซึ่งมี ความแตกต่างตรงที่ระยะค่าความถี่เสียงสูง-ต่ำของดนตรีสากลมีความคงที่ หรือที่เรียกว่าเสียงโคร มาติก (12 เสียงเท่า) ค่าลำดับเสียงสูง-ต่ำของดนตรีไทยจะไม่มีค่าที่คงที่ และระยะห่างของเสียงไม่ เท่ากัน จึงไม่สามารถใช้ทฤษฎี 7 เสียงเท่ากันได้ [อุทิศ นาคสวัสดิ์. 2531], [สราวุฒิ สุจิตจร. 2546] เนื่องจากทฤษฎี 7 เสียงเท่ากันใช้วิธีล็อกโน้ตตัวโด (C) ให้เท่ากับสากล และโน้ตตัวอื่นกระจายค่าให้ เท่ากัน โดยผู้วิจัยได้นำ สมการที่ (5) คำนวณหาค่าความถี่เสียง พร้อมสร้างลำดับเสียงที่ 1-88 ใหม่ดัง ตารางที่ 7 โดยอ้างอิงลำดับจาก 88 คีย์มาตรฐานของเปียโนสากลดัง สมการที่ (5) และทำการเทียบ ระหว่าง 12 เสียงเท่าของดนตรีสากล กับ 7 เสียงของดนตรีไทยซึ่งได้ผลดัง ภาพที่ 6 นี้ โดย **เส้นสีเขียว** หมายถึง ค่าความถี่เสียงสูง-ต่ำที่ใกล้เคียงกัน, ลำดับเสียงสูง-ต่ำ และตัวโน้ตที่เหมือนกัน **เส้นสีแดง** หมายถึง ค่าความถี่เสียงสูง-ต่ำที่เบี่ยงเบนกัน, ลำดับเสียงสูง-ต่ำ และตัวโน้ตที่ไม่เหมือนกัน

$$piano\ key = \min_i |f_{peak} - A_x| \quad (6)$$

โดยที่ $piano\ key$ = ลำดับเสียงอ้างอิงคีย์เปียโน

f_{peak} = ค่าความถี่เสียงโดย

วิธีการหาจุดสูงสุด (Peak detection)

A_x = ค่าความถี่ที่นำเสนอ สมการที่ (5)

ตารางที่ 7 ความถี่ของโน้ตที่นำเสนอในการวิจัย

ลำดับ	ชื่อโน้ต	ความถี่ (Hz)	ลำดับ	ชื่อโน้ต	ความถี่ (Hz)	ลำดับ	ชื่อโน้ต	ความถี่ (Hz)
1	A0	27.5333	31	D#3/Eb3	-	61	A5	818.3573
2	A#0/Bb0	-	32	E3	162.2004	62	A#5/Bb5	-
3	B0	27.9681	33	F3	173.7861	63	B5	893.2641
4	C1	28.3772	34	F#3/Gb3	-	64	C6	932.4212
5	C#1/Db1	-	35	G3	198.8865	65	C#6/Db6	-
6	D1	96.6628	36	G#3/Ab3	-	66	D6	1014.2268
7	D#1/Eb1	-	37	A3	226.6709	67	D#6/Eb6	-
8	E1	31.6836	38	A#3/Bb3	-	68	E6	1100.7996
9	F1	33.0117	39	B3	257.2737	69	F6	1145.9157
10	F#1/Gb1	-	40	C4	273.6740	70	F#6/Gb6	-
11	G1	36.3873	41	C#4/Db4	-	71	G6	1239.8913
12	G#1/Ab1	-	42	D4	308.7564	72	G#6/Ab6	-
13	A1	40.8341	43	D#4/Eb4	-	73	A6	1338.9701
14	A#1/Bb1	-	44	E4	346.9932	74	A#6/Bb6	-
15	B1	46.4865	45	F4	367.3365	75	B6	1443.2865
16	C2	49.8068	46	F#4/Gb4	-	76	C7	1497.4508
17	C#2/Db2	-	47	G4	410.5569	77	C#7/Db7	-
18	D2	57.5196	48	G#4/Ab4	-	78	D7	1609.8756
19	D#2/Eb2	-	49	A4	457.2677	79	D#7/Eb7	-
20	E2	66.7740	50	A#4/Bb4	-	80	E7	1727.8740
21	F2	72.0213	51	B4	507.6033	81	F7	1789.0053
22	F#2/Gb2	-	52	C5	534.1724	82	F#7/Gb7	-
23	G2	83.8401	53	C#5/Db5	-	83	G7	1915.6161
24	G#2/Ab2	-	54	D5	590.1972	84	G#7/Ab7	-
25	A2	97.5365	55	D#5/Eb5	-	85	A7	2048.1365
26	A#2/Bb2	-	56	E5	650.1828	86	A#7/Bb7	-
27	B2	113.2449	57	F5	681.7029	87	B7	2186.7009
28	C3	121.8956	58	F#5/Gb5	-	88	C8	2258.2916
29	C#3/Db3	-	59	G5	747.8817			
30	D3	140.8740	60	G#5/Ab5	-			

ภาพที่ 6 แผลงผังตารางเทียบค่าความถี่เสียงสูง-ต่ำของดนตรีสากลกับค่าความถี่เสียงสูง-ต่ำ
ของดนตรีไทยที่นำเสนอในการวิจัย

ค่าความถี่เสียงโครมาติก 12 เสียงเท่ากัน

ค่าความถี่ 7 เสียงดนตรีไทยที่ผู้วิจัยเสนอ

ลำดับ	ความถี่ (Hz)	ตัวโน้ต	ลำดับ	ความถี่ (Hz)	ตัวโน้ต
1	27.500	A	1	27.5333	A
2	29.135	B $\flat$	2		
3	30.868	B	3	27.9681	B
4	32.703	C	4	28.3772	C
5	34.648	C $\sharp$	5		
6	36.708	D	6	29.6628	D
7	38.891	E $\flat$	7		
8	41.203	E	8	31.6836	E
9	43.654	F	9	33.0117	F
10	46.249	F $\sharp$	10		
11	48.999	G	11	36.3873	G
12	51.913	A $\flat$	12		
13	55.000	A	13	40.8341	A
14	58.270	B $\flat$	14		
15	61.735	B	15	46.4865	B
16	65.406	C	16	49.8068	C
17	69.296	C $\sharp$	17		
18	73.416	D	18	57.5196	D
19	77.782	E $\flat$	19		
20	82.407	E	20	66.774	E
21	87.307	F	21	72.0213	F
22	92.499	F $\sharp$	22		
23	97.999	G	23	83.8401	G
24	103.826	A $\flat$	24		
25	110.000	A	25	97.5365	A
26	116.541	B $\flat$	26		
27	123.471	B	27	113.2449	B
28	130.813	C	28	121.8956	C
29	138.591	C $\sharp$	29		
30	146.832	D	30	140.874	D
31	155.564	E $\flat$	31		
32	164.814	E	32	162.2004	E
33	174.614	F	33	173.7861	F
34	184.997	F $\sharp$	34		
35	195.998	G	35	198.8865	G
36	207.652	A $\flat$	36		
37	220.000	A	37	226.6709	A
38	233.082	B $\flat$	38		
39	246.942	B	39	257.2737	B
40	261.626	C	40	273.674	C
41	277.183	C $\sharp$	41		
42	293.665	D	42	308.7564	D
43	311.127	E $\flat$	43		
44	329.628	E	44	346.9932	E
45	349.228	F	45	367.3365	F
46	369.994	F $\sharp$	46		
47	391.995	G	47	410.5569	G

48	415.305	A $\flat$	48		
49	440.000	A	49	457.2677	A
50	466.164	B $\flat$	50		
51	493.883	B	51	507.6033	B
52	523.251	C	52	534.1724	C
53	554.365	C $\sharp$	53		
54	587.330	D	54	590.1972	D
55	622.254	E $\flat$	55		
56	659.255	E	56	650.1828	E
57	698.457	F	57	681.7029	F
58	739.989	F $\sharp$	58		
59	783.991	G	59	747.8817	G
60	830.609	A $\flat$	60		
61	880.000	A	61	818.3573	A
62	932.328	B $\flat$	62		
63	987.767	B	63	893.2641	B
64	1046.502	C	64	932.4212	C
65	1108.731	C $\sharp$	65		
66	1174.659	D	66	1014.2268	D
67	1244.508	E $\flat$	67		
68	1318.510	E	68	1100.7996	E
69	1396.913	F	69	1145.9157	F
70	1479.978	F $\sharp$	70		
71	1567.982	G	71	1239.8913	G
72	1661.219	A $\flat$	72		
73	1760.000	A	73	1338.9701	A
74	1864.655	B $\flat$	74		
75	1975.533	B	75	1443.2865	B
76	2093.005	C	76	1497.4508	C
77	2217.461	C $\sharp$	77		
78	2349.318	D	78	1609.8756	D
79	2489.016	E $\flat$	79		
80	2637.020	E	80	1727.874	E
81	2793.826	F	81	1789.0053	F
82	2959.955	F $\sharp$	82		
83	3135.963	G	83	1915.6161	G
84	3322.438	A $\flat$	84		
85	3520.000	A	85	2048.1365	A
86	3729.310	B $\flat$	86		
87	3951.066	B	87	2186.7009	B
88	4186.009	C	88	2258.2916	C

