การวัดค่าความคล้ายของดนตรีจากลำดับคอร์ดสำหรับระบบค้นคืนชีทเพลง

นายชัยทรัพย์ วงศาโรจน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHORD SEQUENCE BASED SIMILARITY MEASURE FOR SHEET MUSIC RETRIEVAL SYSTEM

Mr. Chaisup Wongsaroj

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Software Engineering
Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวัดค่าความคล้ายของดนตรีจากลำดับคอร์ดสำหรับระบบค้นคืนชีทเพลง
โดย	นายชัยทรัพย์ วงศาโรจน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมซอฟต์แวร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นครทิพย์ พร้อมพูล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถสิทธิ์ สุรฤกษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนารัตน์ ชลิดาพงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นครทิพย์ พร้อมพูล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถสิทธิ์ สุรฤกษ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. อานนท์ รุ่งสว่าง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ชัยทรัพย์ วงศาโรจน์ : การวัดค่าความคล้ายของดนตรีจากลำดับคอร์ดสำหรับระบบค้นคืนชีทเพลง (CHORD SEQUENCE BASED SIMILARITY MEASURE FOR SHEET MUSIC RETRIEVAL SYSTEM) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. นครทิพย์ พร้อมพูล, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. ดร. อรรถสิทธิ์ สุรฤกษ์, 144 หน้า.

เว็บไซต์เพื่อการค้นหาเพลงในปัจจุบันโดยทั่วไปจะมีฟังก์ชันการค้นหาเพลงตามเมตาดาตาของเพลง เช่น ชื่อเพลง อัลบั้ม หรือศิลปิน เป็นต้น แต่ในกรณีของการค้นหาเอกสารดนตรีนั้นชีทเพลงคือเอกสารที่มีบทบาทสำคัญที่ถูกนำมาใช้ในระบบค้นคืน ทั้งนี้ระบบจะมีความสามารถในการค้นหาเพลงที่มากขึ้นได้ หากระบบสามารถจำแนกเพลงโดยอาศัยข้อมูลลำดับคอร์ดที่อยู่ในเอกสารชีทเพลงได้ อย่างไรก็ตามการสกัดข้อมูลลำดับคอร์ดและการวัดค่าความคล้ายของเพลงนั้นเป็นเรื่องที่ยากและท้าทายเนื่องจากเอกสารชนิดนี้ไม่ได้มีรูปแบบที่แน่นอน

งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการวัดค่าความคล้ายระหว่างเอกสารชีทเพลงที่มีการคำนวณแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับคอร์ด ระดับท่อน และระดับเพลง และมีวิธีการสกัดข้อมูลลำดับคอร์ดจากเอกสารโดยอาศัยการวิเคราะห์ข้อความบนฐานของทฤษฎีดนตรี นอกจากนี้ยังได้เสนอให้มีการใช้สัญกรณ์จังหวะในเอกสารด้วย เพื่อให้สามารถระบุข้อมูลจังหวะของแต่ละคอร์ดในเอกสารได้

จากผลการทดลองพบว่าวิธีการที่นำเสนอในวัดค่าความคล้ายของดนตรีจากการดำเนินคอร์ดนั้นได้ความแม่นยำที่สูงกว่าวิธีการคอร์ดฮิสโตแกรมโดยคิดเป็นร้อยละ 53.97 นอกจากนี้ยังพบว่าการวัดค่าความคล้ายของดนตรีที่ปรับปรุงโดยอาศัยสัญกรณ์จังหวะที่เพิ่มในเอกสารก็ช่วยให้ได้ความแม่นยำเพิ่มขึ้นจากเดิมด้วยโดยคิดเป็นร้อยละ 32.12 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่าการใช้ข้อมูลจังหวะและการแบ่งท่อนของเพลง คือปัจจัยสำคัญต่อความแม่นยำในการวัดค่าความคล้ายของดนตรี

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมซอฟต์แวร์	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....
ปีการศึกษา 2557	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5570480921 : MAJOR SOFTWARE ENGINEERING

KEYWORDS: INFORMATION RETRIEVAL / MUSIC SIMILARITY / SIGNATURE FILES / INTERPRETER PATTERN / SHEET MUSIC

CHAISUP WONGSAROJ: CHORD SEQUENCE BASED SIMILARITY MEASURE FOR SHEET MUSIC RETRIEVAL SYSTEM. ADVISOR: ASST. PROF. NAKORNTHIP PROMPOON, CO-ADVISOR: ASST. PROF. ATHASIT SURARERKS, Ph.D., 144 pp.

At present, music search websites usually provide search function using music metadata such as titles, albums, artists, etc. In the case of searching a music document, sheet music can play an important role in a music retrieval system. The system will have more capability in searching music if the system can classify songs using chord sequences containing in sheet music documents. However, chord sequences extraction and songs similarity measurement seem to be difficult and challenging because of its uncertain text format.

This research aims to propose a music similarity measure for sheet music documents considering three levels of calculation including chord, sequence, and music. In addition, our research proposes an approach of chord sequence extraction from the documents using text analysis based on music theory. Furthermore, we also propose a beat notation in the documents to specify beat information of chords.

By the experimental results, our proposed method of music similarity measurement using chord progression obtained higher precision than using chord histogram technique about 53.97%. In addition, we found that an enhanced music similarity measurement considering beat notations added in the documents could improve the precision about 32.12%. For this research, we concluded that beat information and song segmentation are important factors for the precision of music similarity measure.

Department:	Computer Engineering	Student's Signature .....
Field of Study:	Software Engineering	Advisor's Signature .....
Academic Year:	2014	Co-Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ นครทิพย์ พร้อมพูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้เปิดโอกาสในการทำงานวิจัยที่เป็นแรงหลักผลักดัน คอยให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ และให้ความรู้ทางด้านวิชาการอันเป็นเนื้อหาสำคัญของงานวิจัยนี้ ตลอดจนให้กำลังใจ และอบรมคุณธรรมจริยธรรม เพื่อให้การทำวิจัยนี้และวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถสิทธิ์ สุรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่คอยให้คำแนะนำ และชี้แนะแนวทางเพื่อให้การทำวิจัยและวิทยานิพนธ์มีคุณภาพมากขึ้น และให้คำแนะนำในการลดจุดบกพร่องของงานได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนารัตน์ ชลิดาพงศ์ ประธานกรรมการสอบ และรองศาสตราจารย์ ดร.อานนท์ รุ่งสว่าง กรรมการสอบ สำหรับการสอบวิทยานิพนธ์ และชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนางานให้ดียิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่านที่ให้ความรู้ทางด้านวิชาการและคอยอบรมสั่งสอน รวมทั้งบุคลากรทุกท่านที่คอยอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อนๆ วิศวกรรมซอฟต์แวร์รุ่น 11 และพี่ๆ น้องๆ ร่วมชั้นเรียน ที่ให้ความช่วยเหลือซึ่งกันและกันอย่างอบอุ่น รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ นอกชั้นเรียน ที่คอยเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าเช่นกัน

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณนายชูชาติ วงศาโรจน์ บิดาผู้ล่วงลับไปแล้ว และนางสุชาดา วงศาโรจน์ มารดาที่ส่งเสริมให้มีการศึกษาในระดับปริญญาโทสำหรับข้าพเจ้า อีกทั้งขอขอบคุณนางสาวพัชราภรณ์ วงศาโรจน์ พี่สาวที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจข้าพเจ้าเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฏ
สารบัญรูป ..... ฒ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญ 1
1.2 ปัญหาของงานวิจัย 3
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3
1.4 ขอบเขตงานวิจัย 3
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย 4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 4
1.7 โครงสร้างของเนื้อหาในวิทยานิพนธ์ 5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 6
2.1 ทฤษฎีดนตรี 6
2.1.1 โน้ต 6
2.1.2 คอร์ด 8
2.1.3 ลำดับคอร์ด 10
2.1.4 กุญแจเสียง 12
2.2 แบบรูปการออกแบบซอฟต์แวร์ 15
2.2.1 แบบรูปอินเทอร์พรีเตอร์ 15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.3 การจัดเก็บและค้นคืนสารสนเทศ 20
2.3.1 ส่วนต่อประสานผู้ใช้ในระบบค้นคืน 20
2.3.2 การทำดัชนีแฟ้มลายเซ็น 22
2.3.3 แบบจำลองการค้นคืน 24
2.3.4 การประเมินประสิทธิผลการค้นคืน 25
2.3.4.1 การวัดค่าความแม่นยำและค่าระลึก 25
2.3.4.2 การวัดค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ย 25
2.3.4.3 กราฟฮิสโตแกรมของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึก 27
บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 28
3.1 วิธีการวัดค่าความคล้ายของลำดับคอร์ด 28
3.1.1 ทีพีเอสดี 28
3.1.1.1 การหาระยะห่างของคอร์ด 28
3.1.1.2 การหาระยะห่างของลำดับคอร์ด 31
3.1.2 ซีเอสเอเอส 32
3.1.2.1 การหาค่าความคล้ายของคอร์ด 32
3.1.2.2 การหาค่าความคล้ายของลำดับคอร์ด 33
3.1.3 คอร์ดฮิสโตแกรม 34
3.2 การเปรียบเทียบวิธีการ 35
บทที่ 4 วิธีการที่นำเสนอ 37
4.1 ภาพรวมของวิธีการที่นำเสนอ 37
4.2 การนำเข้าชีทเพลง 39
4.2.1 การจัดรูปแบบเอกสารที่ใช้นำเข้าระบบ 39
4.2.2 การสกัดข้อมูลลำดับคอร์ดจากเอกสาร 42

หน้า

4.2.2.1 การสกัดข้อความที่เป็นข้อมูลดนตรี 43
4.2.2.2 การแปลความหมายข้อมูลดนตรี 44
4.2.2.3 การจัดเรียงลำดับคอร์ด 48
4.2.2.4 การหากุญแจเสียงของเพลง 48
4.3 การเตรียมข้อมูลลำดับคอร์ดเพื่อการเปรียบเทียบ 52
4.3.1 การจัดเก็บข้อมูลคอร์ดด้วยแฟ้มลายเซ็น 54
4.3.2 การจัดเก็บข้อมูลลำดับคอร์ดด้วยตารางสรุป 55
4.4 การวัดค่าความคล้ายของดนตรี 57
4.4.1 การคำนวณค่าความคล้ายระหว่างคอร์ด (C_Sim) 58
4.4.2 การคำนวณค่าความคล้ายระหว่างลำดับ (S_Sim) 59
4.4.3 การคำนวณค่าความคล้ายระหว่างเพลง (M_Sim) 62
บทที่ 5 การทดลองและการวิเคราะห์ผล 70
5.1 วัตถุประสงค์การทดลอง 70
5.2 การเตรียมข้อมูลสำหรับการทดลอง 71
5.2.1 การสร้างคลังข้อมูลเอกสาร 71
5.2.2 การสร้างข้อคำถามประดิษฐ์ 72
5.3 การประเมินวิธีการ 73
5.3.1 วิธีการวัดค่าความคล้ายของดนตรีที่ต้องการประเมิน 73
5.3.2 การประเมินประสิทธิภาพของวิธีการ 73
5.3.3 การประเมินประสิทธิผลของวิธีการ 74
5.4 ขั้นตอนการทดลอง 75
5.4.1 ขั้นตอนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับคอร์ดฮิสโตแกรมในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจังหวะ 76

5.4.2 ขั้นตอนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอระหว่างกรณีที่มีข้อมูลจังหวะกับไม่มีข้อมูลจังหวะ 77

5.4.3 ขั้นตอนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับซีเอสเอเอสและทีพีเอสดีในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะ 78

5.5 ผลการทดลอง 80

5.5.1 ผลการทดลองของการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับคอร์ดฮิสโตแกรมในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจังหวะ 82

5.5.2 ผลการทดลองของการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอระหว่างกรณีที่มีข้อมูลจังหวะกับไม่มีข้อมูลจังหวะ 82

5.5.3 ผลการทดลองของการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับซีเอสเอเอสในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะ 83

5.5.4 ผลการทดลองของการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับทีพีเอสดีในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะ 84

5.6 สรุปผลการทดลอง 84

บทที่ 6 การพัฒนาระบบต้นแบบ 86

6.1 ความต้องการของระบบ 86

6.1.1 ความต้องการเชิงหน้าที่ 86

6.1.2 ความต้องการที่ไม่ใช่หน้าที่ 91

6.2 โครงสร้างและการทำงานของระบบต้นแบบ 91

6.2.1 ส่วนการค้นคืนชีทเพลงสำหรับผู้ใช้ทั่วไป 91

6.2.2 ส่วนการนำเข้าชีทเพลงสำหรับผู้ดูแลระบบ 92

6.3 การออกแบบและพัฒนาระบบต้นแบบ 93

6.3.1 สถาปัตยกรรมของระบบต้นแบบ 93

6.3.2 แบบจำลองข้อมูล 94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

6.3.3 เครื่องมือสนับสนุนที่ใช้ 96
6.4 การออกแบบส่วนต่อประสานผู้ใช้ 97
6.4.1 ส่วนต่อประสานผู้ใช้ของการค้นคืนชีทเพลง 97
6.4.2 ส่วนต่อประสานผู้ใช้ของการนำเข้าชีทเพลง 100
6.5 การทดสอบระบบต้นแบบ 102
6.5.1 การทดสอบหน่วยย่อย 103
6.5.2 การทดสอบบูรณาการ 105
6.5.3 การทดสอบระบบ 106
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัย 108
7.1 สรุปผลการวิจัย 108
7.2 ข้อจำกัดการวิจัย 110
7.3 ข้อเสนอแนะ 110
7.4 งานวิจัยในอนาคต 111
7.5 บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ 111
รายการอ้างอิง 112
ภาคผนวก ก รายการคำสำคัญในทฤษฎีดนตรีและความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย 116
ภาคผนวก ข รายการเพลงและเอกสารที่มีการแปรผันของลำดับคอร์ด 119
ภาคผนวก ค ผลการทดลองในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ 126
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 144

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การเรียกชื่อโน้ตมาตรฐานในดนตรีสากล ตามตำแหน่งของโน้ตทั้งหมด 7 ตัว [13] 6
ตารางที่ 2.2 การเขียนโน้ตในระบบตัวอักษร ตามตำแหน่งของพิทช์คลาส..... 7
ตารางที่ 2.3 การเชื่อมโยงระหว่างตำแหน่งของโน้ตและตำแหน่งของพิทช์คลาส 8
ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างการระบุเซตของพิทช์คลาส สำหรับเมเจอร์คอร์ด C, D, F, G# และ Bb..... 8
ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างชนิดของคอร์ดที่มีองค์ประกอบของโน้ตที่แตกต่างกันไปตามสูตรคอร์ด 9
ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างการวิเคราะห์คอร์ด สำหรับคอร์ด C, F, C/G, G7, Am/F และ Fmaj7 10
ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างการเปลี่ยนกุญแจเสียง สำหรับเพลง “Happy Birthday” 14
ตารางที่ 2.8 ตัวอย่างลายเซ็นข้อความที่สร้างได้จากฟังก์ชันลายเซ็นของแต่ละเทอม [12]..... 23
ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการวิเคราะห์พิทช์คลาสของคอร์ด C..... 29
ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์พิทช์คลาสของคอร์ด G7..... 29
ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการเปรียบเทียบความแตกต่างของพิทช์คลาสระหว่างคอร์ด C และ G7..... 29
ตารางที่ 3.4 การพิจารณาระยะห่างของตำแหน่งกุญแจเสียงตามแผนภาพวงกลมคู่ที่ 5 30
ตารางที่ 3.5 คำอธิบายการเปรียบเทียบของอักขระในคอร์ดของวิธีการซีเอสเอเอส [8] 33
ตารางที่ 3.6 สรุปผลการทดลองในเชิงเปรียบเทียบระหว่างวิธีการทีพีเอสดีและซีเอสเอเอส [8]..... 33
ตารางที่ 3.7 การเปรียบเทียบผลของค่าเอ็มเอพีและเวลาดำเนินงานระหว่างสองวิธีการ [10]..... 35
ตารางที่ 4.1 กฎการปรับข้อความที่นำเสนอในส่วนของการสกัดข้อมูลลำดับคอร์ด..... 40
ตารางที่ 4.2 กฎการปรับข้อความที่นำเสนอในส่วนของการสกัดข้อมูลจังหวะ 40
ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างชุดคำสั่งดำเนินการแปลความหมายของแต่ละพจน์ 45
ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างการแปลความหมายในแต่ละขั้นตอนสำหรับคอร์ด Fmaj7 47
ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างการแปลความหมายในแต่ละขั้นตอนสำหรับคอร์ด E7sus4..... 47
ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างการแปลความหมายในแต่ละขั้นตอนสำหรับคอร์ด Am/F 47

หน้า

ตารางที่ 4.7 วิธีการจัดกลุ่มคอร์ดเป็น 3 กลุ่มเพื่อหากุญแจเสียง 49
ตารางที่ 4.8 ตัวอย่างการหากุญแจเสียงของลำดับคอร์ด | C | Em | Dm | G7 |..... 50
ตารางที่ 4.9 ตัวอย่างการหากุญแจเสียงของลำดับคอร์ด | Am7 | D7 | Gmaj7 |..... 50
ตารางที่ 4.10 ตัวอย่างการหากุญแจเสียงของลำดับคอร์ด | G | B | C | Cm | 51
ตารางที่ 4.11 ตัวอย่างการหากุญแจเสียงของลำดับคอร์ด | Dm | Bbm | 51
ตารางที่ 4.12 ตัวอย่างการหากุญแจเสียงของเพลงจากการหาผลสรุปรวมจากแต่ละลำดับคอร์ด..... 52
ตารางที่ 4.13 ตัวอย่างการสร้างลายเซ็นของคอร์ด 55
ตารางที่ 4.14 ตัวอย่างการกำหนดอัตราส่วนจังหวะในอาร์เรย์ของลำดับคอร์ดที่มีข้อมูลจังหวะ 61
ตารางที่ 4.15 ตัวอย่างการหากุญแจเสียงของเพลงการหาผลสรุปรวมจากแต่ละลำดับคอร์ด 63
ตารางที่ 4.16 รายการตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างเพลง 64
ตารางที่ 4.17 ตัวอย่างข้อมูลลำดับคอร์ดที่ใช้วัดความคล้ายของดนตรีสำหรับชีทเพลง A 68
ตารางที่ 4.18 ตัวอย่างข้อมูลลำดับคอร์ดที่ใช้วัดความคล้ายของดนตรีสำหรับชีทเพลง B..... 68
ตารางที่ 4.19 ตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขการเลือกขั้วสำหรับชีทเพลง A และ B..... 69
ตารางที่ 4.20 ตัวอย่างผลการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างชีทเพลง A และ B 69
ตารางที่ 5.1 อัตราส่วนและจำนวนชีทเพลงจากแต่ละแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง..... 71
ตารางที่ 5.2 จำนวนเพลงและจำนวนเอกสารจากการแปรผันของเพลงที่ใช้ในการทดลอง..... 72
ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างการคำนวณค่าความแม่นยำและค่าระลึก..... 75
ตารางที่ 5.4 ความเกี่ยวข้องระหว่างการทดลองกับวิธีการ..... 75
ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองที่แสดงค่าเอ็มเอพีและระยะเวลาดำเนินงาน 80
ตารางที่ 6.1 คำอธิบายยูสเคสของผู้ใช้ทั่วไปเพื่อค้นหาเพลงตามเมตาดาตา..... 87
ตารางที่ 6.2 คำอธิบายยูสเคสของผู้ใช้ทั่วไปเพื่อค้นหาเพลงที่คล้ายกัน..... 88
ตารางที่ 6.3 คำอธิบายยูสเคสของผู้ใช้ทั่วไปเพื่อแสดงชีทเพลง..... 88
ตารางที่ 6.4 คำอธิบายยูสเคสของผู้ดูแลระบบเพื่อนำเข้าชีทเพลง..... 89

Chulalongkorn University

หน้า

ตารางที่ 6.5 คำอธิบายยูสเคสของผู้ดูแลระบบเพื่อสกัดข้อมูลลำดับคอร์ด 89
ตารางที่ 6.6 คำอธิบายยูสเคสของผู้ใช้ทั่วไปเพื่อบันทึกข้อมูลเพลง 90
ตารางที่ 6.7 คำอธิบายยูสเคสของผู้ดูแลระบบเพื่อวัดค่าความคล้ายระหว่างเอกสาร 90
ตารางที่ 6.8 รายการความต้องการที่ไม่ใช่หน้าที่ของระบบต้นแบบ 91
ตารางที่ 6.9 คำอธิบายตารางของแต่ละตารางในฐานข้อมูล 95
ตารางที่ 6.10 รายการกรณีทดสอบ 102
ตารางที่ 6.11 กรณีทดสอบของการวิเคราะห์คอร์ด 103
ตารางที่ 6.12 กรณีทดสอบของการแยกคำสำคัญในข้อความ 103
ตารางที่ 6.13 กรณีทดสอบของการค้นหาเอกสารจากข้อคำถาม 104
ตารางที่ 6.14 กรณีทดสอบของการแสดงเนื้อหาในเอกสาร 104
ตารางที่ 6.15 กรณีทดสอบของการสกัดข้อมูลลำดับคอร์ดในชีทเพลง 105
ตารางที่ 6.16 กรณีทดสอบของการค้นหาและแสดงชีทเพลง 105
ตารางที่ 6.17 กรณีทดสอบของการนำเข้าชีทเพลงในระบบ 106
ตารางที่ 6.18 กรณีทดสอบของการแสดงอันดับความคล้ายระหว่างเพลงในระบบ 107
ตารางที่ ก.1 รายการคำสำคัญในทฤษฎีดนตรีและความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย 116
ตารางที่ ข.1 รายการเพลงที่ไม่มีการแปรผันของลำดับคอร์ด 119
ตารางที่ ข.2 รายการเพลงที่มีจำนวนการแปรผันของลำดับคอร์ดตั้งแต่ 2 เอกสารขึ้นไป 122
ตารางที่ ค.1 ค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ยในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ 126
ตารางที่ ค.2 ค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ 135

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างข้อความที่เป็นคอร์ดและเนื้อเพลงในชีทเพลง “Happy Birthday” 11
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแผนภาพเส้นของลำดับคอร์ด สำหรับเพลง “Happy Birthday” 11
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างอาร์เรย์ของลำดับคอร์ดที่ไม่มีข้อมูลจังหวะ สำหรับเพลง “Happy Birthday” 12
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างอาร์เรย์ของลำดับคอร์ดที่มีข้อมูลจังหวะ สำหรับเพลง “Happy Birthday” 12
รูปที่ 2.5 กุญแจเสียงเมเจอร์ทั้ง 12 ชนิดที่มีการกำหนดโน้ตทั้ง 7 ตำแหน่งที่แตกต่างกัน 13
รูปที่ 2.6 แผนภาพวงกลมคู่ที่ 5 ที่จัดเรียงกุญแจเสียงตามจำนวนเครื่องหมายแปลงเสียง [14]..... 14
รูปที่ 2.7 แผนภาพคลาสสำหรับแบบรูปอินเทอร์พรีเตอร์ [16] 16
รูปที่ 2.8 แผนภาพคลาสของโปรแกรมแปลงเลขโรมัน [16]..... 17
รูปที่ 2.9 แผนภาพแสดงการทำงานของการแปลงเลขโรมันที่มีข้อมูลนำเข้าเป็น MCMXXVIII 18
รูปที่ 2.10 ส่วนการทำงานหลักของโปรแกรมแปลงเลขโรมัน [16]..... 19
รูปที่ 2.11 ส่วนการทำงานแปลความหมายของโปรแกรมแปลงเลขโรมัน [16]..... 19
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างส่วนต่อประสานผู้ใช้สำหรับค้นหาเพลง [17]..... 20
รูปที่ 2.13 ตัวอย่างส่วนต่อประสานผู้ใช้สำหรับแสดงรายการเพลง [17]..... 21
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างส่วนต่อประสานผู้ใช้สำหรับแสดงเนื้อหาในชีทเพลง [17]..... 21
รูปที่ 2.15 ตัวอย่างข้อมูลลำดับคอร์ดที่แสดงการจัดเรียงคอร์ดในแต่ละห้อง..... 22
รูปที่ 2.16 ตัวอย่างการใช้แฟ้มลายเซ็นในการสร้างดัชนีให้กับคำในข้อความ [12] 23
รูปที่ 3.1 ภาพรวมกระบวนการของการหาระยะห่างของลำดับคอร์ดด้วยวิธีการทีพีเอสดี [5]..... 31
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างแผนภาพฮิสโตแกรมที่มีการเปรียบเทียบระหว่างเพลงด้วยคอร์ด 24 กลุ่ม [21]... 34
รูปที่ 3.3 ภารกิจการทดลองทั้ง 3 ภารกิจ ที่มีข้อมูลชื่อคอร์ดแตกต่างกัน 35
รูปที่ 3.4 กราฟความแม่นยำที่ค่าระลึก 11 ระดับ ของการเปรียบเทียบวิธีการทั้งสอง [10]..... 36

หน้า

รูปที่ 4.1 แผนภาพกิจกรรมที่แสดงภาพรวมของวิธีการที่นำเสนอ 38
รูปที่ 4.2 องค์ประกอบของระบบจัดเก็บและค้นคืนชีทเพลงจากวิธีการที่นำเสนอ 38
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างข้อความในชีทเพลง “Close To You” ที่แสดงการแบ่งท่อนของเพลง 41
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างข้อมูลลำดับคอร์ดจากชีทเพลง “Close To You” ที่ไม่มีข้อมูลจังหวะ 41
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างข้อมูลลำดับคอร์ดจากชีทเพลง “Close To You” ที่มีข้อมูลจังหวะ 41
รูปที่ 4.6 แผนภาพกิจกรรมของกระบวนการสกัดข้อมูลลำดับคอร์ดจากชีทเพลง 42
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างต้นไม้อักขระของคอร์ดสำหรับการค้นหาข้อความที่เป็นคอร์ด 43
รูปที่ 4.8 แผนภาพคลาสของการแปลความหมายคอร์ดที่เป็นแบบรูปอินเทอร์พรีเตอร์ 46
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการจัดเรียงลำดับคอร์ดที่มีการกำจัดส่วนที่ซ้ำซ้อนออก 48
รูปที่ 4.10 แผนภาพกิจกรรมของการจัดเก็บข้อมูลลำดับคอร์ดด้วยตารางสรุป 53
รูปที่ 4.11 ภาพรวมของการประมวลผลข้อมูลทั้งหมดในระบบที่เป็นแบบอีทีแอล 54
รูปที่ 4.12 ภาพรวมของโครงสร้างของตารางสรุปทั้งสามบนฐานของกระบวนการอีทีแอล 56
รูปที่ 4.13 แผนภาพกิจกรรมของวิธีการคำนวณค่าความคล้ายของดนตรีที่นำเสนอ 57
รูปที่ 4.14 ตัวอย่างการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างคอร์ด 58
รูปที่ 4.15 ตัวอย่างการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างลำดับ ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจังหวะ 60
รูปที่ 4.16 ตัวอย่างการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างลำดับ ในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะ 60
รูปที่ 4.17 ภาพรวมของการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างเพลง 62
รูปที่ 4.18 อัลกอริทึมของการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างเพลงทุกคู่ในคลังข้อมูล 65
รูปที่ 4.19 ตัวอย่างชีทเพลง A ที่มีการแปรผันของเพลง “Frosty The Snowman” 66
รูปที่ 4.20 ตัวอย่างชีทเพลง B ที่มีการแปรผันของเพลง “Frosty The Snowman” 67

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

รูปที่ 5.1 แผนภาพกิจกรรมของการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับคอร์ดฮิสโตแกรม ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจังหวะ 76

รูปที่ 5.2 แผนภาพกิจกรรมของการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอระหว่างกรณีที่มี ข้อมูลจังหวะกับไม่มีข้อมูลจังหวะ 77

รูปที่ 5.3 แผนภาพกิจกรรมของการทดลองเพื่อเปรียบเทียบ 3 วิธีการ ซึ่งได้แก่ วิธีการที่นำเสนอ ซีเอสเอเอส และทีพีเอสดี ในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะ 79

รูปที่ 5.4 กราฟเส้นโค้งของค่าความแม่นยำที่ค่าระลึก 11 ระดับของแต่ละวิธีการ 80

รูปที่ 5.5 กราฟฮิสโตแกรมของค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ยหรือค่าเอ็มเอพี 81

รูปที่ 5.6 กราฟฮิสโตแกรมของระยะเวลาดำเนินงาน 81

รูปที่ 5.7 กราฟฮิสโตแกรมของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกของการทดลองเพื่อ เปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับคอร์ดฮิสโตแกรมในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจังหวะ 82

รูปที่ 5.8 กราฟฮิสโตแกรมของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกของการทดลองเพื่อ เปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอระหว่างกรณีที่มีข้อมูลจังหวะกับไม่มีข้อมูลจังหวะ 83

รูปที่ 5.9 กราฟฮิสโตแกรมของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกของการทดลองเพื่อ เปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับซีเอสเอเอสในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะ 83

รูปที่ 5.10 กราฟฮิสโตแกรมของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกของการทดลองเพื่อ เปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับทีพีเอสดีในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะ 84

รูปที่ 6.1 แผนภาพยูสเคสของระบบต้นแบบ 87

รูปที่ 6.2 แผนภาพวินโดว์นาวิเกชันของส่วนการค้นคืนชีทเพลงสำหรับผู้ใช้ทั่วไป 91

รูปที่ 6.3 แผนภาพกิจกรรมของส่วนการนำเข้าชีทเพลงสำหรับผู้ดูแลระบบ 92

รูปที่ 6.4 สถาปัตยกรรมของระบบต้นแบบ 93

รูปที่ 6.5 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างเอนทิตีของตารางในฐานข้อมูล 94

รูปที่ 6.6 หน้าจอเริ่มต้น 97

รูปที่ 6.7 หน้าจอค้นหา 98

หน้า

รูปที่ 6.8 หน้าจอแสดงลิสต์ 98
รูปที่ 6.9 หน้าจอแสดงเพลงตามเนื้อหาในชีทเพลง 99
รูปที่ 6.10 หน้าจอแสดงเพลงตามลำดับคอร์ดในแต่ละท่อน 99
รูปที่ 6.11 หน้าจอแสดงการจัดอันดับความคล้าย 100
รูปที่ 6.12 หน้าจอค้นดูเอกสาร 100
รูปที่ 6.13 หน้าจอสกัดข้อมูล 101
รูปที่ 6.14 หน้าจอบันทึกข้อมูล 101

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

ในบทนี้จะอธิบายที่มาและความสำคัญของงานวิจัยซึ่งเกี่ยวกับการพัฒนาระบบค้นคืนเอกสารดนตรีให้มีความสามารถในการวัดความคล้ายของดนตรีจากลำดับคอร์ดที่ระบุในเอกสาร รวมทั้งสรุปประเด็นสำคัญของงานวิจัย ได้แก่ ปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขต ขั้นตอนวิธี และประโยชน์ นอกจากนี้ยังอธิบายถึงโครงสร้างของเนื้อหาในวิทยานิพนธ์ทั้งหมด 7 บท เพื่อให้เข้าใจถึงภาพรวมของเนื้อหาในแต่ละบทด้วย

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันระบบค้นคืนเอกสารดนตรีบนเว็บไซต์ต่างๆ ได้อำนวยความสะดวกผู้ใช้ให้สามารถค้นหาเอกสารดนตรีหรือชีทเพลง (Sheet music) ที่ประกอบด้วยคอร์ดและเนื้อเพลงเป็นหลัก โดยทั่วไปแล้วผู้ใช้สามารถค้นหาเพลงโดยการป้อนข้อคำถามที่ระบบได้จัดเตรียมไว้ให้จากการจำแนกเพลงตามข้อมูลเพลง (Song information) ซึ่งผู้ดูแลระบบต้องนำเข้าโดยอาศัยเมตาดาตาของเพลง (Music metadata) ตามมาตรฐานไอดี 3 (ID3) [1] ที่อธิบายข้อมูลทรัพยากรของเพลง เช่น ชื่อเพลง (Title) ชื่อศิลปิน (Artist) ชื่ออัลบั้ม (Album) หรือแนวเพลง (Genre) เป็นต้น และให้ระบบแสดงผลของเนื้อหาในชีทเพลงที่ผู้ใช้เลือก

การจำแนกเพลงยังสามารถพิจารณาจากข้อมูลดนตรี (Music information) ที่ปรากฏในชีทเพลงได้โดยตรง เช่น กุญแจเสียง (Key) หรือคอร์ด (Chord) เป็นต้น ถ้าหากระบบสามารถวิเคราะห์และจัดเก็บข้อมูลดนตรีที่ปรากฏในชีทเพลงได้ ก็จะทำให้ระบบมีความสามารถในการแสดงผลของข้อมูลดนตรีที่ระบุในชีทเพลงให้กับผู้ใช้ได้หลายรูปแบบ เช่น การเปลี่ยนกุญแจเสียงของเพลง หรือการแสดงรายการคอร์ดทั้งหมดที่ใช้ในเพลง เป็นต้น ซึ่งก็จะช่วยอำนวยความสะดวกผู้ใช้ให้สามารถปรับรูปแบบการแสดงผลของชีทเพลงตามต้องการได้ นอกจากนี้หากระบบยังมีความสามารถในการค้นหาเพลงจากข้อมูลดนตรีด้วย เช่น การค้นหาเพลงด้วยลำดับคอร์ด หรือการค้นหาเพลงที่มีดนตรีคล้ายกันก็จะช่วยผู้ใช้ให้สามารถขยายการสืบค้นได้มากขึ้น

อย่างไรก็ตาม การที่ระบบจะสามารถค้นหาเพลงจากข้อมูลดนตรีในชีทเพลงได้นั้น จะต้องมีการสกัดและแปลความหมายข้อมูลดนตรีจากชีทเพลงเพื่อจัดเก็บในระบบ และยังต้องมีวิธีในการวัดค่าความคล้ายของข้อมูลดนตรีด้วย เพื่อให้ระบบสามารถค้นคืนชีทเพลงที่มีการจัดอันดับตามค่าความคล้ายระหว่างข้อคำถามของผู้ใช้กับชีทเพลงในระบบได้

ในการพิจารณาข้อมูลดนตรีที่จะใช้ในการวัดค่าความคล้ายนั้นอาจพิจารณาได้หลายมุมมองขึ้นกับบริบทของดนตรี ซึ่งในงานวิจัย [2] ได้พิจารณาข้อมูลดนตรีที่อยู่ในรูปไฟล์เสียงออกเป็น 5 คุณลักษณะ ได้แก่ เสียงประสาน (Harmony), โหมด (Mode), ความดัง (Loudness), จังหวะ (Rhythm) และความเร็ว (Tempo) ทั้งนี้คุณลักษณะอย่างหนึ่งที่สำคัญก็คือเสียงประสานที่สามารถแทนสัญลักษณ์เป็นข้อความได้ด้วยคอร์ดในเอกสาร เนื่องจากสามารถบ่งบอกถึงอารมณ์เพลงที่แตกต่างกันได้ตามงานวิจัย [3] นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของคอร์ดในแต่ละช่วงเวลาของเพลงหรือที่เรียกว่าลำดับคอร์ด ก็เป็นสิ่งสำคัญที่จะใช้วัดค่าความคล้ายของเพลงได้ ตามข้อสรุปในงานวิจัย [4] ดังนั้นในการวัดค่าความคล้ายของดนตรีจึงควรพิจารณาคอร์ดเป็นสำคัญ

ทั้งนี้ มีอย่างน้อย 4 งานวิจัย [5-8] ได้นำเสนอแบบจำลองในการค้นคืนเพลงและวิธีการวัดค่าความคล้ายของลำดับคอร์ดในเพลง และมี 2 งานวิจัย [9], [10] ได้นำเสนอการเปรียบเทียบระหว่าง 2 วิธีการ ได้แก่ ทีพีเอสดี (TPSD : Tonal Pitch Step Distance) และซีเอสเอเอส (CSAS : Chord Sequence Alignment System) จากงานวิจัย [5] และ [8] ตามลำดับ ซึ่งได้สรุปว่าซีเอสเอเอสมีผลการค้นคืนที่มีความแม่นยำมากกว่าทีพีเอสดี แต่ทีพีเอสดีใช้เวลาประมวลผลข้อมูลน้อยกว่าซีเอสเอเอส อย่างไรก็ตาม วิธีการวัดค่าความคล้ายของลำดับคอร์ดทั้งสองนี้ ใช้ได้ในกรณีที่ลำดับคอร์ดมีข้อมูลจังหวะ (Beat information) ระบุมาให้ด้วยเท่านั้น โดยมีแนวคิดในการวัดความคล้ายโดยการเปรียบเทียบคอร์ดในทุกจังหวะและหาผลรวมการคำนวณความคล้ายของทุกการเปรียบเทียบ

ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการใหม่ในการวัดค่าความคล้ายของดนตรี ที่สามารถนำไปทำให้เกิดผลกับระบบค้นคืนชิทเพลงได้ ซึ่งโดยทั่วไปสร้างมาจากไฟล์ข้อความที่ไม่ได้มีรูปแบบตายตัวและไม่ได้มีข้อมูลจังหวะระบุมาให้ แต่จะมีเพียงลำดับคอร์ดที่กำกับอยู่เหนือเนื้อเพลงซึ่งทำให้ทราบเพียงลำดับการเปลี่ยนแปลงของแต่ละคอร์ดเท่านั้น โดยในวิธีการนี้ได้อาศัยจุดเด่นของ 2 วิธีการ ได้แก่ ทีพีเอสดีซึ่งมีการแปลงและลดข้อมูลคอร์ดจากอักขระเป็นจำนวนเต็มจึงใช้เวลาประมวลผลข้อมูลน้อยกว่าและซีเอสเอเอสซึ่งมีการเปรียบเทียบข้อมูลคอร์ดอย่างครบถ้วนจึงมีความแม่นยำมากกว่า ในการสร้างวิธีการใหม่ที่มีการแปลงข้อมูลคอร์ดเป็นจำนวนเต็มได้อย่างครบถ้วนโดยใช้วิธีการเข้ารหัสของคอร์ดด้วยแฟ้มลายเซ็น [11], [12] นอกจากนี้ยังอาศัยการแบ่งท่อนของเพลงที่ระบุในเอกสารที่คาดว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยให้การวัดความคล้ายมีประสิทธิผลที่ดีหรือมีความแม่นยำมากขึ้น และมีประสิทธิภาพที่ดีหรือใช้เวลาประมวลผลข้อมูลน้อยลงด้วย เนื่องจากการแบ่งท่อนจะช่วยให้สามารถจับคู่เปรียบเทียบระหว่างลำดับคอร์ดที่ถูกแบ่งย่อยได้อย่างเหมาะสม

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังเห็นว่าข้อมูลจังหวะก็น่าจะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยทำให้การวัดความคล้ายของลำดับคอร์ดดีขึ้น จึงได้นำเสนอการใช้สัญกรณ์จังหวะ (Beat notation) ในเอกสารเพื่อเพิ่มเติมข้อมูลจังหวะด้วย พร้อมกับเสนอวิธีการวัดค่าความคล้ายในกรณีที่มีการใช้สัญกรณ์จังหวะใน

เอกสารด้วย ถึงแม้ว่าสัญกรณ์จังหวะที่เพิ่มในเอกสารนี้อาจต้องระบุด้วยมือ แต่ก็สามารถช่วยให้ผู้ใช้ทราบความยาวของแต่ละคอร์ด และเข้าใจจังหวะของเพลงได้ง่ายยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตาม การทำให้เกิดผลกับระบบค้นคืนชีทเพลงนั้นจำเป็นต้องมีกระบวนการนำเข้าเอกสารจากแหล่งต่างๆ ซึ่งอาจต้องมีการตรวจสอบและแก้ไขเอกสารด้วยมือ เพื่อให้มีความถูกต้องและมีรูปแบบของเอกสารที่ระบบสามารถอ่านได้ โดยสามารถสกัดลำดับคอร์ดในแต่ละท่อนของเพลงที่ปรากฏในเอกสารโดยการสกัดและแปลความหมายคำที่เป็นคอร์ดได้อย่างถูกต้อง และนำไปสู่การทดลองที่ให้ผลอย่างเที่ยงตรง

1.2 ปัญหาของงานวิจัย

1) จะออกแบบวิธีการจัดรูปแบบและสัญกรณ์จังหวะในชีทเพลงได้อย่างไร

2) จะออกแบบวิธีการสกัดข้อมูลลำดับคอร์ดจากชีทเพลงได้อย่างไร

3) จะออกแบบวิธีการวัดค่าความคล้ายของดนตรีที่มีลักษณะเป็นเซตของลำดับคอร์ดที่สกัดได้จากชีทเพลงได้อย่างไร

4) จะพัฒนาระบบค้นคืนชีทเพลงที่สามารถแสดงรายการเพลงที่มีดนตรีคล้ายกับเพลงที่เลือกด้วยวิธีการที่นำเสนอได้อย่างไร

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อออกแบบวิธีการจัดรูปแบบและสัญกรณ์จังหวะในชีทเพลง

2) เพื่อออกแบบวิธีการสกัดข้อมูลลำดับคอร์ดจากชีทเพลง

3) เพื่อออกแบบวิธีการวัดค่าความคล้ายของดนตรีที่มีลักษณะเป็นเซตของลำดับคอร์ดที่สกัดได้จากชีทเพลง

4) เพื่อพัฒนาระบบค้นคืนชีทเพลงที่สามารถแสดงรายการเพลงที่มีดนตรีคล้ายกับเพลงที่เลือกด้วยวิธีการที่นำเสนอได้

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1) งานวิจัยนี้เสนอวิธีการสกัดและแปลความหมายข้อมูลดนตรีรวมทั้งสัญกรณ์จังหวะจากชีทเพลง เพื่อให้ได้ข้อมูลลำดับคอร์ดทั้งในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจังหวะและมีข้อมูลจังหวะ

2) งานวิจัยนี้เสนอวิธีการวัดค่าความคล้ายของดนตรีที่หมายถึงข้อมูลลำดับคอร์ดที่สกัดได้จากชีทเพลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) งานวิจัยนี้คัดเลือกข้อมูลเพลงนำเข้าที่สามารถเขียนในรูปแบบเอกสารชีทเพลงได้ โดยจะต้องเป็นข้อความทั้งหมดที่ประกอบด้วย เนื้อเพลง คอร์ด และมีการจัดแบ่งท่อนของเพลงที่อยู่ในรูปแบบที่กำหนดเท่านั้น ทั้งนี้ได้นำเข้าชีทเพลงเพื่อทดสอบจำนวน 500 เอกสารเป็นอย่างน้อย

4) การสร้างเครื่องมือต้นแบบที่มีลักษณะเป็นเว็บไซต์สำหรับระบบค้นคืนชีทเพลง ประกอบด้วย ฟังก์ชันในการค้นคืนเพลงที่คล้ายกันที่เป็นสาระสำคัญของงานวิจัย และฟังก์ชันอื่นๆ ที่เป็นส่วนประกอบ ได้แก่ การค้นหาเพลงตามเงื่อนไขของข้อคำถามในเมตาดาตา และการเรียกดูชีทเพลงเท่านั้น

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1) นำเข้าชีทเพลงที่ผ่านการตรวจสอบและจัดรูปแบบแล้ว

2) ออกแบบวิธีการวัดค่าความคล้ายของดนตรีจากลำดับคอร์ดในชีทเพลง

3) ทดสอบวิธีการที่นำเสนอจากการทดลอง

4) ประเมินวิธีการที่นำเสนอในการค้นคืนชีทเพลงที่คล้ายกัน

5) สร้างระบบต้นแบบในการค้นคืนชีทเพลงด้วยวิธีการที่นำเสนอ

6) ทดสอบระบบต้นแบบ

7) สรุปผลงานวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1) งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการใหม่ในการวัดค่าความคล้ายของดนตรีของชีทเพลง ซึ่งประกอบด้วยชุดของลำดับคอร์ดในแต่ละท่อนของเพลง ซึ่งอาศัยจุดเด่นของวิธีการทีพีเอสดีและซีเอสเอเอสในการสร้างแบบจำลองการวัดความคล้ายที่มีทั้งประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่ดีได้

2) งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางในการแจงคำที่เป็นคอร์ดแยกจากเนื้อเพลงหรือข้อความอื่นๆ ในชีทเพลง และแปลความหมายคอร์ดโดยอาศัยต้นไม้คำนำหน้า

3) งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางในการจัดเก็บข้อมูลคอร์ด ที่มีการจัดระเบียบไวยากรณ์ด้วยแบบรูปอินเทอร์พรีเตอร์และการทำดัชนีของคอร์ดด้วยแฟ้มลายเซ็น เพื่อให้การวิเคราะห์ลำดับคอร์ดมีประสิทธิภาพมากขึ้นได้

4) งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้สัญกรณ์จังหวะที่สามารถช่วยให้ผู้ใช้ทราบความยาวของแต่ละคอร์ด และเข้าใจจังหวะของเพลงจากชีทเพลงได้ และยังทำให้ระบบสามารถจัดเก็บข้อมูลคอร์ดที่มีข้อมูลอัตราส่วนจังหวะซึ่งสามารถนำไปใช้แสดงผลในมุมมองของลำดับคอร์ดที่แบ่งเป็นห้องได้

5) งานวิจัยนี้นำเสนอระบบต้นแบบในการค้นคืนชีทเพลงที่สามารถแสดงรายการเพลงตามเงื่อนไขของข้อคำถามในเมตาดาตา และแสดงรายการเพลงที่คล้ายกันด้วยวิธีการวัดค่าความคล้ายระหว่างเอกสารชีทเพลงได้

1.7 โครงสร้างของเนื้อหาในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 7 บท ดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ ซึ่งประกอบด้วย ที่มาและความสำคัญ ปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขต ขั้นตอนวิธี และประโยชน์ของงานวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วย ทฤษฎีดนตรี แบบรูปของการออกแบบซอฟต์แวร์ และการจัดเก็บและค้นคืนสารสนเทศ

บทที่ 3 กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วยตัวอย่างงานวิจัยที่เป็นพื้นฐานของวิธีการวัดค่าความคล้ายที่นำเสนอ

บทที่ 4 กล่าวถึงวิธีการที่นำเสนอ ซึ่งเป็นรายละเอียดของวิธีการวัดค่าความคล้ายที่นำเสนอ รวมถึงรายละเอียดของการออกแบบระบบโดยรวม ตั้งแต่กระบวนการสกัดข้อมูลดนตรีจากเอกสาร จนถึงกระบวนการจัดเก็บข้อมูลดนตรีเพื่อใช้ในการทดลอง

บทที่ 5 กล่าวถึงการทดลองและการวิเคราะห์ผล ซึ่งเป็นวิธีการทดลองเพื่อประเมินผลของวิธีการวัดค่าความคล้ายที่นำเสนอ โดยจะอธิบายในวัตถุประสงค์ การเตรียมข้อมูล การประเมินวิธีการ ขั้นตอนการทดลอง ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

บทที่ 6 กล่าวถึงการพัฒนาระบบต้นแบบ ซึ่งประกอบด้วย ความต้องการของระบบ โครงสร้างและการทำงานของระบบต้นแบบ การออกแบบและพัฒนาระบบต้นแบบ การออกแบบส่วนต่อประสานผู้ใช้ และการทดสอบระบบต้นแบบ

บทที่ 7 กล่าวถึงสรุป ซึ่งประกอบด้วย สรุปผลการวิจัย ข้อจำกัดการวิจัย ข้อเสนอแนะงานวิจัยในอนาคต และบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นความรู้พื้นฐานที่สำคัญของงานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบด้วย ทฤษฎีดนตรี แบบรูปของการออกแบบซอฟต์แวร์ และการจัดเก็บและค้นคืนสารสนเทศ

2.1 ทฤษฎีดนตรี

ในส่วนนี้จะอธิบายองค์ความรู้ด้านทฤษฎีดนตรีเพื่อให้เข้าใจความหมายของคำสำคัญหรือคอร์ดซึ่งเป็นข้อมูลดนตรีที่ปรากฏอยู่ในชีทเพลง และใช้เป็นแนวทางในการสกัด วิเคราะห์ แปลความหมาย และจัดเก็บข้อมูลลำดับคอร์ดจากชีทเพลง ทั้งนี้จะอธิบายเฉพาะทฤษฎีดนตรีที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ได้แก่ โน้ต คอร์ด ลำดับคอร์ด และกุญแจเสียง นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายคำสำคัญในทฤษฎีดนตรีและความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยได้ในภาคผนวก ก ดังตารางที่ ก.1