เมื่อทำการเทียบกับค่าสูง-ต่ำของเสียงดนตรีสากลพบว่าค่าลำดับเสียงสูง-ต่ำของดนตรีไทยที่ได้จะมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าลำดับเสียงสูง-ต่ำของดนตรีสากลไม่น้อย และไม่มากเกินไปซึ่งจะอยู่ในช่วงที่สามารถใช้ชื่อของค่าลำดับเสียงสูง-ต่ำของสากลได้ แต่ลำดับที่ 30 - 61 พบการเบี่ยงเบน ตั้งแต่ลำดับที่ 1 - 28 และ 63 - 88

3.2 การใช้ตัวโน้ตในการเทียบเอกลักษณ์

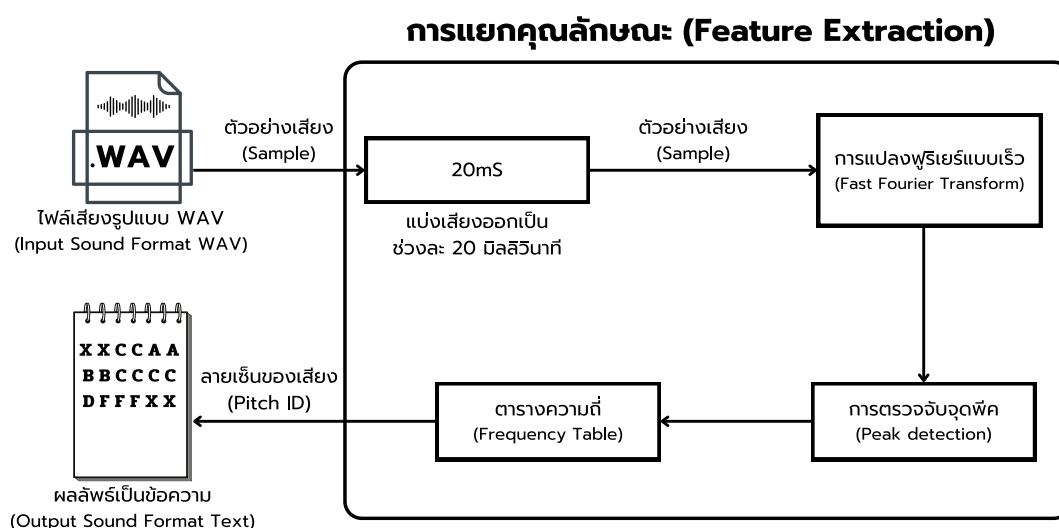
หลังจากที่ผ่านการคำนวณหาค่าความถี่เสียงสูง-ต่ำและได้ตัวโน้ตดนตรีแล้ว ก่อนที่จะนำไปเทียบกับข้อมูลของบทเพลงไทยเดิม ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้ตัวโน้ตของดนตรีสากลในการแทนระดับเสียงดนตรี ดัง ตารางที่ 8

ตารางที่ 8 วิธีการเรียกชื่อตัวโน้ตที่ผู้วิจัยเสนอ

ตัวโน้ตดนตรี	ตัวโน้ตดนตรีที่ ผู้วิจัยเสนอ	การเรียกชื่อ ตัวโน้ตสากล	การเรียกชื่อ ตัวโน้ตไทย
(ไม่มี)	X	ไม่มีเสียง	ไม่มีเสียง
A	A	ลา	ลา
Ab	Ab	ลา-แฟลต	-
B	B	ที	ที
Bb	Bb	ที-แฟลต	-
C	C	โด	โด
C#	C#	โด-ชาร์พ	-
D	D	เร	เร
Eb	Eb	มี-แฟลต	-
E	E	มี	มี
F	F	ฟา	ฟา
F#	F#	ฟา-ชาร์พ	-
G	G	ซอล	ซอล
G#	G#	ซอล-ชาร์พ	-

3.3 การสกัดระดับทำนองเพลง

การสกัดระดับทำนองเพลงมีขั้นตอนการทำงานดัง ภาพที่ 7 โดยเริ่มจากการนำแฟ้มข้อมูลเสียงเพลงในรูปแบบ .wav ทำการแบ่งช่วงเพลง ช่วงละ 20mS จากนั้นจะทำการแปลงข้อมูลเสียงเป็นโดเมนความถี่ ด้วยวิธี การแปลงฟูริเยร์แบบไม่ต่อเนื่อง (Fast Fourier transform) ขั้นตอนถัดไป จะทำการระบุความถี่เสียงที่เป็นทำนองหลักด้วยวิธีการหาจุดสูงสุด (Peak detection) ดัง ภาพที่ 8 โดยตำแหน่งที่ค้นพบว่าเป็นจุดสูงสุดได้แสดงเป็นจุดสีแดงในภาพ จากนั้นทำการแปลงความถี่ที่ตรวจจับมาได้จากการหาจุดสูงสุดให้เป็นระดับเสียงหรือ ตัวโน้ตด้วยวิธีตารางค้นหา (Lookup table) ด้วยการหาตำแหน่งที่ใกล้ที่สุดเมื่อเทียบตำแหน่งระดับเสียงที่ได้จาก สมการที่ (5) จะได้เป็นทำนองดนตรีในรูปแบบสายอักขระ (String of Melody) ดังแสดงตัวอย่างใน ภาพที่ 9 และ ภาพที่ 10 เพื่อใช้เป็นเอกลักษณ์สำหรับใช้ค้นคืนเพลงไทยเดิมต่อไป



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการสกัดทำนองเพลง

3.4 การเทียบเอกลักษณ์และประเมินประสิทธิภาพ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของการสร้างสายอักขระทำนองเพลงเพื่อใช้ระบุเพลงไทยเดิม โดยใช้ชุดข้อมูลเพลงไทยเดิมที่ได้จากการรวบรวมจากหนังสือเพลง และประพันธ์เพลงเทียบต้นฉบับ ทำการประเมินข้อผิดพลาดของผลการแปลงสัญญาณโดยเปรียบเทียบกับผลเฉลย โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบสายอักขระทำนองเพลงที่สกัดได้จากขั้นตอนวิธีที่นำเสนอโดยทำการเปรียบเทียบเพลงเดียวกับที่บรรเลงในหลายรูปแบบด้วยเครื่องดนตรีที่แตกต่างกันหลายชนิดซึ่งมีรายละเอียดของชุดข้อมูลดังต่อไปนี้

ชุดข้อมูลของการวิจัยในครั้งนี้มาจากการนำเพลงบรรเลงไทยเดินทั้งในรูปแบบ ตลับเทป, แผ่นซีดี และช่องทางออนไลน์ เพื่อให้เกิดการเก็บข้อมูลที่หลากหลาย และเปรียบเทียบแหล่งที่มาอีกทางหนึ่ง โดยทำการแปลงในรูปแบบไฟล์ดิจิทัล WAV ดัง ตารางที่ 9 ที่ผู้วิจัยรวบรวมมาดังนี้

ตารางที่ 9 ชุดข้อมูลที่ทำกรวิจัย

บทเพลง	แหล่งข้อมูล
บุหลันลอยเลื่อน	ตลับเทป
โหมโรงไอยเรศ 3 ชั้น	แผ่นซีดี
ลาวคำหอม (ขลุ่ย)	แผ่นซีดี
ลาวดวงเดือน	ตลับเทป
ขับไม้ (ซอสามสาย)	ตลับเทป
แขกมอญบางช้าง 3 ชั้น	ออนไลน์
ลาวเสียงเทียน	ออนไลน์
สร้อยเพลง (ขลุ่ย)	แผ่นซีดี

แต่ละเพลง(.wav) ถูกตัดออกมาประมวลผลเพียง 30 วินาทีแรก ด้วยการสกัดออกมาเป็นช่วงละ 20 mSec เพื่อแปลงเป็นตัวโน้ต (ดังอธิบายในขั้นตอนใน ภาพที่ 7) มีผลทำให้แต่ละเพลงมีจำนวน 1500 ตัวโน้ต เพื่อ ใช้เป็นเอกลักษณ์ในการค้นหา โดยค่าที่สกัดได้จากขั้นตอนวิธีที่นำเสนอจะถูกนำมาเปรียบเทียบความถูกต้องกับผลเฉลยที่สร้างโดยผู้เชี่ยวชาญ การวัดความถูกต้องของการสกัดทำนองเพลงใช้วิธีการเปรียบเทียบความเหมือนของสายอักขระที่สกัดได้ในสองรูปแบบคือ

1. การคำนวณหาค่าความถูกต้องโดยนับโน้ตเทียบตำแหน่งต่อตำแหน่ง วิธีการนี้จะทำการเปรียบเทียบสายอักขระทีละตำแหน่งว่าเหมือนกันหรือไม่ หากไม่เหมือนกันก็จะถือว่าตำแหน่งนั้นมีความผิดพลาด และนำค่าที่ผิดพลาดนั้นมาเฉลี่ยและคำนวณเป็นความถูกต้องดัง สมการที่ (7)

$$E_i = \begin{cases} 0 & \text{when } A_i = B_i \\ 1 & \text{others} \end{cases}$$

โดยที่ A = ผลเฉลย

B = ผลลัพธ์

Ei = ระดับเสียงที่ผิดพลาด

$$accuracy = 100 - \left(\frac{1}{N} \sum_{i=0}^n Ei \right) \times 100 \quad (7)$$

2. การคำนวณหาค่าความถูกต้องโดยนับโน้ตเทียบตำแหน่งต่อตำแหน่งอิง Interval วิธีการนี้จะไม่ทำการเปรียบเทียบระดับเสียงแบบต้องเหมือนกันทุกประการ แต่จะมีการหาระดับการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากในการบรรเลงดนตรี อาจไม่ได้มีการตั้งระดับเสียงเครื่องดนตรี (Instrument tuning) ให้เป็นมาตรฐานเดียวกันก่อนการบรรเลง จึงส่งผลให้เพลงเดียวกันโน้ตดนตรีมีค่าที่ไม่เหมือนกัน หรือ การบรรเลงคนละระดับเสียง (Scientific pitch notation) หรือ ช่วงคู่แปด (octave) ดังนั้นการเปรียบเทียบความถูกต้องจึงจะพิจารณาเฉพาะระดับ ช่วงเวลา (Interval) ที่เปลี่ยนไปของเสียงที่สูงขึ้น หรือ ต่ำลงเท่านั้น จากนั้นจึงนำค่านี้มีเปรียบเทียบหาความผิดพลาด และนำมาเฉลี่ยเป็นค่าความถูกต้องดัง สมการที่ (8)

$$E_i = \begin{cases} 0 & \text{when } \Delta A = \Delta B \\ 1 & \text{others} \end{cases}$$

โดยที่ ΔA = ผลเฉลย

ΔB = ผลลัพธ์

Ei = ระดับเสียงที่ผิดพลาด

$$accuracy2 = 100 - \left(\frac{1}{N} \sum_{i=0}^n Ei \right) \times 100 \quad (8)$$

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์

การศึกษาวิจัยเรื่อง ขั้นตอนวิธีการคั่นสารสนเทศเพลงไทยเดิม โดยวิธีการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลโดยใช้ทฤษฎีมาตรเสียงเพลงไทยเดิม กระบวนการทางซอฟต์แวร์ต่างๆ เพื่อผลลัพธ์ และปรับปรุงให้ดีขึ้น รวมทั้งศึกษาและความถูกต้องการนำทฤษฎีมาตรเสียงเพลงไทยเดิม ใช้แทนทฤษฎีมาตรเสียงเพลงสากล พบว่าวิธีการคำนวณได้ผลเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของดนตรีไทยมากกว่าใช้สูตรดนตรีสากลโดยได้แบ่งบทเพลงในการหาค่าความถี่ดัง ตารางที่ 10 ดังนี้

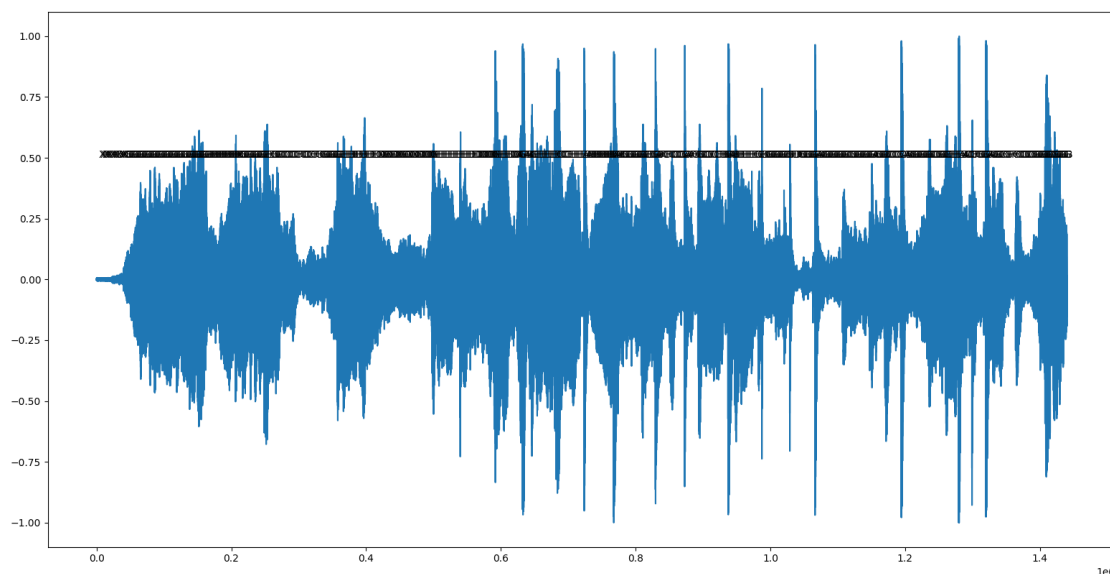
ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพการจำแนกโน้ตเพลง

บทเพลง	เปอร์เซ็นต์ ความถูกต้อง ของวิธีการ อ้างอิง โดยวิธีเทียบ ตำแหน่งต่อ ตำแหน่ง	เปอร์เซ็นต์ ความถูกต้อง ของวิธีการ อ้างอิงโดย วิธี Interval	เปอร์เซ็นต์ ความถูกต้อง ของวิธีการ นำเสนอ โดยวิธีเทียบ ตำแหน่งต่อ ตำแหน่ง	เปอร์เซ็นต์ ความถูกต้อง ของวิธีการ นำเสนอโดย วิธี Interval
บุหลันลอยเลื่อน	32.3873	57.0952	68.1135	74.4574
โหมโรงไอยเรศ 3 ชั้น*	37.0000	<u>67.2857</u>	40.5714	<u>64.5714</u>
ลาวคำหอม (ขลุ่ย)	51.6452	67.8112	53.5050	68.2403
ลาวดวงเดือน	36.8948	78.1302	37.3957	79.4658
ขับไม้ (ซอสามสาย)	70.9586	84.1202	82.9757	84.4063
แขกมอญบางช้าง 3 ชั้น	65.7143	75.2857	64.5714	78.5714
ลาวเสียงเทียน*	33.1429	<u>62.0000</u>	39.0000	<u>54.1429</u>
สร้อยเพลง (ขลุ่ย)	54.9356	69.8140	54.6495	76.3948
ค่าเฉลี่ย	47.8348 ±	70.1928 ±	55.0978 ±	72.5313 ±
	14.1901	8.1842	15.0938	9.1113

จากข้อมูลตัวอย่าง 8 บทเพลง พบว่ามี 2 บทเพลงตัวอย่าง (ลาวเสียงเทียน, โหมโรงไอยเรศ 3 ชั้น) ร้อยละความถูกต้องของวิธีการอ้างอิงสูงกว่า ความถูกต้องของวิธีการที่นำเสนอ เนื่องจากดนตรีที่ใช้บันทึกเสียงเป็นดนตรีที่บรรเลงเป็นเสียงโครมาติก (12 เสียงเท่า) สำหรับโทนเสียงดนตรีสากล ซึ่งไม่ใช่คีย์ไทยเดิมตามที่ผู้ทำวิจัยตั้งขอบเขตการวิจัย นอกจากนั้นเพลงนี้ถูกประพันธ์ด้วยบันไดเสียงแบบเพนทาโทนิค (Pentatonic Scale) [Tyler Connaghan. 2023], [Phra Chen Duriyanga. 2015] ซึ่งมีเพียง 5 ระดับเสียงและระดับเสียงทั้ง 5 ระดับนี้ก็ใกล้เคียงกับระดับเสียงของระบบโครมาติกจึงส่งผลให้ผลการทำงานของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอใกล้เคียงกับขั้นตอนวิธีอ้างอิง



ตัวอย่างที่ 1 เพลงบุหลันลอยเลื่อน



ภาพที่ 11 กราฟคลื่นความถี่เพลงบุหลันลอยเลื่อน

โน้ตการจำแนกระดับเสียง (ทฤษฎีมาตรฐานเสียงเพลงสากล)

X X X X X X X X X X G X X X G Ab Ab Ab Ab Ab G Ab Ab G G G Ab G G Ab G
G G G G G G G G G G G G Ab G G G G Ab G G Ab G G Ab G G Ab G G B B B
B B B B B B B B B B B B B B B Ab G Ab G G Ab Ab G Ab G G Ab Ab Ab Ab C# E E E
E Ab G Ab C# C# C# C# C# C# C# C# C# C# C# C# F# F# C# C# C# C# C# F#
C# F# F# G F# G G G Ab G Ab G Ab Ab G C# E E E E E B B B E E B E E B E E D E
E E C# Ab C# C# Ab C# Ab C# Ab Ab C# C# C# C# C# Ab Ab Ab C# Ab D C# Ab D D
Ab D D D D D D D D G E E E E E E E E E E E E E E E E E E D E E D D C# D D
C# D D C# D D D G E E E E E E E B D D D D A G G E A A Bb Bb G D E E E E E E
E E E E Eb E E E E E E E E E E E E E E A Bb A Bb Bb B B B B B B B B B B B
A A B B Ab G Ab Ab G Ab Ab G Ab Ab G Ab Ab Ab E E E E Ab Ab Ab Ab A Bb F# F# C#
C# F# F# C# C# E E E E Ab Ab G G A A A F# F# Ab F# Ab Ab E E E E Ab C# F# C# C#
C# C# F# F# B B B B A A B B Eb E B E E E E E E E E E E Ab G C# E E Bb Ab G Ab Ab G
Ab Ab G G G G C# C# B Ab Bb F# F# D C# F# Ab G Ab Ab G Ab Ab Ab G Ab Ab A A Bb
G Ab Ab G Ab G G Ab Ab G Ab Ab G Ab E E E Ab G G Ab G G Ab Ab G Ab Ab G G Ab G
A Ab G Ab Ab Ab C# Ab E E E E C# C# C# C# F# C# A A A Bb Ab Ab G Ab Ab G Ab Ab
G Ab Ab Ab Ab E E E Ab G G Ab Ab Ab C# C# E E E E E E Eb A Bb A C# C# C# C# C#