2.1.1 โน้ต

ระบบโน้ต (Note) ในดนตรีสากลซึ่งปัจจุบันได้ถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐานในการประพันธ์เพลงโดยทั่วไปอย่างกว้างขวางนั้น ใช้เป็นตัวแทนของระดับเสียง (Pitch) ที่มีความถี่ (Frequency) ที่ได้กำหนดและจัดเรียงไว้ตามระบบการบันทึกเสียงดนตรี โดยสามารถเรียกชื่อโน้ตมาตรฐานที่มีอยู่ทั้งหมด 7 ตัวได้ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งมีระบบการเรียกชื่อได้ 2 แบบ ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้จะใช้ระบบตัวอักษรในการวิเคราะห์ข้อมูลดนตรีที่ระบุด้วยอักขระ A ถึง G

ตารางที่ 2.1 การเรียกชื่อโน้ตมาตรฐานในดนตรีสากล ตามตำแหน่งของโน้ตทั้งหมด 7 ตัว [13]

ตำแหน่งของโน้ต	1	2	3	4	5	6	7
1. ระบบโซ-ฟา (So-Fa System)	Do (โด)	Re (เร)	Mi (มี)	Fa (ฟา)	So (โซ)	La (ลา)	Ti (ที)
2. ระบบตัวอักษร (Letter System)	C (ซี)	D (ดี)	E (อี)	F (เอฟ)	G (จี)	A (เอ)	B (บี)

กลุ่มของระดับเสียงที่มีความถี่ต่างกันเป็นจำนวนเท่าจะสามารถเขียนแทนได้ด้วยโน้ตตัวเดียวกันได้ เช่น โน้ต A ที่เป็นตัวแทนของระดับเสียงที่มีความถี่มาตรฐาน 440 เฮิร์ทซ์ (Hertz, Hz) ก็สามารถใช้แทนระดับเสียงที่มีความถี่ 880 เฮิร์ทซ์ ซึ่งเป็นโน้ต A สูง และความถี่ 220 เฮิร์ทซ์ ซึ่งเป็น

โน้ต A ต่ำ ได้ด้วย โดยคู่ของโน้ตตัวเดียวกันที่มีความถี่ต่างกันเป็น 2 เท่าลักษณะนี้จะเรียกว่า “ออกเตฟ” (Octave) หรือ “คู่โน้ตที่ 8”

นอกจากนี้ในระบบโน้ตดนตรีสากลได้มีการจัดเรียงและแบ่งกลุ่มของระดับเสียงที่แตกต่างกันทั้งหมด 12 กลุ่ม โดยจะเรียกกลุ่มของระดับเสียงนี้ว่า “พิทช์คลาส” (Pitch class) ซึ่งสามารถเขียนแทนสัญลักษณ์ได้ด้วยโน้ตมาตรฐานทั้งหมด 7 ตัว และเครื่องหมายแปลงเสียง (Accidental) 2 แบบ ได้แก่ เครื่องหมายชาร์ป (Sharp, #) และเครื่องหมายแฟลต (Flat, b) ซึ่งเป็นการแปลงเสียงเพื่อเลื่อนตำแหน่งระดับเสียงให้เพิ่มขึ้นและลดลง 1 ขั้นตามลำดับ สำหรับโน้ตทั้ง 7 ตัว ทั้งนี้สามารถแสดงการระบุกลุ่มของระดับเสียงทั้งหมด 12 กลุ่มด้วยตำแหน่งของพิทช์คลาสตั้งแต่ 0 ถึง 11 ได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การเขียนโน้ตในระบบตัวอักษร ตามตำแหน่งของพิทช์คลาส

ตำแหน่งของพิทช์คลาส	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
โน้ตที่เป็นตัวแทนของพิทช์คลาส	C	C# / Db	D	D# / Eb	E	F	F# / Gb	G	G# / Ab	A	A# / Bb	B

สังเกตได้ว่าโน้ตมาตรฐานทั้งหมด 7 ตัว ได้แก่ C, D, E, F, G, A และ B จะตรงกับพิทช์คลาสที่ 0, 2, 4, 5, 7, 9 และ 11 ตามลำดับ ส่วนพิทช์คลาสที่ 1, 3, 6, 8 และ 10 นั้นสามารถระบุสัญลักษณ์ได้ด้วยตัวโน้ตพร้อมกับเครื่องหมายแปลงเสียง ซึ่งสามารถเขียนได้โดยการใช้เครื่องหมายชาร์ปหรือแฟลตกำกับต่อท้ายตัวโน้ตนั้น เช่น โน้ต “โดชาร์ป” (C#) หรือโน้ต “เรแฟลต” (Db) ซึ่งก็อยู่ในพิทช์คลาสที่ 1 เช่นกัน นอกจากนี้หากพิจารณาโน้ต B ในพิทช์คลาสที่ 11 ก็จะมีโน้ตในระดับถัดไป เป็นโน้ต C สูง ที่ตำแหน่ง 12 (ไม่แสดงในตารางที่ 2.2) ซึ่งก็เป็นออกเตฟของโน้ต C ที่ตำแหน่งที่ 0 จึงถือว่าอยู่ในพิทช์คลาสที่ 0 เช่นกัน หรืออาจกล่าวได้ว่าตำแหน่งของพิทช์คลาสนั้นมีการจัดเรียงแบบวงกลม

ในงานวิจัยนี้จะใช้ทฤษฎีดนตรีเรื่องโน้ตในการแปลความหมายอักขระที่เป็นโน้ตในข้อความเป็นพิทช์คลาสซึ่งเป็นข้อมูลดนตรีที่สำคัญที่ใช้ในการวัดความคล้ายของดนตรี โดยไม่ได้สนใจออกเตฟของโน้ตหรือการบันทึกระดับเสียงในแต่ละความถี่ เนื่องจากไม่ใช่ข้อมูลดนตรีที่ปรากฏอยู่ในชีท

2.1.2 คอร์ด

คอร์ด (Chord) หมายถึง สัญลักษณ์ในทางดนตรีสากลที่ใช้แทนเสียงประสาน (Harmony) ของกลุ่มของโน้ตตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปที่มีระดับเสียงต่างกันที่บรรเลงพร้อมกันในช่วงเวลาเดียวกัน อันที่จริงแล้วการสร้างคอร์ดนั้นสามารถใช้การจัดหมู่ของโน้ตได้ทุกแบบภายในพิทช์คลาสทั้ง 12 ตำแหน่ง ตามตารางที่ 2.2 แต่ในทฤษฎีดนตรีนั้นมีระเบียบวิธีในการสร้างคอร์ดและกำหนดชื่อคอร์ด ซึ่งทำให้โน้ตแต่ละตัวที่อยู่ในคอร์ดมีการจัดเรียงอย่างมีแบบแผน และสามารถนำระบบคอร์ดมาใช้ประโยชน์ในการสร้างดนตรีได้

การสร้างคอร์ดโดยพื้นฐานนั้นเริ่มจากการใช้เซตของโน้ตในตำแหน่งที่ {1, 3, 5} ที่เรียกว่าเมเจอร์ทรัยแอด (Major triad) โดยกำหนดให้โน้ตตำแหน่งที่ 1 เป็นโน้ตฐาน (Root note) และโน้ตที่ตำแหน่งอื่นๆ เป็นขั้นคู่ (Intervals) โดยในที่นี้คือตำแหน่งที่ 3 กับ 5 ซึ่งมีระยะห่างพิทช์คลาสเมื่อเทียบกับโน้ตฐานเป็น 4 กับ 7 ตามลำดับ เนื่องจากเซตของโน้ตดังกล่าวตรงกับเซตของพิทช์คลาส (Pitch class set) ในตำแหน่งที่ {0, 4, 7} ดังตารางที่ 2.3 ทั้งนี้คอร์ดที่สร้างได้โดยวิธีพื้นฐานนี้จะเป็นคอร์ดชนิดเมเจอร์ (Major chord) ซึ่งสามารถเลือกใช้โน้ตใดก็ได้ที่อยู่ในพิทช์คลาสทั้ง 12 ตำแหน่งเป็นโน้ตฐาน ก็จะเป็นคอร์ดชนิดเมเจอร์ที่มีชื่อส่วนหน้าเป็นโน้ตตัวนั้น และจะมีการเลื่อนตำแหน่งของโน้ตในคอร์ดแบบวงกลมตามค่าพิทช์คลาสของโน้ตฐานที่มีระยะห่างกับขั้นคู่เป็น 4 กับ 7 ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างเมเจอร์คอร์ดที่มีเซตของพิทช์คลาสแบบต่างๆ ได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 การเชื่อมโยงระหว่างตำแหน่งของโน้ตและตำแหน่งของพิทช์คลาส

ตำแหน่งของพิทช์คลาส	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ตำแหน่งของโน้ต	1		2		3	4		5		6		7

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างการระบุเซตของพิทช์คลาส สำหรับเมเจอร์คอร์ด C, D, F, G# และ Bb

โน้ตฐาน	พิทช์คลาสของโน้ตฐาน	เซตของพิทช์คลาส											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C	0	0				4			7				
D	2			2				6			9		
F	5	0					5				9		
G#	8	0			3					8			
Bb	10			2			5					10	

อย่างไรก็ตาม นอกจากเมเจอร์คอร์ดที่ใช้ทรัยแอด {1, 3, 5} เป็นสูตรในการสร้างคอร์ด หรือมีเซตของพิทช์คลาสขั้นคู่เป็น {4, 7} แล้ว ก็ยังมีคอร์ดชนิดอื่นๆ ที่มีสูตรแตกต่างกันไป โดยอาจมีการปรับระดับเสียงของโน้ตบางตำแหน่งในทรัยแอดด้วยเครื่องหมายชาร์ปหรือแฟลต หรือมีการเพิ่มเติมโน้ตตำแหน่งอื่นนอกเหนือจากทรัยแอด ซึ่งก็ทำให้ได้เซตของพิทช์คลาสขั้นคู่แบบต่างๆ เช่นกัน ทั้งนี้สามารถแสดงตัวอย่างชนิดของคอร์ดได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างชนิดของคอร์ดที่มีองค์ประกอบของโน้ตที่แตกต่างกันไปตามสูตรคอร์ด

ชนิดของคอร์ด	ชื่อส่วนท้าย	สูตรคอร์ด	เซตของพิทช์คลาสขั้นคู่			
เมเจอร์ (Major)	(ไม่มี)	1 - 3 - 5	4	7		
ไมเนอร์ (Minor)	m	1 - 3b - 5	3	7		
ดิมินิชท์ (Diminished)	dim	1 - 3b - 5b	3	6		
อ็อกเม็นเต็ด (Augmented)	aug	1 - 3 - 5#	4	8		
เมเจอร์เซเวนธ์ (Major Seventh)	maj7	1 - 3 - 5 - 7	4	7	11	
ไมเนอร์เซเวนธ์ (Minor Seventh)	m7	1 - 3b - 5 - 7b	3	7	10	
โดมิแนนท์เซเวนธ์ (Dominant Seventh)	7	1 - 3 - 5 - 7b	4	7	10	

ดังนั้น ในการสร้างคอร์ดต้องใช้องค์ประกอบ 2 ส่วน ได้แก่ โน้ตฐานและชนิดของคอร์ด เพื่อให้ได้เซตของพิทช์คลาสซึ่งเป็นตัวแทนของระดับเสียงในการสร้างเสียงประสาน ถึงแม้ว่าคอร์ดนั้นไม่ได้เจาะจงความถี่เสียงหรือออกเตฟของโน้ตแต่ละตัว และสามารถผลิตชุดของระดับเสียงจากคอร์ดหนึ่งได้หลากหลายรูปแบบ แต่เพื่อให้ได้เสียงประสานที่มีคุณภาพตามทฤษฎีดนตรีนั้น โน้ตในคอร์ดควรมีการจัดเรียงระดับเสียงที่เหมาะสม โดยมีโน้ตที่มีระดับเสียงต่ำที่สุดในคอร์ดซึ่งเรียกว่า “เบส” (Bass) นั้นเป็นโน้ตฐาน

ในการวิเคราะห์และสกัดข้อมูลคอร์ดที่ปรากฏเป็นข้อความในเอกสารนั้น จำเป็นต้องแยกแยะส่วนประกอบทางสัญลักษณ์ของคอร์ด ซึ่งคอร์ดที่ระบุเป็นข้อความจะสามารถแบ่งส่วนของคอร์ดจากชื่อคอร์ดได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ชื่อส่วนหน้า (Prefix) ซึ่งเป็นโน้ตฐาน และชื่อส่วนท้าย (Suffix) ซึ่งประกอบด้วยชนิดของคอร์ด (Chord type) และโน้ตเบส (Bass note) ทั้งนี้โน้ตเบสจะถูกระบุเพิ่มเติมในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนเบสเป็นโน้ตอื่นที่ไม่ใช่โน้ตฐาน โดยใช้สัญลักษณ์ “/” ตามด้วยชื่อโน้ตเบส นอกจากนี้ยังสามารถแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลคอร์ดจากชื่อคอร์ดได้ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างการวิเคราะห์คอร์ด สำหรับคอร์ด C, F, C/G, G7, Am/F และ Fmaj7

ชื่อคอร์ด	ส่วนประกอบทางสัญลักษณ์			ส่วนประกอบทางดนตรี	
	ชื่อส่วนหน้า	ชื่อส่วนท้าย		พิทช์คลาสเบส	เซตของพิทช์คลาส
	โน้ตฐาน	ชนิดของคอร์ด	โน้ตเบส		
C	C	-	-	0	{0, 4, 7}
F	F	-	-	5	{0, 5, 9}
C/G	C	-	/G	7	{0, 4, 7}
G7	G	7	-	7	{2, 5, 7, 11}
Am/F	A	m	/F	5	{0, 4, 5, 9}
Fmaj7	F	maj7	-	5	{0, 4, 5, 9}

ในงานวิจัยนี้จะใช้ทฤษฎีดนตรีเรื่องคอร์ดในการวิเคราะห์และสกัดข้อมูลคอร์ดจากชื่อคอร์ดที่ปรากฏในชีทเพลง โดยการแปลงคอร์ดเป็นเซตของพิทช์คลาส เพื่อใช้ในการวัดความคล้ายของคอร์ดที่สามารถเปรียบเทียบส่วนประกอบทางดนตรีของคอร์ดได้โดยตรง เนื่องจากการเปรียบเทียบเพียงอักขระจากชื่อคอร์ดนั้นอาจไม่บรรลุถึงการวัดความคล้ายทางดนตรีที่แท้จริงได้ ทั้งนี้จากตารางที่ 2.6 สำหรับตัวอย่างคอร์ด Am/F และ Fmaj7 นี้ก็แสดงให้เห็นว่าคอร์ดที่มีชื่อต่างกันก็อาจมีส่วนประกอบทางดนตรีที่เหมือนกันได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

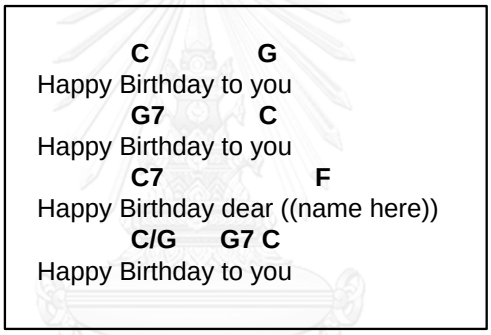
2.1.3 ลำดับคอร์ด

ลำดับคอร์ด (Chord sequence) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของคอร์ดที่แสดงให้เห็นเป็นลำดับในช่วงหนึ่งของเพลง ซึ่งสามารถใช้เป็นระเบียบของการประสานเสียงของโน้ตในแต่ละช่วงเวลาได้ โดยทั่วไปในเพลงหนึ่งอาจประกอบด้วยกลุ่มของทำนองประสานที่เรียกว่า “ไลน์” (Line) ที่บรรเลงไปพร้อมกันตลอดทั้งเพลงด้วยเครื่องดนตรีแต่ละชิ้นสำหรับแต่ละไลน์ ซึ่งทำให้เกิดการประสานเสียงของโน้ตจากไลน์ต่างๆ ในช่วงเวลาเดียวกันได้ ดังนั้นลำดับคอร์ดจึงเสมือนเป็นโครงสร้างของดนตรีที่สำคัญเพื่อให้แต่ละไลน์มีการบรรเลงโน้ตที่สอดคล้องกันในแต่ละช่วงของเพลง

ในการสร้างดนตรีตามระบบโน้ตดนตรีสากลโดยทั่วไปนั้นประกอบด้วยไลน์ที่สำคัญ 2 ไลน์ ได้แก่ เมโลดี (Melody) ซึ่งอาจเป็นเสียงของเนื้อเพลง (Lyrics) หรือเสียงบรรเลงที่เป็นทำนองหลักของเพลง ซึ่งโดยทั่วไปนั้นเป็นโน้ตเดี่ยวที่เรียงตามจังหวะของเพลง และแอคคอมพานิเมนท์ (Accompaniment) ซึ่งเป็นทำนองเสริมที่สร้างด้วยการบรรเลงคอร์ดตามจังหวะที่กำหนดในลำดับ

คอร์ด เพื่อให้ประสานกับเมโลดีในแต่ละช่วงเวลา อย่างไรก็ตามในการสร้างดนตรีนั้นอาจเริ่มจากเมโลดีหรือลำดับคอร์ดก่อนก็ได้ แต่เพื่อให้เกิดการประสานเสียงที่ดีนั้นก็ควรสร้างโดยให้มีโน้ตที่สอดคล้องกันทั้ง 2 ไลน์ ซึ่งก็อาจมีวิธีการสร้างลำดับคอร์ดที่หลากหลายที่สามารถสอดคล้องกับเมโลดีแบบเดียวกัน จึงทำให้สามารถเกิดการแปรผัน (Variations) ของลำดับคอร์ดได้หลายแบบแม้ในเพลงเดียวกัน

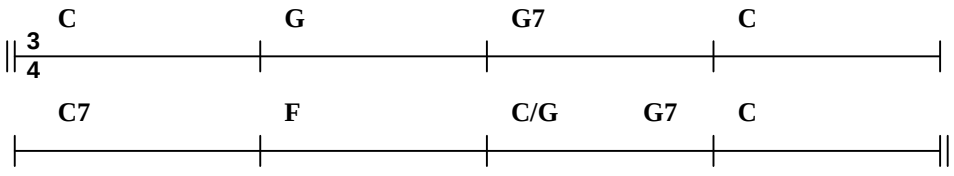
อันที่จริงแล้ว ในการบันทึกลำดับคอร์ดให้กับเพลงนั้นมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 อย่าง ได้แก่ คอร์ดและจังหวะ ซึ่งนอกจากการจัดเรียงคอร์ดตามลำดับแล้ว ต้องกำหนดข้อมูลจังหวะ (Beat information) เพื่อให้ทราบความยาวของแต่ละคอร์ดหรือตำแหน่งของจังหวะที่มีการเปลี่ยนคอร์ดด้วย แต่ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาเอกสารดนตรีที่อยู่ในรูปแบบชีทเพลง โดยจากตัวอย่างในรูปที่ 2.1 นั้นแสดงข้อมูลจังหวะของคอร์ดโดยการใช้คอร์ดกำกับไว้เหนือคำของเนื้อเพลง ซึ่งถ้าหากผู้อ่านทราบจังหวะของเนื้อเพลงที่ปรากฏอยู่ก่อนแล้ว ก็อาจทำให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจจังหวะของคอร์ดได้ด้วย



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างข้อความที่เป็นคอร์ดและเนื้อเพลงในชีทเพลง “Happy Birthday”

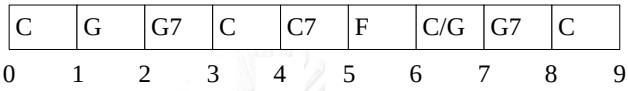
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อย่างไรก็ตาม ยังมีการบันทึกลำดับคอร์ดวิธีหนึ่งที่ให้ข้อมูลจังหวะที่สมบูรณ์และทำให้ผู้อ่านทราบจังหวะของคอร์ดได้แม้ไม่ทราบเนื้อเพลง วิธีการนี้ใช้แผนภาพเส้นโดยแบ่งจังหวะเป็นห้อง (Bar) ที่กำกับด้วยเครื่องหมายกำหนดจังหวะ (Time Signature) และกำกับคอร์ดในแต่ละตำแหน่งบนเส้นในแต่ละห้อง โดยสามารถแสดงตัวอย่างได้ดังรูปที่ 2.2 ที่ใช้เครื่องหมายกำหนดจังหวะเป็น 3/4

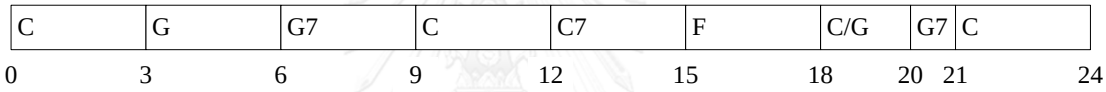


รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแผนภาพเส้นของลำดับคอร์ด สำหรับเพลง “Happy Birthday”

ในงานวิจัยนี้ได้สร้างระบบจัดเก็บข้อมูลลำดับคอร์ดจากเอกสารนำเข้า ซึ่งโดยทั่วไปนั้นลำดับคอร์ดก็มีโครงสร้างแบบอาร์เรย์ ถ้าหากเอกสารมีรูปแบบเป็นชีทเพลงที่ไม่ได้มีข้อมูลจังหวะมาให้แบบในรูปที่ 2.1 ก็สามารถจัดเก็บได้เฉพาะข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของคอร์ดเท่านั้นดังรูปที่ 2.3 แต่ถ้าในเอกสารได้ระบุข้อมูลจังหวะมาด้วย หรือสามารถแสดงข้อมูลได้ด้วยแผนภาพเส้นของลำดับคอร์ดแบบในรูปที่ 2.2 ก็สามารถจัดเก็บข้อมูลลำดับคอร์ดที่ทราบความยาวของแต่ละคอร์ดได้ดังรูปที่ 2.4 นอกจากนี้ในงานวิจัยยังได้เสนอการใช้สัญกรณ์จังหวะ (Beat notation) ในชีทเพลงอันจะกล่าวในบทที่ 3 ซึ่งเป็นการเพิ่มเติมสัญลักษณ์ในชีทเพลงที่สามารถให้ข้อมูลจังหวะของแต่ละคอร์ดได้อีกด้วย



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างอาร์เรย์ของลำดับคอร์ดที่ไม่มีข้อมูลจังหวะ สำหรับเพลง “Happy Birthday”



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างอาร์เรย์ของลำดับคอร์ดที่มีข้อมูลจังหวะ สำหรับเพลง “Happy Birthday”

2.1.4 กุญแจเสียง

กุญแจเสียง (Key) หมายถึง ฐานของกลุ่มโน้ตที่ใช้ในเพลงหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของเพลง ซึ่งก็เป็นโครงสร้างทางดนตรีอีกรูปแบบหนึ่ง ที่กำหนดให้มีระเบียบในการใช้คอร์ดหรือโน้ตที่สอดคล้องกับกุญแจเสียงในช่วงหนึ่งหรือท่อนหนึ่งของเพลง ทั้งนี้จากที่ได้กล่าวถึงทฤษฎีดนตรีเกี่ยวกับโน้ตนั้น โน้ตมาตรฐานทั้งหมด 7 ตำแหน่ง ได้แก่ C, D, E, F, G, A และ B คือ กลุ่มของโน้ตพื้นฐานที่อยู่ในกุญแจเสียงที่มีชื่อว่า “ซี-เมเจอร์” (C Major) ซึ่งเป็นกุญแจเสียงพื้นฐาน โดยมีโน้ต C เป็นโน้ตฐาน

ดังนั้น หากในเพลงใดได้กำหนดให้ใช้กุญแจเสียงซีเมเจอร์ ก็หมายความว่าเพลงนั้นควรใช้ดนตรีที่มีโน้ตในกลุ่ม {C, D, E, F, G, A, B} เป็นหลัก หรือมีคอร์ดส่วนใหญ่ที่ประกอบด้วยโน้ตในกลุ่มนี้ ซึ่งก็ยังมีทฤษฎีดนตรีเกี่ยวกับการดำเนินคอร์ด (Chord progression) ที่ได้กำหนดระบบคอร์ดของกุญแจเสียงซีเมเจอร์ โดยสามารถใช้คอร์ดในกลุ่ม {C, Dm, Em, F, G, Am, Bdim} หรือกลุ่ม {Cmaj7, Dm7, Em7, Fmaj7, G7, Am7, Bm7-5} เป็นหลักในการสร้างลำดับคอร์ดในกุญแจเสียงนี้ หากพิจารณาส่วนประกอบทางดนตรีสำหรับคอร์ดเหล่านี้ ก็จะพบว่ามีโน้ตที่อยู่ในกุญแจเสียงซีเมเจอร์ทั้งหมด นอกจากนี้หากพิจารณาตัวอย่างลำดับคอร์ดของเพลง “Happy Birthday” ในรูปที่ 2.1 และ

2.2 ซึ่งก็เป็นเพลงที่อยู่ในกุญแจเสียงซีเมเจอร์ ก็จะพบว่ามีการใช้คอร์ดส่วนใหญ่ที่อยู่ภายในระบบคอร์ดของกุญแจเสียงซีเมเจอร์เช่นกัน

นอกจากกุญแจเสียงซีเมเจอร์ที่มีโน้ต C เป็นโน้ตฐานแล้ว ก็ยังมีกุญแจเสียงชนิดอื่นๆ ซึ่งมีชื่อตามโน้ตฐานที่กำหนด โดยถ้าหากพิจารณาระบบโน้ตในแต่ละพิทช์คลาสตามตารางที่ 2.2 แล้ว ก็จะสามารถสร้างกุญแจเสียงต่างๆ ได้ โดยอาศัยการเลื่อนตำแหน่งโน้ตตั้งแต่ 1 ถึง 7 ซึ่งเป็นตำแหน่งโน้ตในบันไดเสียงเมเจอร์ (Major scale) ที่มีระยะห่างเทียบกับพิทช์คลาสตามตารางที่ 2.3 โดยให้โน้ตในตำแหน่งที่ 1 ตรงกับตำแหน่งพิทช์คลาสของโน้ตฐานที่จะใช้เป็นชื่อกุญแจเสียง แล้วจึงกำหนดชื่อโน้ตทั้ง 7 ตำแหน่ง โดยใช้อักขระของโน้ตมาตรฐาน ได้แก่ C, D, E, F, G, A, และ B และใช้เครื่องหมายแปลงเสียง (# หรือ b อย่างใดอย่างหนึ่ง) เพื่อปรับระดับเสียงของโน้ตแต่ละตัวให้ตรงตามตำแหน่งที่ได้เลื่อนไว้ ทั้งนี้จะได้กุญแจเสียงแบบเมเจอร์ที่ต่างกันทั้งหมด 12 แบบดังรูปที่ 2.5

ลำดับ	ชื่อกุญแจเสียง	ตำแหน่งโน้ตตามบันไดเสียงเมเจอร์												เครื่องหมายแปลงเสียงที่ใช้	
		1		2		3	4		5		6		7		
1	C Major	C		D		E	F		G		A		B	-	(N/A)
2	G Major	G		A		B	C		D		E		F#	F#	(1#)
3	D Major	D		E		F#	G		A		B		C#	F# C#	(2#)
4	A Major	A		B		C#	D		E		F#		G#	F# C# G#	(3#)
5	E Major	E		F#		G#	A		B		C#		D#	F# C# G# D#	(4#)
6	B Major	B		C#		D#	E		F#		G#		A#	F# C# G# D# A#	(5#)
7	F Major	F		G		A	Bb		C		D		E	Bb	(1b)
8	Bb Major	Bb		C		D	Eb		F		G		A	Bb Eb	(2b)
9	Eb Major	Eb		F		G	Ab		Bb		C		D	Bb Eb Ab	(3b)
10	Ab Major	Ab		Bb		C	Db		Eb		F		G	Bb Eb Ab Db	(4b)
11	Db Major	Db		Eb		F	Gb		Ab		Bb		C	Bb Eb Ab Db Gb	(5b)
12	F# Major	F#		G#		A#	B		C#		D#		E#	F# C# G# D# A# E#	(6#)
	Gb Major	Gb		Ab		Bb	Cb		Db		Eb		F	Bb Eb Ab Db Gb Cb	(6b)

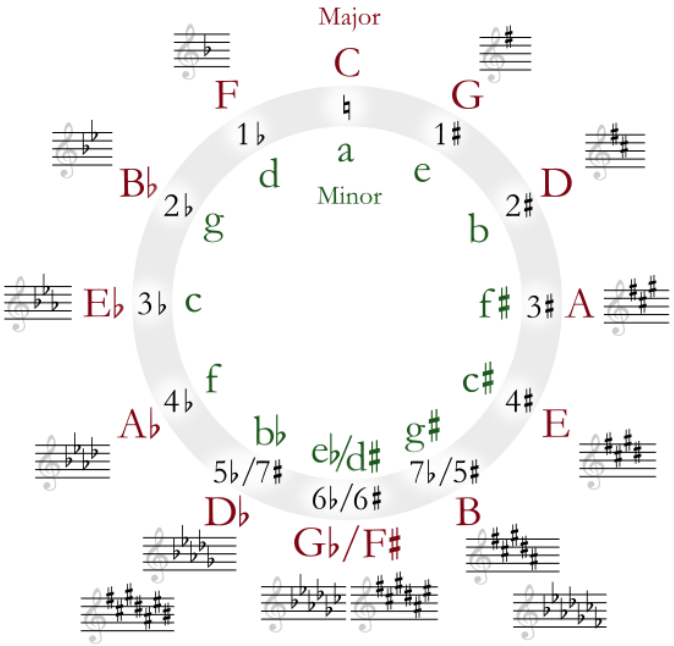
รูปที่ 2.5 กุญแจเสียงเมเจอร์ทั้ง 12 ชนิดที่มีการกำหนดโน้ตทั้ง 7 ตำแหน่งที่แตกต่างกัน

จากที่ได้กล่าวถึงทฤษฎีของกุญแจเสียงซึ่งใช้กำหนดเป็นฐานของกลุ่มโน้ตในลำดับคอร์ด ก็จะพบว่าลำดับคอร์ดหนึ่งสามารถเปลี่ยนกุญแจเสียงได้ทั้งหมด 12 แบบโดยการปรับโน้ตฐานของแต่ละคอร์ดให้อยู่ในระบบคอร์ดของกุญแจเสียงนั้น โดยการเพิ่มหรือลดระดับเสียงของโน้ตฐานทุกตัวด้วยระยะห่างที่เท่ากัน ทั้งนี้หากพิจารณาตัวอย่างลำดับคอร์ดของเพลง “Happy Birthday” ในรูปที่ 2.3 ก็สามารถแสดงตัวอย่างการเปลี่ยนกุญแจเสียงได้ดังตารางที่ 2.7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอย่างลำดับคอร์ดที่แสดงดังนี้ก็ล้วนอยู่บนฐานของการดำเนินคอร์ดที่เหมือนกัน หรือเป็นข้อมูลดนตรีเหมือนกัน

ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างการเปลี่ยนกุญแจเสียง สำหรับเพลง “Happy Birthday”

กุญแจเสียง	ระยะห่างของระดับเสียงที่เปลี่ยนไป	ลำดับคอร์ด								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C Major	0	C	G	G7	C	C7	F	C/G	G7	C
D Major	+2	D	A	A7	D	D7	G	D/A	A7	D
E Major	+4	E	B	B7	E	E7	A	E/B	B7	E
F Major	+5	F	C	C7	F	F7	Bb	F/C	C7	F

นอกจากนี้ ทฤษฎีของกุญแจเสียงยังสามารถอธิบายได้ด้วยแผนภาพวงกลมคู่ที่ 5 (Circle of Fifths) ซึ่งเป็นการจัดเรียงกุญแจเสียงที่คล้ายกันโดยพิจารณาจากจำนวนเครื่องหมายแปลงเสียงที่ใช้ ทั้งนี้สามารถจัดเรียงกุญแจเสียงเป็นวงกลมได้ทั้งหมด 12 ตำแหน่งดังรูปที่ 2.6 ซึ่งจะพบว่ากุญแจเสียงที่อยู่ถัดไปในทิศตามเข็มนาฬิกาจะมีชื่อตรงกับโน้ตตำแหน่งที่ 5 ของกุญแจเสียงก่อนหน้านั้นเสมอ



รูปที่ 2.6 แผนภาพวงกลมคู่ที่ 5 ที่จัดเรียงกุญแจเสียงตามจำนวนเครื่องหมายแปลงเสียง [14]

ในงานวิจัยนี้จะใช้ทฤษฎีเรื่องกุญแจเสียงในการปรับข้อมูลดนตรีในชีทเพลงให้อยู่บนบรรทัดฐานเดียวกัน ทั้งนี้จากตารางที่ 2.7 จะพบว่าในเพลงหนึ่งสามารถเปลี่ยนกุญแจเสียงได้ทั้งหมด 12 แบบ ดังนั้นจึงต้องมีการเปลี่ยนกุญแจเสียงของแต่ละเพลงให้เป็นซีเมเจอร์ (C Major) เหมือนกันทั้งหมดก่อนที่จะมีการจัดเก็บข้อมูลลำดับคอร์ดเพื่อการเปรียบเทียบและวัดค่าความคล้าย

2.2 แบบรูปการออกแบบซอฟต์แวร์

ในการออกแบบซอฟต์แวร์เพื่อคำนวณค่าความคล้ายของเพลงในงานวิจัยนี้ สามารถใช้แบบรูปการออกแบบ (Design patterns) ที่นำเสนอโดยแกงค์ออฟโฟร์หรือจีโอเอฟ (Gang of four, GoF) [15] ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบโปรแกรมเพื่อแก้ปัญหาในโดเมนของดนตรีได้ เช่น การระบุโน้ตในคอร์ดตามไวยากรณ์ที่กำหนดในทฤษฎีดนตรี เพื่อให้โปรแกรมมีโครงสร้างที่สอดคล้องกับไวยากรณ์ของคอร์ด ทำให้สามารถบำรุงรักษาโปรแกรมได้ง่าย ซึ่งก็จะส่งผลให้ซอฟต์แวร์มีคุณภาพมากขึ้น ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบรูปอินเทอร์พรีเตอร์ในการแปลความหมายคอร์ดจากชื่อคอร์ดที่อยู่ในรูปสายอักขระเพื่อให้ได้เซตของพิทช์คลาส โดยอาศัยการวิเคราะห์อักขระและแปลความหมายในการสร้างเซตของพิทช์คลาสในแต่ละส่วน

2.2.1 แบบรูปอินเทอร์พรีเตอร์

แบบรูปอินเทอร์พรีเตอร์ (Interpreter pattern) สามารถใช้ได้กับปัญหาในโดเมนที่สามารถระบุภาษาหรือไวยากรณ์ได้อย่างชัดเจนและมีกฎที่ตายตัว โดยมีแนวทางในการแก้ไขปัญหาแบบเวียนเกิด (Recursive) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โครงสร้างของปัญหาใหญ่แล้วแบ่งออกเป็นปัญหาย่อยไปเรื่อยๆ จนอยู่ในระดับที่สามารถแก้ไขได้ ดังนั้นการนำแบบรูปนี้ไปทำให้เกิดผลได้นั้นต้องมีการกำหนดวิธีการแปลความหมายให้สอดคล้องกับไวยากรณ์ของปัญหานั้น เพื่อให้ระบบสามารถแปลความหมายได้ถูกต้อง โดยแบบรูปอินเทอร์พรีเตอร์นั้นมีการแบ่งส่วนของปัญหาเพื่อดำเนินการแปลความหมายทีละส่วน ซึ่งมีองค์ประกอบที่แบ่งเป็นคลาส (Class) ทั้งหมด 4 คลาสดังนี้

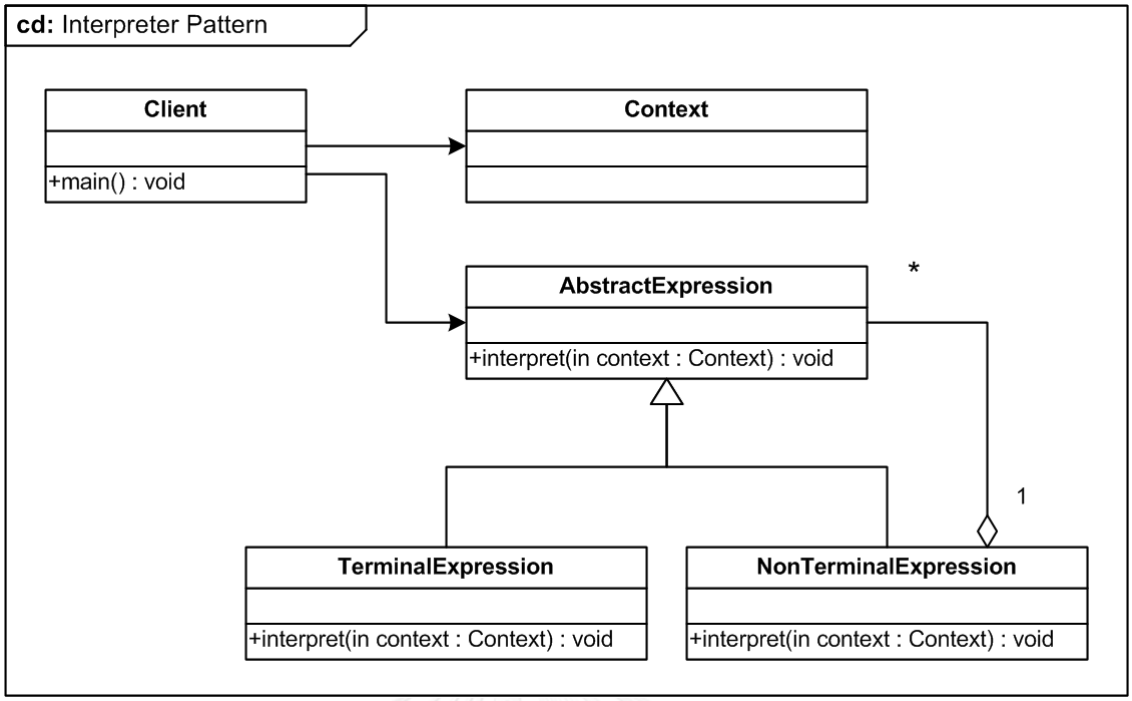
1) คลาสนิพจน์นามธรรม (Abstract expression) คือ แม่แบบที่กำหนดการดำเนินการ (Operations) ในไวยากรณ์ที่ต้องมีของอินเทอร์พรีเตอร์ในแต่ละส่วน ซึ่งจะกำหนดในเมธอดนามธรรม (Abstract method)

2) คลาสนิพจน์ที่เป็นส่วนปลาย (Terminal expression) คือ ส่วนที่ไม่สามารถแบ่งย่อยเป็นส่วนประกอบอื่นๆ ได้อีก ซึ่งอินเทอร์พรีเตอร์ที่ระดับนี้จะต้องแปลความหมายให้ได้ผลที่สิ้นสุด

3) คลาสนิพจน์ที่ไม่เป็นส่วนปลาย (Non-terminal expression) คือ ส่วนที่สามารถแบ่งย่อยเป็นส่วนประกอบอื่นๆ ได้อีก ซึ่งจะต้องมีการเรียกอินเทอร์พรีเตอร์เพื่อแปลความหมายย่อยในระดับต่อไป

4) คลาสบริบท (Context) คือ ข้อมูลนำเข้าที่จะนำมาแปลความหมาย

ทั้งนี้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของคลาสเหล่านี้ได้ด้วยแผนภาพคลาสดังรูปที่ 2.7



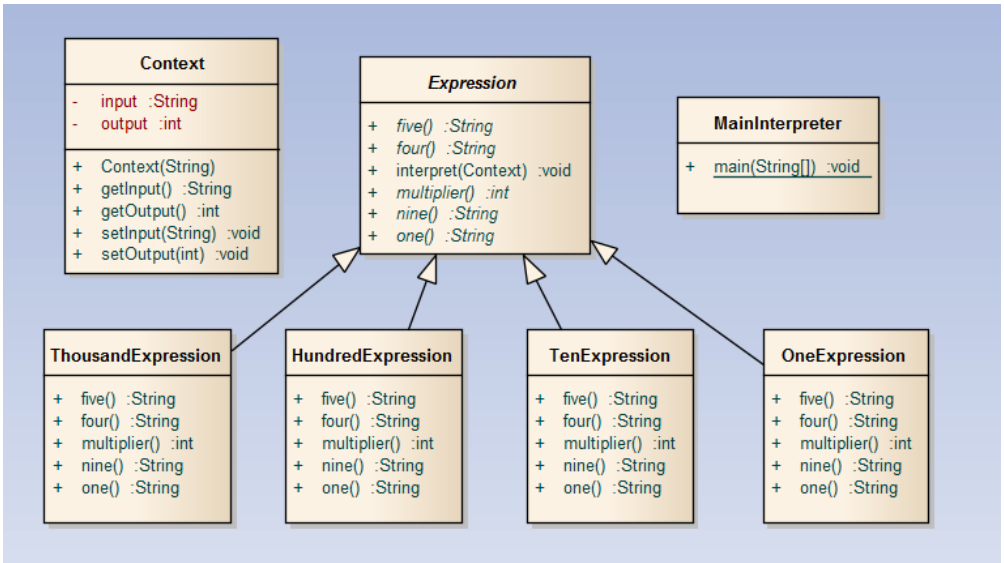
รูปที่ 2.7 แผนภาพคลาสสำหรับแบบรูปอินเทอร์พรีเตอร์ [16]

นอกจากนี้การใช้แบบรูปอินเทอร์พรีเตอร์นั้นก็จะมีประโยชน์ในด้านการบำรุงรักษาโปรแกรมด้วย ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการปรับเปลี่ยนหรือเพิ่มเติมไวยากรณ์ในโปรแกรม เนื่องจากมีการแบ่งส่วนของโปรแกรมระหว่างคลาสนามธรรม (Abstract) กับคลาสรูปธรรม (Concrete) โดยอาศัยคุณสมบัติการรับทอด (Inheritance) ส่งผลให้เกิดการจัดระเบียบของวิธีการแปลความหมายของคลาสรูปธรรมในโปรแกรมได้ ทั้งนี้สามารถแสดงการประยุกต์ใช้แบบรูปอินเทอร์พรีเตอร์ได้ด้วยตัวอย่างที่ 1 ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตัวอย่างที่ 1 : โปรแกรมแปลงเลขโรมัน [16]

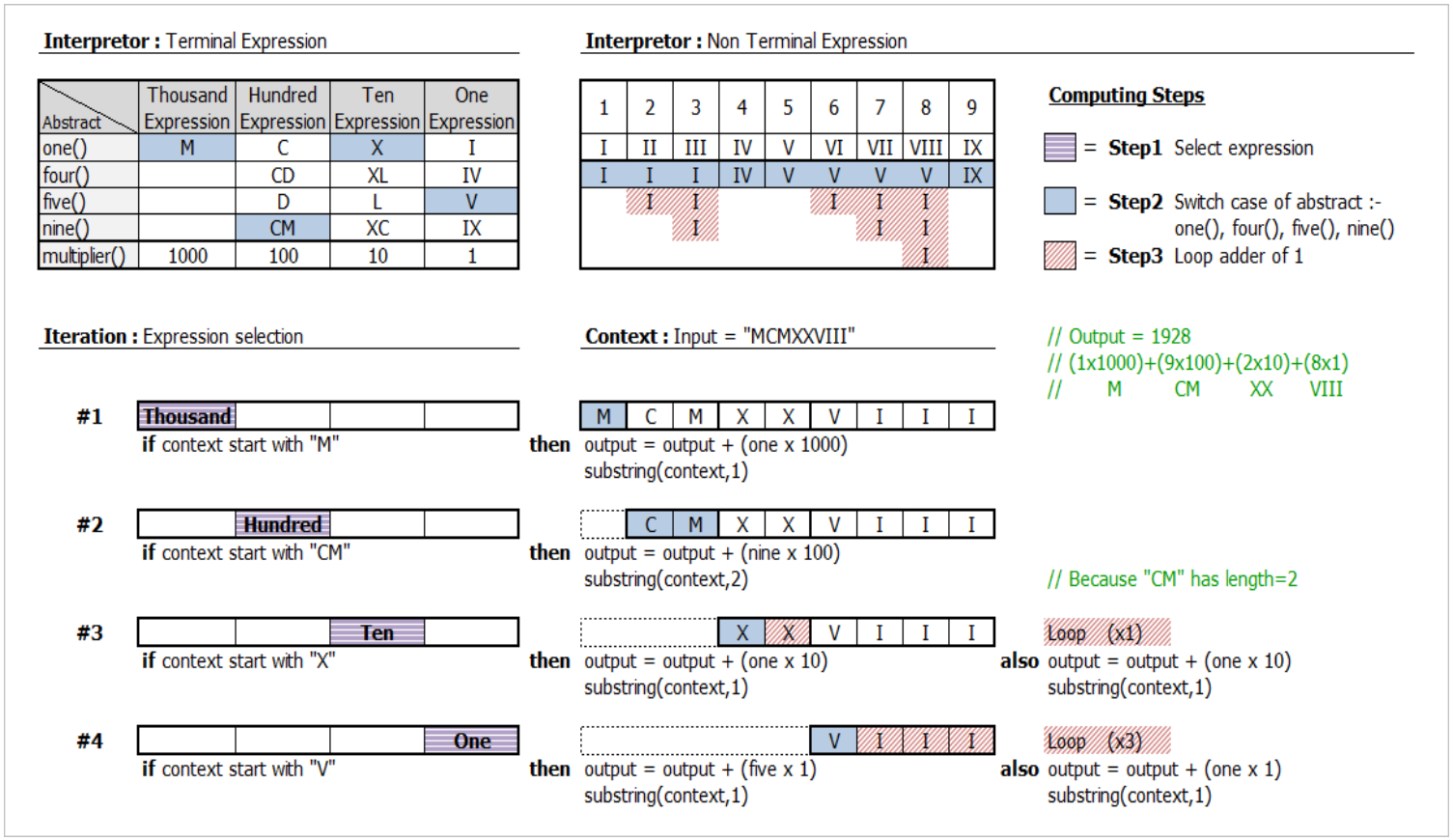
ในการแปลงเลขโรมันเป็นเลขอารบิก จะมีภาษาที่ชัดเจนสำหรับระบบตัวเลขโรมันซึ่งมีลักษณะเป็นสายอักขระ (String) ที่ประกอบด้วยอักขระ เช่น I, V, X, L, C, D, M เป็นต้น ซึ่งอักขระแต่ละตัวมีความหมายและสามารถแปลความหมายเป็นจำนวนเต็ม (Integer) ในระบบตัวเลขอารบิกได้ โดยมีนัยสำคัญในการแปลความหมายจากลำดับอักขระของเลขโรมัน ซึ่งสามารถเชื่อมโยงภาษาและกำหนดไวยากรณ์สำหรับโปรแกรมตามแบบรูปอินเทอร์พรีเตอร์ด้วยแผนภาพคลาสดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แผนภาพคลาสของโปรแกรมแปลงเลขโรมัน [16]

หลักการทำงานของโปรแกรมแปลงเลขโรมันที่ใช้แบบรูปอินเทอร์พรีเตอร์ สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งมีการแบ่งหน้าที่ในแต่ละคลาสของอินเทอร์พรีเตอร์อย่างชัดเจน โดยคลาสนิพจน์ที่เป็นส่วนปลาย (Terminal expression) มีหน้าที่แปลความหมายอักขระของแต่ละหลักเป็นตัวเลข ส่วนคลาสนิพจน์ที่ไม่เป็นส่วนปลาย (Non-terminal expression) มีที่หน้าที่วิเคราะห์โครงสร้างของสายอักขระตามไวยากรณ์ของเลขโรมัน เพื่อแบ่งส่วนของสายอักขระเป็นแต่ละหลัก และกำหนดวิธีการคำนวณระหว่างตัวเลขกับตัวคูณ (Multiplier) ของแต่ละหลัก ซึ่งในการคำนวณต้องดำเนินการทีละหลัก โดยเริ่มจากหลักพัน หลักร้อย หลักสิบ และหลักหน่วย แล้วจึงรวมผลการคำนวณที่ได้ในแต่ละหลักเป็นผลลัพธ์ของการแปลงเลขโรมัน