F# F# Ab Ab G Ab G G Ab A A Ab G G G C# C# C# F# Ab Ab F# F# F# F# C# F# E E E
E Ab E E E G G Ab G G Ab Ab G Ab G G E E G Ab G G Ab Ab Ab Ab Ab B

โน้ตการจำแนกระดับเสียง (ทฤษฎีมาตรเสียงเพลงไทยที่นำเสนอ)

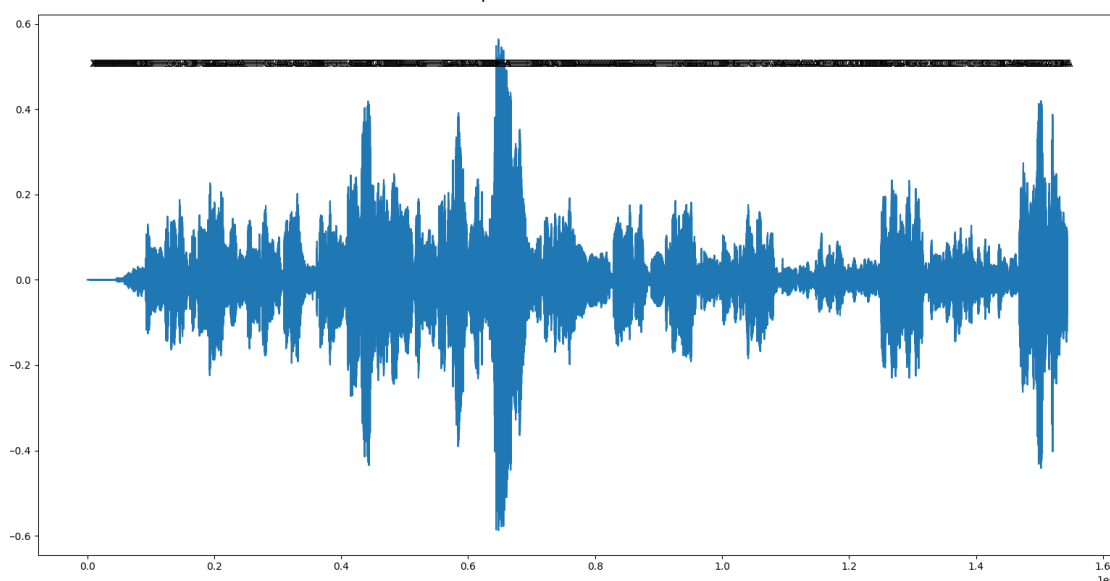
XXXXXXXXXXCXXXXAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAABBDDDDDDDDDDDB
BBBBBBBAAAAAAAAAAAAAAAAAEEEEFAAAEEEEEEEEEEEEEGG
EEEEEEGEGGAGAAAAAAAAAAAEFEEDDDDEEDFEDEEED
EFEDADDADADAADDDDDAADADADDADDDDDDDDDDAFF
EEFFEFFEFEEEEEEEEEFDEEDDDDDDDDDDDDAEEEEEEEE
DDDDDDDBAAEAAAAAFEEEEEEEEEEFFFGGGGGGEEEEFE
EEFFAAAAABBBBBBBBBBBBBBBAABBAAAAAAAAAAAAAAGG
EAAAAAAAAAGGEEGGEGGGGAAAAAAAAAGGAGAAGGGGAFGFF
FFGGBBBBBAABBEEDEEEEEEFEAAEFEEEEAAAAAGAAFE
BACFFDDGAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAGAAAAAAGGGAAA
AAAAAAAAAAAAAAAAAAEAGGGGEEEEGEAAAAAAAAAAAA
AAAAAGGGAAGAAFFEEEEEEEEAAEEEEEFFAAAAAAAAA
AAAAEEEGAGGGGEGGGGGAGGGGAAAAAAAAAAAAAGGAAAA
AAAAAB

F Bb C Bb Bb G G G G G G G C C F F F F F Bb F Bb Bb Bb Bb Bb F Bb Bb F Bb C#
 D C C G C G C G G A A Bb Bb Bb Bb Bb Bb Bb F G G Bb Bb G G G G G G G G F F F
 G G G G G A A A A A A A C G Ab

โน้ตการจำแนกระดับเสียง (ทฤษฎีมาตรฐานเสียงเพลงไทยที่นำเสนอ)

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXCCEECCECCCEEF
 FFFFECCFFFCCECCCFEEEEEEFACCFEEEEEEFAA
 DDDDDDDDCFDGFGGGGCGGCDDDDDDDDDCCDDDDCCCD
 CDEEEBDDDDDEEFFFFFBEEEEEEEEFFCCFCFFECFFFE
 FFEFEFFFFFFFFFFFCDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDD
 DDDGCDGCFEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEFABAADDDDD
 DDAEFDDFGCDDGGGACCCDDDDDDDDDDDDDCDDDDDDDF
 BBDFCDFEBBBEEFFEBBBEFEEEGCGFFFFCCFFFFCF
 FFFCCCFEEEEEEEEEEFAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
 AAAAAAAAAAFAAAAABBBBAABBBBBBCBBACBDBFDBBBB
 BBBBBBCBBBBDDDBCBEECCCCCCCCCGCCCFDCDCCCD
 EEDEDDCDDDECDCDECDDDEEEEGEGGEGEGGEEEEEC
 EEEFEFEFEFEFEFEFEFEFGAAAACCDAAACCCDDGGGGGE
 FEGGGAGGGGEFEEEEBBFFCFGFFGFFGGGGGGGGFGGGGGFG
 GGFGFDDDDDDDDCCACACAAFGGGGGFGGCCCCCCCACA
 ACAACAACAFDDDBDDDDAAAAAAAAAACDDAADDDDDDDD
 DDCCCDDDDDDAAAAAAAAAACGG

ตัวอย่างที่ 3 เพลงลาวคำหอม (ขลุ่ย)



ภาพที่ 13 กราฟคลื่นความถี่เพลงลาวคำหอม (ขลุ่ย)

โน้ตการจำแนกระดับเสียง (ทฤษฎีมาตรเสียงเพลงสากล)

X C# C# C#
 D D C# X D A b F F F F F F F F F F F# G F F F G F G F F F B b B F F D D D D F# F#
 F F F F G G G G G G A G G G G G D C C B b B b B b B b B b B b B b B b C B b F F
 F F F F# F F F F F F F F# F G G F G F F F B b B b B b B b B b B b B b G F G F F B b G G
 G G F F G F D G C# D D D D D D D G F# F# A b F F F F F# G F F F F F F F F F F A G G
 G G G G G G D D D D C# C# C# C C# B b B b C# D E b E b E b E b E b E b E b E b D E b
 D C# B b B b B b B b B b B b B b B b B b B b B b B b G G G F F F F F F F F F F F G G
 G G G G B b B b B b B B D D D D C C D B b B b B b B b B b B b C# E b E b E b D E b E b E b
 E b E b E b D E b E b F F# F# F F F F B b B b F F F F F F F F# F F F F F E b E b E b E b D D
 D D C B b B b B b B b C# D D C# C B b B D E b E b E b D D E b D E b D D D C D B B b B b B b
 B b B b B b B b B b B b B b B b B b B b B b B b B b B b B b B b B b G G G
 G G G G G G D C B B b B b B b B b B b B b B b B b B b B b B b B b B b B b B b B b G G G
 F F G G F G F F G G G G G G G F G G F G D C C C C C C C C C E b D E b D E b D D F#
 F F E b F A b G G F F F F F F F F# G G F F F F F# F G G F F F F G B b B b B b B b B b
 B b X X X G B b B b B b B b B b B b B b B b X B b B b B b B b B b X B b X X C#
 D C C F F C F D D C B B b C D C C C C C C C B b B C D X D D D X D D D D D D D D D D
 D D D X D D G G G G F F F G G G G G F F B b B b B b F G G G F F G G F G G F F F F G X
 D C C C C C C C C D D C C C C C C F F F F F F F C C C# C F F C F G C C C C B C C

E C E G D C# C# C# C C C C Bb Bb Bb X Bb B B B B A A A G G G G G G G Eb C#
C# D C# C# Bb C# Bb C# Eb E F Eb Eb D C Bb Bb Bb Bb Bb Bb

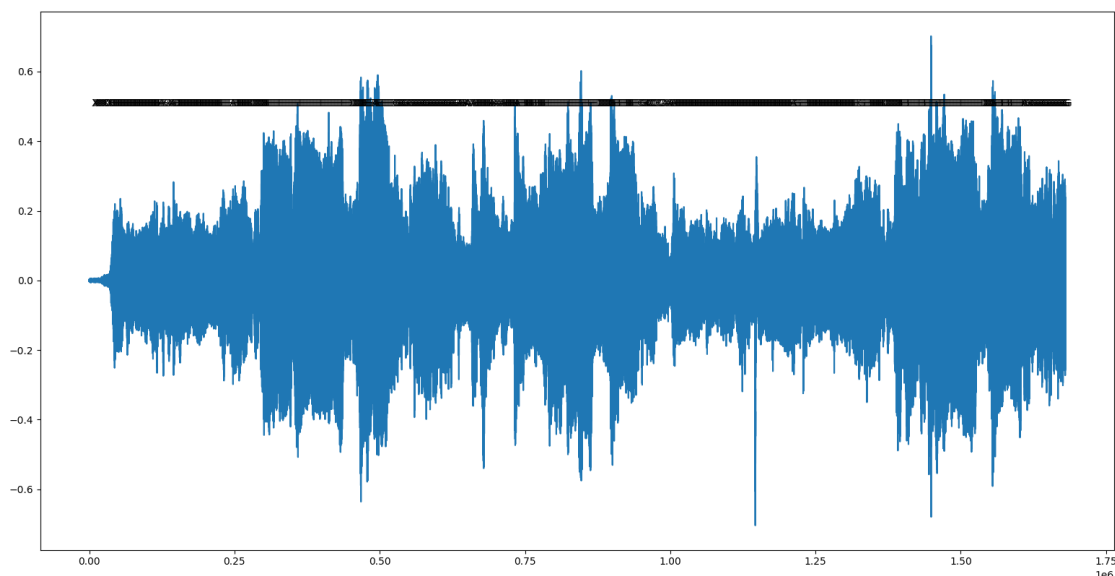
โน้ตการจำแนกระดับเสียง (ทฤษฎีมาตรฐานเสียงเพลงไทยที่นำเสนอ)

XXDDDDDD
DXDAGGGFFFFFFF FFGAGFGGGGGFGCCFFDDDDGGFFGG
AAAGAAGBAAAAA AFDDCCCCCCCCCECFFFFFFGGGFFFFFFF
GFAAGGFFFC CCCCCCGGGFFCAAGAGGAGDADDDDDDDDD
GGGAGFFFGGFFFFFBFFFFBAAAAAAAAGFFFEEEEECCE
GGGGGGGGGGGGGGECCCCCCCCCCCCCGAAGGGFFFFFFFGFFF
FFAAAAGACCCCF FFFEEFCCCCCCEGGGFGGGGGGGGGGB
CCBBBBGGBBBBBBBBBCBBBBBGGGGGGGFFECCCCFFEDCCF
GGGGGGGGGGGGGDGCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
AAAAAAAAA AFDCCCCCCCCCCCCCCX FFFFFFFF FFGGBFF
GAGAGGAAGAGAGGGFGGFGDCCBBBBBBD DDDDDDDGFFDFA
AAFFFBFGFFGGGGFFFFFGGGFFFFGCCCCCXXXCAAAAAA
AAAAXAAAAAACXAXXCFCFFCFDDBBABDCCCCBBCABB
DXDDDXDDDDDDDDDDDDDDXDDAGAAGFFAAAGAFFCCCFG
GGGFGGGGGGGFFBGXDC CCCCCCBDDCCCCCFFBFGGGGC
CCCFFCFCBBBBBCCFCFCDDDDBBBBBAAXABBBBBBBBBBA
AAAAAAGEEFEECECFGAAGGGDCCCCC

โน้ตการจำแนกระดับเสียง (ทฤษฎีมาตรฐานเสียงเพลงไทยที่นำเสนอ)

XXXXXBFFFFFFFBAAAAAAAAAAGGGGGGGGGGGCCC
 CCCGGGGGGGGGGGGGGGAAAAAAAAAAAAAAAAAGGGGFGGGFGG
 GGFFFFGAAAAAAAAAAAAAAAAAGAAAAAAAAAGGGGGGGGGGGG
 FFFFFGFFGGGGGGGGGAAAFBBBBBGGGFGBGGGGGGGGG
 GGGGFFFFFFFAFFGGGGGGGGGFGGGGFFAAAFGGGFFFFGG
 GGGCCCCCGGGGAAGGGGGGGGCCCCCCCCCCCCAAAAAAA
 GGGGGGGGGGGGGGGGFFFFFFFGGGGFFGGFGAAAFFGGFFGFF
 GGGGGGGGGGGGGGGGGGGGFAAGFGFFGGGGGGGFFFFAGGF
 GGGGFGGGGGAAAAAAAAAAAAAAAAAFABFACCCACAAAGGGG
 GGGGAAAAAAEEAAAAAAAAACCCCCGGGGGGGGGGGAAAGG
 GGGGGGGGGGGGGGAAADDAAAAAGGGGGGAAAGGGGGGGGG
 GGGGGGAAAGAGGGGGGGGGGGGGGCCCCCCCCCAAGGGGGGC
 CCCCCCAGGGGCGGAAAAAAAAAAAFBBBBBFDCCCCCCAA
 AAAAAAAAAAAAAAAAAAEFFFFFFFEBAAAAAAAAAAAAABAA
 GGCCGGGGGGGGGGGGGAA

ตัวอย่างที่ 5 เพลงขับไม้ (ซอสามสาย)



ภาพที่ 15 กราฟคลื่นความถี่เพลงขับไม้ (ซอสามสาย)

โน้ตการจำแนกระดับเสียง (ทฤษฎีมาตรเสียงเพลงสากล)

XXXXXXXXXXGXXGGBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
 BBBBBBBBEEAE Eb AbAAAA Eb C#BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
 BBBBBBBBBBB Eb EEb Eb EE Eb EEb AEb BBBBBBBBBBBBDC# C# DD
 C#DDDC#BBEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEE
 EEEEEEEEEEEEEEEEEEEEC#EC#C#C#DC#DDDEEEEEEEEBB
 BEEEEEEEEEEEEEGGGGGGGGGF#GGGGGGGGGGGGGGGGGGGG
 GGGGGGGGGGGGGGGGGGAABBBAAAC#AAABBBBBBBBBBBBBB
 BABAAAAAABBBBBBBBBBBBEEEBBBBBBBEBEBBBBBBEEEEEE
 EEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEDDC#DDDDDDDD
 GEEEBEEEEBBBBBEEEEEEEGGGBBC#C#C#C#C#C#F#C#C#
 C#AAAAAAEABBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
 BB
 BBBBBBEEAE EbEEEEEBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
 BBBBBBB Eb EEb EE EbEEEEEBBBBBBBBBBBBDC# C#DDC#DDDD
 DBEEEEEEEEEEEEEEBEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEE
 EEEEEEEEEEEEEEDC#DDDDDDGEEEEEBEEEEEBEEEEEEEB
 EEBGGGBGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGG

โน้ตการจำแนกระดับเสียง (ทฤษฎีมาตรฐานเสียงเพลงไทยที่นำเสนอ)

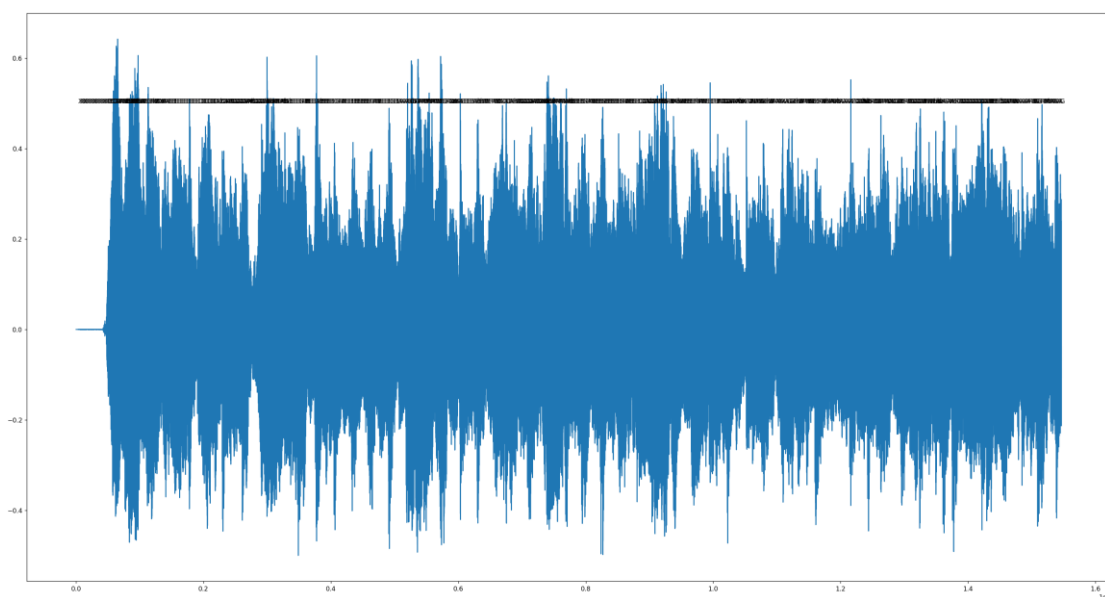
XXXXXXXXXXAXXCBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
 BBBBBBBBEEAEEEGAAAAEDBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
 BBBBBBBBEEEEEEEEEEAEBBBBBBBBBBBBDDDDDDDDDDDBBE
 EEE
 EEEEEEEEEEFDEDDDDDDDDDEEEEEEECCCEEEEEEEEEEEEE
 EAAAGAAAAAGAGAAAGAAGAAAAAAAGGAGGAGGGGAAA
 AAAABBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
 BBBCEEEBBBBBBBEBEBBBBBBEEEEEFEEEEEEEEEEEEEEEE
 EEEEEEEEEEEEEEEEDDDDDDDDDDDGEEEBEEEEBBBBBEEEE
 EEEGGGBBEEEEEEEGEEEBBBBBBBFBBBBBBBBBBBBBBBBBB
 BB
 BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBEAEEGEEEFEBBBBBBBBBBB
 BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBEEEEEGEEEBBBBBBBBBBB
 BDDDDDDDDDDDBEEEEEBEEEEEEEEEEEEEBEEEEEEEEEEEE
 EEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEDDDDDDDDAEEEEBEEE
 EBEBEEEEEEEBEECAAABGAAGAAGAAGAAGAGGGAAAGGGG
 AGG