ทั้งนี้ในการคำนวณแต่ละหลักนั้นมีแนวทางที่เหมือนกัน คือมีการแปลความหมายอักขระโดยพิจารณาจากเลข 1, 4, 5 และ 9 ที่ปรากฏก่อน แล้วจึงนับเลข 1 ที่ใช้เพิ่มค่าเพื่อให้ได้จำนวนเต็มที่อยู่ในช่วง 1 ถึง 9 จากนั้นจึงพิจารณาตัวคูณเพื่อให้ได้ค่าที่อยู่ในหลักต่างๆ ซึ่งแนวทางดังกล่าวนี้จะถูกกำหนดเป็นระเบียบวิธีการคำนวณในส่วนของคลาสนิพจน์นามธรรม (Abstract expression) แต่เนื่องจากอักขระที่หมายถึงเลข 1, 4, 5 และ 9 ในระบบเลขโรมันนั้นแตกต่างกันในแต่ละหลัก เช่น อักขระ D, L, V หมายถึงเลข 5 ในหลักร้อย หลักสิบ และหลักหน่วย เป็นต้น จึงต้องมีการสืบทอดคลาสเพื่อกำหนดรายละเอียดของการแปลความหมายอักขระของแต่ละหลักเป็นตัวเลขในส่วนของคลาสนิพจน์ที่เป็นส่วนปลายต่อไป



รูปที่ 2.9 แผนภาพแสดงการทำงานของการแปลงเลขโรมันที่มีข้อมูลนำเข้าเป็น MCMXXVIII

นอกจากนี้ยังสามารถแสดงรายละเอียดของโปรแกรมแปลงเลขโรมันเป็นเลขอารบิกที่ได้นำหลักการดังกล่าวไปทำให้เกิดผลด้วยภาษาจาวาเฉพาะส่วนที่สำคัญ ได้แก่ ส่วนการทำงานหลักดังรูปที่ 2.10 และส่วนการทำงานแปลความหมายดังรูปที่ 2.11

```java
import java.util.ArrayList;
import java.util.Iterator;

public class MainInterpreter {

    public static void main(String[] args) {

        // Create 'context' of input
        String roman = "MCMXXVIII";
        Context context = new Context(roman);

        // Create 'Expression' with 4 digits of Roman characters in the parse tree
        ArrayList<Expression> tree = new ArrayList<Expression>();
        tree.add(new ThousandExpression());
        tree.add(new HundredExpression());
        tree.add(new TenExpression());
        tree.add(new OneExpression());

        // Interpret 'context' for each digit by 'interpret' method with defined grammar
        for (Iterator<Expression> it = tree.iterator(); it.hasNext();) {
            Expression exp = (Expression)it.next();
            exp.interpret(context);
        }

        // Print output
        System.out.println(roman + " = " + Integer.toString(context.getOutput()));

    }
}
```

รูปที่ 2.10 ส่วนการทำงานหลักของโปรแกรมแปลงเลขโรมัน [16]

```java
public abstract class Expression {

    public void interpret(Context context) {
      if (context.getInput().length() == 0)
        return;

      if (context.getInput().startsWith(nine()))
      {
        context.setOutput(context.getOutput() + (9 * multiplier()));
        context.setInput(context.getInput().substring(2));
      }
      else if (context.getInput().startsWith(four()))
      {
        context.setOutput(context.getOutput() + (4 * multiplier()));
        context.setInput(context.getInput().substring(2));
      }
      else if (context.getInput().startsWith(five()))
      {
        context.setOutput(context.getOutput() + (5 * multiplier()));
        context.setInput( context.getInput().substring(1));
      }

      while (context.getInput().startsWith(one()))
      {
        context.setOutput(context.getOutput() + (1 * multiplier()));
        context.setInput(context.getInput().substring(1));
      }
    }

    public abstract String one();
    public abstract String four();
    public abstract String five();
    public abstract String nine();
    public abstract int multiplier();

}
```

```java

class ThousandExpression extends Expression{

    public String one() { return "M"; }
    public String four(){ return " "; }
    public String five(){ return " "; }
    public String nine(){ return " "; }
    public int multiplier() { return 1000; }
}

class HundredExpression extends Expression{
    public  String one() { return "C"; }
    public  String four(){ return "CD"; }
    public  String five(){ return "D"; }
    public  String nine(){ return "CM"; }
    public  int multiplier() { return 100; }
}

class TenExpression extends Expression{
    public String one() { return "X"; }
    public String four(){ return "XL"; }
    public String five(){ return "L"; }
    public String nine(){ return "XC"; }
    public int multiplier() { return 10; }
}

class OneExpression extends Expression{
    public String one() { return "I"; }
    public String four(){ return "IV"; }
    public String five(){ return "V"; }
    public String nine(){ return "IX"; }
    public int multiplier() { return 1; }
}
```

รูปที่ 2.11 ส่วนการทำงานแปลความหมายของโปรแกรมแปลงเลขโรมัน [16]

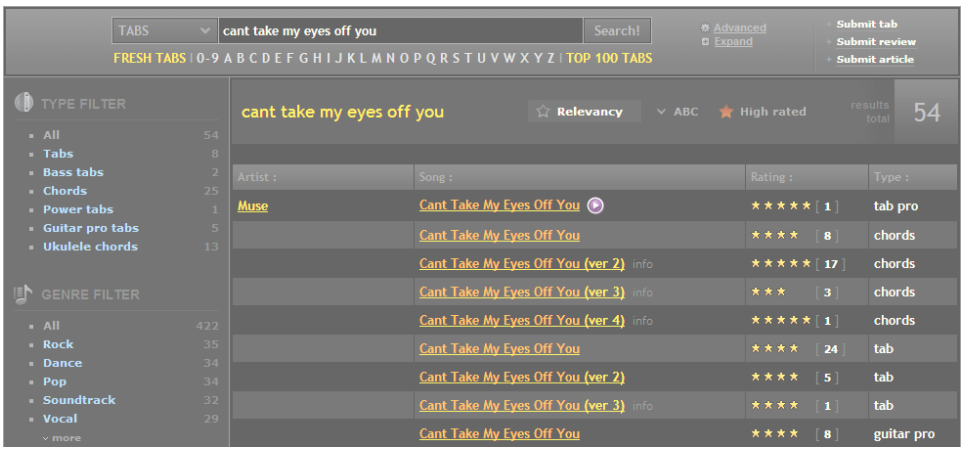
2.3 การจัดเก็บและค้นคืนสารสนเทศ

2.3.1 ส่วนต่อประสานผู้ใช้ในระบบค้นคืน

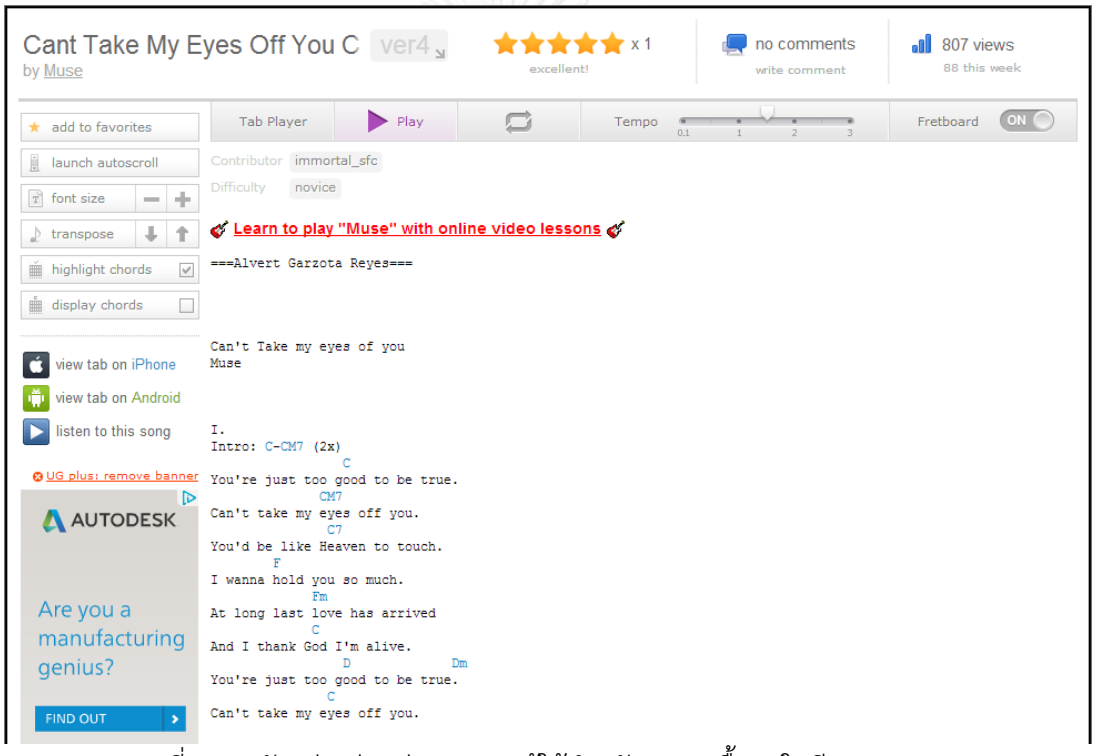
ในปัจจุบันมีหลายเว็บไซต์ที่ให้บริการผู้ใช้ในการค้นคืนชีทเพลง ตัวอย่างเช่น เว็บไซต์ “อัลติเมทกีตาร์ดอทคอม” (http://www.ultimate-guitar.com) [17] ที่แสดงตัวอย่างของส่วนต่อประสานผู้ใช้ได้ดังรูปที่ 2.12, 2.13 และ 2.14 โดยในงานวิจัยนี้ก็เกี่ยวข้องกับการสร้างระบบจัดเก็บและค้นคืนชีทเพลงในทำนองเดียวกัน แต่ได้เพิ่มความสามารถในการค้นคืนเพลงที่คล้ายกัน โดยผู้ใช้สามารถเลือกชีทเพลงที่มีในระบบเพื่อให้ระบบแสดงรายการชีทเพลงที่คล้ายกันได้ พร้อมจัดอันดับตามความคล้ายของเพลงจากการวิเคราะห์ลำดับคอร์ดและท่อนของเพลง

ทั้งนี้จากรูปที่ 2.12 จะพบว่าระบบได้จัดเตรียมการกรองข้อมูลตามเมตาดาตาไว้ให้ผู้ใช้เลือก เช่น ชื่อวง (Band name) ชื่อเพลง (Song name) หรือแนวเพลง (Genre) เป็นต้น และเมื่อผู้ใช้เลือกกรองตามชื่อเพลงด้วยข้อคำถามว่า “cant take my eyes off you” ก็จะปรากฏรายการเพลงที่เกี่ยวข้องดังรูปที่ 2.13 จากนั้นเมื่อผู้ใช้เลือกเพลง “Cant Take My Eyes Off You (ver 4)” ระบบก็จะแสดงเนื้อหาในชีทเพลง ดังรูปที่ 2.14 นอกจากนี้ก็ยังมีฟังก์ชันอื่นๆ ที่สามารถอำนวยความสะดวกผู้ใช้ได้ด้วย เช่น การปรับขนาดตัวอักษร (Font size) หรือการเปลี่ยนกุญแจเสียง (Transpose) เป็นต้น

รูปที่ 2.12 ตัวอย่างส่วนต่อประสานผู้ใช้สำหรับค้นหาเพลง [17]



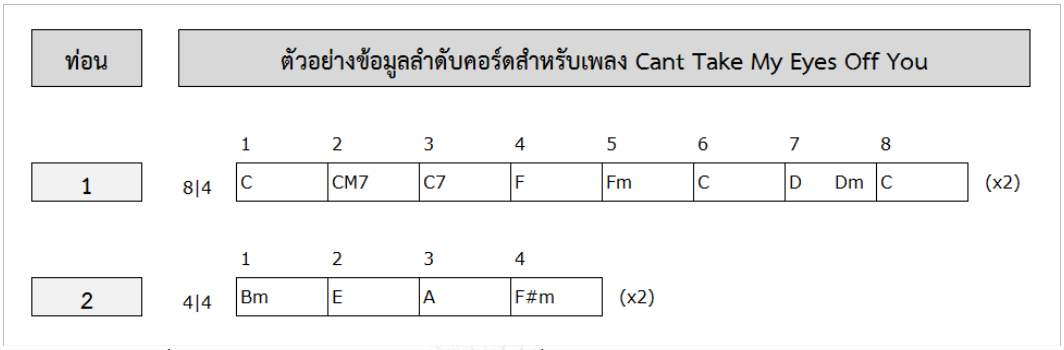
รูปที่ 2.13 ตัวอย่างส่วนต่อประสานผู้ใช้สำหรับแสดงรายการเพลง [17]



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างส่วนต่อประสานผู้ใช้สำหรับแสดงเนื้อหาในชีทเพลง [17]

อย่างไรก็ตาม ในชีทเพลงจากตัวอย่างส่วนต่อประสานผู้ใช้ของเว็บไซต์ดังกล่าว สามารถให้ข้อมูลเฉพาะเนื้อเพลงและคอร์ดที่ตำแหน่งของคำร้องนั้นๆ ได้ ซึ่งแม้ว่าจะมีวิธีการในการจัดเรียงคอร์ดให้ตรงกับคำร้อง [18] แต่ก็ยังไม่สามารถระบุข้อมูลลำดับคอร์ดที่แสดงให้เห็นจำนวนจังหวะและการแบ่งห้องสำหรับแต่ละคอร์ดอย่างชัดเจน ซึ่งการที่ผู้ใช้จะทราบจังหวะของแต่ละคอร์ดในลำดับคอร์ดได้นั้น ผู้ใช้อาจจำเป็นต้องมีความรู้หรือเคยได้ยินเพลงเหล่านั้นมาก่อน จึงจะสามารถเข้าใจ

ข้อมูลลำดับคอร์ดโดยผู้ใช้เองได้ ทั้งนี้สามารถแสดงตัวอย่างข้อมูลลำดับคอร์ดที่อธิบายชีทเพลงในรูปที่ 2.14 ให้มีข้อมูลจังหวะที่ชัดเจนได้ดังรูปที่ 2.15



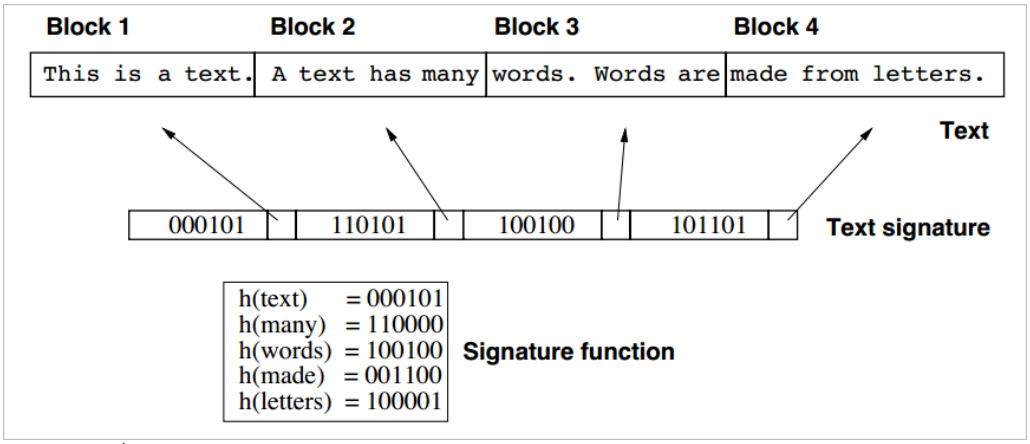
รูปที่ 2.15 ตัวอย่างข้อมูลลำดับคอร์ดที่แสดงการจัดเรียงคอร์ดในแต่ละห้อง

2.3.2 การทำดัชนีแฟ้มลายเซ็น

ในทฤษฎีของการจัดเก็บข้อมูลสารสนเทศนั้น มีแนวทางในการจัดเก็บข้อมูลเพื่อให้การสืบค้นมีประสิทธิภาพได้หลายแนวทาง โดยในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิคการจัดเก็บข้อมูลแบบหนึ่งที่เหมาะสมกับข้อมูลดนตรีก็คือ การทำดัชนีแฟ้มลายเซ็น (Signature files indexing) ซึ่งเป็นการสร้างดัชนีเฉพาะของคำศัพท์ในเอกสาร เมื่อนำรหัสเฉพาะมารวมกันก็จะสามารถไขรหัสให้เป็นข้อความในเอกสารนั้นๆ ได้ แฟ้มลายเซ็นจะเก็บข้อมูลเป็นไบนารี (0 และ 1) ที่มีความยาว F บิต โดยมีบิตที่มีค่าเป็น 1 ทั้งหมด m บิต ซึ่งจะทำให้สามารถสร้างรหัสเฉพาะต่อคำศัพท์ตามหลักการจัดหมู่ (Combination) ได้ทั้งหมด $\binom{F}{m}$ คำ ทั้งนี้สามารถอธิบายการทำดัชนีแฟ้มลายเซ็นได้ด้วยตัวอย่างที่ 2

ตัวอย่างที่ 2 : การทำดัชนีแฟ้มลายเซ็นของคำในข้อความ [12]

ตัวอย่างนี้แสดงการทำดัชนีแฟ้มลายเซ็นสำหรับคำในข้อความดังรูปที่ 2.16 ที่ได้กำหนดค่าของตัวแปร F=6 และ m=2 ซึ่งมีการแบ่งส่วนของข้อความ (Text) แบ่งเป็นบล็อก (Block) ทั้งหมด 4 บล็อก ในแต่ละบล็อกจะประกอบด้วยคำ (Word) ซึ่งมี 2 ประเภท ได้แก่ เทอม (Term) ซึ่งเป็นคำสำคัญและใช้เป็นข้อคำถาม (ได้แก่ text, many, words, made, letters) และสต็อปเวิร์ด (Stop word) ซึ่งเป็นคำที่ไม่สำคัญ (เช่น a, an, the, is, are, from เป็นต้น)



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างการใช้แฟ้มลายเซ็นในการสร้างดัชนีให้กับคำในข้อความ [12]

ทั้งนี้การทำดัชนีแฟ้มลายเซ็นเป็นการกำหนดดัชนีของแต่ละเทอมเป็นไบนารี ซึ่งเรียกว่าฟังก์ชันลายเซ็น (Signature function) ส่วนดัชนีของแต่ละบล็อกจะคำนวณได้จากผลการยูเนียน (Union) ในแต่ละฟังก์ชันลายเซ็นที่อยู่ในบล็อก ซึ่งผลที่ได้จะเป็นลายเซ็นข้อความ (Text signature) โดยสามารถแสดงตัวอย่างได้ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ตัวอย่างลายเซ็นข้อความที่สร้างได้จากฟังก์ชันลายเซ็นของแต่ละเทอม [12]

ฟังก์ชันลายเซ็นของเทอม	บล็อกที่ 1	บล็อกที่ 2	บล็อกที่ 3	บล็อกที่ 4
text	000101	000101	-	-
many	-	110000	-	-
words	-	-	100100	-
made	-	-	-	001100
letter	-	-	-	100001
ลายเซ็นข้อความ	000101	110101	100100	101101

2.3.3 แบบจำลองการค้นคืน

ในทฤษฎีของการค้นคืนสารสนเทศ ได้มีแบบจำลองการค้นคืนเอกสารอยู่มากมายซึ่งโดยทั่วไปจะอาศัยการนับความถี่ที่ปรากฏของเทอมในเอกสารเปรียบเทียบกับข้อคำถาม และมีสูตรทางคณิตศาสตร์ในการหาค่าความคล้ายระหว่างเอกสารกับข้อคำถาม แล้วจะมีการจัดลำดับดับเอกสารทั้งหมดในเซตคำตอบตามค่าความคล้ายสำหรับข้อคำถามหนึ่ง ซึ่งก็จะสามารถใช้เป็นแนวทางในการสร้างโปรแกรมค้นหา (Search engine) หรือใช้ตรวจหาเอกสารที่คล้ายกันในระบบได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้แบบจำลองการค้นคืนที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับการตรวจหาชีทเพลงที่คล้ายกัน ได้แก่ การวัดค่าความคล้ายคลึง

การวัดค่าความคล้ายคลึง (Resemblance measure) [11] นั้นใช้ในการหาความแตกต่างของ 2 เอกสาร โดยการวิเคราะห์เพียงจำนวนเทอมที่ปรากฏในเอกสารที่มีเหมือนกันและต่างกัน แต่ไม่สนใจความถี่ของเทอมที่ปรากฏเลย โดยมีสูตรทางคณิตศาสตร์เป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนสมาชิกของเทอมในเซตที่เหมือนกันต่อเทอมทั้งหมด ตามสมการที่ 1 ดังนี้

$$R(d_i, d_j) = \frac{|W(d_i) \cap W(d_j)|}{|W(d_i) \cup W(d_j)|} \quad (1)$$

โดยที่ $W(d)$ คือ เซตของเทอมที่ปรากฏในเอกสารที่แตกต่างกันทั้งหมด

d_i, d_j คือ เอกสารทั้งสองที่ต้องการหาค่าความคล้ายคลึง

ซึ่ง $R(d_i, d_j)$ จะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1

ในงานวิจัยนี้จะใช้สูตรของค่าความคล้ายคลึงมาใช้เป็นแนวทางในการหาค่าความคล้ายของคอร์ดระหว่าง 2 คอร์ด (แทนเอกสารด้วยคอร์ด) โดยจะใช้การเปรียบเทียบเซตของพิทช์คลาสในคอร์ด (แทนเทอมด้วยโน้ต) ซึ่งจะมีจำนวนสมาชิกในเซตมากที่สุดได้ 12 ตัว ทั้งนี้สามารถคำนวณได้จากการเปรียบเทียบแฟ้มลายเซ็นของคอร์ด ตามตัวอย่างที่ 4 โดยสามารถเปรียบเทียบตำแหน่งบิตที่เป็นไบนารีทั้ง 12 ตำแหน่ง ด้วยตัวดำเนินการยูเนียนกับอินเตอร์เซกชันตามหลักตรรกศาสตร์ได้โดยตรง

2.3.4 การประเมินประสิทธิผลการค้นคืน

ในการประเมินประสิทธิผลของระบบสารสนเทศการค้นคืนเอกสาร จะพิจารณาว่ามีเอกสารที่เกี่ยวข้องปรากฏในเซตคำตอบจากการค้นคืนที่ลำดับใด ซึ่งระบบที่ดีนั้นควรจะแสดงเอกสารที่เกี่ยวข้องได้ในลำดับต้นๆ ในงานวิจัยนี้จึงได้นำตัววัดประสิทธิผลในการค้นคืน (Retrieval effectiveness metric) มาประยุกต์ใช้ในการประเมินวิธีการค้นคืนชีทเพลงที่คล้ายกันในระบบได้ โดยในการประเมินจะประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

2.3.4.1 การวัดค่าความแม่นยำและค่าระลึก

ในการประเมินผลการค้นคืนเอกสารโดยทั่วไป จะมีวิธีการทดลองโดยการป้อนข้อคำถามเพื่อให้ระบบแสดงเซตของเอกสารจำนวนหนึ่งโดยมีการจัดลำดับเอกสารตามความสัมพันธ์กับข้อคำถาม ทั้งนี้ใน 1 ข้อคำถาม จะต้องมีรายการเอกสารที่เกี่ยวข้องที่คาดหวังว่าระบบจะค้นคืนได้ จึงมีการกำหนดตัววัด ได้แก่ ค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าระลึก (Recall) ซึ่งสามารถคำนวณได้ในแต่ละลำดับของการค้นคืนด้วย 1 ข้อคำถาม ด้วยสมการที่ 2 และ 3 ดังนี้

$$Precision = \frac{|R \cap A|}{|A|} \tag{2}$$

$$Recall = \frac{|R \cap A|}{|R|} \tag{3}$$

โดยที่ $|R \cap A|$ คือ จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งหมดที่ระบบค้นคืนได้ ณ ลำดับนั้น

$|R|$ คือ จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งหมด

$|A|$ คือ หมายเลขลำดับของการค้นคืน

2.3.4.2 การวัดค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ย

เนื่องจากการวัดค่าความแม่นยำและค่าระลึกจะเป็นการคำนวณค่าในแต่ละลำดับของข้อคำถามหนึ่ง ซึ่งเป็นตัววัดที่ให้ค่าหลายค่าในแต่ละข้อคำถาม แต่จำเป็นต้องกำหนดวิธีการหาค่ากลางของข้อมูลเพื่อให้สามารถชี้วัดโดยให้ค่าเดียว จึงมีการกำหนดตัววัดค่าเดียว (Single value metric) ได้แก่ ค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ย (Mean average precision) หรือเอ็มเอพี (MAP) [11] ซึ่งจะต้องมีการคำนวณตามขั้นตอนต่อไปนี้

1) ค่าความแม่นยำที่ค่าระลึก 11 ระดับ (Precision at 11 Recall Levels)

เนื่องจากผลการค้นคืนของระบบอาจได้จำนวนเซตคำตอบที่แตกต่างกันได้ในแต่ละข้อคำถาม เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลชี้วัดของแต่ละข้อคำถามได้ จึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานในการวัดค่าความแม่นยำที่ค่าระลึกทั้งหมด 11 ระดับมาตรฐาน (ตั้งแต่ค่าระลึกที่ 0.0 ถึง 1.0 โดยมีส่วนเพิ่มเป็น 0.1) อย่างไรก็ตามก็มีความเป็นไปได้ที่ค่าระลึกที่คำนวณได้อาจไม่ได้มีค่าอยู่ใน 11 ระดับที่กำหนด จึงต้องมีการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) เพื่อหาค่าความแม่นยำ ณ ตำแหน่งค่าระลึก 11 ระดับ ด้วยสมการที่ 4 ดังนี้

$$P(r_j) = \max_{\forall r | r_j \leq r} P(r) \tag{4}$$

โดยที่ r_j คือ ค่าระลึกอ้างอิง ณ ตำแหน่งที่ j โดยที่ $j \in \{0, 1, 2, \ldots, 10\}$

$P(r)$ คือ ค่าความแม่นยำทั้งหมดที่คำนวณได้ที่ค่าระลึก r ต่างๆ

2) ค่าความแม่นยำเฉลี่ย (Average Precision)

เมื่อได้ค่าความแม่นยำใน 11 ระดับของแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการแล้ว ก็สามารถหาค่าเฉลี่ยของความแม่นยำเพื่อให้ทราบถึงความแม่นยำโดยรวมของการค้นคืนในระบบด้วยวิธีการหนึ่งได้ด้วยสมการที่ 5 ซึ่งจะมีประโยชน์ในการเปรียบเทียบเส้นโค้งของค่าความแม่นยำที่ค่าระลึก 11 ระดับของแต่ละวิธีการได้

$$\bar{P}(r_j) = \sum_{i=1}^{N_q} \frac{P_i(r_j)}{N_q} \tag{5}$$

โดยที่ $P_i(r_j)$ คือ ค่าความแม่นยำของข้อคำถามที่ i ณ ค่าระลึกอ้างอิง r_j

N_q คือ จำนวนข้อคำถามทั้งหมด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) ค่าเอ็มเอพี (MAP)

เมื่อได้ค่าความแม่นยำเฉลี่ยใน 11 ระดับของแต่ละวิธีการแล้ว ก็สามารถสรุปค่าความแม่นยำทั้ง 11 ค่านี้ให้เป็นค่าเดียวของแต่วิธีการได้ด้วยสมการที่ 6 ซึ่งจะมีประโยชน์ในการเปรียบเทียบวิธีการโดยตรงด้วยค่า MAP ซึ่งเป็นตัววัดค่าเดียว โดยวิธีการที่ดีก็จะมีค่า MAP สูง

$$MAP = \sum_{j=1}^{R} \frac{\bar{P}(r_j)}{R} \tag{6}$$

โดยที่ $\bar{P}(r_j)$ คือ ค่าความแม่นยำของทุกข้อคำถาม ณ ค่าระลึกอ้างอิง r_j

R คือ จำนวนค่าระลึกอ้างอิงทั้งหมด (กรณีนี้กำหนดให้เป็น 11)

2.3.4.3 กราฟฮิสโตแกรมของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึก

เนื่องจากการวัดค่าเอ็มเอพี (MAP) จะทำให้ทราบเพียงว่าวิธีการใดเป็นวิธีที่ดี แต่ถ้าหากต้องการวิเคราะห์เพิ่มเติม เพื่อให้ทราบถึงลักษณะของข้อคำถามที่ส่งผลต่อประสิทธิผลการค้นคืนของแต่ละวิธีการ และเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงวิธีการ ก็ควรจะมีการวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิผลระหว่างวิธีการในแต่ละข้อคำถาม ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยกราฟฮิสโตแกรม (Histogram) [11] จากการหาค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึก (R-Precision) หรือค่าอาร์พี (RP) ซึ่งหมายถึงหมายเลขตำแหน่งตามจำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งหมดของข้อคำถามนั้นๆ ด้วยสมการที่ 7 ดังนี้

$$RP_{A/B}(i) = RP_A(i) - RP_B(i) \tag{7}$$

โดยที่ $RP_A(i)$ คือ ค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกสำหรับวิธีการ A ของข้อคำถามที่ i

$RP_B(i)$ คือ ค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกสำหรับวิธีการ B ของข้อคำถามที่ i

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่สำคัญ 3 งาน ได้แก่ ทีพีเอสดี ซีเอสเอเอส และคอร์ดฮิสโตแกรม ที่ได้เสนอวิธีการวัดค่าความคล้ายของดนตรีที่ประกอบด้วยคอร์ด โดยจะอธิบายรายละเอียดของแต่ละวิธีการในหัวข้อที่ 3.1 จากนั้นจะกล่าวถึงงานวิจัยที่แสดงผลการทดลองและการประเมินวิธีการเพื่อเปรียบเทียบให้เห็นถึงความแตกต่างของแต่ละวิธีการ พร้อมอธิบายแนวทางที่จะนำไปสู่งานวิจัยนี้ที่จะเสนอวิธีการใหม่ที่สร้างขึ้นบนฐานของวิธีการเดิมในหัวข้อที่ 3.2 ทั้งนี้มีแนวคิดที่จะประยุกต์วิธีการเดิมให้สามารถใช้ได้กับระบบค้นคืนชีทเพลง

3.1 วิธีการวัดค่าความคล้ายของลำดับคอร์ด

3.1.1 ทีพีเอสดี

ทีพีเอสดี (TPSD : Tonal Pitch Step Distance) เป็นวิธีการในการวัดค่าความคล้ายของลำดับคอร์ดของเพลงใดๆ 2 เพลง ที่เสนอโดยงานวิจัย [5] ที่สามารถระบุลำดับคอร์ดตลอดทั้งเพลงได้ตั้งแต่เริ่มจนจบ โดยมีวิธีการแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การหาระยะห่างของคอร์ด และการหาระยะห่างของลำดับคอร์ด ดังนี้

3.1.1.1 การหาระยะห่างของคอร์ด

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการจากงานวิจัย [19] ในเรื่องของ “Lerdahl's Tonal Pitch Space” ซึ่งได้เสนอการหาระยะห่างระหว่างคอร์ด 2 คอร์ด โดยสามารถแสดงตัวอย่างการหาระยะห่างระหว่างคอร์ด C และ G7 ได้ ซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์ตำแหน่งพิทช์คลาสใน 3 ระดับ ดังตารางที่ 3.1 3.2 และ 3.3 และการวิเคราะห์ความแตกต่างทางกุญแจเสียง ดังตารางที่ 3.4

โดยในขั้นตอนแรกนั้นจะเป็นการวิเคราะห์ความแตกต่างของตำแหน่งพิทช์คลาส ซึ่งเป็นการวิเคราะห์พิทช์คลาสของทั้ง 2 คอร์ด ที่แบ่งเป็น 3 ระดับ (Level) ดังนี้

(1) ระดับโน้ตฐาน หมายถึง การพิจารณาพิทช์คลาสของโน้ตฐาน

(2) ระดับโน้ตคู่ที่ 5 หมายถึง การพิจารณาพิทช์คลาสของโน้ตในตำแหน่งที่ 1 และ 5

(3) ระดับคอร์ด หมายถึง การพิจารณาเซตของพิทช์คลาส

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการวิเคราะห์พิทช์คลาสของคอร์ด C

การวิเคราะห์คอร์ด C	พิทช์คลาสในแต่ละระดับ											
(1) ระดับโน้ตฐาน	0											
(2) ระดับโน้ตคู่ที่ 5	0							7				
(3) ระดับคอร์ด	0				4			7				
พิทช์คลาสทั้งหมด	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	C	.	D	.	E	F	.	G	.	A	.	B

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์พิทช์คลาสของคอร์ด G7

การวิเคราะห์คอร์ด G7	พิทช์คลาสในแต่ละระดับ											
(1) ระดับโน้ตฐาน								7				
(2) ระดับโน้ตคู่ที่ 5			2					7				
(3) ระดับคอร์ด			2			5		7				11
พิทช์คลาสทั้งหมด	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	C	.	D	.	E	F	.	G	.	A	.	B

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการเปรียบเทียบความแตกต่างของพิทช์คลาสระหว่างคอร์ด C และ G7

การเปรียบเทียบคอร์ด C และ G7	การเปรียบเทียบพิทช์คลาสในแต่ละระดับ												ความแตกต่าง
(1) ระดับโน้ตฐาน	0							7					2 ตำแหน่ง
(2) ระดับโน้ตคู่ที่ 5	0		2					7					2 ตำแหน่ง
(3) ระดับคอร์ด	0		2		4	5		7				11	5 ตำแหน่ง
													รวม 9 ตำแหน่ง

จากตารางที่ 3.3 จะพบว่าเป็นการพิจารณาตำแหน่งพิทช์คลาสที่ไม่ได้ทับซ้อนกันระหว่างคอร์ด C ในตารางที่ 3.1 และคอร์ด G7 ในตารางที่ 3.2 ซึ่งผลรวมของตำแหน่งพิทช์คลาสที่ไม่ได้ทับซ้อนกันนี้จะถูกนำมาใช้ในการหาระยะห่างระหว่างคอร์ด นอกจากนี้จะพบว่ามีความแตกต่างสูงสุดที่เป็นไปได้ในระดับที่ (1) (2) และ (3) เป็น 2 4 และ 12 ตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 18 ตำแหน่ง ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ในกรณีที่ทั้ง 2 คอร์ดมีโน้ตรวมกันได้ครบทั้ง 12 ตำแหน่งของพิทช์คลาสโดยไม่ซ้ำซ้อนกัน

ในขั้นตอนต่อไป จะเป็นการวิเคราะห์ความแตกต่างทางกุญแจเสียง ซึ่งหมายถึงระยะห่างของตำแหน่งกุญแจเสียงระหว่าง 2 คอร์ด โดยพิจารณาโน้ตฐานของคอร์ดทั้งสอง และคำนวณระยะห่างของตำแหน่งกุญแจเสียงทั้งสอง ตามตารางที่ 3.4 ซึ่งอาศัยทฤษฎีดนตรีเรื่องแผนภาพวงกลมคู่ที่ 5 ในการอธิบายระยะห่างระหว่างกุญแจเสียง

ตารางที่ 3.4 การพิจารณาระยะห่างของตำแหน่งกุญแจเสียงตามแผนภาพวงกลมคู่ที่ 5

ตำแหน่งกุญแจเสียง	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
โน้ตฐาน	Gb	Db	Ab	Eb	Bb	F	C	G	D	A	E	B	F#
พิทช์คลาส	6	1	8	3	10	5	0	7	2	9	4	11	6

จากตัวอย่างสำหรับคอร์ด C และ G7 ซึ่งมีโน้ตฐานในตำแหน่งของพิทช์คลาสที่ 0 และ 7 ตามลำดับ จะตรงกับตำแหน่งกุญแจเสียงที่ 0 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งมีผลต่างเป็นระยะห่างเท่ากับ 1 ทั้งนี้เนื่องจากเส้นทางของตำแหน่งกุญแจเสียงในแผนภาพมีลักษณะเป็นวงกลม และถือว่าตำแหน่งที่ 6 กับ -6 เป็นตำแหน่งเดียวกัน ดังนั้นการหาระยะห่างระหว่าง 2 คอร์ดนี้จึงสามารถมองได้ 2 เส้นทาง คือ แบบผ่านหรือไม่ผ่านตำแหน่งที่ 6/-6 (สำหรับตัวอย่างนี้คือ 11 หรือ 1) ซึ่งก็จะต้องเลือกเส้นทางที่สั้นกว่า (เลือก 1)

เมื่อคำนวณความแตกต่างของตำแหน่งพิทช์คลาสและระยะห่างของตำแหน่งกุญแจเสียงได้แล้ว ในงานวิจัย [5] ที่เสนอวิธีการทีพีเอสดี (TPSD) นี้ได้เสนอการคำนวณค่าความคล้ายระหว่าง 2 คอร์ดด้วยปัจจัยทั้งสองนี้ตามสมการที่ 8

$$d(x,y) = j + k \tag{8}$$

โดยที่ x, y คือ คอร์ดทั้งสองที่ต้องการเปรียบเทียบ

j คือ ระยะห่างของตำแหน่งกุญแจเสียง โดยที่ j มีค่ามากที่สุดได้ไม่เกิน 3

k คือ ความแตกต่างของตำแหน่งพิทช์คลาส หารด้วย 2

จากตัวอย่างสำหรับคอร์ด C และ G7 จึงสามารถคำนวณได้ คือ $j = 1$ และ $k = \frac{9}{2}$ ดังนั้น $\mathrm{d(C, G7)} = 5.5$

3.1.1.2 การหาระยะห่างของลำดับคอร์ด

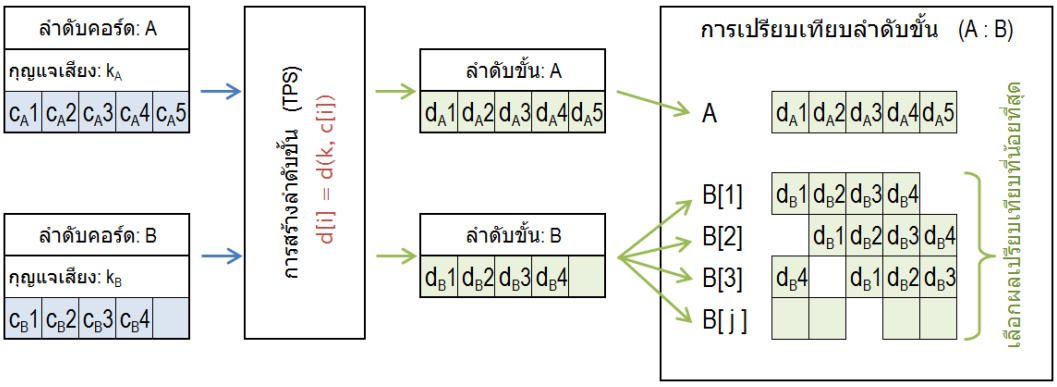
ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้สมการที่ 8 ในการเปรียบเทียบลำดับคอร์ด 2 ลำดับ โดยการสร้างลำดับขั้นของตำแหน่งพิทช์คลาส (Tonal pitch step : TPS) จากลำดับคอร์ดทั้ง 2 ลำดับ ซึ่งลำดับขั้นนี้จะมีลักษณะเป็นลำดับของจำนวนจริงซึ่งเป็นผลลัพธ์ของ $d(x,y)$ จากสมการที่ 8 ที่มีความยาวเท่ากับจำนวนจังหวะของทุกห้องในลำดับคอร์ดทั้งหมดตลอดจนจบทั้งเพลง โดยในการคำนวณจะกำหนดค่า k และ c แทนตัวแปร x และ y โดยมีความหมายดังนี้

กำหนดให้ k คือ คอร์ดฐานซึ่งเป็นชื่อของกุญแจเสียงของลำดับคอร์ด

c คือ คอร์ดทุกคอร์ดในแต่ละจังหวะของลำดับคอร์ด

เมื่อคำนวณระยะห่างของคอร์ด d ในทุกจังหวะของลำดับคอร์ด A และ B เพื่อสร้างลำดับขั้นได้แล้ว จะนำลำดับขั้นทั้งสองที่กำหนดเป็น $d_A[i]$ และ $d_B[j]$ โดยมีสมาชิกเป็น m และ n ตามลำดับ มาเปรียบเทียบ โดยหาผลรวมของผลต่างระหว่าง $d_A[i]$ และ $d_B[j]$ ตลอด n จังหวะ จากนั้นทำการเลื่อนลำดับเปรียบเทียบแบบวงกลม (Cyclic shifting) แล้วหาผลรวมต่อโดยวนซ้ำการกระทำนี้เป็นจำนวน m รอบ และผลรวมที่มีค่าน้อยสุดถือเป็นระยะห่างของลำดับคอร์ด โดยนำผลลัพธ์สุดท้ายหารด้วย n เมื่อ $n < m$ เพื่อทำให้เป็นบรรทัดฐานในการเปรียบเทียบระยะห่างกับลำดับคอร์ดอื่นๆ ต่อไป

จากกระบวนการทั้งหมดของการหาระยะห่างของลำดับคอร์ด สามารถสรุปได้ด้วยแผนภาพดังรูปที่ 3.1 ซึ่งคู่ของลำดับคอร์ดใดๆ ที่มีระยะห่างน้อยก็แสดงว่ามีความคล้ายมาก



รูปที่ 3.1 ภาพรวมกระบวนการของการหาระยะห่างของลำดับคอร์ดด้วยวิธีการทีพีเอสดี [5]

นอกจากนี้ ในงานวิจัยนี้ยังได้ทำการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิผลการค้นคืน โดยใช้ข้อมูลทดสอบจากหนังสือเพลง [20] ซึ่งมี 85 เพลง โดยในเพลงเดียวกันอาจมีลำดับคอร์ดที่แตกต่างกันหลากหลายเวอร์ชัน ซึ่งมีลำดับคอร์ดรวมทั้งหมด 388 ลำดับ จากนั้นจึงทดลองการค้นคืนโดยจัดลำดับค่าความคล้ายในการค้นหาเพลงที่คล้ายกันกับเพลงที่เลือก โดยใช้ความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึก (R-Precision) เป็นตัววัดประสิทธิผล ซึ่งในที่นี้จะถือว่าเอกสารที่เกี่ยวข้องก็คือลำดับคอร์ดของเพลงเดียวกันกับเพลงที่เลือกแต่เป็นอีกเวอร์ชัน หมายความว่า หากเพลงที่สนใจมีลำดับคอร์ดจำนวน C เวอร์ชัน ค่าความแม่นจะเท่ากับจำนวนลำดับคอร์ดของเพลงเดียวกันที่ถูกจัดลำดับภายในตำแหน่งที่ C - 1 หารด้วย C - 1 ซึ่งผลการทดลองที่ได้สามารถวัดค่าความแม่นยำเฉลี่ยได้ 0.74

3.1.2 ซีเอสเอเอส

ซีเอสเอเอส (CSAS : Chord Sequence Alignment System) เป็นวิธีการในการวัดค่าความคล้ายของลำดับคอร์ดที่เสนอโดยงานวิจัย [8] ซึ่งภายหลังได้มีการสรุปวิธีการใหม่อีกครั้งในงานวิจัย [9] แต่มีแนวคิดในการเปรียบเทียบลำดับคอร์ดอีกลักษณะหนึ่ง โดยได้นำเสนอภายหลังวิธีการทีพีเอสดี ซึ่งได้ทำการทดลองเปรียบเทียบโดยใช้ข้อมูลทดสอบจากหนังสือเพลง [20] เหมือนกัน และพบว่าวิธีการซีเอสเอเอสมีประสิทธิผลที่ดีกว่า เนื่องจากสามารถวัดค่าความแม่นยำเฉลี่ยได้ 0.84

วิธีการซีเอสเอเอสแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การหาค่าความคล้ายของคอร์ด และการหาค่าความคล้ายของลำดับคอร์ด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1.2.1 การหาค่าความคล้ายของคอร์ด

วิธีการซีเอสเอเอสจะเปรียบเทียบคอร์ดที่อยู่ในรูปของสายอักขระ (String) โดยตรง โดยจะมีการนับคะแนนความคล้ายระหว่าง 2 คอร์ด โดยพิจารณาเป็น 2 ส่วน ได้แก่ โน้ตฐาน (Root note) และชื่อส่วนท้ายของคอร์ด (Chord suffix) โดยชื่อส่วนท้ายของนั้นรวมทั้งชนิดของคอร์ดและเบสของคอร์ดด้วย ทั้งนี้เพื่อความเข้าใจ จึงได้อธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับการนับคะแนนความคล้ายระหว่าง 2 คอร์ด ด้วยสมการที่ 9 และ 10 และคำอธิบายดังตารางที่ 3.5

$$s(x,y) = (2-j) + k(x,y) \tag{9}$$

$$k(x,y) = \begin{cases} 2 & | \, matching \\ -2 & | \, substitution \\ -1 & | \, insertion \; or \; deletion \end{cases} \tag{10}$$

โดยที่ x, y คือ คอร์ดทั้งสองที่ต้องการเปรียบเทียบ

j คือ ระยะห่างของตำแหน่งกุญแจเสียง โดยที่ j มีค่ามากที่สุดไม่เกิน 4

$k(x, y)$ คือ คะแนนความคล้ายของส่วนต่อท้ายของคอร์ดทั้งสอง

ตารางที่ 3.5 คำอธิบายการเปรียบเทียบของอักขระในคอร์ดของวิธีการซีเอสเอเอส [8]

ผลการเปรียบเทียบ	คำอธิบาย	ตัวอย่าง
matching	มีอักขระเหมือนกันทั้งหมด	(C, C) หรือ (G7, G7)
substitution	ต้องมีการเปลี่ยนอักขระจึงจะเหมือนกันได้	(C, G7) หรือ (Am, F)
insertion or deletion	ถ้าเติมหรือตัดบางอักขระแล้วจะเหมือนกัน	(G, G7) หรือ (A, Am)

3.1.2.2 การหาค่าความคล้ายของลำดับคอร์ด

วิธีการซีเอสเอเอสจะเปรียบเทียบลำดับคอร์ดโดยมีหลักการเหมือนทีพีเอสดี เพียงแต่จะเปรียบเทียบคอร์ดต่อคอร์ดที่เป็นข้อมูลในรูปแบบสายอักขระโดยตรง (ไม่มีการแปลงข้อมูลเป็นจำนวนจริงเหมือนลำดับขั้นของทีพีเอสดีแต่อย่างใด) โดยจะมีการนับคะแนน $s(x, y)$ และดำเนินการรวมคะแนนตามความยาวเท่ากับจำนวนจังหวะของทุกห้องในลำดับคอร์ด ตลอดจนจบทั้งเพลงในทำนองเดียวกัน แล้ววนซ้ำการเลื่อนลำดับเปรียบเทียบแบบวงกลม เพื่อเลือกผลรวมคะแนนที่มากที่สุดเช่นเดียวกัน

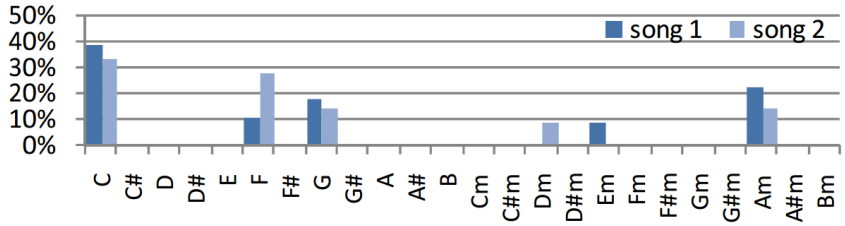
นอกจากนี้ ในงานวิจัย [8] ก็ได้ทำการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิผลการค้นคืนเหมือนกับทีพีเอสดี แต่ได้ทดลองเพิ่มโดยใช้ข้อมูลทดสอบ 2 แบบ ซึ่งผลที่ได้พบว่าเมื่อนำวิธีการไปใช้กับแนวเพลงอื่นๆ ที่ความหลากหลายมากขึ้น นอกจากหนังสือเพลง [20] ซึ่งเป็นแนวแจ๊ส (Jazz) เพียงอย่างเดียวจะทำให้ผลของค่าความแม่นยำเฉลี่ยมีค่าน้อยลงเหลือ 0.685 ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 สรุปผลการทดลองในเชิงเปรียบเทียบระหว่างวิธีการทีพีเอสดีและซีเอสเอเอส [8]