F Bb C Bb Bb G G G G G G G G C C F F F F F Bb F Bb Bb Bb Bb Bb F Bb Bb F Bb C#
D C C G C G C G G A A Bb Bb Bb Bb Bb Bb Bb F G G Bb Bb G G G G G G G G G F F F
G G G G G G A A A A A A A C G Ab

โน้ตการจำแนกระดับเสียง (ทฤษฎีมาตรฐานเสียงเพลงไทยที่นำเสนอ)

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXAXX
XXCCCBBBBBFFDDDDDDDDDBAAAAAAAAAEEEDXCCC
CCFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFXXDDDDDDGGGGGGGGGGGG
GGGGGAGGGAAGGAAGGGABAAAAAAAAAAAAABBCBABBBCCC
CCCCCFFFFFFFFFFFFFFFFFCFFBCCBCCCCBBCCCBCCCCC
CCCBDBBBBCBCBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBXX
XXXXXXFFFFDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDXXGGGGGF
FDDDDDDDDDDXDDCBBFFFDCCDCDBBBBBBBBBBB
XXCDAAAAAAAAAAAAAAAAAXDDDDDDDDDDDDDDDXGGGF
FFFFFFFFFFFFFFFFFXAAAAGGGGGGGGGGGAGGGGAGGCAG
GGGCCCBDCCCCCBAGGDDEAAAAAAAAAXDDCCAAXXXCC
CCGGDDDDXXXXXXXXXXXXXFFFFDDDDDDDDDCDDDDDD
DDDDDDDDDDGGFFFFFFFFFGGGGGFFBGFGGGGFFFFCCBC
XXXXXACCCCCCCCCAAAAAAAAAAAAAXCCCAAXXBBCBB
BBBEFDBBBAAEFEBBBBAAXAAAAAAEEEBBABBBDDDC
CDCDXCCBBBBBBBBBBBBBBXFGFFFFFFFFGGGGGGGFEEDD
GGGGGGGGDDDDCCCCAAAAAAAAAAAAADDCCBB

ตัวอย่างที่ 7 เพลงลาวเสียงเทียน



ภาพที่ 17 กราฟคลื่นความถี่เพลงลาวเสียงเทียน

โน้ตการจำแนกระดับเสียง (ทฤษฎีมาตรฐานเสียงเพลงสากล)

X X X X X X X X X X X X X X X X X X B B C# C# C# F# F# F# F# F# Bb
 Bb Bb Bb F# Bb F# Bb Bb Bb F# F# F# G F E E E G Bb F# F# F# G C# C# A A A A A
 B E E B B E E E E E E E E E E E E E C D D D D D D D D D D D D Ab D C# C# C#
 G F# F# C# C# C# C# C# C# C# C# C# C# G F# F# Ab Ab C# C# C# C# C# C# C C
 Eb Eb Eb Ab Eb F# F# B F# B B F# B Ab Ab B E Ab E E E E E E E E G F# F# B B B E E
 E E E E Ab B B B B B B B E E B E E G G F# F# E E E E E E E E B E B B B B B B B B B E B
 F# G F# F# E B B E E E E B E E G E E B E B A A A A A A G Bb G G G F# G F# F# F# F#
 F# Bb F# F# F# F# F# F# C# E E B E E G G F# F# C# C# A A A A A A E E E E E E E B
 E Ab E Bb G F# F# F# E E E E F# F# F# F# B D D D A D D A D D D Ab G F# F# C# C#
 C# C# C# C# C# C# C# C# G F# F# C# C# C# C# C# Ab Ab Ab Ab Ab F# F# F# B F#
 F# F# F# F# F# F# F# Ab Ab Ab B B B B B B E B B E G F# G F# F# G B B B B B B G B
 B B B B B B B B E B G F# F# B G G B B B B E E B C# C# C# C# C# C# Ab C# C# C#
 C# B F# F# Eb Eb Eb B B G F# F# B B B Ab Ab G F# F# B B B B B B E E Bb F# F# F#
 F# F# E E E E E E C F# F# B B F# C# C# C# C# C# G F# F# F# F# Ab Ab F# A A A
 A C# F# C C# A G F# B F# G G G G Bb G F# F# G G F# F# F# A A A A A A G A G G G G
 Bb G F# F# G G F# F# F# F# B G G B B E B G F# F# G Bb G F# F# F# F# A F# Bb A A A

A A G A A A A A C# F C# C# C# Eb Eb C# Ab Ab B B G F# F# C# C# C# B B F# F# F#
 F# F# C# C# A A C# C# C# B B B B G F# F# C# C# C# C# C# C# C# C# F# B B
 F# B F# B Eb B Eb Eb Ab A A A A G F# A A A A B G F# C# C# C# C# C# C# C# C#
 C# C# C# C# C# C# C# C# C# C# C# C# F# B B B B B Eb Eb C# C# C# C# G F#
 C# F# F# F# B A A A A A A A A F# F# G G G G G G F# F# F# Bb F# F# F# A A A A
 A A A G

โน้ตการจำแนกระดับเสียง (ทฤษฎีมาตรฐานเสียงเพลงไทยที่นำเสนอ)

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXAABCCGGGGGGGGGGGG
 CGGGCCCFECCCFGCCCCFBBAFFAAAGEEDDECCECCCCCEE
 EEECEFDDDDDDDDDDFFEDDCCGFFCDDCDDCCDDCGFFEE
 CCCCCCDBCCCECCCGCAACDEEACDCCCCCCCCCGFFAAAE
 CEEEEEA A A A A A A E E A E E G G F F E E E E E A A E G G G G G G G G G G A G
 F G F F E A A E E E E E A E E G E E A E A A A F F F A F G F F F F C C C C C G C C C C
 G G B E E G C C F G F C B C A A A A A A E E E E E A D C D C G G F F F A A E E F F
 F F G D D D E D D F D D D E G F F C C C C C D C C D D G F F C D D C C E D E E E C C
 C A C C C C C C C C A E E G A A A A A C A G E G F F F F F A A A A A A A F A A A A A
 A A A A A E A G F F A F F A A A A E E A C C D C C D E C C C G F F C C C B B G F C A
 G D E E G F F A A A A A A A C C G C C C C C E E E E E E D E C B B C C C D C C D G F
 F F F E E C A F A F B B D B A F F A F F F F G G F F F B C C A A A A A G A G G F
 F G F F F F G F B B B G G G D D E D G F F C G C B B C C A C G A E A A C A A A A A
 A C E C C C C C C D E G G G F F D C C G G C C C C C C B F A B B B A A A A G F F C D
 C C D D C C C C C G G C A C A C B C C E A A A A A G F A A A A G G F C C C C C D C C
 D C C C D C C D D C C D D B G G A A G G C C D C C D G F D B B B B A A A A E E E A
 A F F F F F G G G F C C G F B B A A A A A A A G

BB
 DDD
 FF
 XXXFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGG
 GGG
 GGCC
 BBB
 BBBBBBBCCCB BBBBBA AAAAAAAGGG

3. เพลงลาวคำหอม (ขลุ่ย)

XXDDDDDD
 DXDDFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFGGFFGGGGFFAAAADDDDDFFFFFFFFFA
 AAAAAAAAAAAAAAACCCAAAAAAAAAAAAAAFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF
 FGGFGFFFAAAAAAAAAAFFFFFFFFGGGGGEEEEEDDDDDDDDDDDDDFFF
 FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFAAAAAAAAAAADDDDDCCCCCAAADDD
 DDDDDDDDDDDDDAAAAAAAAAAAAAAGGGGGFFFFFFFFFFFFFFFFFA
 AAAAACCCCCDDDDDDDDAAAAAAAAADDDDDDDDDDDDDDDDDFFF
 FFFFAAFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFDDDDDDDDDAAAAACCCAAADDD
 DDDDDDDDDDDDDCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCAA
 AAAAAAADDDCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCXXFFFFFFFFFFFFFFFFFGG
 GGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGFFDCCCCCCCCDDDDDDDDFFFFFFFFF
 FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFAAAAAXXXAAAAAAAAAAAA
 AXAAAAAAAAAXXXCCCCCCCCDDDDDDCCCCCCCCCCCCDDDDDX
 DDDXDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDGGGGFFFGGGGGFFAAAFDDD
 FFDDFDFFFEXECCCCCCCCCFCCCCCFFFFFFFFFFCCCC
 FFCFFCCCAAACCCDDDDDBBBBBAAAXB BBBBBBA AAAAAA
 AAAACCCCCCAAAAAADDDDCAAAAA

XXXXXXXXXXXXXXXXBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
BBBBBBBBAAAAAAAAAAAAAABBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB
BBBBBBBBAAAAAAAAAAAAAABBBBBBBBBBBBBBDDDDDDDDDDDEE
EE
EEEEEEEEEEEEEDDDDDDDDDDDDEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEE
EEAAA
AAAAABB
BBBBBEE
EEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEDDDDDDDDDDDDEEEEEEEEEEBBBBEE
EEEEEEEEEEEEEEEEEEFFFFFFFFFFFBBBBBBBBBBBBBBBBBB
BB
BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBAAAAAAAAAAAAABBBBBBBBBB
BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBAAAAAAAAAAAAABBBBBBBB

BBBDDDDDDDDDDDEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEE
 EEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEDDDDDDDDDDEEEEEEE
 EEE
 AAAAAA
 AAAAA