การทดลอง	ลักษณะของชุดข้อมูลทดสอบ				การวัดประสิทธิผลของวิธีการด้วยค่า R-Precision	
	แหล่งข้อมูล	แนวเพลง	จำนวนเพลง	จำนวนลำดับคอร์ด	ซีเอสเอเอส (CSAS)	ทีพีเอสดี (TPSD)
ชุดที่ 1	จากหนังสือ [20]	เฉพาะแจ๊ส	85	388	0.84	0.74
ชุดที่ 2	หลากหลาย	หลากหลาย	275	578	0.685	(ไม่ได้ทดลอง)

3.1.3 คอร์ดฮิสโตแกรม

เป็นวิธีการวัดค่าความคล้ายของเพลงที่เสนอโดยงานวิจัย [21] ซึ่งเป็นแนวทางการวัดความคล้ายอีกรูปแบบหนึ่งที่อาศัยการนับจำนวนคอร์ดที่ปรากฏในเพลงโดยแบ่งคอร์ดเป็น 24 กลุ่ม คือ คอร์ดชนิดเมเจอร์และไมเนอร์ของโน้ตฐานทั้ง 12 ตัว ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างด้วยแผนภาพฮิสโตแกรมของคอร์ด (Chord histogram) ได้ดังรูปที่ 3.2 จากนั้นจึงอาศัยสูตรของระยะห่างยูคลิเดียน (Euclidean distance) หรือแอลทูนอร์ม (L2-Norm) [22] เพื่อสร้างสมการที่ 11 ในการเปรียบเทียบฮิสโตแกรมของคอร์ดของทั้งสองเพลง ซึ่งถ้าหากระยะห่างที่ได้มีค่าน้อยก็แสดงว่าเพลงทั้งสองเพลงมีความคล้ายมาก



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างแผนภาพฮิสโตแกรมที่มีการเปรียบเทียบระหว่างเพลงด้วยคอร์ด 24 กลุ่ม [21]

$$d(p,q) = \sqrt{\sum_{i=1}^{24}(p_i - q_i)^2} \tag{11}$$

โดยที่ $d(p,q)$ คือ ระยะห่างของเพลงสองเพลง

p_i และ q_i คือ จำนวนคอร์ดในแต่ละกลุ่มของเพลงคู่เปรียบเทียบ

i คือ ตำแหน่งของกลุ่มทั้งหมด 24 กลุ่ม ตั้งแต่ C, C#, ... , Bm

3.2 การเปรียบเทียบวิธีการ

มีงานวิจัย [10] ที่ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบวิธีการระหว่างทีพีเอสดีกับซีเอสเอเอสในเชิงลึก เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของทั้งสองวิธีการ โดยกำหนดข้อมูลทดสอบที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและหลากหลายแนวเพลงมากขึ้น ซึ่งนำเข้าข้อมูลลำดับคอร์ดจากอินเทอร์เน็ตที่สร้างด้วยโปรแกรมแบนด์อินอะบ็อกซ์ (Band-in-a-Box) [23] จำนวน 3,944 เพลง และ 5,028 ลำดับคอร์ด ทั้งนี้ได้แบ่งการทดลองเป็น 3 ภารกิจ โดยปรับความซับซ้อนของลำดับคอร์ดโดยการลดข้อมูลชื่อคอร์ดที่นำเข้าให้แตกต่างกัน 3 แบบ ได้แก่ แบบเต็ม (Full) แบบทรัยแอด (Triad) และแบบโน้ตฐาน (Root) ซึ่งในแต่ละแบบสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.3

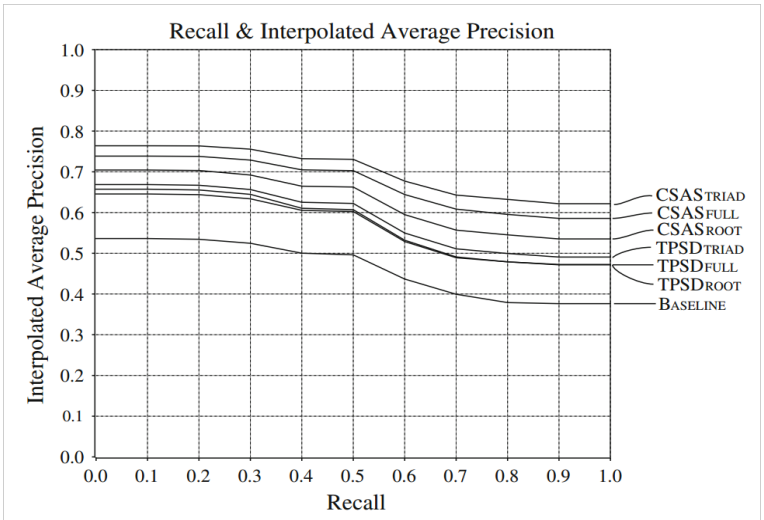
ภารกิจการทดลอง	คำอธิบาย	ตัวอย่างลำดับคอร์ดในระบบ
1) แบบเต็ม (Full)	ไม่มีการลดข้อมูลชื่อคอร์ด	C CM7 C7 F Fm C Dm G7 C
2) แบบทรัยแอด (Triad)	มีการลดข้อมูลชื่อส่วนท้ายของคอร์ดให้เหลือเพียงคอร์ดชนิดเมเจอร์ ไมเนอร์ ออกเม็นเต็ด หรือดิมินิชท์เท่านั้น	C C C F Fm C Dm G C
3) แบบโน้ตฐาน (Root)	ไม่มีการลดข้อมูลชื่อคอร์ดให้เหลือเพียงโน้ตฐานเท่านั้น	C C C F F C D G C

รูปที่ 3.3 ภารกิจการทดลองทั้ง 3 ภารกิจ ที่มีข้อมูลชื่อคอร์ดแตกต่างกัน

การประเมินวิธีการทั้งสองใน 3 ภารกิจนั้น ได้ใช้ค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ยหรือเอ็มเอพี (MAP) เป็นตัววัดประสิทธิผล และใช้เวลาดำเนินงาน (Runtime) เป็นตัววัดประสิทธิภาพ ทั้งนี้สามารถแสดงข้อมูลผลการทดลองได้ดังตารางที่ 3.7 และกราฟแสดงผลดังรูปที่ 3.4

ตารางที่ 3.7 การเปรียบเทียบผลของค่าเอ็มเอพีและเวลาดำเนินงานระหว่างสองวิธีการ [10]

	วิธีการซีเอสเอเอส (CSAS)			วิธีการทีพีเอสดี (TPSD)			วิธีการบรรทัดฐาน (Baseline)
	Triad	Full	Root	Triad	Full	Root	
ค่าเอ็มเอพี	0.696	0.666	0.622	0.580	0.565	0.559	0.459
เวลาดำเนินงาน (ชั่วโมง:นาที)	72:57	95:54	74:45	0:33	0:37	0:28	0:24



รูปที่ 3.4 กราฟความแม่นยำที่ค่าระลึก 11 ระดับ ของการเปรียบเทียบวิธีการทั้งสอง [10]

จากผลการทดลองพบว่าวิธีการซีเอสเอเอส (CSAS) มีประสิทธิที่ผลที่ดีกว่า หรือมีความแม่นยำมากกว่าในการค้นคืนเพลงที่มีลำดับคอร์ดคล้ายกัน ส่วนวิธีการทีพีเอสดี (TPSD) มีประสิทธิภาพมากกว่า หรือใช้เวลาในการประมวลผลข้อมูลน้อยกว่า

จากการอภิปรายวิธีการทีพีเอสดีในงานวิจัย [10] ได้สรุปว่า ในการหาค่าความคล้ายของลำดับคอร์ดจะต้องมีการแปลงข้อมูลลำดับคอร์ดที่อยู่ในรูปแบบสายอักขระ เป็นข้อมูลลำดับขั้นที่อยู่ในรูปแบบจำนวนจริงซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้น้อยกว่า จึงทำให้มีประสิทธิภาพมากกว่า แต่เนื่องจากการแปลงข้อมูลโดยหลักการที่นำเสนอยังมีจุดอ่อนในเรื่องผลการคำนวณระยะห่างสำหรับการเปรียบเทียบคอร์ดบางคู่ที่อาจได้ผลลัพธ์ (TPS) เท่ากัน เช่น คู่ของคอร์ด (C, F) และ (C, G) ซึ่งหากคำนวณระยะห่างระหว่างคอร์ดด้วยวิธีการทีพีเอสดี จะได้ผลลัพธ์เท่ากับ 5 เช่นเดียวกัน ทำให้การเปรียบเทียบลำดับคอร์ดอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ตัวอย่างเช่น ลำดับคอร์ด C-F-F-C, C-F-G-C และ C-G-G-C ซึ่งหากแปลงข้อมูลเป็นลำดับขั้นก็จะได้เป็น 0-5-5-0 เหมือนกันทั้งหมด จึงอาจทำให้การค้นคืนได้เพลงที่ไม่ได้คล้ายกัน

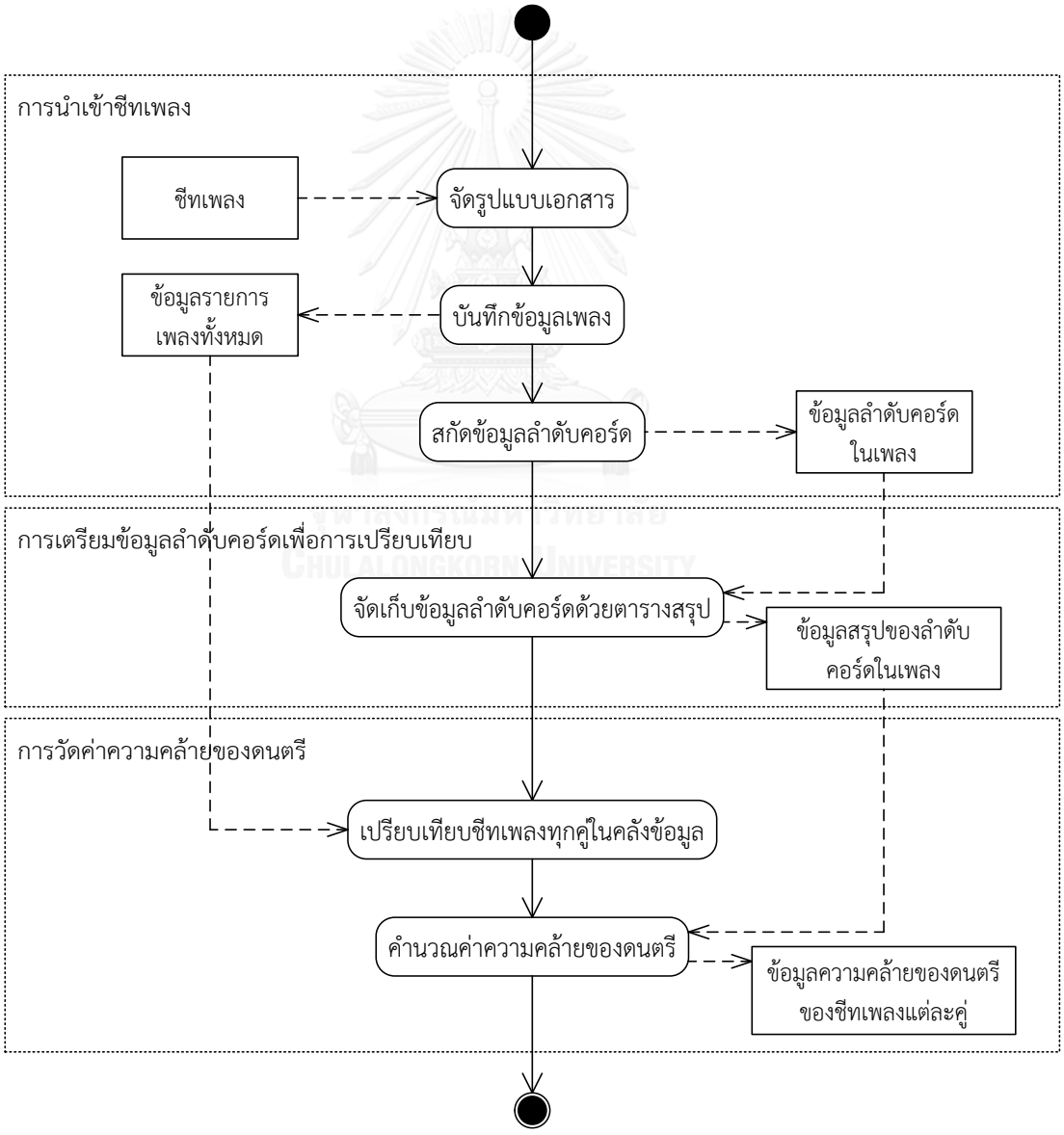
หากกล่าวถึงวิธีการที่จะนำเสนอในงานวิจัยนี้ ก็ยังมีความแตกต่างในเรื่องหน่วยทดลอง เนื่องจากงานวิจัยนี้จะพิจารณาข้อมูลลำดับคอร์ดจากชีทเพลงซึ่งไม่มีข้อมูลจังหวะ และยังต้องวิเคราะห์การแบ่งท่อนในเอกสารเป็นลำดับคอร์ดย่อย ในขณะที่วิธีการทีพีเอสดีและซีเอสเอเอสนั้นสามารถใช้ได้กับไฟล์ลำดับคอร์ดที่มีข้อมูลจังหวะจากโปรแกรมแบนด์อินอะบ็อกซ์ อย่างไรก็ตามก็ยังสามารถอาศัยจุดเด่นของทั้งสองวิธีการ ได้แก่ การลดข้อมูลคอร์ดจากอักขระเป็นจำนวนเต็ม และการเปรียบเทียบข้อมูลคอร์ดอย่างครบถ้วน เพื่อสร้างวิธีการที่นำเสนอที่อาศัยการเข้ารหัสแฟ้มลายเซ็นของคอร์ด ซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทที่ 4

บทที่ 4
วิธีการที่นำเสนอ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการวัดค่าความคล้ายของดนตรีในชีทเพลง โดยวิธีการที่นำเสนอนี้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ การนำเข้าชีทเพลง การเตรียมข้อมูลลำดับคอร์ดเพื่อการเปรียบเทียบ และการวัดค่าความคล้ายของดนตรี ซึ่งอยู่ในหัวข้อที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

4.1 ภาพรวมของวิธีการที่นำเสนอ

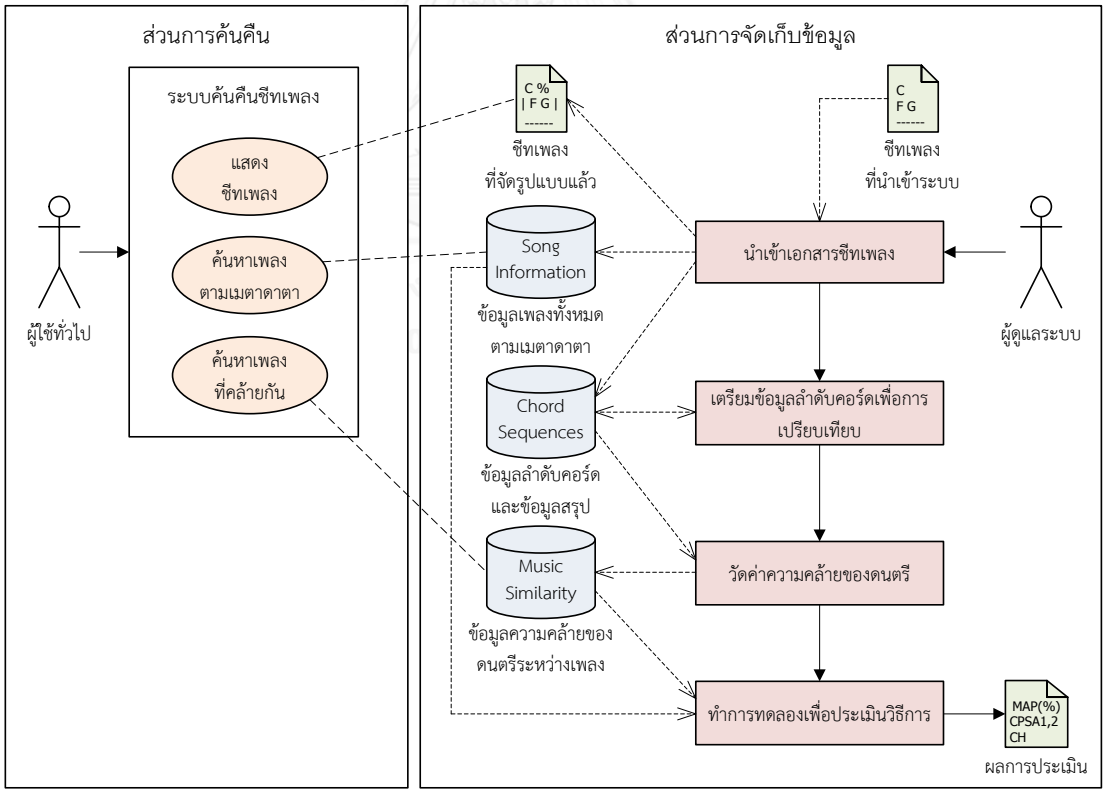
ภาพรวมของวิธีการที่ได้นำเสนอสามารถแสดงได้ด้วยแผนภาพกิจกรรมดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภาพกิจกรรมที่แสดงภาพรวมของวิธีการที่นำเสนอ

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการวัดค่าความคล้ายของดนตรีในชีทเพลง ซึ่งเป็นไฟล์ข้อความที่ประกอบด้วยคำที่เป็นคอร์ดที่จัดเรียงในแต่ละตำแหน่งของเอกสาร ทั้งนี้ต้องมีการจัดรูปแบบเอกสารเพื่อให้สามารถนำเข้าระบบได้ จากนั้นจึงมีการสกัดข้อมูลลำดับคอร์ดในเพลงจากเอกสาร และมีการจัดเก็บข้อมูลลำดับคอร์ดและข้อมูลเพลงในฐานข้อมูลที่พร้อมต่อการเปรียบเทียบเพื่อคำนวณค่าความคล้ายระหว่างเพลง นอกจากนี้ยังได้มีการใช้ตารางสรุป (Summary tables) สำหรับจัดเก็บข้อมูลคุณลักษณะของลำดับคอร์ดนั้น เช่น ความยาว จำนวนคอร์ด เป็นต้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณค่าความคล้ายได้ จากนั้นจึงจัดเก็บข้อมูลที่เป็นผลของการคำนวณความคล้ายของดนตรีในแต่ละคู่ของเพลงในฐานข้อมูลสำหรับผู้ใช้งานให้สามารถค้นหาเพลงที่คล้ายกันได้ และใช้ในการทดลองเพื่อประเมินวิธีการจากการวัดประสิทธิผลการค้นคืนต่อไป

ทั้งนี้จากวิธีการที่นำเสนอจะสามารถนำไปทำให้เกิดผลเป็นซอฟต์แวร์สำหรับผู้ใช้ได้ โดยสามารถแบ่งองค์ประกอบได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนการค้นคืนสำหรับผู้ใช้ทั่วไป และส่วนการจัดเก็บข้อมูลสำหรับผู้ดูแลระบบ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 องค์ประกอบของระบบจัดเก็บและค้นคืนชีทเพลงจากวิธีการที่นำเสนอ

4.2 การนำเข้าชีทเพลง

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เอกสารชีทเพลงที่อยู่ในรูปของไฟล์ข้อความที่มีนามสกุลทีเอ็กซ์ที (.txt) เป็นเอกสารที่ใช้นำเข้าระบบ ซึ่งก็มีบางเว็บไซต์ที่ให้บริการเอกสารชนิดนี้โดยผู้ใช้สามารถดาวน์โหลดหรือคัดลอกข้อความจากหน้าเว็บได้ แต่เนื่องจากชีทเพลงนั้นไม่ได้มีกฎเกณฑ์ที่ตายตัวหรืออาจมีวิธีเขียนได้หลายแบบขึ้นกับวิจารณญาณของผู้เขียน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดรูปแบบเอกสารและอาจจำเป็นต้องมีการปรับรูปแบบเอกสารด้วยมือเพื่อให้สามารถนำเข้าระบบได้โดยมีข้อมูลลำดับคอร์ดที่ครบถ้วนตามที่ระบุในเอกสาร

นอกจากนี้ในงานวิจัยยังได้นำเสนอการใช้สัญกรณ์จังหวะซึ่งเป็นการระบุข้อมูลจังหวะในเอกสารเพื่อให้ทราบความยาวจังหวะของแต่ละคอร์ดในเอกสารได้ เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วเอกสารชนิดนี้จะระบุเพียงตำแหน่งการเปลี่ยนคอร์ดเท่านั้น แต่ก็ยังมีบางเว็บไซต์ที่ให้บริการเอกสารชนิดนี้ในแบบที่มีข้อมูลจังหวะมาให้ด้วย แต่อย่างไรก็ตามก็ยังคงต้องมีการปรับรูปแบบเอกสารด้วยมือเพื่อให้ได้ข้อมูลจังหวะที่ครบถ้วนด้วยเช่นกัน

เมื่อมีการปรับรูปแบบเอกสารด้วยมือให้ได้ตามที่กำหนดแล้ว ระบบจะสามารถสกัดและแปลความหมายเพื่อให้ได้ข้อมูลลำดับคอร์ดตามที่ระบุไว้ได้ ซึ่งถ้ามีการใช้สัญกรณ์จังหวะในเอกสารด้วยก็จะทำให้ได้ลำดับคอร์ดที่มีข้อมูลจังหวะด้วย โดยในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการที่สามารถนำไปทำให้เกิดผลโดยอาศัยแบบรูปการออกแบบซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์สายอักขระที่เป็นคอร์ดตามทฤษฎีดนตรีด้วย ทั้งนี้มีรายละเอียดของวิธีการนำเข้าชีทเพลง โดยสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วนตามที่จะกล่าวต่อไป

4.2.1 การจัดรูปแบบเอกสารที่ใช้นำเข้าระบบ

ถึงแม้ว่าการเขียนชีทเพลงนั้นไม่ได้มีกฎเกณฑ์ที่ตายตัว แต่โดยทั่วไปก็ควรจะประกอบด้วยข้อความที่เป็นเนื้อเพลงและคอร์ดเป็นหลัก แต่ก็อาจมีสัญลักษณ์อื่นๆ ที่ช่วยให้ผู้อ่านเข้าใจเพลงได้ง่ายขึ้น เช่น การแบ่งท่อนของเพลงโดยใช้คำว่า “Intro”, “Verse”, “Chorus”, “ * ” เป็นต้น หรือการวนซ้ำของเพลงโดยใช้คำว่า “(2 Times)”, “(x2)”, “(Repeat *, **)” เป็นต้น ซึ่งมีวิธีอธิบายได้หลายรูปแบบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้สร้างกฎการปรับข้อความ (Text adjustment rules) เพื่อให้เป็นรูปแบบเดียว ซึ่งอาจต้องมีการแก้ไขเอกสารด้วยมือเพื่อให้ระบบสามารถสกัดและจัดเก็บข้อมูลลำดับคอร์ดคอร์ดจากเอกสารได้อย่างครบถ้วน โดยอาศัยการเว้นวรรคและการเว้นบรรทัดเป็นหลักเพื่อการจัดแบ่งลำดับคอร์ดตามท่อนของเพลง ทั้งนี้สามารถแสดงรายละเอียดของกฎการปรับข้อความในข้อที่ 1 ถึง 5 ได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 กฎการปรับข้อความที่นำเสนอในส่วนของการสกัดข้อมูลลำดับคอร์ด

ข้อ	สัญลักษณ์	รายละเอียดการใช้สัญลักษณ์
1	เว้นวรรค	คอร์ดแต่ละคอร์ดต้องไม่เขียนติดกัน และต้องไม่เขียนติดกับสัญลักษณ์อื่น โดยให้มีเว้นวรรคคั่นอย่างน้อย 1 อักขระ
2	เว้นบรรทัด	ท่อนแต่ละท่อนต้องอยู่ในย่อหน้า (Paragraph) ที่ไม่ติดกัน โดยให้มีบรรทัดเปล่า (Blank line) คั่นระหว่างย่อหน้าอย่างน้อย 1 บรรทัด
3	x	ในกรณีที่มีการวนซ้ำ (Repeat) ของลำดับคอร์ดที่ระบุในบรรทัดนั้น ให้ใช้อักขระ “x” ตามด้วยจำนวนเต็มตั้งแต่ “2” ถึง “9” เพื่อระบุจำนวนการย้อน
4	\	ในกรณีที่มีหมายเหตุในแต่ละบรรทัด (Line comment) ให้ใช้อักขระ “\” กำกับที่ต้นบรรทัด เพื่อไม่ให้ระบบสกัดข้อความในบรรทัดนั้น
5	( )	ในกรณีที่มีหมายเหตุในแต่ละตำแหน่ง (Short comment) ให้ใช้อักขระ “(” และ “)” ปิดล้อมหมายเหตุนั้น เพื่อไม่ให้ระบบสกัดข้อความในวงเล็บนั้น ยกเว้นการวนซ้ำ เช่น “(x2)” เป็นต้น ที่ระบบยังคงสกัดและแปลความหมายได้

นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้เสนอแนวทางในการจัดเก็บข้อมูลจังหวะเพิ่มเติมด้วยสัญกรณ์จังหวะ ซึ่งเป็นการใส่สัญลักษณ์ “%” และ “|” แทรกในบรรทัดที่มีคอร์ด ซึ่งเป็นสัญลักษณ์แทนการแบ่งห้อง (Bar partitioning) ให้กับลำดับคอร์ด เพื่อให้สามารถกำหนดข้อมูลความยาวจังหวะของแต่ละคอร์ดได้ ซึ่งในตอนแรกนั้นคอร์ดทุกคอร์ดจะมีความยาวจังหวะเป็น 1 หน่วยเท่ากันหมด ทั้งนี้สัญลักษณ์ดังกล่าวก็ต้องมีเว้นวรรคคั่นอย่างน้อย 1 อักขระตามกฎการปรับข้อความข้อที่ 1 ด้วยเช่นกัน โดยสามารถแสดงรายละเอียดการใช้สัญกรณ์จังหวะได้ตามกฎการปรับข้อความต่อในข้อที่ 6 และ 7 ดังตารางที่ 4.2

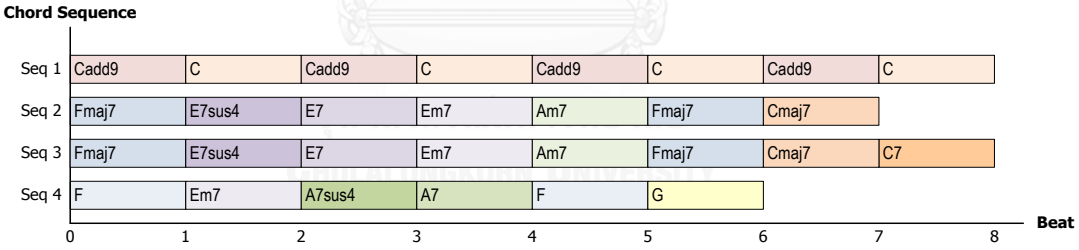
ตารางที่ 4.2 กฎการปรับข้อความที่นำเสนอในส่วนของการสกัดข้อมูลจังหวะ

ข้อ	สัญลักษณ์	รายละเอียดการใช้สัญลักษณ์
6	%	ใช้แทนการซ้ำคอร์ด (Duplicate) ที่มีความยาวจังหวะเหมือนคอร์ดก่อนหน้า
7	| |	ใช้แทนการแบ่งความยาวจังหวะ (Divide) โดยคอร์ดทั้งหมด n คอร์ดในบรรทัดเดียวกันที่ถูกปิดล้อมด้วยอักขระ “|” จะมีความยาวจังหวะเป็น $\frac{1}{n}$ หน่วย

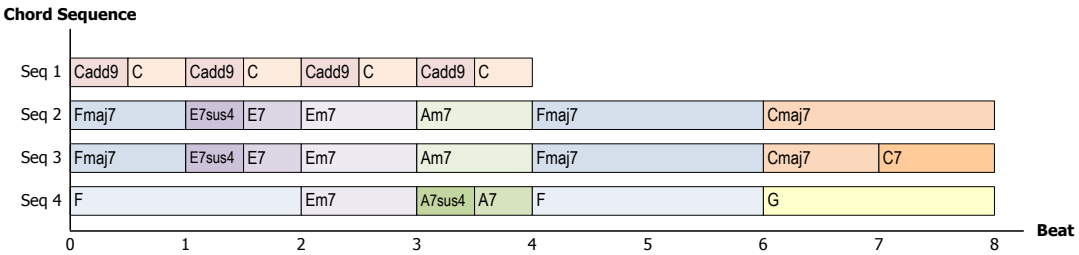
ทั้งนี้สามารถแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์เอกสารชีทเพลงในดังรูปที่ 4.3 โดยอาศัยกฎการปรับข้อความตามที่นำเสนอ ซึ่งจะพบว่ามีการใช้บรรทัดเปล่าทั้ง 3 ตำแหน่ง ได้แก่บรรทัดที่ 2, 7 และ 12 ในการแบ่งท่อนของเพลง จึงทำให้เกิดลำดับคอร์ดทั้งหมด 4 ลำดับ นอกจากนี้หากไม่มีการใส่สัญกรณ์จังหวะ (สัญลักษณ์ “%” และ “|”) เพิ่มเติมในเอกสารก็จะทำให้ได้ลำดับคอร์ดที่ไม่มีข้อมูลจังหวะหรือมีเพียงข้อมูลการเปลี่ยนคอร์ดเท่านั้นดังรูปที่ 4.4 แต่ถ้ามีการใช้สัญกรณ์จังหวะด้วยก็จะทำให้ได้ลำดับคอร์ดที่มีข้อมูลจังหวะที่แสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนความยาวจังหวะของแต่ละคอร์ดได้ดังรูปที่ 4.5

1	Intro: | Cadd9 C | Cadd9 C | x2	Seq 1
2		
3	Fmaj7 | E7sus4 E7 | Em7 Am7	Seq 2
4	Why do birds suddenly appear every time you are near?	
5	Fmaj7 % Cmaj7 %	
6	Just like me, they long to be close to you	
7		
8	Fmaj7 | E7sus4 E7 | Em7 Am7	Seq 3
9	Why do stars fall down from the sky every time you walk by?	
10	Fmaj7 % Cmaj7 C7	
11	Just like me, they long to be close to you	
12		
13	* F %	Seq 4
14	On the day that you were born the angels got together	
15	Em7 | A7sus4 A7 |	
16	And decided to create a dream come true	
17	F %	
18	So they sprinkled moon dust in your hair of gold	
19	G %	
20	and starlight in your eyes of blue	

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างข้อความในชีทเพลง “Close To You” ที่แสดงการแบ่งท่อนของเพลง



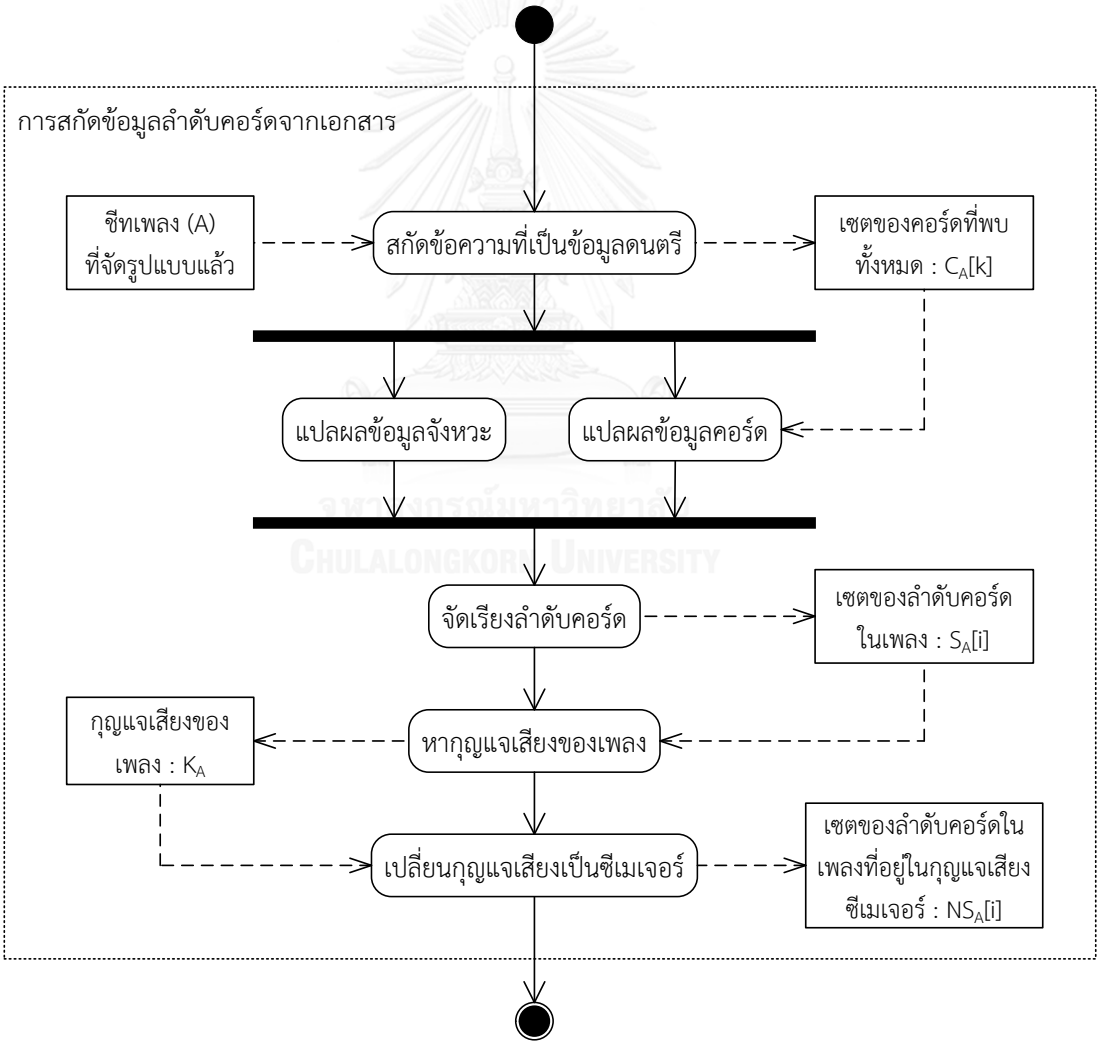
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างข้อมูลลำดับคอร์ดจากชีทเพลง “Close To You” ที่ไม่มีข้อมูลจังหวะ



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างข้อมูลลำดับคอร์ดจากชีทเพลง “Close To You” ที่มีข้อมูลจังหวะ

4.2.2 การสกัดข้อมูลลำดับคอร์ดจากเอกสาร

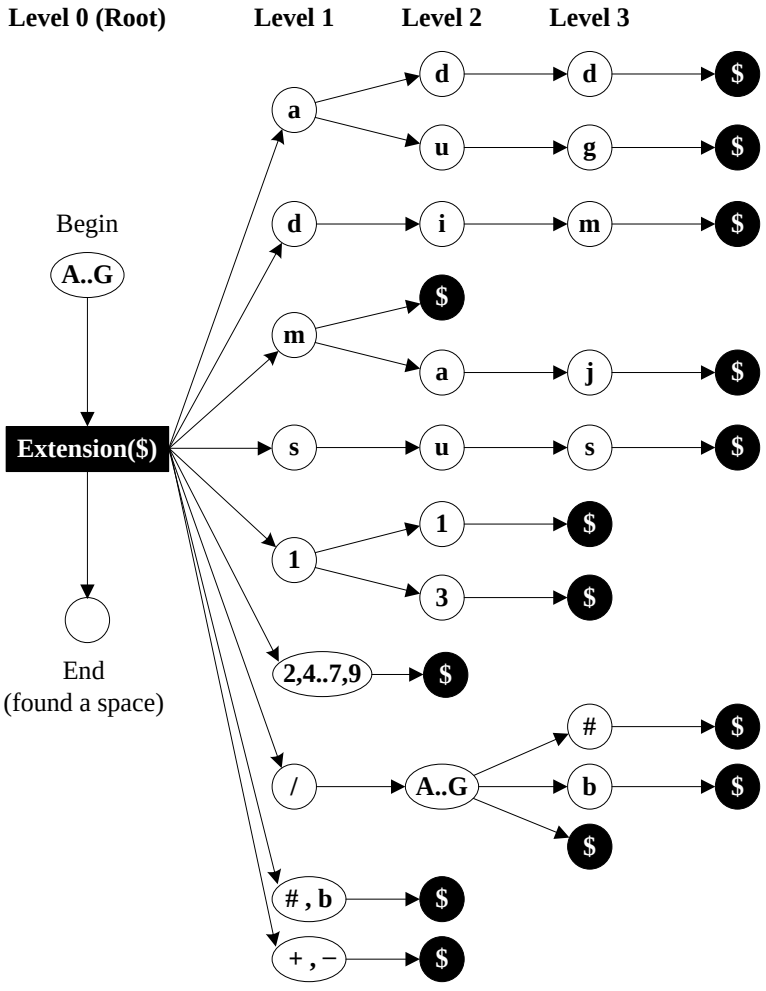
หลังจากที่ได้เตรียมเอกสารชีทเพลงที่มีรูปแบบตามที่กำหนดแล้ว ก็ต้องมีการนำเข้าระบบเพื่อสกัดข้อความในเอกสารทีละบรรทัด เพื่อรวบรวมข้อมูลคอร์ดและจังหวะ แล้วนำมาจัดเรียงเป็นลำดับคอร์ดตามท่อนของเพลงที่ได้แบ่งไว้ในแต่ละย่อหน้า และในขณะเดียวกันก็มีการแปลความหมายคอร์ดเป็นเซตของพิทช์คลาสซึ่งเป็นข้อมูลทางดนตรีที่สำคัญที่จะใช้วัดความคล้ายระหว่างคอร์ดในขั้นตอนถัดไปได้ นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนกุญแจเสียงของทุกเพลงให้เป็นซีเมเจอร์ (C Major) เหมือนกันด้วย เพื่อให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันและสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างทางดนตรีในการดำเนินคอร์ด (Chord progression) ได้อย่างแท้จริง ทั้งนี้สามารถอธิบายภาพรวมการสกัดข้อมูลลำดับคอร์ดได้ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป



รูปที่ 4.6 แผนภาพกิจกรรมของกระบวนการสกัดข้อมูลลำดับคอร์ดจากชีทเพลง

4.2.2.1 การสกัดข้อความที่เป็นข้อมูลดนตรี

ข้อมูลดนตรีในชีทเพลงจะมี 2 ประเภท คือข้อมูลคอร์ด และข้อมูลจังหวะที่ใช้กำหนดความยาวของแต่ละคอร์ดในลำดับคอร์ด ซึ่งในการสกัดข้อมูลจังหวะนั้นสามารถใช้กฎการปรับข้อความเพื่อค้นหาอักขระที่เกี่ยวข้อง (เช่น “x”, “%”, “|”) ในเอกสารได้โดยตรง แต่ในการสกัดข้อมูลคอร์ดจากข้อความในเอกสารนั้น จำเป็นต้องศึกษาโครงสร้างไวยากรณ์ของชื่อคอร์ดตามทฤษฎีดนตรี [24] เพื่อนำมาสร้างวิธีการในการตรวจสอบอักขระของแต่ละคำในเอกสารให้สามารถแยกคำที่เป็นคอร์ดออกจากคำชนิดอื่นๆ (เช่น เนื้อเพลง หรือหมายเหตุ) ในเอกสารซึ่งอาจประกอบด้วยพยัญชนะ A-Z หรือ a-z ที่คล้ายกับชื่อคอร์ดก็ได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้อาศัยแนวทางการค้นหาข้อความด้วยต้นไม้คำนำหน้า (Prefix tree) [25] เพื่อสร้างต้นไม้อักขระของคอร์ด (Chord character tree) ที่สามารถแสดงตัวอย่างโครงสร้างของอักขระจากชื่อคอร์ด ได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างต้นไม้อักขระของคอร์ดสำหรับการค้นหาข้อความที่เป็นคอร์ด

ในการค้นหาคำที่เป็นคอร์ดในเอกสารนั้น จะมีการตรวจสอบอักขระของคำแต่ละคำในเอกสารด้วยต้นไม้อักขระของคอร์ด โดยถ้าพบอักขระของโน้ตฐานที่เป็นพยัญชนะ A-G แล้วระบบจะเริ่มการพิจารณาที่ระดับราก “Level 0 (Root)” เพื่อตรวจสอบอักขระในระดับถัดไป (Level 1, 2, 3) ว่ายังคงตรงตามที่กำหนดในต้นไม้อักขระของคอร์ดหรือไม่ ซึ่งเมื่อถึงตำแหน่ง “$” ซึ่งเป็นโหนดสุดท้าย (Leaf node) ก็จะกลับมาที่ระดับรากที่ตำแหน่ง “Extension($)” อีกครั้ง เพื่อวนซ้ำการพิจารณาอักขระที่ยังเหลือในคำนั้น โดยที่ระดับรากนี้หากพบเว้นวรรคเป็นอักขระถัดไปก็จะสิ้นสุดการตรวจสอบ และระบบจะรวบรวมคำเหล่านี้ไปแปลความหมายเพื่อหาส่วนประกอบทางดนตรีของคอร์ดต่อไป แต่ถ้าหากพบว่ามีบางอักขระที่ไม่ตรงตามที่กำหนดในต้นไม้อักขระของคอร์ด หรือพบอักขระเว้นวรรคทั้งๆ ที่ยังไม่ถึงตำแหน่ง “$” ระบบก็จะหยุดการตรวจสอบและข้ามไปพิจารณาคำต่อไปจนครบทั้งเอกสาร

4.2.2.2 การแปลความหมายข้อมูลดนตรี

ข้อมูลดนตรีที่สกัดได้จากเอกสารชีทเพลงมีองค์ประกอบ 2 อย่าง ได้แก่ คอร์ดและจังหวะ ซึ่งในส่วนของจังหวะนั้นต้องใช้กฎการปรับข้อความ เพื่อให้สามารถจัดเรียงคอร์ดในอาร์เรย์ของลำดับคอร์ดตามตามตำแหน่งของจังหวะได้ แต่ในส่วนของคอร์ดนั้นต้องมีการแปลความหมายคอร์ดเพื่อหาส่วนประกอบทางดนตรีหรือเซตของพิทช์คลาสของคอร์ด ซึ่งก็ต้องอาศัยต้นไม้อักขระของคอร์ดเช่นกัน โดยจะมีการแปลความหมายชื่อส่วนท้ายของคอร์ดซึ่งมีการแบ่งส่วนเป็นพจน์ (Term) ตามจำนวนการเยือนที่ตำแหน่ง “$” ของการพิจารณาคอร์ดนั้น เพื่อดำเนินการสร้างเซตของพิทช์คลาสทีละขั้นตอนตามความหมายทางดนตรีของแต่ละพจน์ตามลำดับ เมื่อเสร็จสิ้นแปลความหมายคอร์ดทั้งหมดที่พบในเพลงแล้ว ก็จะทำให้ทราบเซตของพิทช์คลาสของแต่ละคอร์ดในลำดับคอร์ดได้

ในการแปลความหมายคอร์ดจะเริ่มจากการสร้างเซตของพิทช์คลาสพื้นฐานซึ่งเป็นอาร์เรย์ชนิดบูลีนความยาว 12 ที่กำหนดค่าเป็น true เฉพาะตำแหน่งที่ 0, 4 และ 7 จากนั้นจะมีการแปลความหมาย ทีละขั้นตอนตามลำดับของพจน์เพื่อปรับค่าในอาร์เรย์นี้ตามความหมายทางดนตรี จึงได้มีการนิยามชุดคำสั่งดำเนินการในเซตของพิทช์คลาสพื้นฐานดังตารางที่ 4.3 โดยมีคำสั่ง add(i) กับ delete(i) สำหรับปรับค่าของอาร์เรย์ในตำแหน่งที่ i ให้เป็น true กับ false ตามลำดับ และมีการปรับค่ารหัสสถานะ (s) เมื่อสิ้นสุดการแปลความหมายในแต่ละพจน์ เพื่อใช้ประกอบคำสั่ง switch(s) ของการแปลความหมายในพจน์ถัดไป จากนั้นในขั้นตอนสุดท้ายจะมีการเลื่อนตำแหน่งของอาร์เรย์นี้แบบวงกลมตามค่าพิทช์คลาสของโน้ตฐาน แล้วจึงเพิ่มพิทช์คลาสของโน้ตเบสเพื่อให้ได้เซตของพิทช์คลาสของคอร์ดที่สมบูรณ์

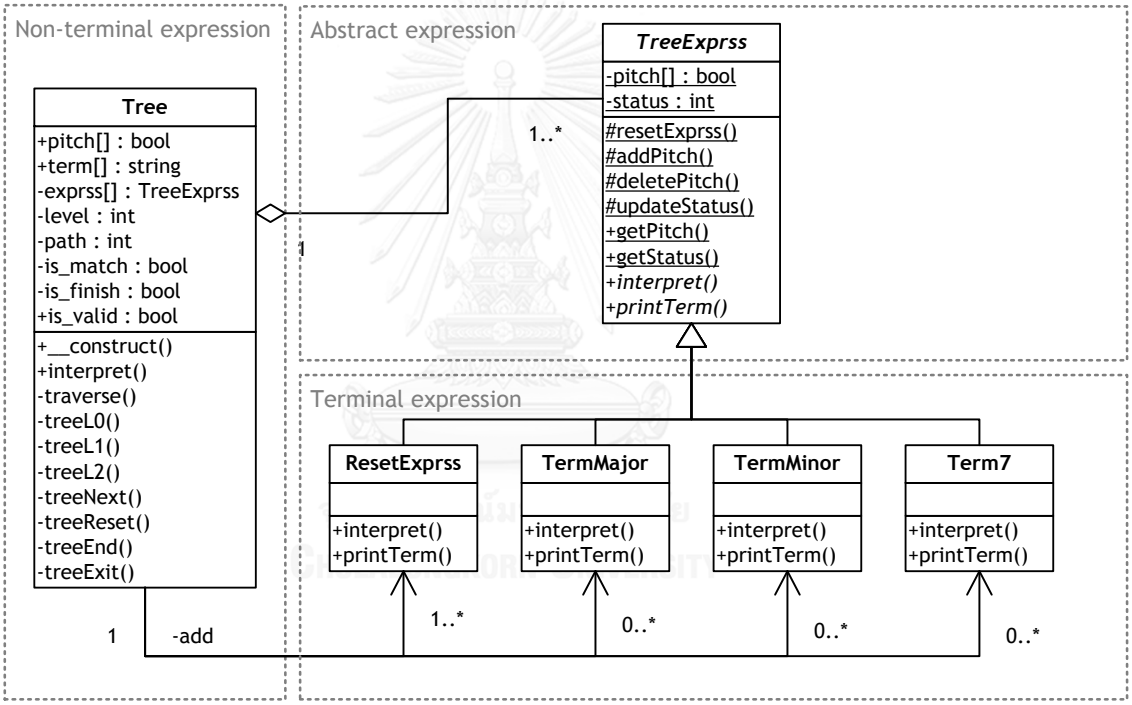
ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างชุดคำสั่งดำเนินการแปลความหมายของแต่ละพจน์

พจน์	คำสั่งดำเนินการในเซตของพิทช์คลาสพื้นฐาน	รหัสสถานะต่อไป	เงื่อนไขเพิ่มเติม
(Begin)	reset(0,4,7)	1	เป็นสถานะเริ่มต้นของการแปลคำสั่งพจน์
maj	//do nothing	2	อักขระถัดไปต้องเป็นตัวเลข 1-9
m	delete(4), add(3)	3	
dim	delete(4), add(3), delete(7), add(6)	4	
aug	delete(7), add(8)	0	
add	//do nothing	0	อักขระถัดไปต้องเป็นตัวเลข 1-9
sus	delete(4)	0	อักขระถัดไปต้องเป็นตัวเลข 2 หรือ 4
2	add(2)	0	อักขระถัดไปต้องไม่เป็นตัวเลข 1-9
4	add(5)	0	อักขระถัดไปต้องไม่เป็นตัวเลข 1-9
7	switch(รหัสสถานะ) case 2 : add(11) case 4 : add(9) default : add(10)	0	
9	switch(รหัสสถานะ) case 1,3 : add(10,2) case 2 : add(11,2) case 4 : add(9,2) default : add(2)	0	