6. เพลงแขกมอญบางช้าง 3 ชั้น

XXX
 XXXCCCCCCCCCXXDDDDDDDDDDXAAAAAAAAAAAAAXXAAA
 AAFFFFFFFFFFFXXXXXXXXBBBGGGGGGGGGGGG
 GGGGGGGGGGGGGGGGGGGAAAAAAAAAAAAAAABBBBBBBBBB
 BBBBBBFFFFFFFFFFFFFFFFFAAAAAAAAAAAAAAXXXXXC
 CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCXX
 XXXXXXXXFFFFDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDXFFFFFFF
 DDDDDDDDDDDDDXXCCCFDDDDDDDDDDCCCCCCCCCCCCC
 CCXXAAAAAAAAAAAAAAAAAXDDDDDDDDDDDDDDDDDXFF
 FFFFFFFFFFFFFFFFFFXGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGG
 GGGGGAAAAGAAAAAGFEDCBAAAAAAAAAXXAAAAAXXXC
 CCCFFDDDDXXXXXXXXXXXXXEEEEEDDDDDDDDDDDDDDD
 DDDDDDDDDDDFFEEEEEEEEFFFFFFFFFFFFFFFFFAAAAAX
 XXXXCCCCCCCCCAAAAAAAAAAAAAAXXCCCAAXXCCCCC
 CEEEDCCCAAEEECCCCAAXXAAAAAEEECDDDDCCCCC
 CDCDXCCCCCCCCBCCCCCCCCXFFFFFFFFFFFFFFFFFEEDDD
 DDDDDDDDDDDCCCCAAAAAAAAAAAAADDCCCCC

7. เพลงลาวเสียงเทียน

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF
 FFFFFEEEEEEFFFFFAAAAAAAAAEEEEEEEEEEEEEEEEEEEE
 EDDDDDDDDDDDDDDDDDDCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
 CCCCCBBBBBBBBBBBBBBBBBBBEEEEEEEEEEFFFFEEEEEE
 EEE
 EEEEEEEEEEEEEAAAAAAAFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFEEEEEE
 EFFFFAAAAAAEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEEDDDDDDDDD
 DDDDDCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCBBB
 BBEE
 EEEEECCCCCCCCCCCCCCCCBBBBBBBBBBBBBBEEEEEEEE
 EEEEEEEEEEEEEBBBBBBBCCCCCCCCBBBBBAAAAAAFFFFF
 FFFFFFFFFFFFFFFFFFAAAAAAAAFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF
 EEEEEFFFFFFAAAAAAAACCCCCCCCCAAAAACCCCC
 CCCBBBBBAAACCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
 AAAAAAAABCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
 BBBCCCCCBBBBBBAAAAAAAAAAAFFFFFFFFFFFFFFFFFFAAAA
 AAAAF

8. เพลงสร้อยเพลง (ขลุ่ย)

XXEEEEEEFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF
 FFFFFFFFFGGGGGGFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFXX
 CCCCCBBBBBGGGGGGGGGGFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFDDDD
 CCCCCEEEEEEEEEGEEFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF
 FFFFFEEFFEEEGGGGGGGGGGGBBBBBBBBBBBBBBBBBBCC
 CCCDDDDDDBBBBBBBBBBBBBBBBBBGGGGGGGGGGGGGGGG
 GGGGGGGGGGGGGGGGGFFFFAAAAAFFFFFFFFFFFFFFFFFF
 CCCCCCCCCCEEEEEEEAAAAAEECCCCCCCCCCCCCCCC
 CCCDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDDCCCCCCCCCCCCCCCC
 CCCFFFF

FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFEEEEEEEEFFFFFFFFFFFFFFF
FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFXXXXXXGGGGG
GFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFXXXXCCCCCCC
CCCCCCCCCCCCCXGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGGG
AAAAAAAAAAAAACCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCA
AAAAAAAAAAAAACCCCCCCCCCGGGGGGGGGGGGGGGGGGG
GGGGGGGGGGGGGGGGGG



บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ดำเนินการทดลองงานบรรลุตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ซึ่งผู้วิจัยได้ตั้งวัตถุประสงค์ไว้ดังนี้

เพื่อพัฒนาชุดคำสั่งขั้นตอน (Algorithm) วิธีสำหรับค้นคืนสารสนเทศเสียงดนตรีเพลงไทยเดิม โดยวิธีการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล แปลงค่าสัญญาณของเสียงให้เป็นในรูปแบบตัวอักษร หรือตัวเลขซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบพัฒนาชุดคำสั่งขั้นตอน และได้ดำเนินการทดลองงานตามแผนงานที่ได้ตั้งไว้โดยสามารถสรุปผลการทดลองตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยทำการทดลองและได้ค่าดังนี้

1. เปรียบเทียบค่านวนหาค่าความถี่เสียงสูง-ต่ำของดนตรีไทย และสากล โดยการหาค่าสมการที่สามารถอ่านค่าความถี่เสียงสูง-ต่ำของดนตรีไทยให้มีความถูกต้องให้ได้มากที่สุด

ตารางที่ 1 สรุปผลการทดลองค่าความถี่เสียงสูง-ต่ำของดนตรี

วิธีทดลอง	ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของวิธีการอ้างอิง	47.8348 ± 14.1901
เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของวิธีการนำเสนอ	55.0978 ± 15.0938

จาก ตารางที่ 11 จะเห็นได้ว่า วิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยโดยการออกแบบพัฒนาชุดคำสั่งขั้นตอนในการคำนวณหาค่าความถี่เสียงสูง-ต่ำของดนตรีไทยวิธีแรกค่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าสูงกว่า ดังนั้นผู้วิจัยใช้วิธีการสรุปผลการทดลองค่าความถี่เสียงสูง-ต่ำของดนตรีโดยใช้ Interval ในการคำนวณดัง ตารางที่ 12

ตารางที่ 2 สรุปผลการทดลองค่าความถี่เสียงสูง-ต่ำของดนตรีโดยวิธี Interval

วิธีทดลอง	ค่าเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของวิธีการอ้างอิง	70.1928 ± 8.1842
เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของวิธีการนำเสนอ	72.5313 ± 9.1113

จากตารางจะเห็นได้ว่า จะสามารถตรวจจับ Equal Temperament ได้ดีกว่า และพบเสียงโครมาติก (12 เสียงเท่า) ในบทเพลงตัวอย่าง

2. จากข้อมูลตัวอย่าง 8 บทเพลง พบว่ามี 2 บทเพลงตัวอย่าง (ลาวเสียงเทียน, โหมโรงไอยเรศ 3 ชั้น) เพอร์เซ็นต์ความถูกต้องของวิธีการอ้างอิงสูงกว่า เพอร์เซ็นต์ความถูกต้องของวิธีการนำเสนอ เนื่องจากดนตรีที่ใช้บันทึกเสียงเป็นดนตรีที่บรรเลงเป็นเสียงโครมาติก (12 เสียงเท่า) สำหรับโทนเสียงดนตรีสากล ซึ่งไม่ใช่คีย์ไทยเดิมตามที่ผู้ทำวิจัยตั้งขอบเขตการวิจัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

วิจัยนี้นำเสนอขั้นตอนวิธีการสร้างเอกลักษณ์สำหรับใช้ในการค้นคืนสารสนเทศเสียงดนตรีไทยเดิม โดยอาศัยหลักการถดถอยเพื่อสร้างสมการเทียบความถี่ตัวโน้ตดนตรีไทยเดิมจากข้อมูลความถี่เสียงดนตรีไทยเดิมที่ผู้วิจัยได้ค้นคว้ารวบรวมมา จากการทดลองกับเพลงไทยเดิม 8 บทเพลงพบว่า สามารถระบุโน้ตเพลงได้ในระดับที่น่าพอใจและสามารถใช้สร้างเอกลักษณ์ที่ใช้ในการค้นคืนฐานข้อมูลเสียงดนตรีเพลงไทยเดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถสรุปได้ว่า โครมาแกรมมีประสิทธิภาพในการระบุตัวโน้ตดนตรีไทยเดิมได้ถูกต้อง อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้การเทียบความถูกต้องแบบตำแหน่งต่อตำแหน่ง โดยไม่ได้พิจารณาถึงการบรรเลงเพลงที่มีความช้า - เร็ว (tempo) แตกต่างกันจึงส่งผลให้ค่าความถูกต้องในภาพรวมยังไม่ดีนัก แต่อย่างไรก็ตามขั้นตอนวิธีที่นำเสนอนี้สามารถพัฒนาต่อยอดเพื่อให้ได้ค่าความถูกต้องในการค้นคืนเพิ่มขึ้นได้อีก