จากแนวทางการแปลความหมายคอร์ดตามที่นำเสนอนี้สามารถประยุกต์ใช้แบบรูปอินเทอร์พรีเตอร์ได้ โดยอาศัยต้นไม้อักขระของคอร์ดในการออกแบบคลาสนิพจน์ที่ไม่เป็นส่วนปลาย และอาศัยชุดคำสั่งดำเนินการในเซตของพิทช์คลาสในการออกแบบคลาสนิพจน์ที่เป็นส่วนปลาย ซึ่งจะช่วยให้สามารถรองรับการแปลความหมายของคอร์ดจำนวนมหาศาลที่มีอยู่จริงทั้งหมดได้ เนื่องจากคอร์ดนั้นมีส่วนประกอบของชื่อส่วนท้ายที่เป็นไปได้หลายแบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทั้งนี้สามารถแสดงการออกแบบโปรแกรมแปลความหมายคอร์ดด้วยแผนภาพคลาสที่เป็นแบบรูปอินเทอร์พรีเตอร์ดังรูปที่ 4.8 โดยเริ่มต้นที่คลาส Tree ซึ่งเก็บข้อมูลต้นไม้อักขระของคอร์ดและเป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ข้อความนำเข้าที่เป็นชื่อส่วนท้ายของคอร์ด ซึ่งจะมีการสร้างอ็อบเจกต์จากคลาสนิพจน์ที่เป็นส่วนปลาย (เช่น TermMajor, TermMinor หรือ Term7 เป็นต้น) ที่รับทอดจากคลาส *TreeExprss* ไว้เป็นตัวแทนของแต่ละพจน์ โดยมีการจัดเก็บอ็อบเจกต์เหล่านี้ไว้ในตัวแปร exprss[] จากนั้นจึงมีการแปลความหมายของแต่ละอ็อบเจกต์ด้วยคำสั่ง interpret() เพื่อปรับค่าในเซตของพิทช์คลาสพื้นฐานที่เก็บอยู่ในตัวแปร pitch[] ซึ่งเป็นอาร์เรย์นำออก หลังจากนั้นอาร์เรย์นี้จะถูกเลื่อนตำแหน่งแบบวงกลมตามค่าของพิทช์คลาสของโน้ตฐาน และเพิ่มพิทช์คลาสเบสในกรณีที่มีโน้ตเบสในคอร์ดจึงจะสิ้นสุดกระบวนการแปลความหมายคอร์ด



รูปที่ 4.8 แผนภาพคลาสของการแปลความหมายคอร์ดที่เป็นแบบรูปอินเทอร์พรีเตอร์

นอกจากนี้สามารถยกตัวอย่างการแปลความหมายคอร์ดโดยแสดงให้เห็นทีละขั้นตอนได้ดังตารางที่ 4.4 ถึง 4.6 ซึ่งจะพบว่าคอร์ด Fmaj7, E7sus4 และ Am/F มีเซตของพิทช์คลาสเป็น {0, 4, 5, 9}, {2, 4, 9, 11} และ {0, 4, 5, 9} ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างการแปลความหมายในแต่ละขั้นตอนสำหรับคอร์ด Fmaj7

ตำแหน่งพิทช์คลาส		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	รหัสสถานะ
พจน์ที่ 0	(Begin)	0				4			7					1
พจน์ที่ 1	maj	0				4			7					2
พจน์ที่ 2	7	0				4			7				11	0
โน้ตฐาน F														
(เลื่อน 5 ตำแหน่ง)		0				4	5				9			

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างการแปลความหมายในแต่ละขั้นตอนสำหรับคอร์ด E7sus4

ตำแหน่งพิทช์คลาส		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	รหัสสถานะ
พจน์ที่ 0	(Begin)	0				4			7					1
พจน์ที่ 1	7	0				4			7			10		0
พจน์ที่ 2	sus	0							7			10		0
พจน์ที่ 3	4	0					5		7			10		0
โน้ตฐาน E														
(เลื่อน 4 ตำแหน่ง)				2		4					9		11	

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างการแปลความหมายในแต่ละขั้นตอนสำหรับคอร์ด Am/F

ตำแหน่งพิทช์คลาส		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	รหัสสถานะ
พจน์ที่ 0	(Begin)	0				4			7					1
พจน์ที่ 1	m	0			3				7					3
โน้ตฐาน A														
(เลื่อน 9 ตำแหน่ง)		0				4					9			
โน้ตเบส F														
(เพิ่มตำแหน่งที่ 5)		0				4	5				9			

4.2.2.3 การจัดเรียงลำดับคอร์ด

หลังจากที่มีการสกัดข้อมูลดนตรีจากข้อความในแต่ละบรรทัดของเอกสารชีทเพลงที่มีการแบ่งท่อนในแต่ละย่อหน้าแล้ว จะได้ข้อความของลำดับคอร์ดที่มีการจัดเรียงเป็นข้อความโดยมีอักขระ “|” คั่นเพื่อแสดงการแบ่งห้อง จากนั้นจะมีการกำจัดลำดับคอร์ดที่ซ้ำซ้อนออก โดยสามารถแสดงตัวอย่างได้ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งในรูป (ข) เป็นผลที่ได้จากการคัดเลือกลำดับคอร์ดเฉพาะบางส่วนจากรูป (ก)

1	| A | A | A | E7 | E7 | E7 | E7 | A |
2	| A | A | D | A | D | A | E | A |
3	| A | A | D | A | D | A | D E7 | A |
4	| D | C#m | Bm | A | E | D#dim | F#m | E |
5	| A | A | D | A | D | A | D E7 | A |
6	| A | A | D | A | D | A | D E7 | A |
7	| A | A | D | A | D | A | D E7 | A |
8	| D | C#m | Bm | A | E | D#dim | F#m | E |
9	| A | A | D | A | D | A | D E7 | A |
10	| A | A | A | E7 | E7 | E7 | E7 | A |

(ก)

1	| A | A | A | E7 | E7 | E7 | E7 | A |
2	| A | A | D | A | D | A | E | A |
3	| A | A | D | A | D | A | D E7 | A |
4	| D | C#m | Bm | A | E | D#dim | F#m | E |

(ข)

รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการจัดเรียงลำดับคอร์ดที่มีการกำจัดส่วนที่ซ้ำซ้อนออก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.2.4 การหากุญแจเสียงของเพลง

ถึงแม้ว่ากุญแจเสียงคือข้อมูลที่ควรกำหนดมาให้ตั้งแต่แรกในเอกสารดนตรี และในบางครั้งก็ไม่สามารถบอกกุญแจเสียงที่แน่นอนได้จากการพิจารณาเฉพาะลำดับคอร์ดเพียงอย่างเดียว เนื่องจากบางลำดับคอร์ดก็อาจใช้ได้กับหลายกุญแจเสียง แต่ก็ยังสามารถอาศัยทฤษฎีดนตรีในเรื่องการดำเนินคอร์ด เพื่อสร้างวิธีการคำนวณหากุญแจเสียงของลำดับคอร์ดได้ในงานวิจัยนี้ โดยหลังจากที่ได้เซตของลำดับคอร์ดที่ไม่ซ้ำซ้อนกันแล้ว ก็จะมีการคำนวณหากุญแจเสียงของแต่ละลำดับคอร์ด แล้วหาผลสรุปรวมเพื่อให้ได้เป็นกุญแจเสียงของเพลง จากนั้นจึงปรับข้อมูลดนตรีของเพลงกุญแจให้อยู่ในกุญแจเสียงซีเมเจอร์ (C Major) เหมือนกันทั้งหมด เพื่อให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันและสามารถวัดความคล้ายของดนตรีระหว่างเพลงได้ โดยการเลื่อนตำแหน่งพิทช์คลาสของทุกคอร์ดเป็นระยะ (12 – k) เมื่อ k คือพิทช์คลาสของชื่อกุญแจเสียงของเพลงนั้นที่คำนวณได้

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการหากุญแจเสียงของลำดับคอร์ด โดยเริ่มจากการวิเคราะห์คอร์ดในลำดับคอร์ด เพื่อหาโน้ตฐานของคอร์ด (r) และกลุ่มของคอร์ด (g) ซึ่งได้มีการแบ่งคอร์ดเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มเมเจอร์ (M), กลุ่มไมเนอร์ (m), และกลุ่มโดมิแนนท์ (7) ซึ่งสามารถทราบได้จากการพิจารณาอักขระในชื่อคอร์ดตามตารางที่ 4.7 และได้มีการนิยามเซตของตำแหน่งนับคะแนน (P) ไว้สำหรับแต่ละกลุ่มด้วย ทั้งนี้ได้อาศัยทฤษฎีดนตรีเรื่องการดำเนินคอร์ดในการพิจารณาคอร์ดแต่ละกลุ่มที่อยู่ในกุญแจเสียงต่างๆ เช่น คอร์ด “ซีเมเจอร์” จะสามารถพบได้ในกุญแจเสียง {C, F, G} ซึ่งก็มีชื่อที่ตรงกับตำแหน่งพิทช์คลาสที่ {0, 5, 7} เป็นต้น

ตารางที่ 4.7 วิธีการจัดกลุ่มคอร์ดเป็น 3 กลุ่มเพื่อหากุญแจเสียง

กลุ่มของคอร์ด (g)	อักขระถัดจากโน้ตฐาน	ตัวอย่างคอร์ด	เซตของตำแหน่งนับคะแนน (P)
กลุ่มเมเจอร์ (M)	1) ไม่มี หรือ 2) เป็น “ma” หรือ 3) ไม่อยู่ในเซต {“m”, “7”, “9”, “1”}	C, Cmaj7, C6, Cadd9, Csus4	{0, 5, 7}
กลุ่มไมเนอร์ (m)	1) เป็น “d” หรือ 2) เป็น “m” แต่อักขระถัดไปไม่ใช่ “a”	Cm, Cm7, Cmmaj7, Cdim	{1, 3, 8, 10}
กลุ่มโดมิแนนท์ (7)	1) อยู่ในเซต {“7”, “9”, “1”} เท่านั้น	C7, C7sus4, C9, C11, C13	{5, 8}

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากนั้นจะใช้วิธีนับคะแนนด้วยฮิสโตแกรมของกุญแจเสียง (Key histogram, H) โดยกำหนดเป็นอาร์เรย์ชนิดจำนวนเต็มความยาว 12 และจะมีการสร้างเซตของตำแหน่งนับคะแนน (P) ของแต่ละคอร์ดในลำดับคอร์ด ซึ่งเป็นการเลื่อนพิทช์คลาสของตำแหน่งนับคะแนนแต่ละตัวที่อยู่ในเซต P แบบวงกลมตามค่า r ซึ่งเป็นพิทช์คลาสโน้ตฐานของคอร์ด ทั้งนี้กลุ่มของคอร์ดจะเป็นตัวกำหนดสมาชิกเริ่มต้นในเซต P เมื่อได้เซต P ของทุกคอร์ดในลำดับคอร์ดที่มี n คอร์ดแล้ว (ตั้งแต่ P[1] ถึง P[n]) ก็จะนำมาแปลงเป็นอาร์เรย์ K ซึ่งเป็นชนิดจำนวนเต็มความยาว 12 โดยมีการกำหนดค่าของอาร์เรย์ในตำแหน่งที่มีอยู่ในสมาชิกของเซต P ให้มีค่าเป็น 1 ส่วนในตำแหน่งอื่นมีค่าเป็น 0 หลังจากนั้นจะรวมค่าของอาร์เรย์ K ทั้งหมด (ตั้งแต่ K[1] ถึง K[n]) ในแต่ละตำแหน่ง ก็จะได้เป็นอาร์เรย์ H ซึ่งฮิสโตแกรมของกุญแจเสียง โดยตำแหน่งที่มีค่าสูงสุดจากการรวมค่าจะเป็นพิทช์คลาสของกุญแจเสียงสำหรับลำดับคอร์ดในที่สุด

ในขั้นตอนสุดท้าย หากในการรวมค่าในอาร์เรย์เพื่อให้ได้ฮิสโตแกรมของกุญแจเสียงนั้น ได้ค่าสูงสุดมากกว่า 1 ตำแหน่ง ซึ่งทำให้ไม่สามารถสรุปกุญแจเสียงของลำดับคอร์ดได้ ก็จะต้องเปลี่ยนมาพิจารณาที่คอร์ดแรกของลำดับคอร์ดแทน ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วในการสร้างดนตรีที่ไม่ซับซ้อนมากก็มักจะใช้คอร์ดแรกเป็นกุญแจเสียง แต่ทั้งนี้ก็ต้องพิจารณากลุ่มของคอร์ดแรกด้วย ซึ่งถ้าอยู่ในกลุ่มเมเจอร์หรือกลุ่มโดมิแนนท์ก็สามารถใช้โน้ตฐานของคอร์ดนั้นเป็นกุญแจเสียงได้ทันที แต่ถ้าอยู่ในกลุ่มไมเนอร์ก็ต้องเลื่อนพิทช์คลาสของโน้ตฐานเป็นระยะ 3 ตำแหน่งก่อน แล้วจึงใช้ตำแหน่งพิทช์คลาสใหม่เป็นกุญแจเสียง

ทั้งนี้สามารถแสดงตัวอย่างการหากุญแจเสียงของลำดับคอร์ดตามวิธีที่กล่าวไว้ข้างต้น ได้ดังตารางที่ 4.8 และ 4.9 ซึ่งเป็นกรณีที่ฮิสโตแกรมของกุญแจเสียงมีค่าสูงสุด 1 ตำแหน่ง คือ 0 และ 7 ตามลำดับ จึงทราบกุญแจเสียงของลำดับคอร์ดทั้งสองได้โดยตรงคือ C Major และ G Major ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 ตัวอย่างการหากุญแจเสียงของลำดับคอร์ด | C | Em | Dm | G7 |

ชื่อคอร์ด	ตัวแปร			ตำแหน่งพิทช์คลาสที่ใช้นับคะแนน											
	r	g	Array	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C	0	M	K[1]	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
Em	4	m	K[2]	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
Dm	2	m	K[3]	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
G7	7	7	K[4]	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Total			H	4	0	1	2	0	3	0	2	0	0	1	0

ตารางที่ 4.9 ตัวอย่างการหากุญแจเสียงของลำดับคอร์ด | Am7 | D7 | Gmaj7 |

ชื่อคอร์ด	ตัวแปร			ตำแหน่งพิทช์คลาสที่ใช้นับคะแนน											
	r	g	Array	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Am7	9	m	K[1]	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
D7	2	7	K[2]	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
Gmaj7	7	M	K[3]	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Total			H	2	0	1	0	0	1	0	3	0	0	2	0

นอกจากนี้ยังสามารถแสดงตัวอย่างเพิ่มเติมในกรณีที่ฮิสโตแกรมของกุญแจเสียงมีค่าสูงสุดตั้งแต่ 2 ตำแหน่งขึ้นไป ดังตารางที่ 4.10 และ 4.11 ซึ่งกุญแจเสียงของลำดับคอร์ดทั้งสองเป็น G Major และ F Major ตามลำดับ ซึ่งเป็นตำแหน่งพิทช์คลาสที่ 7 และ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ตัวอย่างการหากุญแจเสียงของลำดับคอร์ด | G | B | C | Cm |

ชื่อคอร์ด	ตัวแปร			ตำแหน่งพิทช์คลาสที่ใช้นับคะแนน											
	r	g	Array	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
G	7	M	K[1]	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
B	11	M	K[2]	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
C	0	M	K[3]	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
Cm	0	m	K[4]	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
Total			H	2	1	1	1	1	1	1	2	1	0	1	1
Key: G-Major (PitchClass=7)															

ตารางที่ 4.11 ตัวอย่างการหากุญแจเสียงของลำดับคอร์ด | Dm | Bbm |

ชื่อคอร์ด	ตัวแปร			ตำแหน่งพิทช์คลาสที่ใช้นับคะแนน											
	r	g	Array	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Dm	2	m	K[1]	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
Bbm	10	m	K[2]	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1
Total			H	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1
Key: D-Minor or F-Major (PitchClass=2+3=5)															

เมื่อได้กุญแจเสียงของแต่ละลำดับคอร์ดเพลงแล้ว ก็จะหาผลสรุปรวมโดยจะมีการนับคะแนนด้วยฮิสโตแกรมในทำนองเดียวกัน เพื่อให้ได้กุญแจเสียงที่มีคะแนนสูงสุดที่จะใช้เป็นกุญแจเสียงของเพลง แต่ถ้าหากว่ามีคะแนนสูงสุดมากกว่า 1 กุญแจเสียง ก็จะใช้กุญแจเสียงของลำดับคอร์ดในลำดับแรกของเพลงเป็นกุญแจเสียงของเพลงแทน ทั้งนี้สามารถแสดงตัวอย่างได้ดังตารางที่ 4.12 ซึ่งจะพบว่าเพลงในตัวอย่างมีกุญแจเสียงที่เป็นผลสรุปรวมคือ G Major ที่มีตำแหน่งพิทช์คลาสเป็น 7

ตารางที่ 4.12 ตัวอย่างการหากุญแจเสียงของเพลงจากการหาผลสรุปรวมจากแต่ละลำดับคอร์ด

ลำดับ	การจัดเรียงคอร์ดในลำดับคอร์ด	กุญแจเสียง	คะแนน
1	| G D | Em C | G D | C G |	G Major	
2	| G | D | Em | C | G | D | C | G |	G Major	
3	| Em | D | C | G | G | D | C | G |	G Major	
4	| C G/B Am | G F Em | D C | G |	C Major	
การหาผลสรุปรวมของกุญแจเสียง			
		G Major	3
		C Major	1

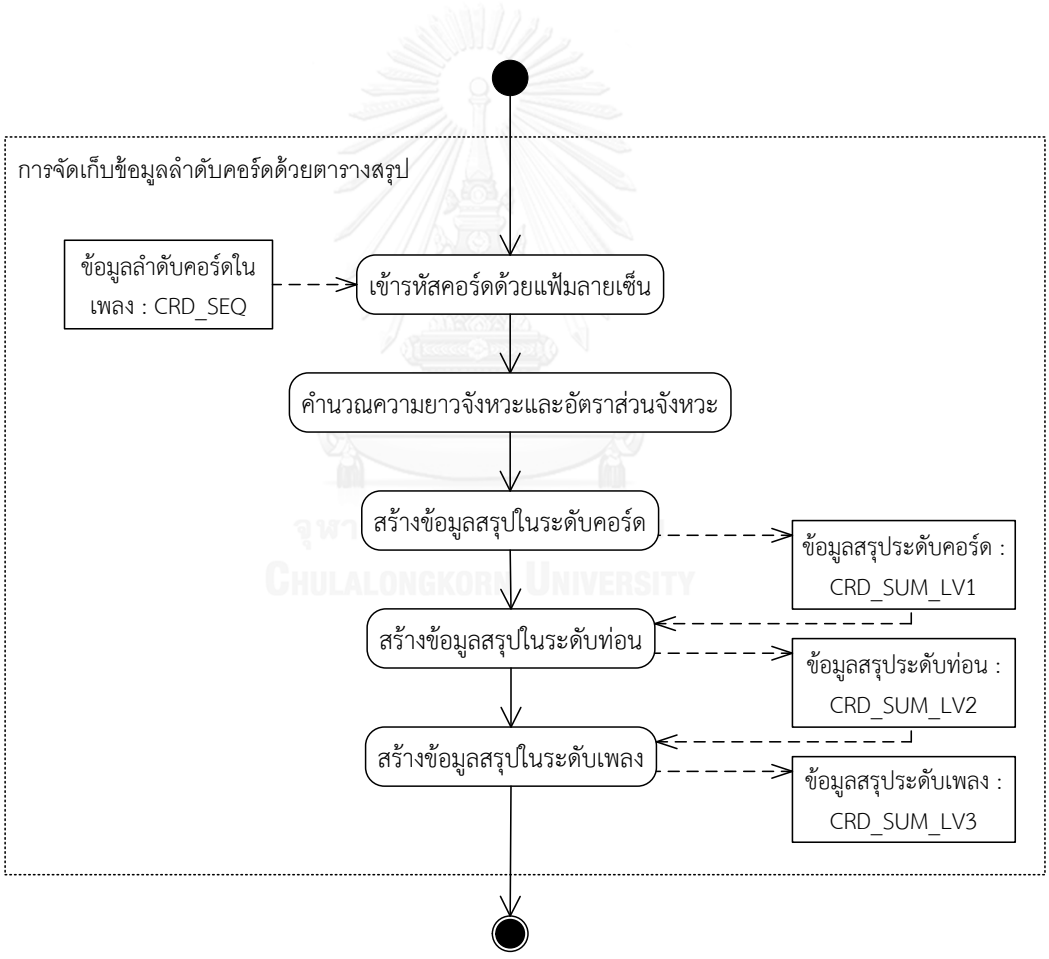
อย่างไรก็ตาม ในการสร้างลำดับคอร์ดสำหรับบางเพลงนั้นอาจไม่ได้อยู่ในระเบียบของการดำเนินคอร์ดตามทฤษฎีดนตรีเสมอไป จึงส่งผลให้การคำนวณหากุญแจเสียงของเพลงจากการพิจารณาลำดับคอร์ดเพียงอย่างเดียวนั้นอาจทำได้ไม่ถูกต้องในบางกรณี ซึ่งอาจพบได้ในเพลงที่มีดนตรีในลักษณะพิเศษ เช่น เพลงที่เป็นแนวบลูส์ (Blues) หรือแจ๊ส (Jazz) เป็นต้น ดังนั้นจึงอาจต้องมีการแก้ไขข้อมูลกุญแจเสียงในระหว่างที่มีการนำเข้าชีทเพลงโดยผู้ดูแลระบบด้วย ซึ่งก็อาจต้องใช้วิจารณญาณของผู้เชี่ยวชาญในการกำหนดกุญแจเสียงของเพลงที่เหมาะสม หรืออาศัยแหล่งข้อมูลที่ได้ระบุกุญแจเสียงของเพลงไว้แล้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

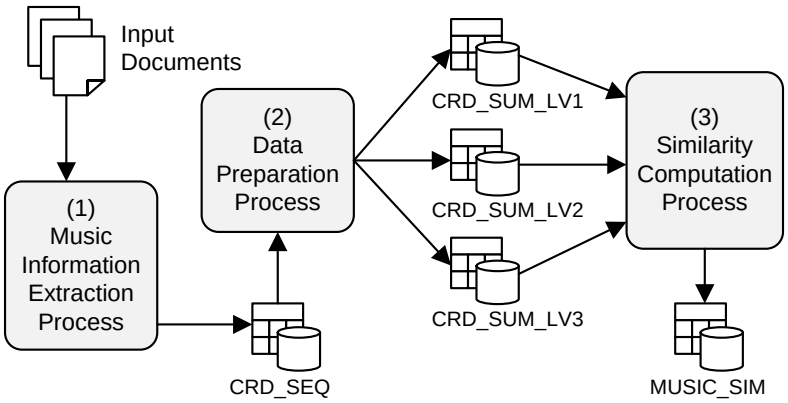
4.3 การเตรียมข้อมูลลำดับคอร์ดเพื่อการเปรียบเทียบ

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลลำดับคอร์ดที่สกัดได้จากชีทเพลงมาจัดเก็บในฐานข้อมูล โดยเริ่มจากการนำคอร์ดในลำดับคอร์ดมาจัดเก็บในตารางทีละแถว และมีการจัดเก็บข้อมูลของคอร์ดในแต่ละคอลัมน์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้การทำดัชนีแฟ้มลายเซ็นเพื่อแปลงข้อมูลคอร์ดให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมต่อการเปรียบเทียบความคล้ายทางดนตรีด้วย นอกจากนี้ยังมีการทำตารางสรุปที่มีการสรุปข้อมูลลำดับคอร์ดเป็น 3 ระดับ เพื่อให้การเปรียบเทียบลำดับคอร์ดมีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ ทั้งนี้หลังจากที่มีการวัดความคล้ายของดนตรีในขั้นตอนถัดไปแล้ว ก็จะมีการจัดเก็บผลการวัดความคล้ายระหว่างชีทเพลงทั้งหมดในระบบสำหรับการใช้งานของผู้ใช้ต่อไป

ในการเตรียมข้อมูลลำดับคอร์ดสำหรับงานวิจัยนี้มีกระบวนการของการดำเนินการในฐานข้อมูลแบบอีทีแอล (ETL) ซึ่งประกอบด้วยการสกัด (Extract), การแปลง (Transform) และการบรรจุ (Load) โดยเริ่มจากการวิเคราะห์เอกสารและแปลงข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลความคล้ายทางดนตรีที่พร้อมใช้งาน ทั้งนี้สามารถอธิบายแผนภาพกิจกรรมของการจัดเก็บข้อมูลลำดับคอร์ดด้วยตารางสรุปได้ดังรูปที่ 4.10 และภาพรวมของการประมวลผลข้อมูลทั้งหมดในระบบได้ดังรูปที่ 4.11 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงตารางที่ใช้ทั้งหมดในระบบ โดยในขั้นตอนนี้จะกล่าวถึงการประมวลผลข้อมูลในตาราง CRD_SEQ เพื่อจัดเก็บข้อมูลลำดับคอร์ดในตารางสรุป ได้แก่ CRD_SUM_LV1, CRD_SUM_LV2, และ CRD_SUM_LV3 ซึ่งต้องใช้เทคนิคการจัดเก็บข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ การทำดัชนีแฟ้มลายเซ็น และการสร้างตารางสรุป



รูปที่ 4.10 แผนภาพกิจกรรมของการจัดเก็บข้อมูลลำดับคอร์ดด้วยตารางสรุป



รูปที่ 4.11 ภาพรวมของการประมวลผลข้อมูลทั้งหมดในระบบที่เป็นแบบอีทีแอล

4.3.1 การจัดเก็บข้อมูลคอร์ดด้วยแฟ้มลายเซ็น

ข้อมูลคอร์ดและจังหวะที่สกัดได้จากเอกสารจะถูกจัดเก็บในตาราง CRD_SEQ โดยหลังจากที่ได้เซตของพิทช์คลาสจากชื่อคอร์ดแล้วก็จะต้องเข้ารหัสด้วยการทำดัชนีแฟ้มลายเซ็น ซึ่งในที่นี้ได้กำหนดฟังก์ชันลายเซ็นเป็นพิทช์คลาสทั้ง 12 ตำแหน่งเพื่อใช้ในการสร้างลายเซ็นของคอร์ดเป็นเลขฐานสองที่มีความยาว 12 บิต โดยบิตที่เป็นสมาชิกในเซตของพิทช์คลาสจะมีค่าเป็น 1 ส่วนบิตที่ตำแหน่งอื่นจะมีค่าเป็น 0 ซึ่งทำให้สามารถวัดความคล้ายระหว่างคอร์ดจากการเปรียบเทียบบิตได้โดยตรง

อย่างไรก็ตาม ในการจัดเก็บลายเซ็นของคอร์ดในฐานข้อมูลนั้นจะต้องมีการแปลงข้อมูลจากเลขฐานสองเป็นเลขฐานสิบเพื่อให้สามารถเก็บในคอลัมน์ชนิดจำนวนเต็มในตารางได้ด้วยสมการที่ 12

$$sgntr(C_i) = \sum_{p=0}^{11} (bin(C_i, p) \times 2^p) \tag{12}$$

โดยที่ $sgntr(C_i)$ คือ ลายเซ็นของคอร์ด C_i ที่เป็นจำนวนเต็ม

$bin(C_i, p)$ คือ ค่าของฟังก์ชันลายเซ็นที่ตำแหน่ง p ของคอร์ด C_i (0 หรือ 1)

C_i คือ คอร์ดที่ตำแหน่ง i ในลำดับคอร์ด

p คือ ตำแหน่งบิตซึ่งเป็นพิทช์คลาสที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 11

ทั้งนี้ สามารถแสดงตัวอย่างการสร้างลายเซ็นของคอร์ดได้ดังตารางที่ 4.13 ซึ่งจากนั้นจะมีการบันทึกข้อมูลคอร์ด ได้แก่ ชื่อคอร์ด ลายเซ็นของคอร์ด และข้อมูลจังหวะของคอร์ด ในแต่ละแถวของตาราง CRD_SEQ แต่ในการบันทึกข้อมูลลำดับคอร์ดนั้นต้องมีการเปลี่ยนกุญแจเสียงของเพลงให้เป็น C Major ก่อน เพื่อให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันในการเปรียบเทียบ ดังนั้นลายเซ็นของคอร์ดที่ได้ก็ต้องสร้างจากคอร์ดที่ปรับกุญแจเสียงแล้วเช่นกัน

ตารางที่ 4.13 ตัวอย่างการสร้างลายเซ็นของคอร์ด

คอร์ด	ค่าจากฟังก์ชันลายเซ็นตามตำแหน่งพิทช์คลาส												ลายเซ็นของคอร์ด	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	เลขฐานสอง	จำนวนเต็ม
C	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	000010010001	145
Dm	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	001000100100	158
Em	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	100010010000	2192
F	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	001000100001	545
G7	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	100010100100	2212

4.3.2 การจัดเก็บข้อมูลลำดับคอร์ดด้วยตารางสรุป

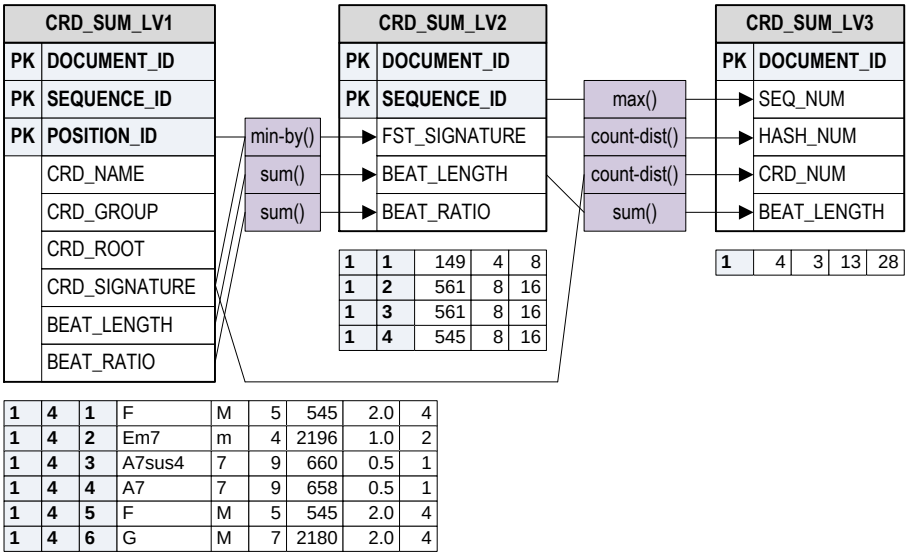
หลังจากที่ได้เตรียมข้อมูลลำดับคอร์ดโดยมีการทำดัชนีแฟ้มลายเซ็นและจัดเก็บในตาราง CRD_SEQ แล้วจึงมีการสรุปข้อมูลเป็น 3 ระดับเพื่อจัดเก็บในตารางสรุป โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ระดับคอร์ด (Chord level) คือการจัดเก็บข้อมูลในตาราง CRD_SUM_LV1 ที่แสดงข้อมูลถึงระดับคอร์ดที่เปลี่ยนแปลงของแต่ละท่อนของแต่ละเพลง โดยมีลักษณะประจำของคอร์ดในแต่ละคอลัมน์ ได้แก่ ชื่อคอร์ด (CRD_NAME), รหัสลายเซ็นของคอร์ด (CRD_SIGNATURE), ความยาวจังหวะของคอร์ด (BEAT_LENGTH), และอัตราส่วนจังหวะ (BEAT_RATIO) ซึ่งข้อมูลในระดับนี้จะใช้สำหรับวัดความคล้ายทางดนตรีโดยจะเป็นการเปรียบเทียบลายเซ็นของคอร์ดระหว่างลำดับคอร์ดสองชุด โดยจะมีการนำข้อมูลในตารางนี้มาบรรจุในอาร์เรย์เพื่อเปรียบเทียบ ซึ่งในกรณีที่ข้อมูลจังหวะระบุก็สามารถใช้อัตราส่วนจังหวะเป็นตัวคูณ (Multiplier) เพื่อปรับขนาดอาร์เรย์ก่อนการเปรียบเทียบได้

2) ระดับท่อน (Segment level) คือการจัดเก็บข้อมูลในตาราง CRD_SUM_LV2 ที่แสดงข้อมูลถึงระดับท่อนของแต่ละเพลงที่เกิดจากการรวมยอด (Aggregation) จากระดับคอร์ด โดยในแต่ละแถวมีข้อมูลของแต่ละลำดับคอร์ดและผลรวมของข้อมูลจังหวะ ซึ่งจะทำให้ทราบความยาวของลำดับคอร์ดก่อนที่แท้จริงก่อนการเปรียบเทียบได้ ซึ่งในวิธีการวัดความคล้ายของงานวิจัยนี้ได้กำหนดว่า ถ้าลำดับคอร์ดสองชุดมีความยาวจังหวะ (BEAT_LENGTH) ต่างกันมากกว่า 2 เท่า ก็จะยกเลิกการเปรียบเทียบนั้น และให้ค่าความคล้ายของลำดับคอร์ดสองชุดนั้นเป็น 0 ได้ทันที เนื่องจากท่อนของเพลงที่จะคล้ายกันได้นั้นไม่ควรมีความยาวที่แตกต่างกันมาก

3) ระดับเพลง (Song level) คือการจัดเก็บข้อมูลในตาราง CRD_SUM_LV3 ที่แสดงข้อมูลถึงระดับเพลงเกิดจากการรวมยอด (Aggregation) จากระดับท่อน โดยในแต่ละแถวจะเก็บข้อมูลสรุปของแต่ละเพลง ได้แก่ จำนวนท่อน (SEQ_NUM), จำนวนแฮช (HASH_NUM), จำนวนคอร์ดที่ใช้ทั้งหมดในเพลง (CRD_NUM) และความยาวจังหวะรวม (BEAT_LENGTH) ซึ่งในวิธีการวัดความคล้ายของงานวิจัยนี้ได้ใช้จำนวนแฮชเป็นตัวบ่งชี้ถึงความซับซ้อนของเพลง ซึ่งจะมีผลต่อการเลือกขั้ว (Pole determination) ในการวัดความคล้ายระหว่างสองเพลงที่จะต้องยึดเพลงใดเพลงหนึ่งเป็นหลัก โดยในที่นี้ได้กำหนดให้จำนวนแฮชคือจำนวนลายเซ็นของคอร์ดที่ตำแหน่งแรก (FST_SIGNATURE) ที่แตกต่างกันในแต่ละท่อน

นอกจากนี้ยังสามารถแสดงภาพรวมของโครงสร้างของตารางสรุปทั้งสามได้ดังรูปที่ 4.12 เพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างตารางสรุปบนฐานของกระบวนการอีทีแอล พร้อมตัวอย่างข้อมูลจากลำดับคอร์ดในท่อนที่ 4 จากซีทเพลง “Close To You” ที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.3

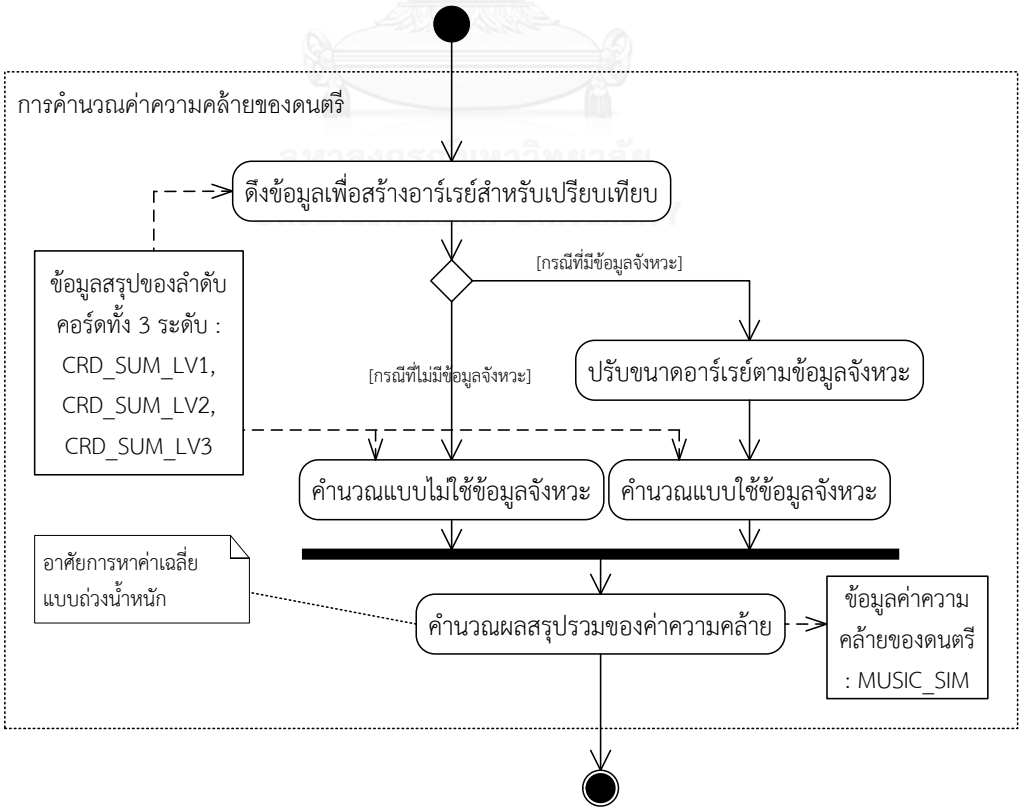


รูปที่ 4.12 ภาพรวมของโครงสร้างของตารางสรุปทั้งสามบนฐานของกระบวนการอีทีแอล

4.4 การวัดค่าความคล้ายของดนตรี

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการวัดค่าความคล้ายของดนตรีระหว่างสองเพลง โดยใช้ข้อมูลจากตารางสรุปทั้งสาม เพื่อคำนวณความคล้ายระหว่างชีทเพลงทุกคู่ แล้วจัดเก็บผลการวัดความคล้ายในตาราง MUSIC_SIM ซึ่งในวิธีการวัดความคล้ายของงานวิจัยนี้ได้แบ่งการคำนวณความคล้ายเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ความคล้ายระหว่างคอร์ด (Chord similarity, C_Sim), ความคล้ายระหว่างลำดับ (Sequence similarity, S_Sim), และความคล้ายระหว่างเพลง (Music similarity, M_Sim) โดยต้องมีการจัดการเปรียบเทียบชีทเพลงในระบบให้ครบทุกคู่ ซึ่งในเพลงแต่ละคู่จะมีการเปรียบเทียบเซตของลำดับคอร์ดระหว่างสองเพลง และในลำดับคอร์ดแต่ละคู่จะมีการเปรียบเทียบคอร์ดในแต่ละลำดับที่บรรจุด้วยอาร์เรย์ระหว่างสองลำดับคอร์ด ดังนั้นในการคำนวณความคล้ายจะเริ่มจากระดับย่อยสุดคือการวัดความคล้ายระหว่างคอร์ด จากนั้นจึงรวมยอดขึ้นมาเป็นความคล้ายระหว่างลำดับ และสรุปรวมเป็นความคล้ายระหว่างเพลงในขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งผลของค่าความคล้ายในการคำนวณทุกครั้งจะเป็นจำนวนจริงที่อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 เสมอ

ด้วยเหตุนี้จึงได้อธิบายวิธีการคำนวณค่าความคล้ายของดนตรีโดยแบ่งออกเป็นแต่ละระดับ ทั้งนี้ในแต่ละระดับก็ยังมีวิธีการที่แตกต่างกับสำหรับกรณีที่มีข้อมูลจังหวะและไม่มีข้อมูลจังหวะ ซึ่งอธิบายได้ด้วยแผนภาพกิจกรรมดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แผนภาพกิจกรรมของวิธีการคำนวณค่าความคล้ายของดนตรีที่นำเสนอ

4.4.1 การคำนวณค่าความคล้ายระหว่างคอร์ด (C_Sim)

ในการคำนวณค่าความคล้ายระดับคอร์ดจะพิจารณาถึงความแตกต่างของส่วนประกอบทางดนตรีระหว่างคอร์ดสองคอร์ด ซึ่งยังไม่เกี่ยวข้องกับข้อมูลจังหวะในลำดับคอร์ด ดังนั้นจึงสามารถใช้วิธีการนี้ได้ทั้งกรณีที่มีข้อมูลจังหวะและไม่มีข้อมูลจังหวะ โดยในการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างสองคอร์ดสำหรับวิธีการนี้ได้ประยุกต์ใช้สูตรในการคำนวณค่าความคล้ายคลึง (Resemblance) [11] เพื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างเซตของพิทช์คลาสของคอร์ดระหว่าง 2 คอร์ด ดังสมการที่ 13

$$C_Sim(C_1, C_2) = \frac{|P(C_1) \cap P(C_2)|}{|P(C_1) \cup P(C_2)|} \tag{13}$$

โดยที่ $P(C)$ คือ เซตของพิทช์คลาสของคอร์ด เมื่อ $P(C) \subset \{0, 1, 2, \ldots, 11\}$

ทั้งนี้สามารถอธิบายตัวอย่างการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างคอร์ดได้ดังรูปที่ 4.14

การพิจารณาส่วนประกอบของคอร์ด

Chord	Bass	Pitch Class Set				
C	0	0	4	7		
CM7	0	0	4	7	11	
C7	0	0	4	7	10	
G7	7	7	11	2	5	
C/G	7	7	0	4		
F	5	5	9	0		
Fm	5	5	8	0		
E	4	4	8	11		

ตัวอย่างการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างคอร์ด

Ex1 C_Sim(C, CM7) $= \frac{|\{0,4,7\}|}{|\{0,4,7,11\}|} = \frac{3}{4} = 0.75$

Ex2 C_Sim(C/G, G7) $= \frac{|\{7\}|}{|\{7,0,2,4,5,11\}|} = \frac{1}{6} = 0.167$

Ex3 C_Sim(F, Fm) $= \frac{|\{0,5\}|}{|\{0,5,8,9\}|} = \frac{2}{4} = 0.5$

รูปที่ 4.14 ตัวอย่างการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างคอร์ด

สำหรับแนวทางที่จะทำวิธีการนี้ให้เกิดผลในซอฟต์แวร์เมื่อข้อมูลเซตของพิทช์คลาสถูกจัดเก็บเป็นลายเซ็นของคอร์ดแบบจำนวนเต็มนั้น ก็ต้องมีการดึงข้อมูลจากตารางมาถอดรหัสเป็นเลขฐานสองหรือเป็นอาร์เรย์ชนิดบูลีนความยาว 12 แล้วหาผลรวมของการยูเนียนและอินเตอร์เซกชันในแต่ละบิต โดยเมื่อนำผลรวมทั้งสองมาหารกันก็จะได้เป็นค่าความคล้ายระหว่างคอร์ดในที่สุด

4.4.2 การคำนวณค่าความคล้ายระหว่างลำดับ (S_Sim)

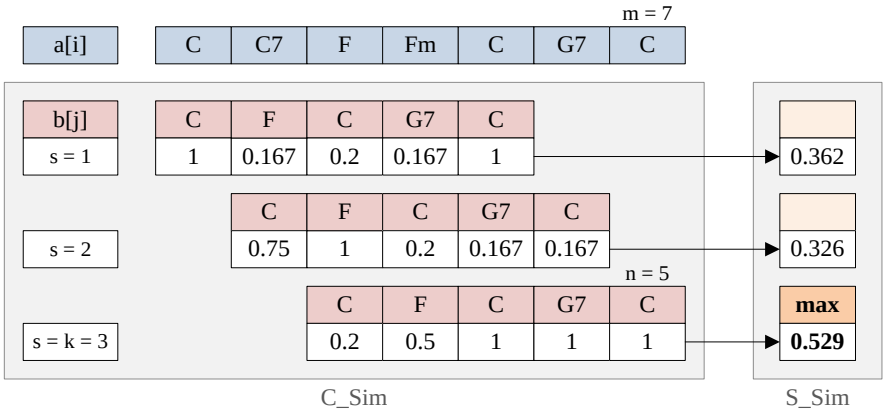
ในส่วนนี้เป็นการคำนวณค่าความคล้ายระดับท่อนของเพลงที่อยู่ในรูปของลำดับคอร์ด โดยเริ่มจากการนำคอร์ดที่เก็บในตาราง CRD_SUM_LV1 ในแต่ละท่อนมาบรรจุในอาร์เรย์ โดยวิธีการคำนวณค่าความคล้ายในงานวิจัยนี้สามารถรองรับข้อมูลในเอกสารได้ทั้ง 2 กรณี สำหรับในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจังหวะนั้นต้องมีการเลื่อนอาร์เรย์เพื่อหาผลการคำนวณความคล้ายที่ได้ค่ามากที่สุดด้วย เนื่องจากลำดับคอร์ดทั้งสองที่จะเปรียบเทียบนั้นอาจมีความยาวไม่เท่ากัน ส่วนในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะนั้นไม่ต้องเลื่อนอาร์เรย์เนื่องจากข้อมูลจังหวะจะเป็นตัวปรับขนาดอาร์เรย์ให้มีความยาวที่เหมาะสมต่อการเปรียบเทียบอยู่แล้ว อย่างไรก็ตาม ลำดับคอร์ดที่มีความยาวของอาร์เรย์ต่างกันมากกว่า 2 เท่า จะถูกกำหนดให้มีค่าความคล้ายเป็น 0 และไม่ต้องดำเนินการเปรียบเทียบ ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณและเป็นการสนับสนุนให้มีการจับคู่เปรียบเทียบที่มีความใกล้เคียงในเรื่องความยาวของลำดับคอร์ดมากขึ้น

สำหรับขั้นตอนการคำนวณค่าความคล้ายของลำดับคอร์ด (S_Sim) จะกำหนดให้ a[i] และ b[j] คืออาร์เรย์ที่มีความยาว m และ n ตามลำดับ โดยที่ m ≥ n ≥ 2 โดยขั้นตอนแรกจะพิจารณาความยาวของอาร์เรย์ทั้งสองตามสมการที่ 14 ส่วนขั้นตอนถัดไปจะเป็นการเปรียบเทียบอาร์เรย์ ซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละกรณีดังนี้

$$S_Sim(S_1, S_2) = \begin{cases} CS_Sim(S_1, S_2) & ; \ \frac{m}{n} \leq 2 \\ 0 & ; \ \frac{m}{n} > 2 \end{cases} \tag{14}$$

1) กรณีที่ไม่มีข้อมูลจังหวะ ซึ่งหมายความว่าให้ทุกคอร์ดในลำดับคอร์ดมีความยาวจังหวะเป็น 1 หน่วยเท่ากันทั้งหมด สามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ 15 และแสดงตัวอย่างได้ดังรูปที่ 4.15 ซึ่งต้องมีการเลื่อนอาร์เรย์เพื่อคำนวณค่าความคล้ายทั้งหมด k รอบ โดยที่ k = m − n + 1

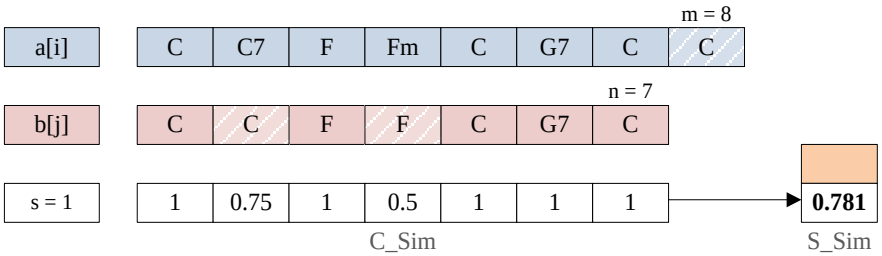
$$CS_Sim(S_1, S_2) = \max_{1 \leq i \leq m-n+1} \frac{\sum_{j=1}^{n} C_Sim(a[j+i-1], b[j])}{m} \tag{15}$$



รูปที่ 4.15 ตัวอย่างการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างลำดับ ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจังหวะ

2) กรณีที่มีข้อมูลจังหวะ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ 16 ซึ่งไม่ต้องมีการเลื่อนอาร์เรย์ แต่ใช้การปรับขนาดอาร์เรย์แทนก่อนที่จะมีการเปรียบเทียบ เพื่อให้ได้อาร์เรย์ที่มีความยาวตามอัตราส่วนจังหวะ โดยแสดงตัวอย่างได้ดังรูปที่ 4.16 ซึ่งในกรณีนี้ได้สมมติว่ามีการให้ข้อมูลจังหวะเพิ่มเติมในลำดับคอร์ด จึงทำให้อาร์เรย์มีความยาวเพิ่มขึ้นในตำแหน่งต่อจากคอร์ดก่อนหน้า ส่งผลให้ค่าความคล้ายที่คำนวณได้แตกต่างจากกรณีแรก

$$CS_Sim(S_1, S_2) = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{n} C_Sim(a[j], b[j]) \quad (16)$$



รูปที่ 4.16 ตัวอย่างการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างลำดับ ในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะ

ทั้งนี้ในการสร้างอาร์เรย์แทนลำดับคอร์ดที่มีข้อมูลจังหวะสำหรับการเปรียบเทียบนั้น จะใช้อัตราส่วนจังหวะเป็นตัวคูณในการเพิ่มตำแหน่งของอาร์เรย์ ซึ่งหาได้จากการเทียบอัตราส่วนของความยาวจังหวะทั้งหมด โดยแสดงตัวอย่างได้ตามตารางที่ 4.14 นอกจากนี้ในการเปรียบเทียบก็จะต้องมี

การขยายอัตราส่วนจังหวะของแต่ละคอร์ดด้วยตัวคูณจังหวะ (Beat multiplier, {X_A, X_B}) เพิ่มเติมอีก ในกรณีที่ผลรวมของอัตราส่วนจังหวะของทั้งสองลำดับคอร์ด (R_A, R_B) มีค่าต่างกันมาก ตามสมการที่ 17 ในขณะที่ผลรวมของความยาวจังหวะของทั้งสองลำดับคอร์ด (L_A, L_B) ก็ต้องไม่ต่างกันเกิน 2 เท่าด้วย

$$X_P = \begin{cases} floor\left(\frac{R_Q}{R_P} + 0.5\right) & ; \ R_Q > R_P \\ 1 & ; \ otherwise \end{cases} \tag{17}$$

โดยที่ตัวแปร (P, Q) เป็นตัวแทนของตัวแปร (A, B) และ (B, A)

ตารางที่ 4.14 ตัวอย่างการกำหนดอัตราส่วนจังหวะในอาร์เรย์ของลำดับคอร์ดที่มีข้อมูลจังหวะ

(ก)

ลำดับคอร์ด A		
| C C7 | F Fm | C G7 | C |		
คอร์ด	ความยาวจังหวะ	อัตราส่วนจังหวะ
C	0.5	1
C7	0.5	1
F	0.5	1
Fm	0.5	1
C	0.5	1
G7	0.5	1
C	1	2
รวม	L_A = 4	R_A = 8

(ข)

ลำดับคอร์ด B		
C % F % C G7 C		
คอร์ด	ความยาวจังหวะ	อัตราส่วนจังหวะ
C	2	2
F	2	2
C	1	1
G7	1	1
C	1	1
รวม	L_B = 7	R_B = 7

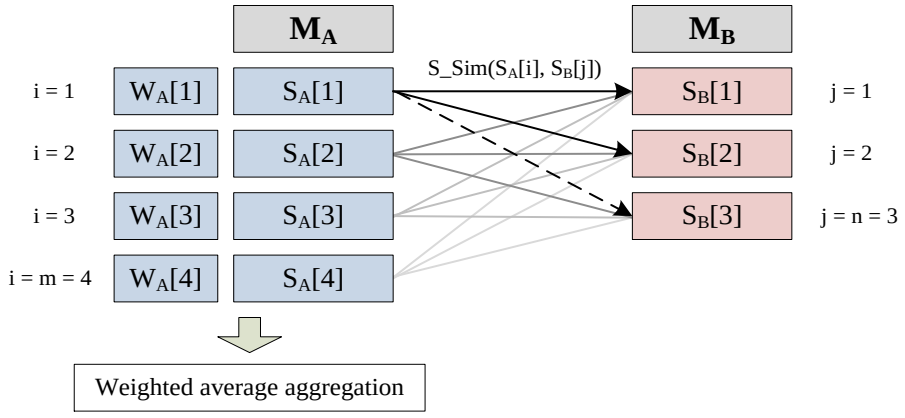
4.4.3 การคำนวณค่าความคล้ายระหว่างเพลง (M_Sim)

ในส่วนนี้เป็นการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างเพลงทั้งสอง ซึ่งเกิดจากการนำค่าความคล้ายระหว่างลำดับคอร์ด (S_Sim) ของทุกการเปรียบเทียบของแต่ละท่อนระหว่างเพลงทั้งสองที่ได้จากขั้นตอนที่แล้ว มาสรุปรวมเพื่อให้ได้ค่าความคล้ายที่เป็นค่าเดียว โดยอาศัยการหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 18 และสามารถอธิบายให้เห็นภาพได้ดังรูปที่ 4.17

ทั้งนี้ก่อนการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างสองเพลง (M_A, M_B) จะต้องมีการเลือกข้างของเพลงที่จะใช้เป็นขั้ว (Pole) เนื่องจากวิธีการสรุปรวมดังสมการที่ 18 นั้นไม่มีคุณสมบัติการสลับที่และควรเลือกเพลงที่มีความซับซ้อนทางดนตรีมากกว่าเป็นขั้วซึ่งพิจารณาได้จากค่าสรุปในตาราง CRD_SUM_LV3 โดยในที่นี้ได้กำหนดเป็น M_A จากนั้นจะมีการเลือกค่าความคล้ายระหว่างลำดับคอร์ด (S_Sim) ที่มากสุดเป็นค่าความคล้ายที่จะใช้สรุปรวม โดยในแต่ละค่าจะต้องคูณด้วยน้ำหนัก ($W_A[i]$) ซึ่งเป็นความยาวจังหวะของลำดับคอร์ดในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะ หรือกำหนดให้ทุกคอร์ดมีความยาวจังหวะเป็น 1 สำหรับกรณีที่ไม่มีข้อมูลจังหวะ จากนั้นจึงหารด้วยผลรวมของน้ำหนักเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยที่ใช้เป็นค่าความคล้ายระหว่างสองเพลง

$$M_Sim(M_A, M_B) = \frac{\sum_{i=1}^{m}\left(W_A[i] \times \max_{1 \le j \le n}(S_Sim(S_A[i], S_B[j]))\right)}{\sum_{i=1}^{m} W_A[i]} \quad (18)$$

โดยที่ $W_A[i]$ คือ ความยาวจังหวะของลำดับคอร์ด



รูปที่ 4.17 ภาพรวมของการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างเพลง

สำหรับการเลือกขั้ว (Pole determination) จะเริ่มต้นจากการพิจารณาค่าสรุปในแต่ละลำดับจากตาราง CRD_SUM_LV3 โดยเพลงที่มีค่าสรุปมากกว่าจะถูกเลือกให้เป็นขั้ว แต่ในกรณีที่เพลงทั้งสองมีค่าสรุปเท่ากันก็จะพิจารณาค่าสรุปในลำดับถัดไปแทน ซึ่งได้มีการจัดลำดับไว้ดังตารางที่ 4.15 อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาจนครบทุกลำดับแล้วก็ยังไม่สามารถเลือกขั้วได้ ก็จะเลือกเพลงที่มีรหัสเอกสาร (DOCUMENT_ID) ที่มีค่าน้อยกว่าซึ่งก็คือ M_A มาใช้เป็นขั้ว

ตารางที่ 4.15 ตัวอย่างการหากุญแจเสียงของเพลงการหาผลสรุปรวมจากแต่ละลำดับคอร์ด

ลำดับ	ค่าสรุป	คำอธิบายค่าสรุป	คอลัมน์
1	จำนวนแฮช	จำนวนคอร์ดแรกของลำดับคอร์ดที่แตกต่างกัน	HASH_NUM
2	จำนวนคอร์ดที่ใช้	จำนวนคอร์ดในเพลงที่แตกต่างกัน	CRD_NUM
3	ความยาวจังหวะรวม	ผลรวมของการนับค่าของจังหวะของทุกท่อนในเพลง ทั้งนี้ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจังหวะจะถือว่าทุกคอร์ดมีค่าของจังหวะเป็น 1 ทั้งหมด	BEAT_LENGTH

นอกจากนี้ยังสามารถแสดงอัลกอริทึมในการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างชีทเพลงทุกคู่ในคลังข้อมูลทั้งหมด m เอกสาร ได้ดังรูปที่ 4.18 ซึ่งจะเริ่มจากการจัดการเปรียบเทียบในวงวน (Loop) ของตัวแปร m_A และ m_B ที่เป็นรหัสของเอกสารทั้งสอง โดยมีการดึงข้อมูลที่เก็บไว้ในตารางสรุปด้วยคำสั่ง sql_getData() ออกมาเพื่อเก็บเป็นตัวแปรสำหรับเอกสารทั้งสองซึ่งอธิบายได้ดังตารางที่ 4.16 แล้วจึงเลือกขั้วด้วยคำสั่ง determineAggPole() หลังจากนั้นจะมีการเปรียบเทียบลำดับคอร์ดในวงวนของตัวแปร s_A และ s_B โดยในแต่ละการเปรียบเทียบสามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1) การพิจารณาเงื่อนไขข้ามการคำนวณ (Skip condition) จะใช้คำสั่ง checkSkip() ที่ได้จากสมการที่ 14 ในตรวจสอบว่าลำดับคอร์ดทั้งสองมีความยาวจังหวะที่เกิน 2 เท่าหรือไม่ หากใช่ก็จะเก็บผลของค่าความคล้ายที่เป็น 0 ในตัวแปร V_1

2) การขยายอัตราส่วนจังหวะ (Beat multiplication) จะใช้คำสั่ง getBeatMult() ที่ได้จากสมการที่ 17 ในการหาค่าของตัวแปร X_A, และ X_B เพื่อใช้เป็นตัวคูณในการขยายอัตราส่วนจังหวะในทุกตำแหน่งของอาร์เรย์ที่เก็บข้อมูลลำดับคอร์ดด้วยคำสั่ง getExpndCrd() ทั้งนี้ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจังหวะก็จะข้ามขั้นตอนนี้ไป

3) การคำนวณความคล้าย (Similarity calculation) จะใช้คำสั่ง calculateS_Sim() เพื่อหาผลความคล้ายระหว่างลำดับคอร์ด ทั้งนี้ได้จากสมการที่ 15 ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจังหวะ หรือสมการที่ 16 ในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะ

หลังจากที่เก็บผลของค่าความคล้ายในตัวแปร V_1 ครบทุกการเปรียบเทียบแล้ว ก็จะสรุปเป็นตัวแปร V_2 ด้วยคำสั่ง max() และสรุปเป็นตัวแปร V_3 ด้วยคำสั่ง wghtAvg() ที่ได้จากสมการที่ 18 แล้วจึงรวบรวมข้อมูลความคล้ายในตาราง MUSIC_SIM ด้วยคำสั่ง sql_updateSim()

ตารางที่ 4.16 รายการตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างเพลง

ตัวแปร	ชนิด	คำอธิบาย	ตารางสรุป
C[s][p][k]	อาร์เรย์ ขนาด 3 มิติ	ข้อมูลลักษณะประจำของคอร์ด ในตำแหน่งที่ p ของท่อนที่ s โดยที่ k คือรหัสลักษณะประจำดังนี้ “n” : ชื่อคอร์ด “s” : รหัสลายเซ็นของคอร์ด “l” : ความยาวจังหวะ “r” : อัตราส่วนจังหวะ	CRD_SUM_LV1
L[s]	จำนวนเต็ม	ความยาวจังหวะรวมของท่อนที่ s	CRD_SUM_LV2
R[s]	จำนวนเต็ม	อัตราส่วนจังหวะรวมของท่อนที่ s	
G[k]	อาร์เรย์ ขนาด 1 มิติ	ลำดับค่าสรุปของการเลือกขั้ว โดยที่ k คือรหัสแทนค่าสรุปดังนี้ “1” : จำนวนแฮชของทั้งเพลง “2” : จำนวนคอร์ดที่ใช้ของทั้งเพลง “3” : ความยาวจังหวะรวมของทั้งเพลง	CRD_SUM_LV3
N	จำนวนเต็ม	จำนวนท่อนของทั้งเพลง	

Algorithm 1 Similarity Computation

Input: m = number of documents in the corpus

```
1:  for m_A = 1 to m do
2:      assign C_A, L_A, R_A, G_A, N_A using sql_getData(m_A)
3:      for m_B = m_A + 1 to m do
4:          assign C_B, L_B, R_B, G_B, N_B using sql_getData(m_B)
5:          V_1, V_2 ← ∅
6:          pole ← determineAggPole(G_A, G_B)
7:          if pole = "A" then
8:              for s_A = 1 to N_A do
9:                  for s_B = 1 to N_B do
10:                     if checkSkip(L_A, L_B) = true then
11:                         V_1[s_A][s_B] ← 0
12:                     else
13:                         X ← getBeatMult(R_A[s_A], R_B[s_B])
14:                         E_A ← getExpndCrd(C_A[s_A], X_A)
15:                         E_B ← getExpndCrd(C_B[s_B], X_B)
16:                         V_1[s_A][s_B] ← calculateS_Sim(E_A, E_B)
17:                     end if
18:                 end for
19:                 V_2[s_A] ← max(V_1[s_A])
20:             end for
21:             W ← L_A
22:             V_3 ← wghtAvg(V_2, W)
23:         else if pole = "B" then
24:             use the same code from line 8 to 22
25:             but swap variable subscription between A and B
26:         end if
27:         sql_updateMusicSim(m_A, m_B, V_3)
28:     end for
29: end for
```

รูปที่ 4.18 อัลกอริทึมของการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างเพลงทุกคู่ในคลังข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากนี้ยังสามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณความคล้ายระหว่างชีทเพลง A และ B ซึ่งเป็นเพลงเดียวกันที่มีชื่อเพลงว่า “Frosty The Snowman” แต่มีการแปรผัน (Variation) โดยมีการใช้ลำดับคอร์ดที่ต่างกันซึ่งสามารถแสดงเนื้อหาภายในเอกสารทั้งสองนี้ได้ดังรูปที่ 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ ทั้งนี้ได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของผลการคำนวณทั้งในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะและไม่มีข้อมูลจังหวะ หลังจากที่ได้สกัดข้อมูลลำดับคอร์ดจากชีทเพลงทั้งสองเอกสาร ที่สามารถเข้ากับเมโลดีแบบเดียวกันได้ ทั้งนี้ และสามารถแสดงข้อมูลลำดับคอร์ดของทั้งสองเพลงทั้งสองกรณีของข้อมูลจังหวะ สำหรับตารางที่ 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ ซึ่งเพลงทั้งสองนี้อยู่ในกุญแจเสียงเดียวกัน คือ “A Major” ซึ่งสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเซตของพิทช์คลาสของแต่ละคอร์ดในลำดับคอร์ดได้โดยตรง แต่เนื่องจากต้องมีการเปรียบเทียบกับเพลงอื่นที่อาจมีกุญแจเสียงต่างกัน จึงต้องมีการเปลี่ยนกุญเสียงเป็น C Major เพื่อให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันก่อนบันทึกข้อมูลด้วย

Intro:
A %
Thumpety thump thump, thumpety thump thump,
% E7
Look at Frosty go.
E7 %
Thumpety thump thump, thumpety thump thump,
% A
over the hills of snow...Oh...Oh...over the hills of snow.

Verse 1:
A % D A
Frosty the Snow Man, was a jolly happy soul
D A
With a corn-cob pipe and a button nose
E A
and two eyes made out of coal.

Verse 2:
A % D A
Frosty the Snow Man, is a fairy tale they say
D A
He was made of snow but the children know
| D E7 | A
how he came to life one day.

Bridge:
D C#m Bm A
There must have been some magic in that old silk hat they found,
E D#dim F#m E
For when they put it on his head he began to dance around.

Verse 3:
A % D A
Oh, Frosty the Snow Man was alive as he could be,
D A
And the children say he could laugh and play
| D E7 | A
just the same as you and me.

...

รูปที่ 4.19 ตัวอย่างชีทเพลง A ที่มีการแปรผันของเพลง “Frosty The Snowman”

```
A               A7                D          A
Frosty the Snowman  was a jolly happy soul
            D                 A
With a corn-cob pipe and a button nose
       E7              |  Bm7  E7 |
And two eyes made out of coal

A               A7           D             A
Frosty the Snowman  is a fairytale they say
       D               |   A       F#7  |
He was made of snow but the children know
   |  Bm7     E7  |   A
That he came to life one day

     D                 C#m
There must have been some magic
| F#7     Bm7   |   E7       A  |
In that old silk hat they found
   E                      Fdim
For when they placed it on his head
 | F#m7   B7  |  E      E7 |
He began to dance around

A               A7       D              A
Frosty the Snowman  was as live as he could be
       D               |   A       F#7  |
And the children say he could laugh and play
   |  Bm7     E7  |   A
Just the same as you and me

A                          %                %
Thumpety thump thump, thumpety thump thump
            E7         %                    %                    %
Look at Frosty go. Thumpety thump thump, thumpety thump thump
               A
Over the hills of snow

...
```

รูปที่ 4.20 ตัวอย่างชีทเพลง B ที่มีการแปรผันของเพลง “Frosty The Snowman”

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.17 ตัวอย่างข้อมูลลำดับคอร์ดที่ใช้วัดความคล้ายของดนตรีสำหรับชีทเพลง A

	ชีทเพลง A		
มีข้อมูลจังหวะ	ลำดับคอร์ด		ความยาว
	1	| A | A | A | E7 | E7 | E7 | E7 | A |	8
	2	| A | A | D | A | D | A | E | A |	8
	3	| A | A | D | A | D | A | D E7 | A |	8
	4	| D | C#m | Bm | A | E | D#dim | F#m | E |	8
ไม่มีข้อมูลจังหวะ	ลำดับคอร์ด		ความยาว
	1	| A | E7 | A |	3
	2	| A | D | A | D | A | E | A |	7
	3	| A | D | A | D | A | D | E7 | A |	8
	4	| D | C#m | Bm | A | E | D#dim | F#m | E |	8

ตารางที่ 4.18 ตัวอย่างข้อมูลลำดับคอร์ดที่ใช้วัดความคล้ายของดนตรีสำหรับชีทเพลง B

	ชีทเพลง B		
มีข้อมูลจังหวะ	ลำดับคอร์ด		ความยาว
	1	| A | A7 | D | A | D | A | E7 | Bm7 E7 |	8
	2	| A | A7 | D | A | D | A F#7 | Bm7 E7 | A |	8
	3	| D | C#m | F#7 Bm7 | E7 A | E | Fdim | F#m7 B7 | E E7 |	8
	4	| A | A | A | E7 | E7 | E7 | E7 | A |	8
ไม่มีข้อมูลจังหวะ	ลำดับคอร์ด		ความยาว
	1	| A | A7 | D | A | D | A | E7 | Bm7 | E7 |	9
	2	| A | A7 | D | A | D | A | F#7 | Bm7 | E7 | A |	10
	3	| D | C#m | F#7 | Bm7 | E7 | A | E | Fdim | F#m7 | B7 | E | E7 |	12
	4	| A | E7 | A |		3

จากตารางที่ 4.17 และ 4.18 สามารถสรุปเป็นข้อมูลที่เป็นเงื่อนไขในการเลือกขั้วได้ดังตารางที่ 4.19 ซึ่งได้กำหนดให้ชีทเพลง B เป็นขั้วจากเงื่อนไขลำดับที่ 2 ส่วนในการคำนวณค่าความคล้ายก็จะเป็นการหาค่าเฉลี่ยของผลคูณระหว่างคอลัมน์ S_B และ W ของแต่ละแถว ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.19 ตัวอย่างข้อมูลเงื่อนไขการเลือกขั้วสำหรับชีทเพลง A และ B

เงื่อนไขการเลือกขั้ว	ชีทเพลง A		ชีทเพลง B	
	รายละเอียด	รวม	รายละเอียด	รวม
1. แฮชทั้งหมด	A, D	2	A, D	2
2. คอร์ดที่ใช้ทั้งหมด	A, E7, D, E, C#m, Bm, D#dim, F#m	8	A, A7, D, E7, Bm7, F#7, C#m, E, Fdim, F#m7, B7	11
3.(ก) ความยาวจังหวะของแต่ละท่อน (มีข้อมูลจังหวะ)	8, 8, 8, 8	32	8, 8, 8, 8	32
3.(ข) ความยาวจังหวะของแต่ละท่อน (ไม่มีข้อมูลจังหวะ)	3, 7, 8, 8	26	9, 10, 12, 3	34

ตารางที่ 4.20 ตัวอย่างผลการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างชีทเพลง A และ B

	S_B	$S_A[1]$	$S_A[2]$	$S_A[3]$	$S_A[4]$	W
มีข้อมูลจังหวะ	**1 > 0.8333**	0.4521	0.8333	0.8125	0.3448	8
	2 > 0.9156	0.5131	0.8635	0.9156	0.3354	8
	3 > 0.6865	0.3804	0.2615	0.2746	0.6865	8
	4 > 1.0000	1	0.5562	0.5354	0.2271	8
	M_Sim = 0.858850					
	S_B	$S_A[1]$	$S_A[2]$	$S_A[3]$	$S_A[4]$	W
ไม่มีข้อมูลจังหวะ	**1 > 0.6296**	0	0.6296	0.6019	0.2741	9
	2 > 0.5417	0	0.5083	0.5417	0.3767	10
	3 > 0.3153	0	0.25	0.2625	0.3153	12
	4 > 1.0000	1	0	0	0	3
	M_Sim = 0.525500					

บทที่ 5
การทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพและประสิทธิผลของวิธีการวัดค่าความคล้ายของดนตรีที่นำเสนอ ทั้งนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการทดลองซึ่งประกอบด้วย วัตถุประสงค์ การเตรียมข้อมูล การประเมินวิธีการ ขั้นตอนการทดลอง ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

5.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบวิธีการวัดค่าความคล้ายของดนตรีที่อยู่ในรูปแบบชีทเพลงที่ไม่มีข้อมูลจังหวะ ซึ่งต่างกับวิธีการทีพีเอสดีและซีเอสเอเอสที่วัดค่าความคล้ายของดนตรีที่อยู่ในรูปแบบไฟล์ลำดับคอร์ดที่มีข้อมูลจังหวะ อย่างไรก็ตามยังมีวิธีการคอร์ดฮิสโตแกรมซึ่งเป็นวิธีการวัดค่าความคล้ายของดนตรีแบบดั้งเดิมที่สามารถใช้กับชีทเพลงที่ไม่มีข้อมูลจังหวะได้ จึงได้สร้างการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการที่นำเสนอนี้ว่าจะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันอย่างไร

นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้นำเสนอการใช้สัญกรณ์จังหวะและวิธีการวัดค่าความคล้ายของดนตรีสำหรับชีทเพลงที่มีข้อมูลจังหวะ ซึ่งผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานว่าข้อมูลจังหวะก็น่าจะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ช่วยให้การวัดค่าความคล้ายของดนตรีได้ผลดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอนั้นสามารถใช้ได้ทั้งกรณีที่ชีทเพลงมีข้อมูลจังหวะและไม่มีข้อมูลจังหวะ จึงได้มีการทดลองเพิ่มเพื่อเปรียบเทียบผลระหว่าง 2 กรณีดังกล่าว และยังได้มีการเปรียบเทียบผลของการวัดค่าความคล้ายระหว่างคอร์ดด้วยวิธีการทีพีเอสดี ซีเอสเอเอส และวิธีการที่นำเสนอด้วย

ดังนั้น ในงานวิจัยจึงกำหนดวัตถุประสงค์ของการทดลองดังต่อไปนี้

1) เพื่อประเมินประสิทธิภาพและประสิทธิผลของวิธีการวัดค่าความคล้ายของดนตรีระหว่างวิธีการที่นำเสนอในบทที่ 4 และวิธีการดั้งเดิมหรือคอร์ดฮิสโตแกรม ในกรณีที่ชีทเพลงไม่มีข้อมูลจังหวะ

2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพและประสิทธิผลของวิธีการวัดค่าความคล้ายของดนตรีที่นำเสนอ ระหว่างกรณีที่ชีทเพลงมีข้อมูลจังหวะและไม่มีข้อมูลจังหวะ

3) เพื่อประเมินประสิทธิภาพและประสิทธิผลของวิธีการวัดค่าความคล้ายระหว่างคอร์ดระหว่างวิธีการทีพีเอสดี ซีเอสเอเอส และวิธีการที่นำเสนอ ในกรณีที่ชีทเพลงมีข้อมูลจังหวะ

5.2 การเตรียมข้อมูลสำหรับการทดลอง

ในการทดลองเพื่อประเมินการวิธีการค้นคืนสารสนเทศนั้นต้องมีการสร้างคลังข้อมูลเอกสาร และต้องมีการกำหนดรายการข้อคำถามและเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการทดลอง สำหรับงานวิจัยนี้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 การสร้างคลังข้อมูลเอกสาร

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ชีทเพลงซึ่งเป็นไฟล์ข้อความ (.txt) เป็นเอกสารในคลังข้อมูล โดยในการเตรียมเอกสารเหล่านี้ ผู้วิจัยได้ค้นหาและรวบรวมเอกสารจากหลายแหล่งทั้งจากเว็บไซต์ที่ให้เอกสารที่มีการจัดรูปแบบเป็นชีทเพลง และจากหนังสือเพลงที่อยู่ในรูปแบบของสัญลักษณ์ทางดนตรีมาตรฐานที่มีคอร์ดกำกับในแต่ละห้อง โดยอาจต้องตรวจสอบและคัดเลือกเอกสาร และอาจต้องแก้ไขหรือเพิ่มเติมข้อมูลจังหวะด้วยมือเพื่อให้ได้ข้อมูลดนตรีที่ครบถ้วนและถูกต้อง จากนั้นจึงปรับรูปแบบเอกสารโดยใช้สัญกรณ์จังหวะเพื่อให้สามารถนำเข้าระบบได้ ทั้งนี้สามารถแสดงรายการแหล่งข้อมูลที่สำคัญที่สามารถใช้ค้นหาชีทเพลงเพื่อดำเนินการทดลองได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 อัตราส่วนและจำนวนชีทเพลงจากแต่ละแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

ประเภท	ชื่อแหล่งข้อมูล	จำนวนเอกสาร	ร้อยละ
เว็บไซต์	www.heartwoodguitar.com [26]	241	44.88
	tabs.ultimate-guitar.com [17]	100	18.62
	www.soundha.com [27]	47	8.75
	www.ukulover.com [28]	7	1.30
	www.lyricsforchristmas.com [29]	5	0.93
	อื่นๆ	11	2.05
	รวม	**411**	**76.54**
หนังสือ	Ukulele Method Book [30]	36	6.70
	Christmas Ukulele Book [31]	2	0.37
	อื่นๆ	88	16.39
	รวม	**126**	**23.46**
รวมทั้งหมด		**537**	**100.00**

5.2.2 การสร้างข้อคำถามประดิษฐ์

ในการกำหนดรายการข้อคำถามและเอกสารที่เกี่ยวข้องนั้นอาจจำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการพิจารณาเนื้อหาในเอกสาร แต่ในงานวิจัยนี้ได้สร้างข้อคำถามประดิษฐ์ (Artificial query) [32] ซึ่งจะทำให้ได้เอกสารที่สามารถใช้เป็นข้อคำถามและเซตของเอกสารที่เกี่ยวข้องของแต่ละข้อคำถามได้โดยไม่ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญ ทั้งนี้เนื่องจากในการพิจารณาว่าชีทเพลงคู่ใดมีข้อมูลดนตรีคล้ายกันนั้นเป็นเรื่องยาก และอาจไม่สามารถทำได้ด้วยมือในกรณีที่เอกสารในคลังข้อมูลมีจำนวนมาก

ในการสร้างข้อคำถามประดิษฐ์สำหรับการทดลองนี้ ได้อาศัยการจัดกลุ่มเอกสารที่ได้จากการแปรผันของลำดับคอร์ดจากเพลงเดียวกัน ซึ่งจะทำให้ได้รายการเอกสารข้อคำถามและเอกสารที่เกี่ยวข้องที่สร้างขึ้นจากกลุ่มของเอกสารที่เป็นเพลงเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากในการสร้างดนตรีที่ต่างกันสำหรับเพลงเดียวกันจะไม่มีความแตกต่างกันมากนัก เพราะลำดับคอร์ดที่สร้างขึ้นนั้นยังคงต้องสอดคล้องกับเมโลดีซึ่งเป็นทำนองหลักที่เหมือนกัน

ดังนั้นในการสร้างคลังข้อมูลเอกสารสำหรับการทดลองนี้ จึงต้องรวบรวมข้อมูลจากหลายแหล่งดังที่ได้แสดงในตารางที่ 5.1 เพื่อให้เกิดการแปรผันของเพลงและสามารถนำไปใช้สร้างรายการเอกสารข้อคำถามและเอกสารที่เกี่ยวข้องสำหรับการประเมินวิธีการได้ ทั้งนี้สามารถค้นหาเอกสารที่มีการแปรผันได้โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 5.2 ซึ่งจะพบว่ามีเอกสารข้อคำถามทั้งหมด 209 เอกสาร

ตารางที่ 5.2 จำนวนเพลงและจำนวนเอกสารจากการแปรผันของเพลงที่ใช้ในการทดลอง

ประเภท	จำนวนการแปรผัน	จำนวนเพลง	จำนวนเอกสาร
เพลงที่ไม่มีการแปรผัน	**มี 1 เอกสารเท่านั้น**	**328**	**328**
เพลงที่มีการแปรผัน	2 เอกสาร	67	134
	3 เอกสาร	18	54
	4 เอกสาร	4	16
	5 เอกสาร	1	5
	รวม (2-5 เอกสาร)	**90**	**209**
รวมทั้งหมด		**418**	**537**

จากข้อมูลข้างต้นได้มีการแสดงรายละเอียดเป็นรายการของชื่อเพลงไว้ในภาคผนวก ข โดยได้แสดงรายการเพลงที่ไม่มีการแปรผันของลำดับคอร์ดไว้ในตารางที่ ข.1 และได้แสดงรายการเพลงที่มีจำนวนการแปรผันของลำดับคอร์ดตั้งแต่ 2 เอกสารขึ้นไปไว้ในตารางที่ ข.2

5.3 การประเมินวิธีการ

ในการทดลองนี้ได้ประเมินทั้งประสิทธิภาพและประสิทธิผล โดยได้เปรียบเทียบผลลัพธ์ของเวลาที่ใช้และค่าความแม่นยำจากวิธีการวัดค่าความคล้ายของดนตรีทั้งหมดภายใต้สิ่งแวดล้อมเดียวกัน ซึ่งใช้คลังข้อมูลเอกสารเหมือนกัน โดยในประเมินวิธีการได้กำหนดรายละเอียดไว้ดังนี้

5.3.1 วิธีการวัดค่าความคล้ายของดนตรีที่ต้องการประเมิน

วิธีการวัดค่าความคล้ายของดนตรีที่จะประเมินในการทดลองทั้งหมดมีดังนี้

1) ซีพีเอสเอ-1 (CPSA1, Chord Progression and Song segmentation Analysis 1)

เป็นวิธีการที่นำเสนอที่สามารถใช้ได้กับชีทเพลง ซึ่งต้องอาศัยการแบ่งท่อนของเพลง แต่ไม่ต้องอาศัยข้อมูลจังหวะในลำดับคอร์ด [33]

2) ซีพีเอสเอ-2 (CPSA2, Chord Progression and Song segmentation Analysis 2)

เป็นวิธีการที่นำเสนอที่สามารถใช้ได้กับชีทเพลงที่มีการใช้สัญกรณ์จังหวะ ซึ่งต้องอาศัยการแบ่งท่อนของเพลง และต้องอาศัยข้อมูลจังหวะในลำดับคอร์ด

3) คอร์ดฮิสโตแกรม (CH, Chord Histogram)

เป็นวิธีการดั้งเดิมที่พิจารณาความแตกต่างของจำนวนคอร์ดแต่ละชนิดที่ใช้ในเพลง ซึ่งไม่ต้องอาศัยการแบ่งท่อนของเพลง และไม่ต้องอาศัยข้อมูลจังหวะในลำดับคอร์ด

4) ซีเอสเอเอส (CSAS, Chord Sequence Alignment System) เป็นวิธีการดั้งเดิมที่สามารถใช้ได้กับไฟล์ลำดับคอร์ด ซึ่งไม่ต้องอาศัยการแบ่งท่อนของเพลง แต่ต้องอาศัยข้อมูลจังหวะในลำดับคอร์ด

5) ทีพีเอสดี (TPSD, Tonal Pitch Step Distance) เป็นวิธีการดั้งเดิมที่สามารถใช้ได้กับไฟล์ลำดับคอร์ด ซึ่งไม่ต้องอาศัยการแบ่งท่อนของเพลง แต่ต้องอาศัยข้อมูลจังหวะในลำดับคอร์ด

5.3.2 การประเมินประสิทธิภาพของวิธีการ

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงวิธีการประเมินประสิทธิภาพของวิธีการทั้งหมดซึ่งวัดจากผลรวมของระยะเวลาดำเนินงาน (Runtime) ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ที่บันทึกได้ในขณะที่มีการคำนวณค่าความคล้ายของดนตรีของการเปรียบเทียบเพลงระหว่างสองเอกสารในทุกคู่ในคลังข้อมูล ทั้งนี้ในการเปรียบเทียบ

นั้นได้กำหนดตัวแปร m_A และ m_B เป็นตัวแปรของรหัสเอกสาร ซึ่งจะดำเนินการเปรียบเทียบในทุกกรณีที่ $m_A < m_B$ จึงทำให้ทราบจำนวนการเปรียบเทียบทั้งหมด (Total number of comparison) ที่มีลักษณะแบบอนุกรมเลขคณิตได้ดังสมการที่ 19

$$Total\ number\ of\ comparison = \frac{1}{2} \times m(m-1) \tag{19}$$

โดยที่ m คือ จำนวนเอกสารทั้งหมดในคลังข้อมูล

ดังนั้นการประเมินประสิทธิภาพจะวัดจากเวลาที่ใช้ในการเปรียบเทียบทั้งหมด 143,916 คู่ของแต่ละวิธีการสำหรับคลังข้อมูลทดสอบของการทดลองนี้ที่มีทั้งหมด 537 เอกสาร

5.3.3 การประเมินประสิทธิผลของวิธีการ

การประเมินประสิทธิผลในการทดลองนี้วัดจากค่าเอ็มเอพี (MAP) ซึ่งหาได้จากสูตรในการประเมินประสิทธิผลการค้นคืนตามทฤษฎีการจัดเก็บและค้นคืนสารสนเทศที่ได้กล่าวในบทที่ 2 ตั้งแต่สมการที่ 2 ถึง 6

อย่างไรก็ตาม การวัดค่าเอ็มเอพีต้องเริ่มต้นจากการหาค่าความแม่นยำ (Precision, P) และค่าระลึก (Recall, R) ตามสมการที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งต้องประยุกต์ให้เข้ากับบริบทของการค้นคืนเพลงที่คล้ายกัน โดยใช้เอกสารที่มีการแปรผันเป็นข้อคำถาม (Query, q) และใช้เอกสารที่เหลือที่อยู่ในกลุ่มของการแปรผันจากข้อคำถามนั้นเป็นเอกสารที่เกี่ยวข้อง (Relevant document) ที่มีจำนวน N เอกสาร จากนั้นในการทดลองจะมีการจัดอันดับตามค่าความคล้ายระหว่างเอกสารข้อคำถามกับเอกสารทั้งหมดในคลังข้อมูลจากมากไปน้อย แล้วจึงพิจารณาอันดับของเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อสรุปเป็นเซตของอันดับเอกสารที่เกี่ยวข้อง (Answer set of relevant document ranks, A) ที่เป็นผลการค้นคืนของวิธีการในแต่ละข้อคำถาม ทั้งนี้สมาชิกในเซต A ก็คืออันดับของเอกสารโดยกำหนดให้ i คือตำแหน่งของสมาชิกในเซต A ที่เรียงตามอันดับจากน้อยไปมาก ดังนั้นค่าความแม่นยำและค่าระลึกสำหรับบริบทนี้จึงหาได้จากสมการที่ 20 และ 21 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณค่าความแม่นยำและค่าระลึกในการทดลองนี้ได้ดังตารางที่ 5.3 ซึ่งหลังจากนี้จะได้เซตของคู่อันดับ (P(i), R(i)) ของแต่ละข้อคำถาม q เพื่อนำไปสู่การคำนวณค่าความแม่นยำที่ค่าระลึก 11 ระดับและค่าเอ็มเอพีต่อไป

$$P(q,i) = \frac{i}{A(q,i)} \tag{20}$$

$$R(q,i) = \frac{i}{N(q)} \tag{21}$$

ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างการคำนวณค่าความแม่นยำและค่าระลึก

q	N(q)	A(q, i)	P(q, i)			R(q, i)		
			i=1	i=2	i=3	i=1	i=2	i=3
1	2	{1, 3}	$^1/_1$	$^2/_3$	-	$^1/_2$	$^2/_2$	-
2	3	{1, 2, 4}	$^1/_1$	$^2/_2$	$^3/_4$	$^1/_3$	$^2/_3$	$^3/_3$
3	4	{2, 5, 6}	$^1/_2$	$^2/_5$	$^3/_6$	$^1/_4$	$^2/_4$	$^3/_4$

5.4 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองนี้ได้ดำเนินการตามวัตถุประสงค์โดยมีทั้งหมด 3 การทดลอง ซึ่งประกอบด้วย การเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับคอร์ดฮิสโตแกรมในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจังหวะ (EXP01), การเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอระหว่างกรณีที่มีข้อมูลจังหวะกับไม่มีข้อมูลจังหวะ (EXP02), และการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับซีเอสเอเอสและทีพีเอสดีในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะ (EXP03)

ทั้งนี้สามารถแสดงความเกี่ยวข้องระหว่างการทดลองกับวิธีการได้ดังตารางที่ 5.4

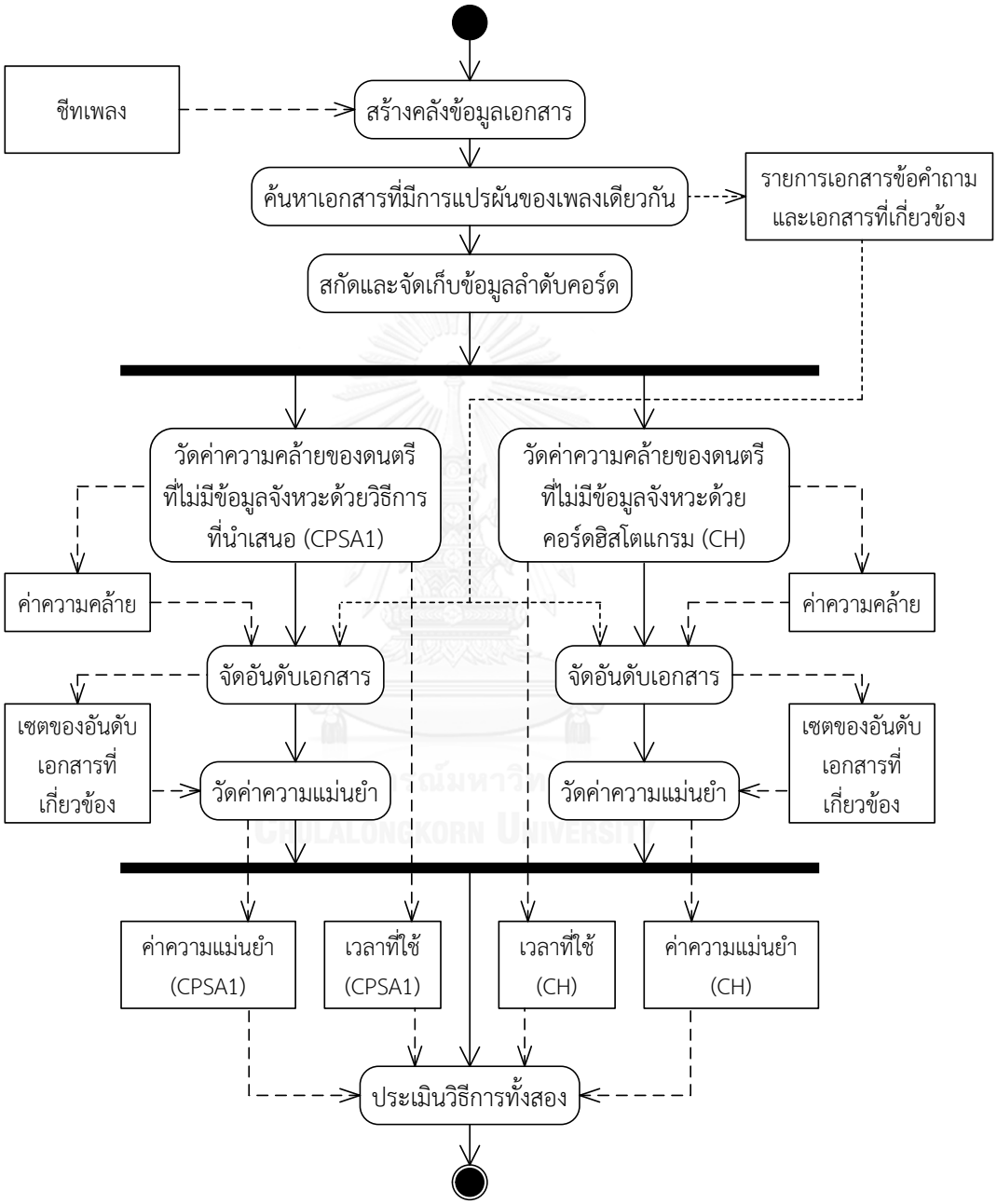
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.4 ความเกี่ยวข้องระหว่างการทดลองกับวิธีการ

วิธีการ		ข้อมูลที่จำเป็น		การทดลองที่เกี่ยวข้อง		
		การแบ่งท่อน	สัญกรณ์จังหวะ	EXP01	EXP02	EXP03
วิธีการที่นำเสนอ	CPSA1	√		√	√	
	CPSA2	√	√		√	√
วิธีการที่เกี่ยวข้อง	CH			√		
	CSAS		√			√
	TPSD		√			√

5.4.1 ขั้นตอนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับคอร์ดฮิสโตแกรมในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจังหวะ

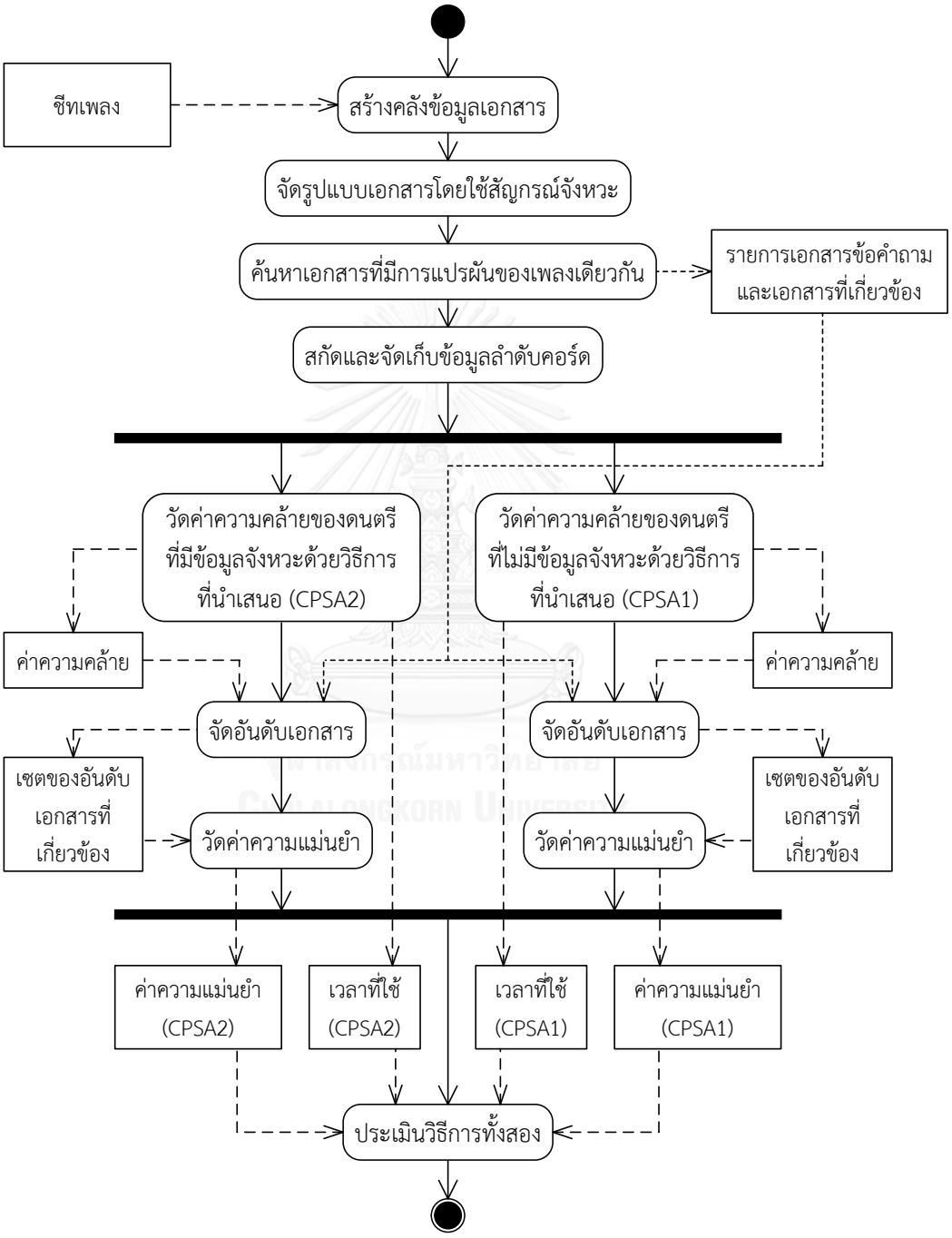
การทดลองมีขั้นตอนตามที่แสดงในแผนภาพกิจกรรมดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แผนภาพกิจกรรมของการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับคอร์ดฮิสโตแกรมในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจังหวะ

5.4.2 ขั้นตอนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอระหว่างกรณีที่มีข้อมูลจังหวะกับไม่มีข้อมูลจังหวะ

การทดลองมีขั้นตอนตามที่แสดงในแผนภาพกิจกรรมดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 แผนภาพกิจกรรมของการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอระหว่างกรณีที่มีข้อมูลจังหวะกับไม่มีข้อมูลจังหวะ

5.4.3 ขั้นตอนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับซีเอสเอเอสและทีพีเอสดีในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะ

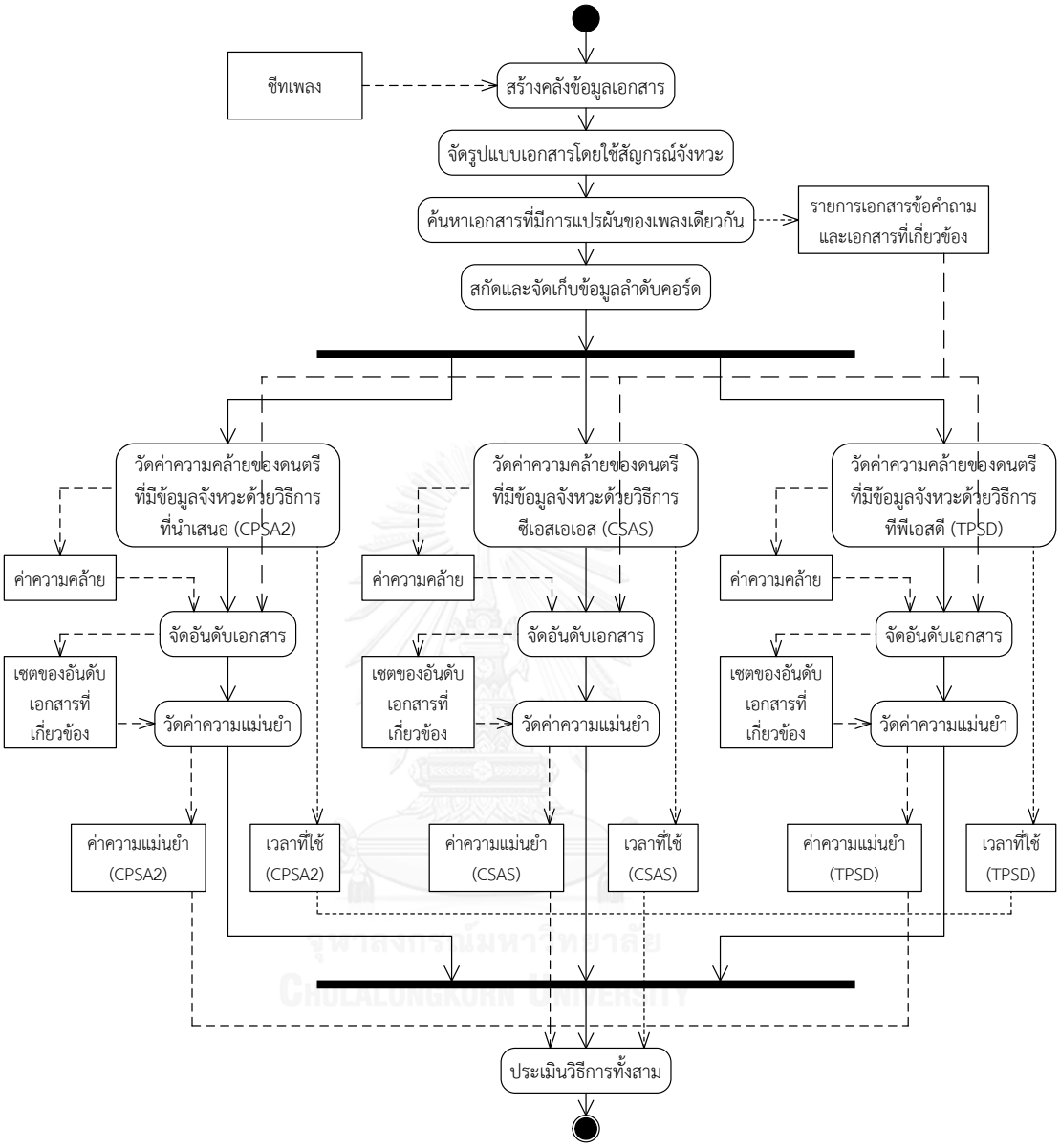
เนื่องจากการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการวัดค่าความคล้ายระหว่างคอร์ดระหว่างวิธีการทีพีเอสดี ซีเอสเอเอส และวิธีการที่นำเสนอ แต่เนื่องจากต้องดำเนินการทดลองโดยใช้หน่วยทดลองเป็นชีทเพลงที่มีการแบ่งท่อน จึงต้องมีการปรับเปลี่ยนวิธีการให้มีการสรุปรวมค่าความคล้ายระหว่างลำดับคอร์ดในแต่ละท่อนให้เป็นแบบเดียวกัน ทั้งนี้จึงได้ใช้การคำนวณค่าความคล้ายระหว่างเพลง (M_Sim) ซึ่งเกิดจากการสรุปรวมค่าความคล้ายระหว่างลำดับคอร์ด (S_Sim) ตามที่ได้นำเสนอในบทที่ 4 เพียงแต่ได้มีการปรับเปลี่ยนการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างคอร์ด (C_Sim) โดยใช้แนวคิดของแต่ละวิธีการตามที่กล่าวในบทที่ 3 โดยสำหรับทีพีเอสดีนั้นเป็นการหาระยะห่างของคอร์ดตามที่กล่าวในหัวข้อที่ 3.1.1.1 ส่วนซีเอสเอเอสนั้นเป็นการหาค่าความคล้ายของคอร์ดตามที่กล่าวในหัวข้อที่ 3.1.2.1

นอกจากนี้ยังต้องมีการปรับสูตรการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างคอร์ดของแต่ละวิธีการให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันด้วย โดยค่าที่ได้นั้นจะต้องเป็นจำนวนจริงที่อยู่ในช่วง [0, 1] เพื่อให้สามารถสรุปรวมค่าความคล้ายระหว่างลำดับคอร์ด (S_Sim) ได้ โดยสำหรับทีพีเอสดีนั้นมีผลลัพธ์ที่ได้ไม่ใช่ค่าความคล้าย แต่เป็นระยะห่าง (d) ที่อยู่ในช่วง [0, 12] จึงต้องแปลงผลลัพธ์ให้เป็นค่าความคล้าย (TPSD_C_Sim) โดยใช้สมการที่ 22 ส่วนซีเอสเอเอสนั้นมีผลลัพธ์ที่เป็นค่าความคล้ายอยู่แล้วแต่อยู่ในช่วง [-4, 4] เนื่องจากได้กำหนดให้ j อยู่ในช่วง [0, 4] และ k อยู่ในช่วง [-2, 2] จึงต้องแปลงผลลัพธ์ให้เป็นค่าความคล้าย (CSAS_C_Sim) โดยใช้สมการที่ 23

$$TPSD_C_Sim = \frac{2}{2 + d} \tag{22}$$

$$CSAS_C_Sim = \frac{\big((2 - j) + k\big) + 4}{8} \tag{23}$$

ทั้งนี้ การทดลองนี้มีขั้นตอนตามที่แสดงในแผนภาพกิจกรรมดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แผนภาพกิจกรรมของการทดลองเพื่อเปรียบเทียบ 3 วิธีการ ซึ่งได้แก่ วิธีการที่นำเสนอ ซีเอสเอเอส และทีพีเอสดี ในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะ

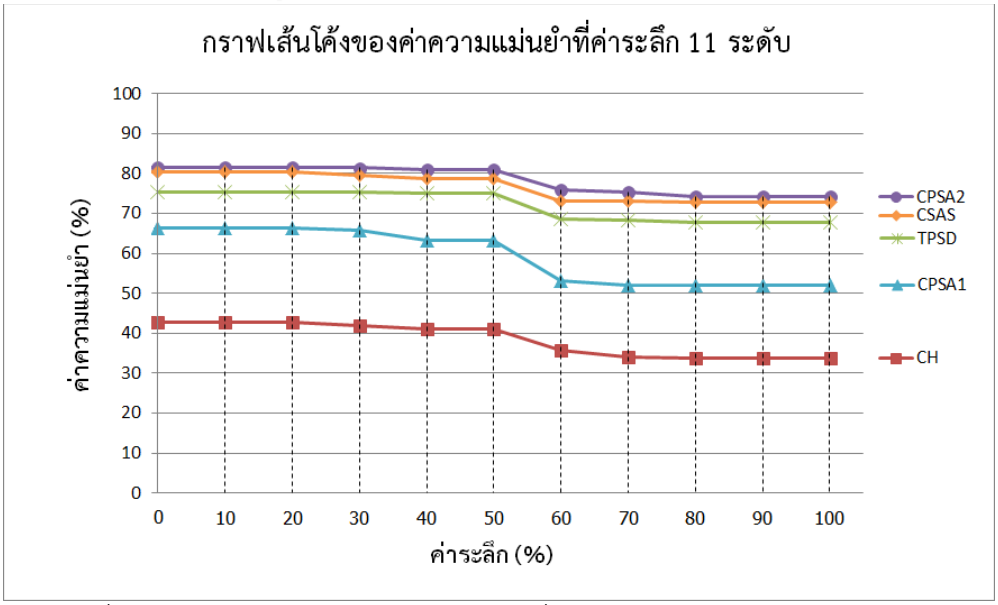
5.5 ผลการทดลอง

จากการดำเนินการทดลองนี้ได้ผลของค่าเอ็มเอพีซึ่งเป็นตัวชี้วัดประสิทธิผล และระยะเวลาดำเนินงานซึ่งเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของวิธีการทั้งหมดดังตารางที่ 5.5 โดยสามารถแสดงกราฟเส้นโค้งของค่าความแม่นยำที่ค่าระลึก 11 ระดับได้ เพื่อให้เห็นถึงแนวโน้มของเส้นกราฟที่แตกต่างกันของแต่ละวิธีการดังรูปที่ 5.4 นอกจากนี้ยังสามารถแสดงกราฟฮิสโตแกรมของผลการทดลองในตารางที่ 5.5 ซึ่งได้แก่ ค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ยหรือค่าเอ็มเอพี และระยะเวลาดำเนินงาน ดังรูปที่ 5.5 และ 5.6 ตามลำดับ

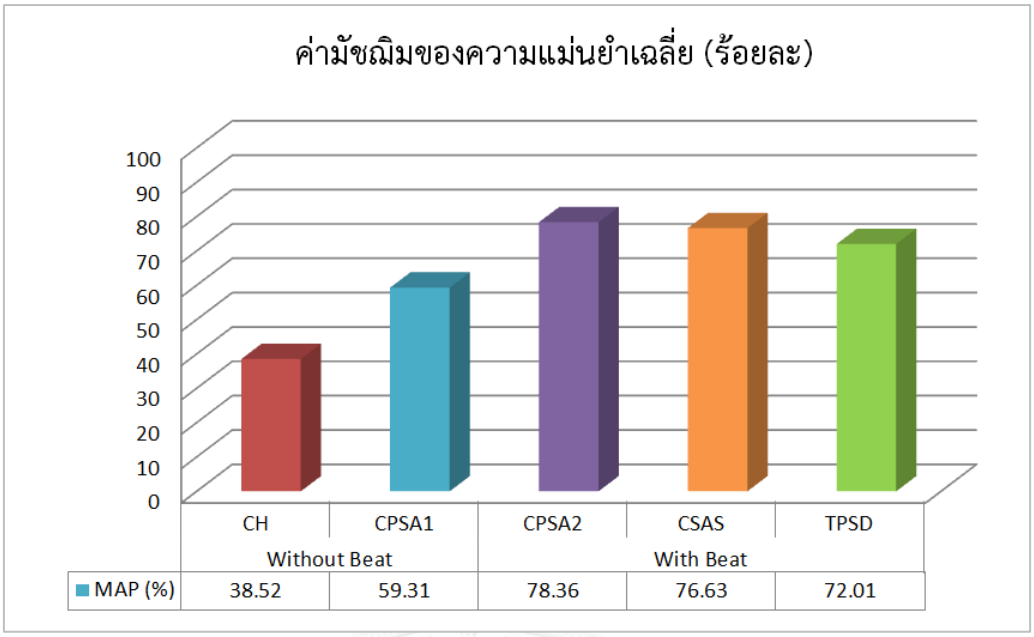
ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองที่แสดงค่าเอ็มเอพีและระยะเวลาดำเนินงาน

วิธีการ	ร้อยละของค่าเอ็มเอพี (MAP)	ระยะเวลาดำเนินงาน (นาที:วินาที)
คอร์ดฮิสโตแกรม (CH)	38.52	9:17
ซีพีเอสเอ-1 (CPSA1)	59.31	23:46
ซีพีเอสเอ-2 (CPSA2)	78.36	22:24
ซีเอสเอเอส (CSAS)	76.63	43:15
ทีพีเอสดี (TPSD)	72.01	23:06

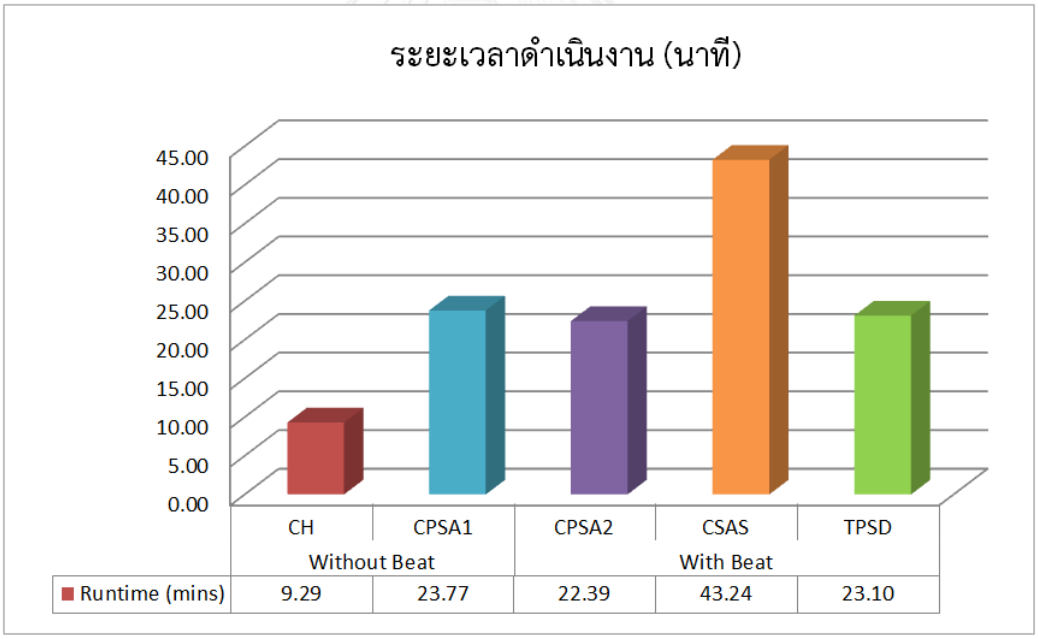
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.4 กราฟเส้นโค้งของค่าความแม่นยำที่ค่าระลึก 11 ระดับของแต่ละวิธีการ



รูปที่ 5.5 กราฟฮิสโตแกรมของค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ยหรือค่าเอ็มเอพี

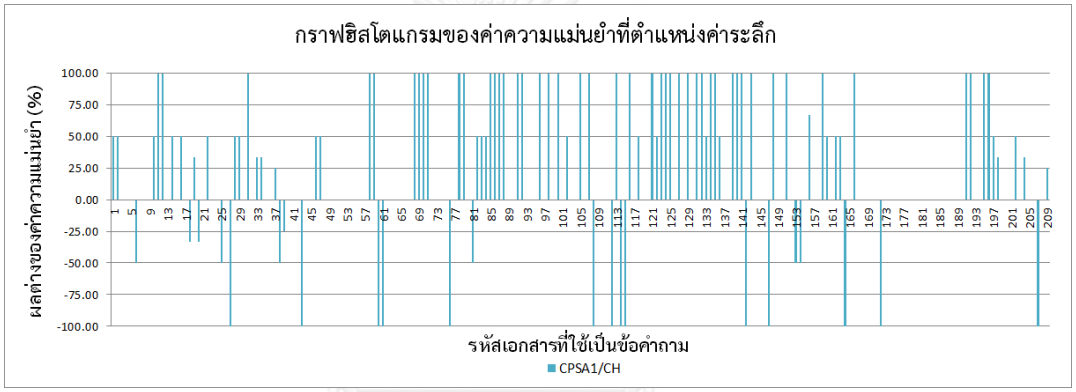


รูปที่ 5.6 กราฟฮิสโตแกรมของระยะเวลาดำเนินงาน

จากข้อมูลข้างต้นได้มีการแสดงรายละเอียดของผลการวัดค่าความแม่นยำของแต่ละวิธีการไว้ในภาคผนวก ค โดยได้แสดงรายการร้อยละของค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ย (MAP) ในแต่ละข้อคำถาม ดังตารางที่ ค.1 และยังได้แสดงรายการร้อยละของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึก (RP) ในแต่ละข้อคำถาม ดังตารางที่ ค.2

5.5.1 ผลการทดลองของการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับคอร์ดฮิสโตแกรมในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจังหวะ

จากผลการทดลองในตารางที่ 5.5 พบว่าวิธีการที่นำเสนอ (ซีพีเอสเอ-1) มีประสิทธิผลเพิ่มขึ้นจากวิธีการดั้งเดิม (คอร์ดฮิสโตแกรม) โดยให้ค่าเอ็มเอพีที่มากขึ้นร้อยละ 53.97 แต่ในขณะเดียวกันก็มีประสิทธิภาพลดลง โดยต้องใช้ระยะเวลาดำเนินงานมากขึ้นร้อยละ 156.01 นอกจากนี้ยังสามารถแสดงกราฟฮิสโตแกรมเพื่อให้เห็นผลต่างของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกในแต่ละข้อคำถามระหว่างสองวิธีการได้ดังรูปที่ 5.7 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยรวมของกราฟอยู่ทางด้านบวกซึ่งเป็นฝั่งของวิธีการซีพีเอสเอ-1 โดยคิดเป็นร้อยละ 20.29

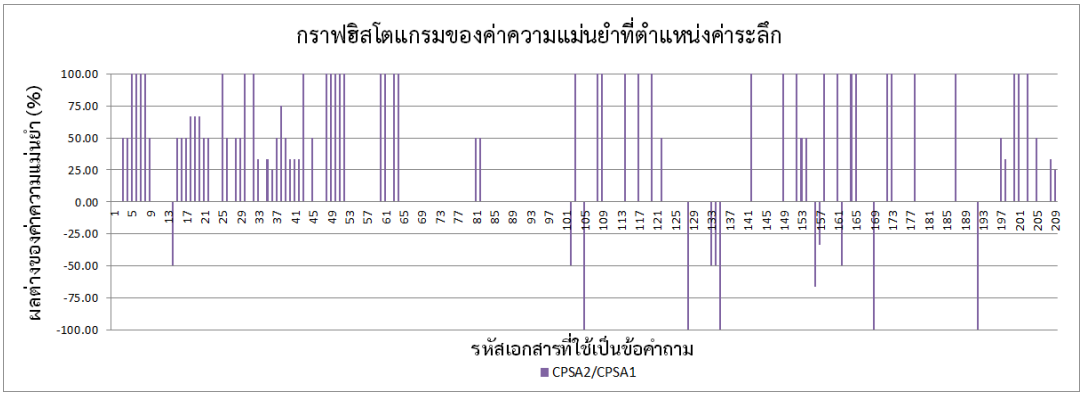


รูปที่ 5.7 กราฟฮิสโตแกรมของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกของการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับคอร์ดฮิสโตแกรมในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจังหวะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.5.2 ผลการทดลองของการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอระหว่างกรณีที่มีข้อมูลจังหวะกับไม่มีข้อมูลจังหวะ

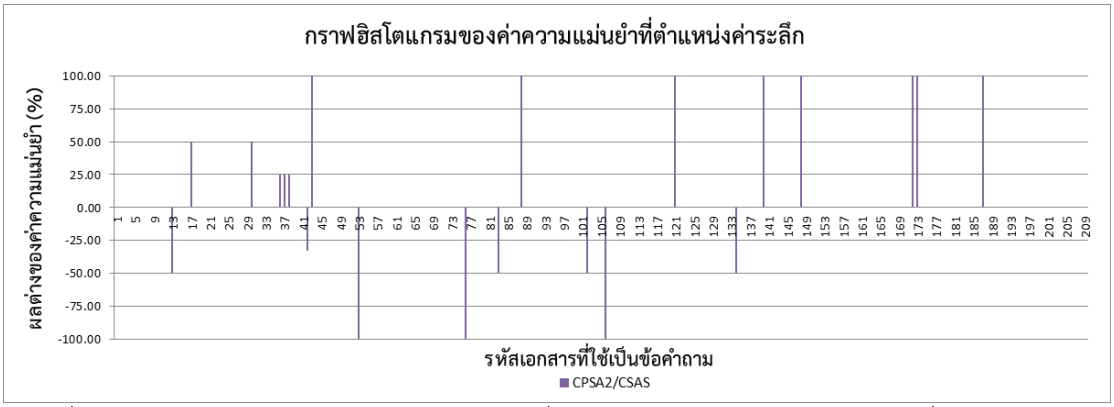
จากผลการทดลองในตารางที่ 5.5 พบว่าวิธีการที่นำเสนอแบบที่อาศัยข้อมูลจังหวะ (ซีพีเอสเอ-2) มีประสิทธิผลเพิ่มขึ้นจากวิธีการที่นำเสนอแบบที่ไม่อาศัยข้อมูลจังหวะ (ซีพีเอสเอ-1) โดยให้ค่าเอ็มเอพีที่มากขึ้นร้อยละ 32.12 และในขณะเดียวกันก็มีประสิทธิภาพมากขึ้นเล็กน้อย โดยใช้ระยะเวลาดำเนินงานน้อยลงร้อยละ 5.75 นอกจากนี้ยังสามารถแสดงกราฟฮิสโตแกรมเพื่อให้เห็นผลต่างของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกในแต่ละข้อคำถามระหว่างสองวิธีการได้ดังรูปที่ 5.8 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยรวมของกราฟอยู่ทางด้านบวกซึ่งเป็นฝั่งของวิธีการซีพีเอสเอ-2 โดยคิดเป็นร้อยละ 21.33



รูปที่ 5.8 กราฟฮิสโตแกรมของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกของการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอระหว่างกรณีที่มีข้อมูลจังหวะกับไม่มีข้อมูลจังหวะ

5.5.3 ผลการทดลองของการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับซีเอสเอเอสในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะ

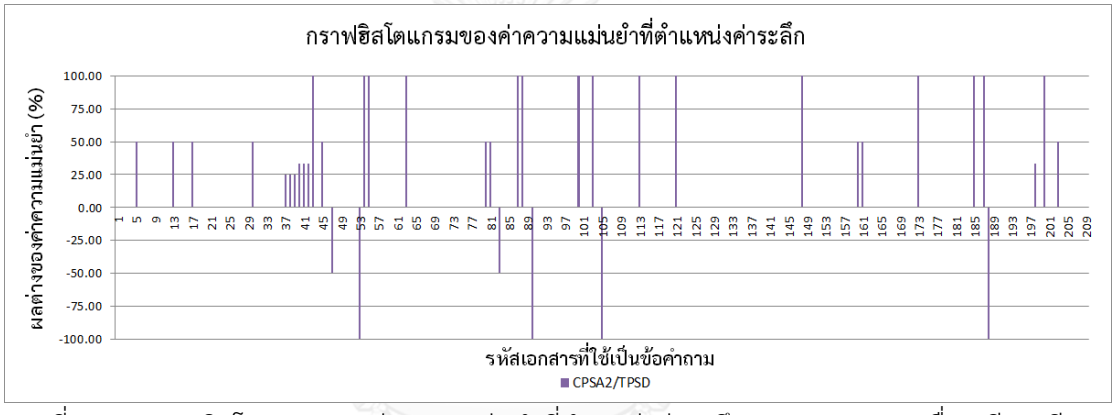
จากผลการทดลองในตารางที่ 5.5 พบว่าวิธีการที่นำเสนอ (ซีพีเอสเอ-2) มีประสิทธิผลเพิ่มขึ้นจากวิธีการดั้งเดิม (ซีเอสเอเอส) โดยให้ค่าเอ็มเอพีที่มากขึ้นร้อยละ 2.26 และในขณะเดียวกันก็มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยใช้ระยะเวลาดำเนินงานน้อยลงร้อยละ 48.21 นอกจากนี้ยังสามารถแสดงกราฟฮิสโตแกรมเพื่อให้เห็นผลต่างของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกในแต่ละข้อคำถามระหว่างสองวิธีการได้ดังรูปที่ 5.9 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยรวมของกราฟอยู่ทางด้านบวกซึ่งเป็นฝั่งของวิธีการซีพีเอสเอ-2 โดยคิดเป็นร้อยละ 2.11



รูปที่ 5.9 กราฟฮิสโตแกรมของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกของการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับซีเอสเอเอสในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะ

5.5.4 ผลการทดลองของการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับทีพีเอสดีในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะ

จากผลการทดลองในตารางที่ 5.5 พบว่าวิธีการที่นำเสนอ (ซีพีเอสเอ-2) มีประสิทธิผลเพิ่มขึ้นจากวิธีการดั้งเดิม (ทีพีเอสดี) โดยให้ค่าเอ็มเอพีที่มากขึ้นร้อยละ 8.82 และในขณะเดียวกันก็มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยใช้ระยะเวลาดำเนินงานน้อยลงร้อยละ 3.05 นอกจากนี้ยังสามารถแสดงกราฟฮิสโตแกรมเพื่อให้เห็นผลต่างของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกในแต่ละข้อคำถามระหว่างสองวิธีการได้ดังรูปที่ 5.10 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยรวมของกราฟอยู่ทางด้านบวกซึ่งเป็นฝั่งของวิธีการซีพีเอสเอ-2 โดยคิดเป็นร้อยละ 8.17



รูปที่ 5.10 กราฟฮิสโตแกรมของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกของการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับทีพีเอสดีในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะ

Chulalongkorn University

5.6 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองในงานวิจัยนี้สามารถสรุปผลตามวัตถุประสงค์ของการทดลองได้ดังนี้

1) จากผลการทดลองของการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอ (ซีพีเอสเอ-1) กับวิธีการดั้งเดิม (คอร์ดฮิสโตแกรม) ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลจังหวะ พบว่าวิธีการที่นำเสนอมีประสิทธิผลดีกว่าโดยคิดเป็นร้อยละ 53.97 ทั้งนี้เนื่องจากในการคำนวณความคล้ายได้อาศัยข้อมูลเซตของลำดับคอร์ดที่ได้แบ่งตามท่อนของเพลงในเอกสาร ในขณะที่วิธีการดั้งเดิมไม่ได้สนใจข้อมูลลำดับคอร์ดแต่อาศัยการเปรียบเทียบจำนวนคอร์ดแต่ละชนิดระหว่างสองเพลง จึงทำให้สรุปได้ว่าข้อมูลลำดับคอร์ดเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการวัดค่าความคล้ายของดนตรี แต่ในขณะเดียวกันก็มีประสิทธิภาพแย่กว่าโดยคิดเป็นร้อยละ 156.01 เนื่องจากวิธีการดั้งเดิมมีการใช้จำนวนวงวน (Loop) น้อยกว่า จึงทำให้ใช้เวลาได้น้อยกว่า

2) จากผลการทดลองของการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอระหว่างกรณีที่มีข้อมูลจังหวะ (ซีพีเอสเอ-2) กับไม่มีข้อมูลจังหวะ (ซีพีเอสเอ-1) พบว่ากรณีที่มีข้อมูลจังหวะมีประสิทธิผลดีกว่าโดยคิดเป็นร้อยละ 32.12 ทั้งนี้เนื่องจากในการคำนวณความคล้ายได้อาศัยข้อมูลจังหวะจากสัญกรณ์จังหวะที่เพิ่มเติมในเอกสาร ส่งผลให้มีการปรับตำแหน่งของอาร์เรย์ที่จะเปรียบเทียบ จึงทำให้มีการจัดคู่เปรียบเทียบของแต่ละคอร์ดในลำดับคอร์ดได้แม่นยำมากขึ้น จึงทำให้สรุปได้ว่าข้อมูลจังหวะในลำดับคอร์ดก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการวัดค่าความคล้ายของดนตรีเช่นกัน ในขณะที่ประสิทธิภาพไม่ได้แตกต่างกันมาก เพราะถึงแม้ว่าในการเปรียบเทียบอาจต้องมีการขยายขนาดของอาร์เรย์ตามข้อมูลจังหวะ แต่เนื่องจากว่าวิธีการนี้ก็มีการลดจำนวนวงวนด้วยเช่นกัน เมื่อพิจารณาจากสมการที่ 15 และ 16 จึงทำให้สามารถชดเชยในเรื่องการใช้เวลาได้ในการทดลองนี้

3) จากผลการทดลองของการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอ (ซีพีเอสเอ-2) กับวิธีการดั้งเดิม (ซีเอสเอเอสและทีพีเอสดี) ในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะ พบว่าวิธีการที่นำเสนอมีประสิทธิผลดีกว่าซีเอสเอเอสและทีพีเอสดีโดยคิดเป็นร้อยละ 2.26 และ 8.82 ตามลำดับ ในขณะที่ประสิทธิภาพก็ยังดีกว่าด้วยโดยคิดเป็นร้อยละ 48.21 และ 3.05 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากในการคำนวณความคล้ายได้อาศัยแนวทางการจัดเก็บข้อมูลด้วยแฟ้มลายเซ็น ซึ่งทำให้ได้ข้อมูลคอร์ดในรูปแบบจำนวนเต็มที่เป็นตัวแทนของเซตของพิทช์คลาสที่สามารถจัดเก็บข้อมูลดนตรีได้อย่างครบถ้วน นอกจากนี้ยังช่วยลดเวลาในการเปรียบเทียบได้เนื่องจากข้อมูลมีขนาดลดลง

อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาความแตกต่างของระยะเวลาดำเนินงานระหว่างวิธีการซีเอสเอเอสและทีพีเอสดีในการทดลองนี้จะพบว่าไม่สอดคล้องกับผลการทดลองในงานวิจัย [10] ซึ่งมีความแตกต่างกันมาก ทั้งนี้เนื่องจากในการทดลองนี้ได้มีการปรับวิธีการซีเอสเอเอสและทีพีเอสดีในบางส่วนเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของการวัดค่าความคล้ายระหว่างคอร์ดกับวิธีการที่นำเสนอได้ ซึ่งได้แก่ การปรับให้มีการสรุปรวมค่าความคล้ายที่เป็นแบบเดียวกัน และการปรับสเกลของค่าความคล้ายให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 นอกจากนี้ยังได้มีการจัดให้มีการเปรียบเทียบชีทเพลงทุกคู่ในคลังข้อมูลโดยไม่มีการข้ามการเปรียบเทียบ โดยให้ใช้ข้อมูลและบันทึกข้อมูลในระบบฐานข้อมูล จึงทำให้สภาพแวดล้อมในการทดลองมีความแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดผลการทดลองที่เฉพาะเจาะจงสำหรับบริบทของงานวิจัยนี้ แต่ก็สามารถทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพและประสิทธิผลของแต่ละวิธีการข้างต้นภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกันได้

บทที่ 6
การพัฒนาระบบต้นแบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาระบบต้นที่จะใช้เป็นระบบค้นคืนชีทเพลง (Chord sheet music retrieval system) ที่ใช้ชื่อว่า “ซี-เอส-เอ็ม” (CSM) ที่สามารถแสดงรายการเพลงตามเงื่อนไขของข้อคำถามในเมตาดาตา และแสดงรายการเพลงที่คล้ายกันด้วยวิธีการวัดค่าความคล้ายระหว่างชีทเพลงที่นำเสนอได้ โดยที่ผู้ใช้ทั่วไปสามารถค้นคืนเอกสารได้ และผู้ดูแลระบบสามารถนำเข้าชีทเพลงได้ ทั้งนี้ได้แสดงเนื้อหาในเรื่องความต้องการของระบบ โครงสร้างและการทำงานของระบบต้นแบบ การออกแบบและพัฒนาระบบต้นแบบ การออกแบบส่วนต่อประสานผู้ใช้ และการทดสอบระบบต้นแบบ

6.1 ความต้องการของระบบ

ในการพัฒนาระบบต้นแบบในการค้นคืนชีทเพลงสำหรับงานวิจัยนี้ ได้กำหนดความต้องการของระบบทั้งความต้องการเชิงหน้าที่และไม่ใช่หน้าที่ ดังนี้

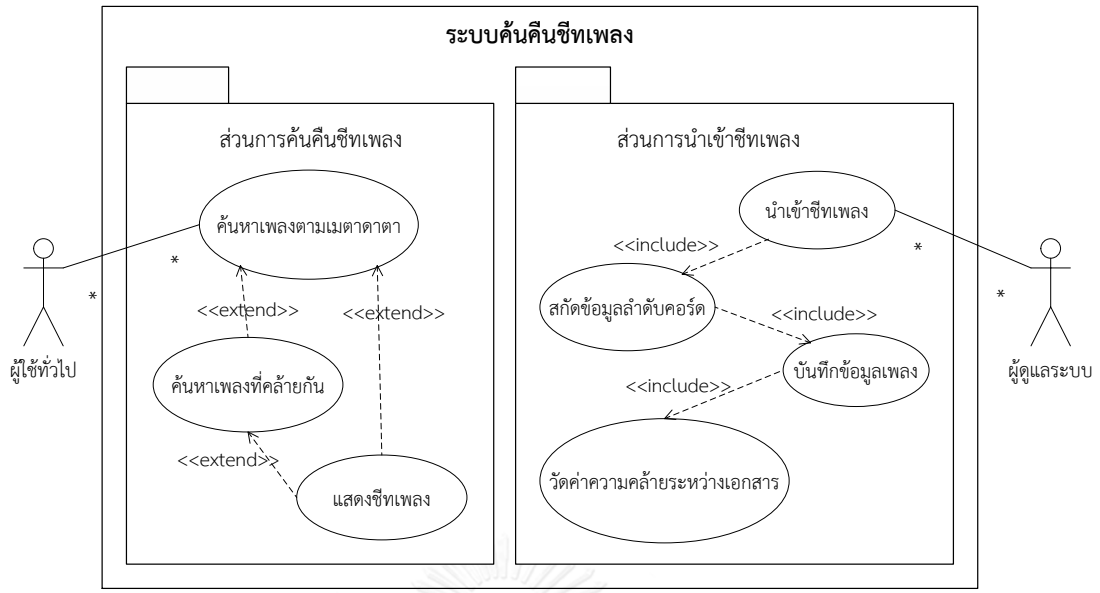
6.1.1 ความต้องการเชิงหน้าที่

ในการกำหนดความต้องการเชิงหน้าที่นั้น ผู้วิจัยได้พิจารณาถึงลักษณะการใช้งานที่จำเป็นในการค้นคืนชีทเพลงของผู้ใช้ทั่วไป อีกทั้งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวัดค่าความคล้ายระหว่างเพลงด้วย จึงได้เพิ่มความสามารถในการค้นหาเอกสารที่มีลำดับคอร์ดคล้ายกับเอกสารที่เลือกด้วย นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงการนำเข้าชีทเพลงโดยผู้ดูแลระบบด้วย ดังนั้นจึงอาศัยการกำหนดยูสเคสของระบบต้นแบบเพื่อใช้ระบุความต้องการเชิงหน้าที่สำหรับผู้ใช้ทั้งสองกลุ่ม ดังนี้

1) ยูสเคสสำหรับผู้ใช้ทั่วไป แสดงถึงความต้องการเชิงหน้าที่ของระบบในการค้นหาเพลงตามเมตาดาตา ค้นหาเพลงที่คล้ายกัน และแสดงชีทเพลง

2) ยูสเคสสำหรับผู้ดูแลระบบ แสดงถึงความต้องการเชิงหน้าที่ของระบบในการนำเข้าชีทเพลง สกัดข้อมูลลำดับคอร์ด บันทึกข้อมูลเพลง และวัดค่าความคล้ายระหว่างชีทเพลง

ทั้งนี้สามารถแสดงแผนภาพยูสเคสของระบบต้นแบบได้ดังรูปที่ 6.1 และสามารถแสดงคำอธิบายยูสเคสได้ดังตารางที่ 6.1 ถึง 6.7



รูปที่ 6.1 แผนภาพยูสเคสของระบบต้นแบบ

ตารางที่ 6.1 คำอธิบายยูสเคสของผู้ใช้ทั่วไปเพื่อค้นหาเพลงตามเมตาดาตา

ชื่อยูสเคส: ค้นหาเพลงตามเมตาดาตา	**ผู้กระทำหลัก:** ผู้ใช้ทั่วไป	**รหัส:** UCD01
คำอธิบาย: เป็นขั้นตอนการค้นหาเพลงจากระบบโดยใช้ข้อคำถามของข้อมูลเพลงตามเมตาดาตา (เช่น ชื่อเพลง ชื่อศิลปิน เป็นต้น) เพื่อให้ระบบแสดงรายการเพลงที่มีอยู่		
สิ่งกระตุ้น: เมื่อผู้ใช้ต้องการค้นหาเพลงที่มีอยู่ในระบบ		
ขั้นตอนการทำงานปกติ: 1. ผู้ใช้เข้าใช้งานระบบด้วยสิทธิ์ของผู้ใช้ทั่วไป 2. ระบบแสดงรายการเมตาดาตาของเพลงที่สามารถใช้เป็นข้อคำถามได้ 3. ผู้ใช้สร้างข้อคำถามและส่งกลับไปยังระบบ 4. ระบบแสดงรายการเพลงที่ตรงกับข้อคำถามของผู้ใช้		
ขั้นตอนการทำงานทางเลือก: -		

ตารางที่ 6.2 คำอธิบายยูสเคสของผู้ใช้ทั่วไปเพื่อค้นหาเพลงที่คล้ายกัน

ชื่อยูสเคส: ค้นหาเพลงที่คล้ายกัน	**ผู้กระทำหลัก:** ผู้ใช้ทั่วไป	**รหัส:** UCD02
คำอธิบาย: เป็นขั้นตอนการค้นหาเพลงที่คล้ายกันกับเพลงที่เลือก เพื่อให้ระบบแสดงรายการเพลงโดยเรียงลำดับตามค่าความคล้ายจากมากไปน้อย		
สิ่งกระตุ้น: เมื่อผู้ใช้ต้องการทราบรายการเพลงที่คล้ายกันกับเพลงที่เลือก		
ขั้นตอนการทำงานปกติ: 1. ผู้ใช้เลือกเพลงในระบบ 2. ผู้ใช้เลือกคำสั่งค้นหาเพลงที่คล้ายกัน 3. ระบบแสดงรายการเพลงที่คล้ายกันกับเพลงที่ผู้ใช้เลือก		
ขั้นตอนการทำงานทางเลือก: 1ก: กรณีที่ผู้ใช้เลือกคำสั่งค้นหาเพลงที่คล้ายกันที่แสดงอยู่กับรายการเพลง ให้ข้ามไปยังขั้นตอนที่ 3		

ตารางที่ 6.3 คำอธิบายยูสเคสของผู้ใช้ทั่วไปเพื่อแสดงชีทเพลง

ชื่อยูสเคส: แสดงชีทเพลง	**ผู้กระทำหลัก:** ผู้ใช้ทั่วไป	**รหัส:** UCD03
คำอธิบาย: เป็นขั้นตอนการแสดงเนื้อหาที่เป็นข้อความในเอกสารชีทคอร์ดให้กับผู้ใช้		
สิ่งกระตุ้น: เมื่อผู้ใช้ต้องการทราบเนื้อหาในชีทเพลง		
ขั้นตอนการทำงานปกติ: 1. ผู้ใช้เลือกเพลงในระบบ 2. ระบบแสดงเนื้อหาในชีทเพลงที่ผู้ใช้เลือก		
ขั้นตอนการทำงานทางเลือก: 2ก: กรณีที่ผู้ใช้เลือกคำสั่งจัดรูปแบบข้อความในขั้นตอนนี้ ให้ดำเนินการขั้นตอนที่ 2 ตามคำสั่งจัดรูปแบบข้อความของผู้ใช้		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.4 คำอธิบายยูสเคสของผู้ดูแลระบบเพื่อนำเข้าชีทเพลง

ชื่อยูสเคส: นำเข้าชีทเพลง	**ผู้กระทำหลัก:** ผู้ดูแลระบบ	**รหัส:** UCD04
คำอธิบาย: เป็นขั้นตอนการนำเข้าชีทเพลงที่เป็นไฟล์ข้อความ เพื่อให้ระบบสามารถดำเนินการสกัดข้อมูลลำดับคอร์ดได้		
สิ่งกระตุ้น: เมื่อผู้ใช้ต้องการนำเข้าชีทเพลง		
ขั้นตอนการทำงานปกติ: 1. ผู้ใช้เข้าใช้งานระบบด้วยสิทธิ์ของผู้ดูแลระบบ 2. ผู้ใช้ค้นดูไฟล์ข้อความเอกสารชีทเพลง 3. ผู้ใช้บรรจุไฟล์ข้อความเอกสารชีทเพลงขึ้นไปยังสารบบของแฟ้มผู้ใช้ 4. ระบบแสดงรายการไฟล์ข้อความทั้งหมดในแฟ้มผู้ใช้		
ขั้นตอนการทำงานทางเลือก: 4ก: กรณีที่ผู้ใช้ต้องการนำเข้าชีทเพลงเพิ่มเติม ให้กลับไปยังขั้นตอนที่ 2		

ตารางที่ 6.5 คำอธิบายยูสเคสของผู้ดูแลระบบเพื่อสกัดข้อมูลลำดับคอร์ด

ชื่อยูสเคส: สกัดข้อมูลลำดับคอร์ด	**ผู้กระทำหลัก:** ผู้ดูแลระบบ	**รหัส:** UCD05
คำอธิบาย: เป็นขั้นตอนการสกัดข้อมูลลำดับคอร์ดจากเอกสารชีทเพลงที่เลือก เพื่อให้ผู้ใช้ทราบข้อมูลดนตรีจากเอกสารในเบื้องต้น โดยยังไม่มีการจัดเก็บหรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลในระบบ		
สิ่งกระตุ้น: เมื่อผู้ใช้ต้องการวิเคราะห์เอกสารชีทเพลง		
ขั้นตอนการทำงานปกติ: 1. เลือกไฟล์ข้อความเอกสารชีทเพลงที่แสดงในแฟ้มของผู้ใช้ 2. ระบบแสดงผลการสกัดข้อมูลลำดับคอร์ด		
ขั้นตอนการทำงานทางเลือก: -		

ตารางที่ 6.6 คำอธิบายยูสเคสของผู้ใช้ทั่วไปเพื่อบันทึกข้อมูลเพลง

ชื่อยูสเคส: บันทึกข้อมูลเพลง	**ผู้กระทำหลัก:** ผู้ดูแลระบบ	**รหัส:** UCD06
คำอธิบาย: เป็นขั้นตอนการบันทึกข้อมูลเพลงตามเมตาดาตาของชีทเพลงที่เลือก พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลลำดับคอร์ดและกุญแจเสียง เพื่อบรรจุเอกสารและข้อมูลเพลงในฐานข้อมูล		
สิ่งกระตุ้น: เมื่อผู้ใช้ต้องการบรรจุเอกสารชีทเพลงและข้อมูลเพลง		
ขั้นตอนการทำงานปกติ: 1. ผู้ใช้ตรวจสอบข้อมูลลำดับคอร์ดและกุญแจเสียง 2. ผู้ใช้กรอกข้อมูลเพลงตามเมตาดาตา 3. ผู้ใช้ยืนยันการบันทึกข้อมูล 4. ระบบแสดงผลการบันทึกข้อมูลเพลง		
ขั้นตอนการทำงานทางเลือก: - 1ก: กรณีที่ผู้ใช้ต้องการแก้ไขข้อมูลกุญแจเสียง ผู้ใช้สามารถแก้ไขข้อมูลกุญแจเสียง และไปยังขั้นตอนที่ 2 1ข: กรณีที่ผู้ใช้ต้องการแก้ไขข้อมูลลำดับคอร์ด ผู้ใช้ต้องยกเลิกการดำเนินการนี้		

ตารางที่ 6.7 คำอธิบายยูสเคสของผู้ดูแลระบบเพื่อวัดค่าความคล้ายระหว่างเอกสาร

ชื่อยูสเคส: วัดค่าความคล้ายระหว่างเอกสาร	**ผู้กระทำหลัก:** ผู้ดูแลระบบ	**รหัส:** UCD07
คำอธิบาย: เป็นขั้นตอนการวัดค่าความคล้ายระหว่างชีทเพลงที่เลือกกับเอกสารทั้งหมดที่อยู่ในระบบ เพื่อบรรจุข้อมูลความคล้ายเพิ่มเติมในฐานข้อมูล		
สิ่งกระตุ้น: เมื่อผู้ใช้ต้องการบรรจุข้อมูลค่าความคล้ายระหว่างเอกสาร		
ขั้นตอนการทำงานปกติ: 1. ผู้ใช้เลือกคำสั่งดำเนินการวัดค่าความคล้ายระหว่างเอกสาร 2. ระบบแสดงผลการวัดค่าความคล้ายระหว่างเอกสาร		
ขั้นตอนการทำงานทางเลือก: -		

6.1.2 ความต้องการที่ไม่ใช่หน้าที่

นอกจากความต้องการเชิงหน้าที่ของระบบต้นแบบซึ่งได้กำหนดด้วยยูสเคสแล้ว ยังได้กำหนดความต้องการที่ไม่ใช่หน้าที่ดังตารางที่ 6.8

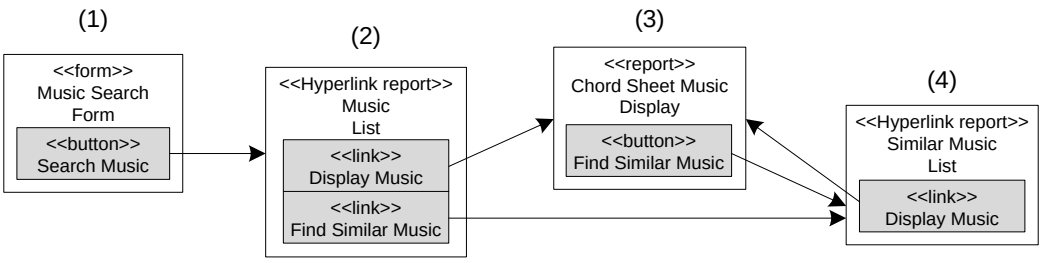
ตารางที่ 6.8 รายการความต้องการที่ไม่ใช่หน้าที่ของระบบต้นแบบ

รหัส	คำอธิบายความต้องการที่ไม่ใช่หน้าที่
NFR01	การแสดงเนื้อหาในชีทเพลง ต้องมีการใช้สีแยกข้อความที่เป็นข้อมูลลำดับคอร์ดออกจากข้อความที่เป็นเนื้อเพลงให้ชัดเจน
NFR02	การเข้าถึงหน้าที่แสดงเนื้อหาในชีทเพลง ต้องใช้จำนวนการคลิกเมาส์ไม่เกิน 3 ครั้งตั้งแต่หน้าแรก ทั้งนี้ไม่รวมการคลิกเมาส์ในการสร้างข้อคำถาม
NFR03	การแสดงรายการเพลงที่คล้ายกันกับเพลงที่เลือก ต้องใช้เวลาไม่เกิน 2 วินาที
NFR04	การแสดงผลการสกัดข้อมูลลำดับคอร์ดจากไฟล์ข้อความที่บรรจุขึ้นระบบ ต้องใช้เวลาไม่เกิน 5 วินาที

6.2 โครงสร้างและการทำงานของระบบต้นแบบ

6.2.1 ส่วนการค้นคืนชีทเพลงสำหรับผู้ใช้ทั่วไป

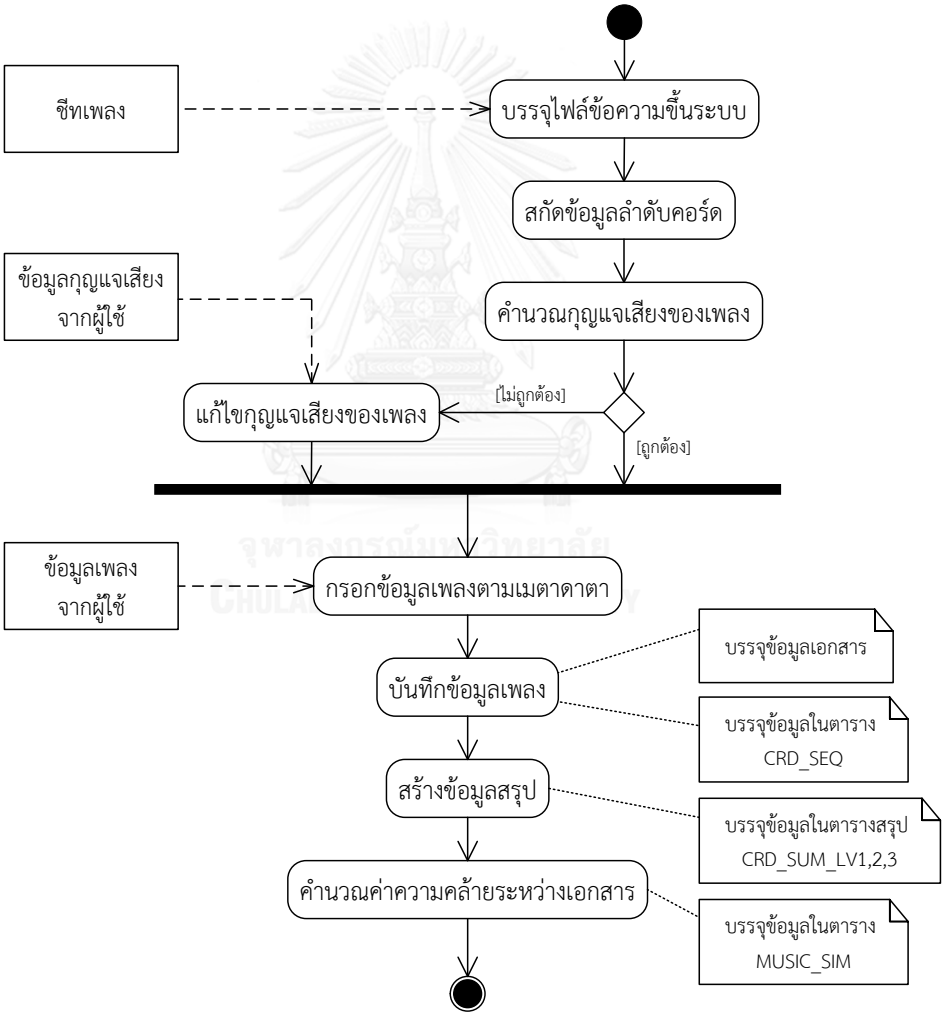
ในส่วนนี้ผู้ใช้ทั่วไปสามารถค้นหาและเรียกดูข้อมูลชีทเพลงได้ทั้งหมดที่ได้จัดเก็บอยู่ในฐานข้อมูล โดยระบบจะแสดงผลในแต่ละหน้าเป็นลำดับตามแผนภาพวินโดว์นาวิเกชันที่แสดงในรูปที่ 6.2 ซึ่งเริ่มต้นจากการส่งข้อคำถามจากฟอร์ม (Form) ในหน้าที่ (1) แล้ว ทั้งนี้ระบบจะสามารถแสดงข้อมูลเป็นรายงาน (Report) ที่อยู่ถัดไปในหน้าที่ (2), (3) และ (4) ได้เมื่อผู้ใช้เลือกคำสั่งโดยอาศัยปุ่ม (Button) หรือลิงค์ (Link) จากหน้าที่แล้ว