ภาคผนวก

โค้ดการคำนวณหาค่าเสียงสูง-ต่ำของดนตรีสากล เพื่อนำไปเปรียบเทียบ

```
from pylab import *

import sounddevice as sd

import soundfile as sf

import scipy.signal

import peakutils

def Fr(a): #----- ตั้งสมการสูตรคำนวณหาค่าเสียงสูง-ต่ำของดนตรีสากล
    return 440.0*(2.0**(1/12))**(a-49) #----- สูตรคำนวณหาค่าเสียงสูง-ต่ำของดนตรีสากล

ChromaticNote=Fr(linspace(1,88,88)) #----- จำนวนโน้ตสากล

NoteName=['A ','Bb ','B ','C ','C# ','D ','Eb ','E ','F ','F# ','G ','Ab '] #----- โน้ตสากล

bpm=70

fs=44100

d=1

T=linspace(0,2*pi,fs*d)

Y,fs=sf.read('___ชื่อบทเพลง___.wav')

Y=Y[:,0]

plot(Y)
```

```

offset=round(fs/20)

for i in range(0,len(Y),offset):

    Samples=Y[i-round(offset*0.2):i+offset]

    if(len(Samples)<offset):

        continue

    X=fft(Samples)

    X=abs(X)

    Xssb=X[1:round(len(X)/2)]

    F=arange(len(Samples))/((len(Samples)/fs))

    F=F[1:round(len(F)/2)]

    if(max(Xssb)>10):

        threshold=10/max(Xssb)

        indexes=peakutils.indexes(Xssb,thres=threshold,min_dist=100)

        PeakMagnetude=flip(argsort(Xssb[indexes]))

        note=0

        PeakFrequency=F[indexes[PeakMagnetude[note]]]

        T=argsort(abs(PeakFrequency-ChromaticNote))[0]

        basenote=mod(T,12)

```

```
print(NoteName[basenote],end="")  
  
text(i+round(offset/2),0.5,NoteName[basenote])  
  
else:  
  
text(i+round(offset/2),0.5,"X ")  
  
print("X",end=" ")  
  
show()
```



โค้ดการคำนวณหาค่าเสียงสูง-ต่ำของดนตรีไทยที่ผู้วิจัยนำเสนอ เพื่อนำไปเปรียบเทียบ

```
from pylab import *
```

```
import sounddevice as sd
```

```
import soundfile as sf
```

```
import scipy.signal
```

```
import peakutils
```

```
def Fr2(a): #----- ตั้งสมการสูตรคำนวณหาค่าเสียงสูง-ต่ำของดนตรีไทย
```

```
return (0.0028*(a**3))+(0.0415*(a**2))-(0.015*a)+27.474 #---สูตรที่ผู้วิจัยนำเสนอ
```

```
ChromaticNote=Fr2(linspace(1,88,88)) #-----จำนวนโน้ตสากล
```

```
Blackkeys=[2,5,7,10,12,14,17,19,22,24,26,29,31,34,36,38,41,43,46,48,50,53,55,58,60,62,65,67,70,72,74,77,79,82,84,86] #-----ลำดับโน้ตสากลครึ่งเสียง
```

```
NoteName=['A ','Bb ','B ','C ','C# ','D ','Eb ','E ','F ','F# ','G ','Ab '] #-----โน้ตสากล
```

```
ChromaticNote[array(Blackkeys)-1]=0
```

```
bpm=70
```

```
fs=44100
```

```
d=1
```

```
T=linspace(0,2*pi,fs*d)
```

```
Y,fs=sf.read('___ชื่อบทเพลง___.wav')
```

```
Y=Y[:,0]
```

```
plot(Y)
```

```
offset=round(fs/20)
```

```
for i in range(0,len(Y),offset):
```

```
    Samples=Y[i-round(offset*0.2):i+offset]
```

```
    if(len(Samples)<offset):
```

```
        continue
```

```
    X=fft(Samples)
```

```
    X=abs(X)
```

```
    Xssb=X[1:round(len(X)/2)]
```

```
    F=arange(len(Samples))/((len(Samples)/fs))
```

```
    F=F[1:round(len(F)/2)]
```

```
    if(max(Xssb)>10):
```

```
        threshold=10/max(Xssb)
```

```
        indexes=peakutils.indexes(Xssb,thres=threshold,min_dist=100)
```

```
        PeakMagnetude=flip(argsort(Xssb[indexes]))
```

```
        note=0
```

```
        PeakFrequency=F[indexes[PeakMagnetude[note]]]
```

```
T=argsort(abs(PeakFrequency-ChromaticNote))[0]
```

```
basenote=mod(T,12)
```

```
print(NoteName[basenote],end="")
```

```
text(i+round(offset/2),0.5,NoteName[basenote])
```

```
else:
```

```
text(i+round(offset/2),0.5,"X ")
```

```
print("X",end=" ")
```

```
show()
```



โค้ดเทียบระหว่างโน้ตการจำแนกระดับเสียง กับผลเฉลย

```
from pylab import *
```

```
with open('___ชื่อบทเพลงผลเฉลย___sol') as f:
```

```
    sols = ( f.read())
```

```
    print(sols)
```

```
with open('___ชื่อบทเพลง___1') as f:
```

```
    tests = (f.read())
```

```
    print(tests)
```

```
noteID = { 'A':1, 'Bb':2, 'B':3, 'C':4, 'C#':5, 'D':6, 'Eb':7, 'E':8, 'F':9, 'F#':10, 'G':11, 'Ab':12,
'X':0, "":0 }
```

```
solutions=sols.strip().split(' ',-1)
```

```
outputs=tests.strip().split(' ',-1)
```

```
correct=0
```

```
error=0
```

```
solution_noteid=[]
```

```
output_noteid=[]
```

```
for solution in solutions:
```

```
    solution_noteid.append(noteID[solution])
```

```
for output in outputs:
```

```
    output_noteid.append(noteID[output])
```

```
for (i,solution) in enumerate(solutions):
```

```
if (solution==""):
    continue

print(i,solution,outputs[i])

if(outputs[i]==solution):
    correct=correct+1

else:
    print('error',outputs[i],solution)
    error=error+1

accuracy=(correct/(correct+error))*100
print(accuracy)

accuracy1=100-((sum(array(solution_noteid)-array(output_noteid)!=0)
/len(output_noteid))*100)
print('accuracy 1',accuracy1)

accuracy2=100-((sum(array(diff(solution_noteid))-array(diff(output_noteid))!=0)
/len(output_noteid))*100)
print('accuracy 2',accuracy2)

print(diff(solution_noteid))

print(diff(output_noteid))
```

บรรณานุกรม

- A. Uitdenbogerd & Zobel, J. 1999. Melodic Matching Techniques for Large Music Databases. **ACM MULTIMEDIA '99: Proceedings of the seventh ACM international conference on Multimedia (Part 1)**, 1(978-1-58113-151-2), 57-66.
- Asif Ghias, Jonathan Logan, David Chamberlin & Smith, B. C. 1995. Query By Humming : Musical Information Retrieval in An Audio Database. **ACM MULTIMEDIA '95**, 231-236.
- Ayush Shah, Manasi Kattel, Araju Nepal & D. Shrestha. 2019. Chroma Feature Extraction. In.
- Connaghan, T. 2023. **Pentatonic Scale: The Ultimate Beginner's Guide**. [Online]. Available <https://emastered.com/blog/pentatonic-scale> (22 March).
- International Organization for Standardization. 1975. **ISO 16:1975 Acoustics — Standard tuning frequency (Standard musical pitch)**. Switzerland.
- Paween Khoenkaw & Punpiti Piamsa-nga. 2014. Video Similarity Measurement Using Spectrogram Video Similarity Measurement Using Spectrogram. p. 10.1109/ICSEC.2014.6978241. In **2014 International Computer Science and Engineering Conference, ICSEC 2014**. Khon Kaen, Thailand. IEEE.
- Phra Chen Duriyanga. 2015. **THAI MUSIC (Thai Culture, New Series No.15)** 17 ed. Bangkok: Rung Silp Printing Company Limited.
- Wen-juan Liu & Feng, J.-l. 2011. Qualitative Mapping Model Of Humming Melody Extraction **Proceedings of 2011 International Conference on Computer Science and Network Technology**. doi:10.1109/ICCSNT.2011.6182283
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542. การศึกษาค้นคว้าวิจัยเรื่อง ความถี่ของเสียงดนตรีไทย โดย พระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์เรือนแก้วการพิมพ์.
- ณัชชา พันธุ์เจริญ. 2556. ทฤษฎีดนตรี. พิมพ์ครั้งที่ 12. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เกศกะรัต.
- ชนะรัชต์ อนุกุล. 2563. ระบบเสียงดนตรีไทยกับการขับร้องเพลงไทยเดิม. วารสารที่ทัศนวัฒนธรรม. 19(1). 195-214.
- สงบศึก ธรรมวิหาร. 2567. ดุริยางค์ไทย. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์

มหาวิทยาลัย.

สรารุณี สัจจิตจร. 2546. การวิเคราะห์เสียงดนตรีไทย. นครราชสีมา โรงพิมพ์เลิศศิลป์ (1994).

สุกรี เจริญสุข. 2546. เสียงและระบบดนตรีไทย. กรุงเทพฯ วิทยาลัยดุริยางคศิลป์มหาวิทยาลัยมหิดล.

อุทิศ นาคสวัสดิ์. 2531. ทฤษฎีและปฏิบัติดนตรีไทย ภาค ๑ ว่าด้วยหลักและทฤษฎีดนตรีไทย.

กรุงเทพฯ สถาบันฝึกดนตรีและนาฏศิลป์ไทย.



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ธีรารุณี หงษ์ฟ่อน
เกิดเมื่อ	16 มีนาคม 2540
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2563 ระดับปริญญาโท วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมเทคโนโลยีดิจิทัล มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ พ.ศ.2558 ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ พ.ศ.2555 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเทพดินทร์วิทยาเชียงใหม่
ประวัติการทำงาน	พ.ศ.2567 - ปัจจุบัน พนักงานส่วนงาน ตำแหน่ง นักวิชาการคอมพิวเตอร์ (เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ) สังกัด งานบริการการศึกษาและกิจการนักศึกษา สำนักงานคณบดีคณะวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