รูปที่ 6.2 แผนภาพวินโดว์นาวิเกชันของส่วนการค้นคืนชีทเพลงสำหรับผู้ใช้ทั่วไป

6.2.2 ส่วนการนำเข้าชีทเพลงสำหรับผู้ดูแลระบบ

ในส่วนนี้ผู้ดูแลระบบสามารถนำเข้าชีทเพลงเพื่อให้ระบบจัดเก็บข้อมูลลำดับคอร์ดที่สกัดได้จากเอกสาร จนกระทั่งสามารถคำนวณค่าความคล้ายระหว่างเอกสารได้ แต่ในขณะเดียวกันก็จำเป็นต้องรับข้อมูลจากผู้ใช้ในกรณีที่ต้องการแก้ไขข้อมูลกุญแจเสียง หรือรับข้อมูลเพลงตามเมตาดาตา เพื่อให้ระบบมีข้อมูลที่สามารถอำนวยความสะดวกผู้ใช้ทั่วไปในการสร้างข้อคำถามสำหรับการค้นคืนเอกสารได้ ทั้งนี้สามารถแสดงการทำงานของระบบต้นแบบในส่วนนี้ได้ด้วยแผนภาพกิจกรรมดังรูปที่ 6.3

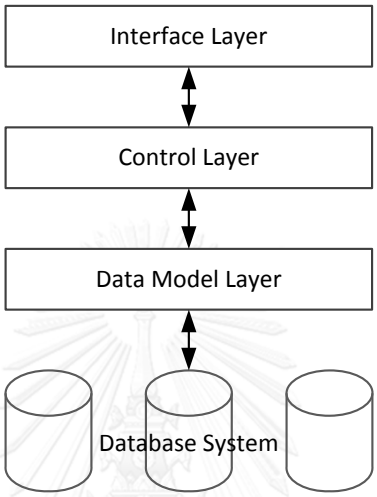


รูปที่ 6.3 แผนภาพกิจกรรมของส่วนการนำเข้าชีทเพลงสำหรับผู้ดูแลระบบ

6.3 การออกแบบและพัฒนาระบบต้นแบบ

6.3.1 สถาปัตยกรรมของระบบต้นแบบ

ในการสร้างระบบต้นแบบสำหรับงานวิจัยนี้ ได้ใช้สถาปัตยกรรมแบบหลายชั้น (Multi-Layer) ดังรูปที่ 6.4 ซึ่งประกอบด้วย 3 ชั้น



รูปที่ 6.4 สถาปัตยกรรมของระบบต้นแบบ

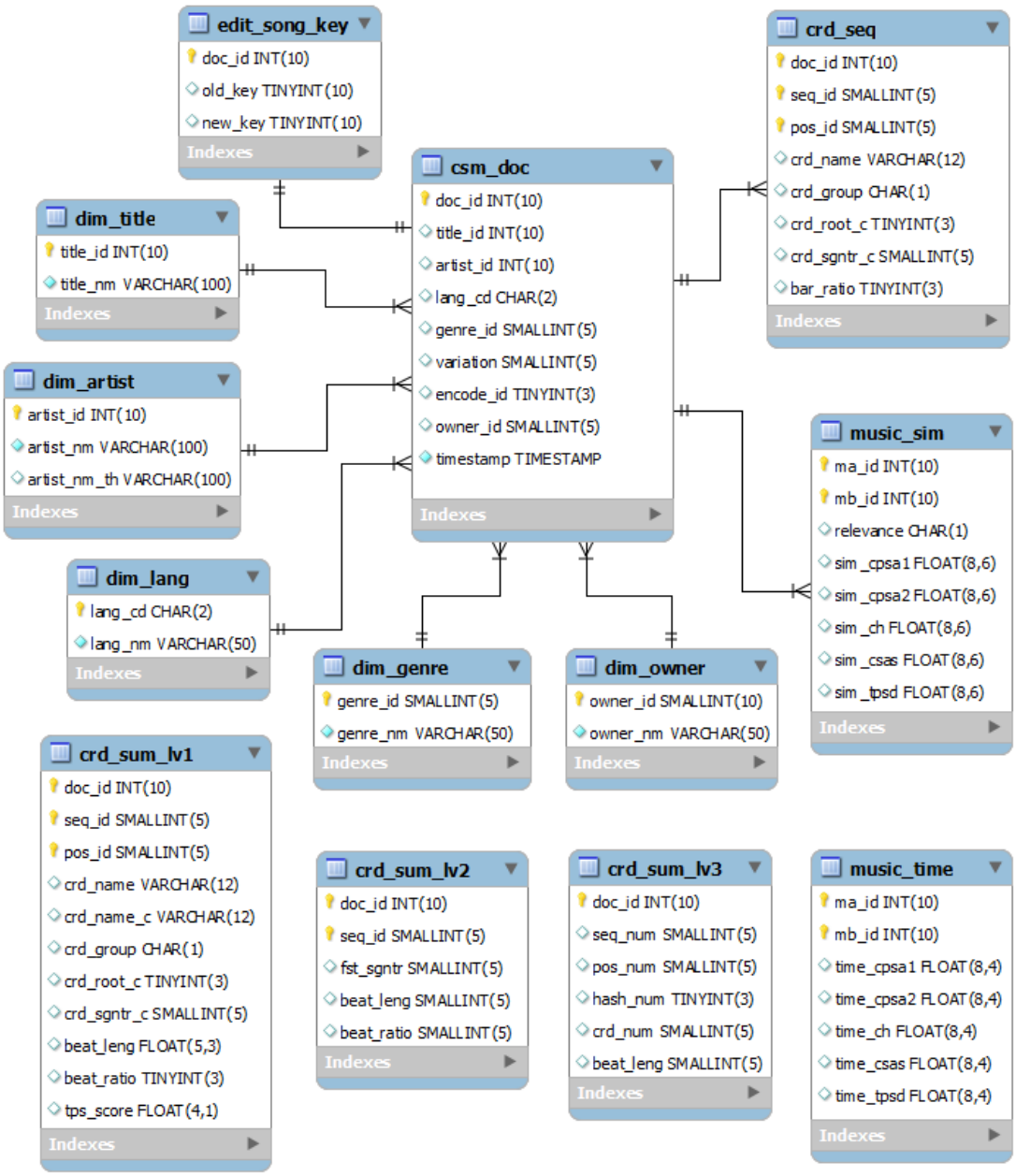
1) ชั้นส่วนต่อประสาน (Interface layer) คือ ส่วนต่อประสานผู้ใช้ที่คอยรับคำสั่งจากผู้ใช้ เช่น การค้นหาชีทเพลง หรือการนำเข้าชีทเพลง เป็นต้น และส่งข้อมูลคำสั่งไปยังชั้นควบคุมให้ประมวลผลและส่งข้อมูลผลลัพธ์จากระบบกลับมาแสดงผลที่ชั้นส่วนต่อประสานนี้ โดยชั้นส่วนต่อประสานมีหน้าที่ปรับรูปแบบการแสดงผลของข้อมูลผลลัพธ์ที่หน้าจอและคอยรับคำสั่งจากผู้ใช้ต่อไป

2) ชั้นควบคุม (Control layer) คือ ส่วนที่มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบ โดยมีการประมวลผลคำสั่งที่รับจากชั้นส่วนต่อประสานเพื่อนำมาจัดการและส่งคำสั่งต่อไปยังชั้นแบบจำลองข้อมูลเพื่อให้ดำเนินงานและส่งข้อมูลผลลัพธ์จากระบบตามที่ผู้ใช้ร้องขอกลับมายังชั้นควบคุม เพื่อนำไปแสดงผลในชั้นส่วนต่อประสานต่อไป ตัวอย่างเช่น การนำเข้าชีทเพลงทีละขั้นตอนนั้น ชั้นควบคุมจะคอยรับค่าพารามิเตอร์จากชั้นส่วนต่อประสานและรับข้อมูลจากชั้นแบบจำลองข้อมูล

3) ชั้นแบบจำลองข้อมูล (Data model layer) คือ ส่วนการทำงานของระบบ โดยมีหน้าที่ดำเนินงานเพื่อให้ได้ข้อมูลตามที่ผู้ใช้ร้อง เช่น รายการเพลงที่สอดคล้องกับข้อคำถาม รายการเพลงที่คล้ายกับเพลงที่เลือก ผลการวัดค่าความคล้ายระหว่างเอกสาร เป็นต้น ทั้งนี้ชั้นแบบจำลองข้อมูลเป็นส่วนที่สามารถสอบถามข้อมูลจากระบบฐานข้อมูลได้โดยตรง และประมวลข้อมูลตามวิธีการที่ได้กำหนดไว้ ในขณะนี้ชั้นควบคุมจะไม่ได้ดำเนินงานแต่จะคอยรับข้อมูลผลลัพธ์จากชั้นนี้อย่างเดียว

6.3.2 แบบจำลองข้อมูล

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองข้อมูลด้วยแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอนทิตี (Entities relationship diagram) ดังรูปที่ 6.5 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตารางที่อยู่ในฐานข้อมูล ซึ่งมีลักษณะแบบเค้าร่างดาว (Star schema) โดยมีคำอธิบายตารางดังตารางที่ 6.9



รูปที่ 6.5 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างเอนทิตีของตารางในฐานข้อมูล

ตารางที่ 6.9 คำอธิบายตารางของแต่ละตารางในฐานข้อมูล

ลำดับ	ชื่อตาราง	คำอธิบายตาราง
1	CSM_DOC	เป็นตารางข้อเท็จจริง (Fact table) ที่เก็บข้อมูลชีทเพลงในแต่ละรหัสเอกสาร (Document ID) โดยเก็บข้อมูลเป็นรหัสต่างๆ เพื่อเชื่อมโยงกับตารางเชิงมิติ (Dimensional tables) นอกจากนี้ยังเก็บข้อมูลลำดับการแปรผัน (Variation) ที่เป็นเพลงเดียวกันหรือมีรหัสชื่อเพลง (Title ID) เดียวกัน เพื่อใช้ในการทดลองด้วย
2	DIM_TITLE	เป็นตารางเชิงมิติสำหรับเก็บข้อมูลชื่อเพลง
3	DIM_ARTIST	เป็นตารางเชิงมิติสำหรับเก็บข้อมูลชื่อศิลปิน
4	DIM_LANG	เป็นตารางเชิงมิติสำหรับเก็บข้อมูลชื่อภาษา
5	DIM_GENRE	เป็นตารางเชิงมิติสำหรับเก็บข้อมูลชื่อแนวเพลง
6	DIM_OWNER	เป็นตารางเชิงมิติสำหรับเก็บข้อมูลชื่อเจ้าของเอกสารหรือแหล่งข้อมูลตามรายการที่แสดงในตารางที่ 5.1
7	EDIT_SONG_KEY	เป็นตารางข้อมูลกุญแจเสียงของเพลงในแต่ละเอกสาร
8	CRD_SEQ	เป็นตารางข้อมูลลำดับคอร์ดที่สกัดได้โดยตรงจากแต่ละเอกสาร ซึ่งเป็นตารางสำหรับพักข้อมูลก่อนที่จะสรุปข้อมูลในขั้นตอนต่อไป
9	CRD_SUM_LV1	เป็นตารางสรุปข้อมูลลำดับคอร์ดในระดับคอร์ด (Chord level) ตามที่ได้อธิบายในบทที่ 4 ซึ่งมีข้อมูลสรุปที่ใช้สำหรับการวัดค่าความคล้ายระหว่างคอร์ดของแต่ละวิธีการ
10	CRD_SUM_LV2	เป็นตารางสรุปข้อมูลลำดับคอร์ดในระดับท่อน (Segment level) ตามที่ได้อธิบายในบทที่ 4 ซึ่งใช้สำหรับการสรุปรวมค่าความคล้ายด้วยวิธีการที่นำเสนอ
11	CRD_SUM_LV3	เป็นตารางสรุปข้อมูลลำดับคอร์ดในระดับเพลง (Song level) ตามที่ได้อธิบายในบทที่ 4 ซึ่งใช้สำหรับการสรุปรวมค่าความคล้ายด้วยวิธีการที่นำเสนอ
12	MUSIC_SIM	เป็นตารางเก็บข้อมูลผลลัพธ์ของค่าความคล้ายระหว่างเอกสารทุกคู่ในระบบโดยแต่ละวิธีการ
13	MUSIC_TIME	เป็นตารางเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในการคำนวณค่าความคล้ายระหว่างเอกสารทุกคู่ในระบบโดยแต่ละวิธีการ

6.3.3 เครื่องมือสนับสนุนที่ใช้

ในงานวิจัยนี้ได้อาศัยเครื่องมือสนับสนุนต่างๆ ในการพัฒนาระบบต้นแบบ ซึ่งก็ใช้เป็นสิ่งแวดล้อมในการดำเนินการทดลองด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ประกอบด้วยส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ (Software) ที่มีรายละเอียดดังนี้

1) ฮาร์ดแวร์ที่ใช้
   - หน่วยประมวลผล (CPU) : อินเทล คอร์ (Intel Core) รุ่น i5-2450M ความเร็ว 2.50 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) แคช (Cache) ขนาด 3 เมกะไบต์ (MB) ชนิด L3
   - หน่วยความจำ (Memory) ขนาด 8 กิกะไบต์ (GB) ชนิด DDR3 ความเร็วบัส 1333 เมกะเฮิรตซ์ (MHz)
   - จานบันทึกแบบแข็ง (Harddisk) ขนาด 1 เทราไบต์ (TB)
   - การ์ดจอ (VGA) : เอเอ็มดี เรดิออน (AMD Radeon) รุ่น HD6490M ขนาด 1 กิกะไบต์ ชนิด DDR5

2) ซอฟต์แวร์ที่ใช้
   - ระบบปฏิบัติการ (Operating system) : ไมโครซอฟท์ (Microsoft) รุ่น Windows 7 Home Premium แบบ 64 บิต
   - เว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web server) : อะแพชี (Apache) เวอร์ชัน 2.2.8
   - ภาษาสคริปต์ (Script language) : พีเอชพี (PHP) เวอร์ชัน 5.2.6
   - ฐานข้อมูล (Database) : มายเอสคิวแอล (MySQL) เวอร์ชัน 5.1.51b
   - บราวเซอร์ (Browser) : อินเทอร์เน็ต เอกซ์โพลเรอร์ (Internet Explorer) เวอร์ชัน 11
   - โปรแกรม : ดรีมวีฟเวอร์ (Dreamweaver) รุ่น CS5.5 สำหรับการพัฒนาระบบ
   - โปรแกรม : มายเอสคิวแอล เวิร์กเบนช์ (MySQL Workbench) เวอร์ชัน 6.1 สำหรับการจัดการฐานข้อมูลมายเอสคิวแอลและสร้างแบบจำลองข้อมูล
   - โปรแกรม : ไมโครซอฟท์ เอ็กเซล (Microsoft Excel) สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองและประเมินวิธีการ
   - เฟรมเวิร์ก : โค้ด อิกไนเตอร์ (Code Igniter) เวอร์ชัน 2.2.0 สำหรับการพัฒนาระบบที่มีโครงสร้างแบบเอ็มวีซี (MVC) ซึ่งประกอบด้วยส่วนของโมเดล (Model) วิว (View) และคอนโทรลเลอร์ (Controller) ด้วยภาษาสคริปต์พีเอชพี

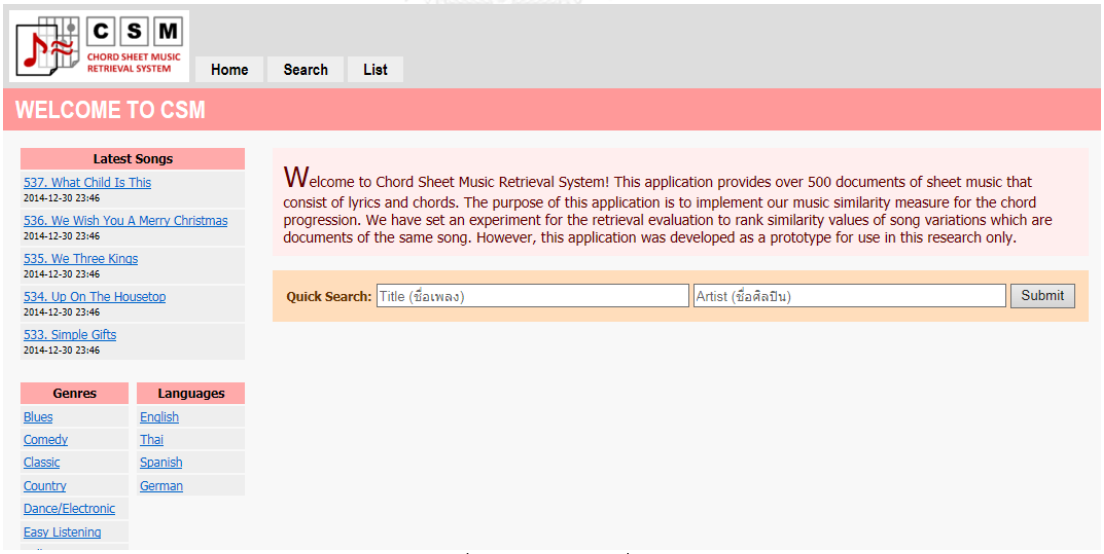
6.4 การออกแบบส่วนต่อประสานผู้ใช้

ในการพัฒนาระบบต้นแบบสำหรับงานวิจัยได้แบ่งส่วนการใช้งานสำหรับผู้ใช้ออกเป็น 2 บริบท ได้แก่ การค้นคืนชีทเพลง (CSM Retrieval, CSMR) และการนำเข้าชีทเพลง (CSM Upload, CSMU) สำหรับผู้ใช้ทั่วไปและผู้ดูแลระบบตามลำดับ โดยได้ออกแบบส่วนต่อประสานผู้ใช้ (User interface, UI) ที่สามารถอธิบายโดยแบ่งตามบริบทการใช้งานสำหรับผู้ใช้ได้ดังนี้

6.4.1 ส่วนต่อประสานผู้ใช้ของการค้นคืนชีทเพลง

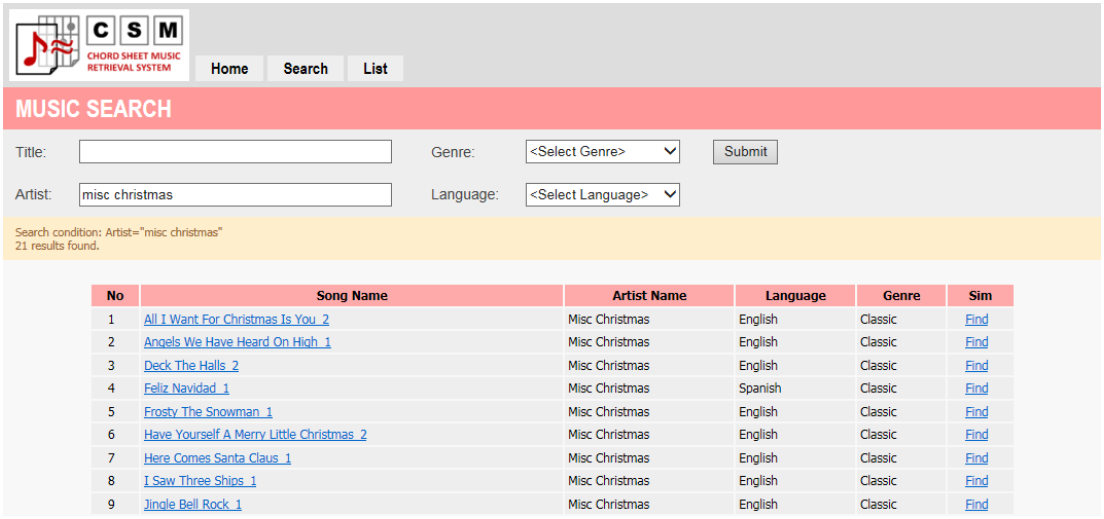
หน้าจอของส่วนต่อประสานผู้ใช้ในส่วนนี้มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยแถบเมนูที่อยู่ทางด้านบน ซึ่งมี 3 ปุ่ม ได้แก่ Home, Search, และ List โดยที่ผู้ใช้สามารถคลิกปุ่มที่แถบเมนูนี้ได้ตลอดเวลา และส่วนที่อยู่ถัดจากแถบเมนูลงมาคือส่วนแสดงผลหลักซึ่งอาจมีส่วนรับคำสั่งพิเศษอยู่ทางด้านซ้ายด้วย ทั้งนี้สามารถอธิบายตัวอย่างหน้าจอที่สำคัญได้ดังนี้

1) หน้าจอเริ่มต้น (UI_CSMR_Home) เป็นส่วนที่แสดงเมื่อมีการเข้าใช้งานระบบด้วยสิทธิ์ของผู้ใช้ทั่วไป โดยผู้ใช้สามารถเริ่มค้นหาเพลงตามเมตาดาตาซึ่งประกอบด้วยชื่อเพลง ชื่อศิลปิน แนวเพลง และภาษาได้ตั้งแต่ที่หน้าจอนี้ดังรูปที่ 6.6 ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถกลับมาที่หน้าจอนี้ได้ทันทีเมื่อคลิกปุ่ม Home ที่แถบเมนู



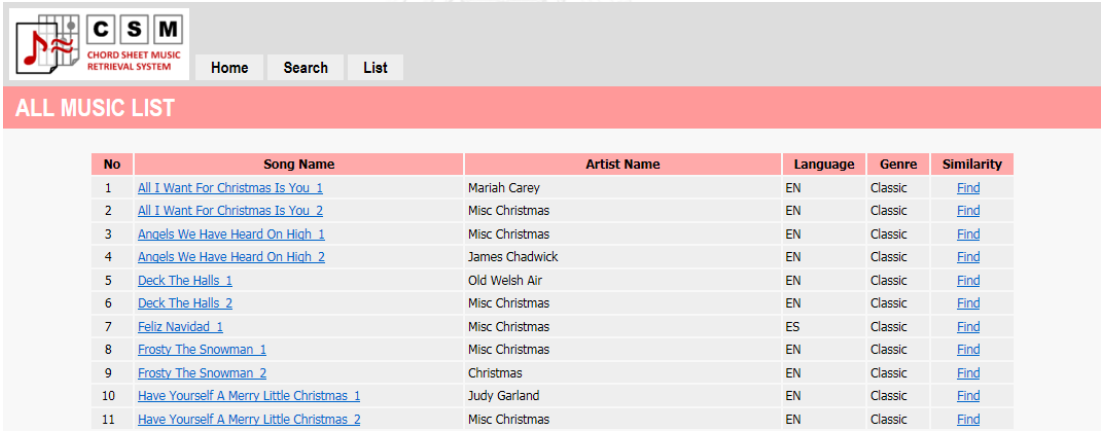
รูปที่ 6.6 หน้าจอเริ่มต้น

2) หน้าจอค้นหา (UI_CSMR_Search) เป็นส่วนที่แสดงฟอร์มในการรับข้อคำถามจากผู้ใช้เพื่อแสดงรายการเพลงที่เกี่ยวข้องดังรูปที่ 6.7 ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถกลับมาที่หน้าจอนี้ได้ทันทีเมื่อคลิกปุ่ม Search ที่แถบเมนู



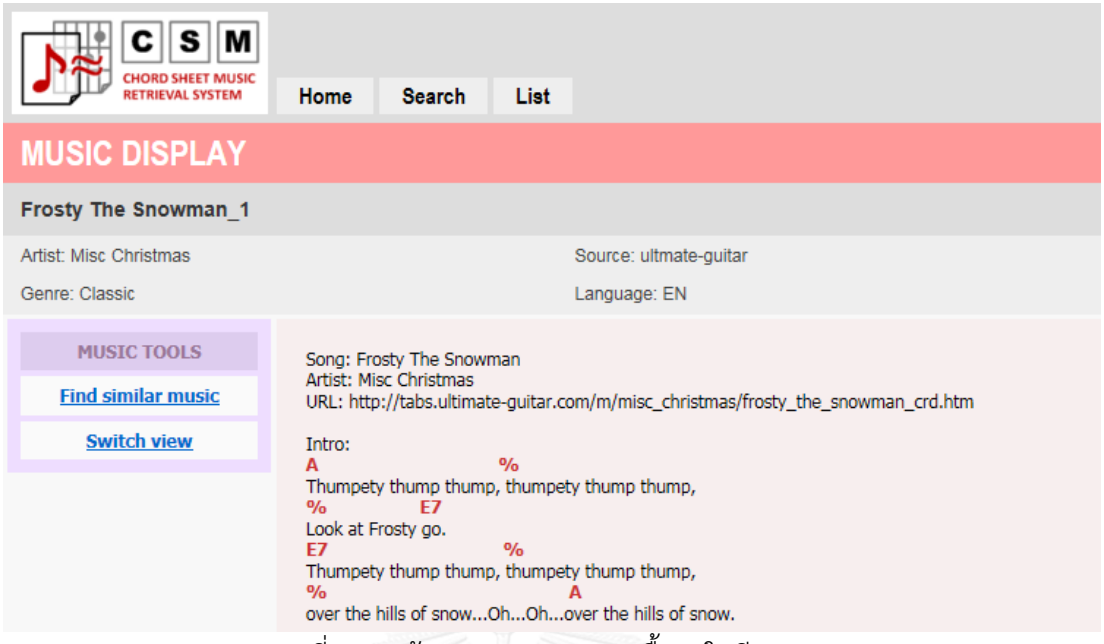
รูปที่ 6.7 หน้าจอค้นหา

3) หน้าจอแสดงลิสต์ (UI_CSMR_List) เป็นส่วนที่แสดงรายการเพลงทั้งหมดที่มีในระบบ โดยจัดอันดับตามรหัสเอกสารดังรูปที่ 6.8 ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถกลับมาที่หน้าจอนี้ได้ทันทีเมื่อคลิกปุ่ม List ที่แถบเมนู

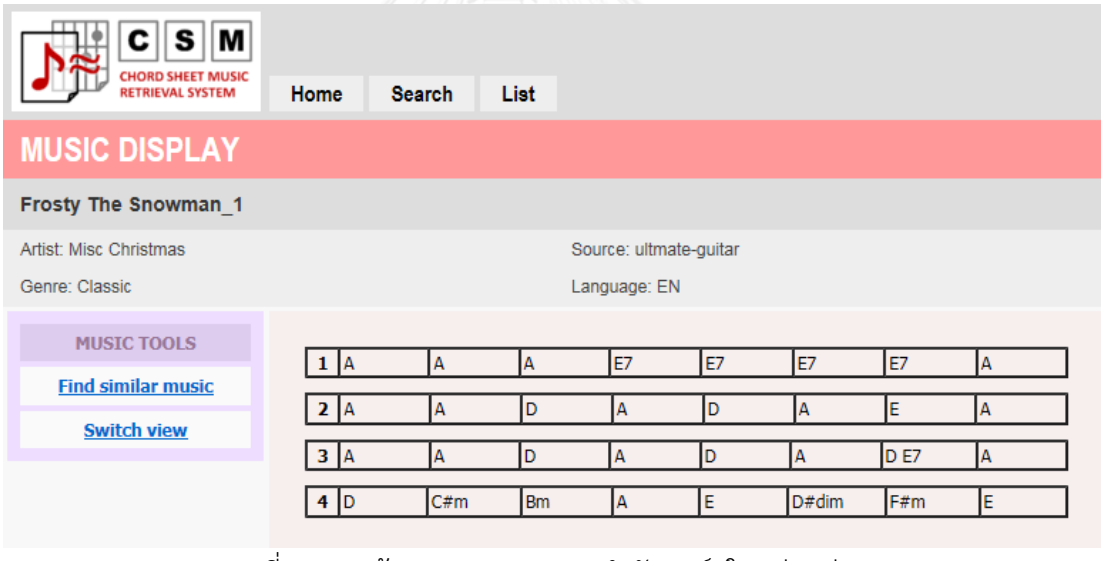


รูปที่ 6.8 หน้าจอแสดงลิสต์

4) หน้าจอแสดงเพลง (UI_CSMR_Display) เป็นส่วนที่แสดงเนื้อหาในชีทเพลงโดยแสดงได้ 2 มุมมอง เมื่อผู้ใช้คลิกปุ่ม Switch view ระบบจะสลับการแสดงข้อความและลำดับคอร์ดดังรูปที่ 6.9 และ 6.10 ตามลำดับ ทั้งนี้การเข้าสู่หน้าจอนี้ผู้ใช้ต้องคลิกเลือกเพลงใดเพลงหนึ่งจากหน้าที่แล้ว

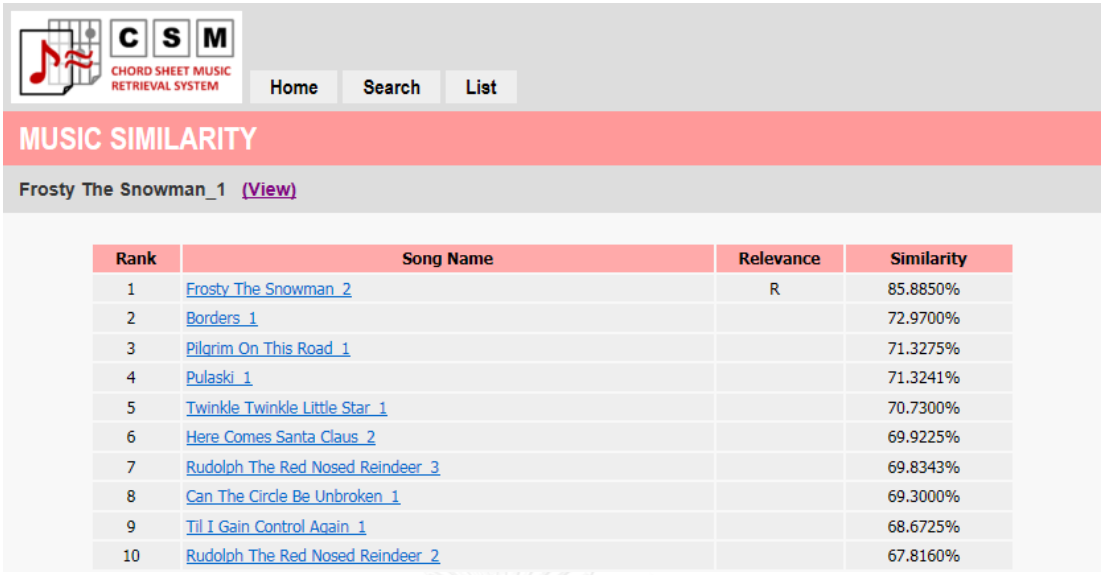


รูปที่ 6.9 หน้าจอแสดงเพลงตามเนื้อหาในชีทเพลง



รูปที่ 6.10 หน้าจอแสดงเพลงตามลำดับคอร์ดในแต่ละท่อน

5) หน้าจอแสดงการจัดอันดับความคล้าย (UI_CSMR_SimRank) เป็นส่วนที่แสดงรายการเพลงที่คล้ายกันกับเพลงที่เลือกโดยมีการจัดอันดับตามค่าความคล้ายระหว่างเอกสารดังรูปที่ 6.11 ทั้งนี้การเข้าสู่หน้าจอนี้ผู้ใช้ต้องคลิกที่คำสั่ง Find similar music จากหน้าที่แล้ว



รูปที่ 6.11 หน้าจอแสดงการจัดอันดับความคล้าย

6.4.2 ส่วนต่อประสานผู้ใช้ของการนำเข้าซีทเพลง

หน้าจอของส่วนต่อประสานผู้ใช้ในส่วนนี้เป็นการนำเข้าซีทเพลงตามขั้นตอนที่กำหนด ซึ่งมีตัวอย่างหน้าจอที่สำคัญดังนี้

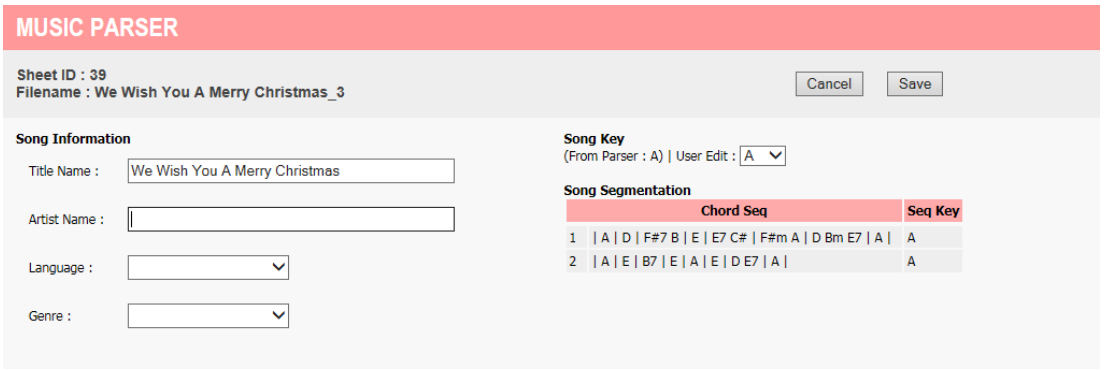
1) หน้าจอค้นดูซีทเพลง (UI_CSMU_Browse) เป็นส่วนที่แสดงรายการเอกสารในแฟ้มของผู้ใช้ที่ได้นำเข้าระบบไปแล้ว ซึ่งผู้ใช้จะต้องคลิกเลือกที่เอกสารใดเอกสารหนึ่งเพื่อนำเข้าระบบดังรูปที่ 6.12

รูปที่ 6.12 หน้าจอค้นดูเอกสาร

2) หน้าจอสกัดข้อมูล (UI_CSMU_Parse) เป็นส่วนที่แสดงผลการสกัดข้อมูลในเอกสาร เพื่อให้ได้เซตของลำดับคอร์ดตามการแบ่งท่อนของเพลงพร้อมกุญแจที่คำนวณได้ ผู้ใช้สามารถตรวจสอบผลที่หน้าจอนี้ได้ก่อนที่จะคลิก Next เพื่อดำเนินการในขั้นตอนถัดไป ดังรูปที่ 6.13

รูปที่ 6.13 หน้าจอสกัดข้อมูล

3) หน้าจอบันทึกข้อมูล (UI_CSMU_Entry) เป็นส่วนที่แสดงฟอร์มเพื่อให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลเมตาดาตาของเพลงและแก้ไขข้อมูลกุญแจเสียงหากพบว่าไม่ถูกต้องดังรูปที่ 6.14 ทั้งนี้หากผู้ใช้คลิก Save แล้วระบบจะบันทึกข้อมูลทั้งหมดในฐานข้อมูล จากนั้นจะสามารถกลับไปยังหน้าจอค้นดูเอกสารเพื่อนำเข้าเอกสารต่อไปได้ ทั้งนี้ข้อมูลลำดับคอร์ดจะถูกบรรจุในตาราง CRD_SEQ ในขั้นต้นเพื่อรอคำสั่งจากผู้ใช้ให้ประมวลข้อมูลในการวัดค่าความคล้ายของดนตรีในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 6.14 หน้าจอบันทึกข้อมูล

6.5 การทดสอบระบบต้นแบบ

ในการพัฒนาระบบต้นแบบตามแนวทางที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ก็ได้มีการทดสอบการทำงานของระบบเพื่อป้องกันข้อผิดพลาดของโปรแกรมที่อาจเกิดขึ้นได้ เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่แม่นยำเนื่องจากในงานวิจัยนี้ก็ได้ใช้ระบบต้นแบบนี้ในการเตรียมข้อมูลและประมวลข้อมูลเพื่อประเมินวิธีการวัดค่าความคล้ายที่นำเสนอด้วย ทั้งนี้ได้มีการทดสอบทั้ง 2 บริบท ได้แก่ การค้นคืนชีทเพลง (CSMR) และการนำเข้าชีทเพลง (CSMU) ที่แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) การทดสอบหน่วยย่อย (Unit testing, UNT) เป็นการทดสอบความถูกต้องของฟังก์ชันงานแต่ละหน่วยที่จะต้องเป็นส่วนหนึ่งในการทำงานของระบบ

2) การทดสอบบูรณาการ (Integration testing, INT) เป็นการทดสอบความถูกต้องเมื่อมีการทำงานร่วมกันระหว่างฟังก์ชัน

3) การทดสอบระบบ (System testing, SYT) เป็นการทดสอบความถูกต้องในการทำงานของระบบในมุมมองของผู้ใช้ หลังจากที่พัฒนาระบบเสร็จแล้ว

ทั้งนี้สามารถแสดงตัวอย่างกรณีทดสอบ (Test case, TC) ที่มีความสัมพันธ์กับบริบทและประเภทของการทดสอบได้ดังตารางที่ 6.10

ตารางที่ 6.10 รายการกรณีทดสอบ

ลำดับ	ชื่อกรณีทดสอบ	รหัส	บริบท	ประเภท
1	การวิเคราะห์คอร์ด	TC_UNT01	CSMU	UNT
2	การแยกคำสำคัญในข้อความ	TC_UNT02		
3	การค้นหาเอกสารจากข้อคำถาม	TC_UNT03	CSMR	
4	การแสดงเนื้อหาในเอกสาร	TC_UNT04		
5	การสกัดข้อมูลลำดับคอร์ดในชีทเพลง	TC_INT01	CSMU	INT
6	การค้นหาและแสดงชีทเพลง	TC_INT02	CSMR	
7	การนำเข้าชีทเพลงในระบบ	TC_SYT01	CSMU	SYT
8	การแสดงอันดับความคล้ายระหว่างเพลงในระบบ	TC_SYT02	CSMR	

6.5.1 การทดสอบหน่วยย่อย

ในส่วนนี้มีตัวอย่างการทดสอบทั้งหมด 4 กรณีทดสอบ ดังตารางที่ 6.11 ถึง 6.14

ตารางที่ 6.11 กรณีทดสอบของการวิเคราะห์คอร์ด

ชื่อกรณีทดสอบ: การวิเคราะห์คอร์ด	**รหัส:** TC_UNT01
วัตถุประสงค์: เพื่อทดสอบฟังก์ชันการวิเคราะห์คอร์ด	
ข้อมูลนำเข้า: - คำที่เป็นคอร์ด	**ข้อมูลนำออก:** - รายงานการวิเคราะห์คอร์ด
ขั้นตอนการทำงาน: 1. นำเข้าตัวอย่างคำที่เป็นคอร์ด 2. วิเคราะห์ส่วนประกอบทางสัญลักษณ์เพื่อให้ได้โน้ตฐาน โน้ตเบส และชนิดของคอร์ด 3. แปลความหมายคอร์ดเพื่อสร้างเซตของพิทช์คลาสของคอร์ด 4. สร้างรหัสแฟ้มลายเซ็นของคอร์ด 5. แสดงข้อมูลผลลัพธ์ของส่วนประกอบทางดนตรีทั้งหมดในรายงานการวิเคราะห์คอร์ด	
ผลลัพธ์ที่คาดหวัง: ได้รายงานการวิเคราะห์คอร์ดที่ถูกต้องตามทฤษฎีดนตรี	
ผลลัพธ์ที่ได้: เป็นไปตามผลลัพธ์ที่คาดหวัง	**สรุปผลการทดสอบ:** (√) ผ่าน ( ) ไม่ผ่าน

ตารางที่ 6.12 กรณีทดสอบของการแยกคำสำคัญในข้อความ

ชื่อกรณีทดสอบ: การแยกคำสำคัญในข้อความ	**รหัส:** TC_UNT02
วัตถุประสงค์: เพื่อทดสอบฟังก์ชันการแยกคำสำคัญที่เป็นข้อมูลดนตรีในข้อความ	
ข้อมูลนำเข้า: - บรรทัดของข้อความในเอกสาร	**ข้อมูลนำออก:** - ข้อความของลำดับคอร์ด
ขั้นตอนการทำงาน: 1. นำเข้าตัวอย่างข้อความจากแต่ละบรรทัดในเอกสาร 2. รวบรวมคอร์ดและสัญกรณ์จังหวะ 3. แปลความหมายสัญกรณ์จังหวะเพื่อสร้างอาร์เรย์ของคอร์ดตามข้อมูลจังหวะ 4. แสดงผลลัพธ์ในรูปแบบข้อความของลำดับคอร์ด	
ผลลัพธ์ที่คาดหวัง: ได้หรือไม่ได้ข้อความของลำดับคอร์ดตามที่ระบุในข้อความในบรรทัด	
ผลลัพธ์ที่ได้: เป็นไปตามผลลัพธ์ที่คาดหวัง	**สรุปผลการทดสอบ:** (√) ผ่าน ( ) ไม่ผ่าน

ตารางที่ 6.13 กรณีทดสอบของการค้นหาเอกสารจากข้อคำถาม

ชื่อกรณีทดสอบ: การค้นหาเอกสารจากข้อคำถาม	**รหัส:** TC_UNT03
วัตถุประสงค์: เพื่อทดสอบฟังก์ชันการค้นคืนเพลงตามข้อคำถามที่สร้างจากเมตาดาตา	
ข้อมูลนำเข้า: - ข้อมูลเพลงในฐานข้อมูล - ข้อคำถาม	**ข้อมูลนำออก:** - รายการเพลง
ขั้นตอนการทำงาน: 1. รับข้อคำถามที่สร้างจากเมตาดาตาในเรื่องของชื่อเพลง ชื่อศิลปิน แนวเพลง และภาษา 2. แสดงผลลัพธ์ของรายการเพลงจากฐานข้อมูล	
ผลลัพธ์ที่คาดหวัง: ได้หรือไม่ได้รายการเพลงตามที่ระบุในข้อคำถาม	
ผลลัพธ์ที่ได้: เป็นไปตามผลลัพธ์ที่คาดหวัง	**สรุปผลการทดสอบ:** (√) ผ่าน ( ) ไม่ผ่าน

ตารางที่ 6.14 กรณีทดสอบของการแสดงเนื้อหาในเอกสาร

ชื่อกรณีทดสอบ: การแสดงเนื้อหาในเอกสาร	**รหัส:** TC_UNT04
วัตถุประสงค์: เพื่อทดสอบฟังก์ชันการแสดงข้อความและการจัดรูปแบบในแต่ละบรรทัดจากเอกสาร	
ข้อมูลนำเข้า: - รหัสเอกสาร - เซตของไฟล์ข้อความชีทเพลง - เซตของไฟล์ที่ระบุชนิดของบรรทัด	**ข้อมูลนำออก:** - ข้อความในชีทเพลง
ขั้นตอนการทำงาน: 1. รับรหัสเอกสาร 2. แสดงชีทเพลงโดยใช้เซตของไฟล์ที่เตรียมไว้	
ผลลัพธ์ที่คาดหวัง: ได้ข้อความในแต่ละบรรทัดของชีทเพลงที่มีการแยกสีระหว่างบรรทัดที่มีคอร์ดหรือเนื้อเพลง	
ผลลัพธ์ที่ได้: เป็นไปตามผลลัพธ์ที่คาดหวัง	**สรุปผลการทดสอบ:** (√) ผ่าน ( ) ไม่ผ่าน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.5.2 การทดสอบบูรณาการ

ในส่วนนี้มีตัวอย่างการทดสอบทั้งหมด 2 กรณีทดสอบ ดังตารางที่ 6.15 และ 6.16

ตารางที่ 6.15 กรณีทดสอบของการสกัดข้อมูลลำดับคอร์ดในชีทเพลง

ชื่อกรณีทดสอบ: การสกัดข้อมูลลำดับคอร์ดในชีทเพลง	**รหัส:** TC_INT01
วัตถุประสงค์: เพื่อทดสอบฟังก์ชันการสกัดข้อมูลเซตของลำดับคอร์ด	
ข้อมูลนำเข้า: - ชีทเพลง	**ข้อมูลนำออก:** - ข้อมูลเซตของลำดับคอร์ด
ขั้นตอนการทำงาน: 1. นำเข้าไฟล์ข้อความของชีทเพลง 2. ดำเนินการแยกคำสำคัญในข้อความเพื่อสร้างเซตของลำดับคอร์ด 3. ดำเนินการวิเคราะห์คอร์ดเพื่อให้ทราบข้อมูลคอร์ดในลำดับคอร์ด 4. ดำเนินการหากุญแจเสียงของเพลงเพื่อเปลี่ยนกุญแจเสียงให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกัน 5. แสดงเซตของลำดับคอร์ดที่เป็นบรรทัดฐานเดียวกัน	
ผลลัพธ์ที่คาดหวัง: ได้ข้อมูลเซตของลำดับคอร์ดตามที่ระบุในชีทเพลง	
ผลลัพธ์ที่ได้: เป็นไปตามผลลัพธ์ที่คาดหวัง	**สรุปผลการทดสอบ:** (√) ผ่าน ( ) ไม่ผ่าน

ตารางที่ 6.16 กรณีทดสอบของการค้นหาและแสดงชีทเพลง

ชื่อกรณีทดสอบ: การค้นหาและแสดงชีทเพลง	**รหัส:** TC_INT02
วัตถุประสงค์: เพื่อทดสอบการเชื่อมโยงของฟังก์ชันการค้นหาและแสดงชีทเพลง	
ข้อมูลนำเข้า: - ข้อคำถาม - ข้อมูลเพลงในฐานข้อมูล - ไฟล์เอกสารในระบบ	**ข้อมูลนำออก:** - ข้อความในชีทเพลง
ขั้นตอนการทำงาน: 1. ดำเนินการค้นหาเอกสารจากข้อคำถาม 2. ดำเนินการแสดงชีทเพลงจากการเลือกเพลงในรายการ	
ผลลัพธ์ที่คาดหวัง: การแสดงชีทเพลงสามารถทำได้จากการเลือกเพลงในรายการ	
ผลลัพธ์ที่ได้: เป็นไปตามผลลัพธ์ที่คาดหวัง	**สรุปผลการทดสอบ:** (√) ผ่าน ( ) ไม่ผ่าน

6.5.3 การทดสอบระบบ

ในส่วนนี้มีตัวอย่างการทดสอบทั้งหมด 2 กรณีทดสอบ ดังตารางที่ 6.17 และ 6.18

ตารางที่ 6.17 กรณีทดสอบของการนำเข้าชีทเพลงในระบบ

<table>
<tr><td colspan="2">ชื่อกรณีทดสอบ: การนำเข้าชีทเพลงในระบบ</td><td>รหัส: TC_SYT01</td></tr>
<tr><td colspan="3">วัตถุประสงค์: เพื่อทดสอบการใช้งานของระบบในการนำเข้าชีทเพลงและจัดเก็บข้อมูลลำดับคอร์ดและกุญแจเสียงในฐานข้อมูล</td></tr>
<tr><td colspan="2">ข้อมูลนำเข้า:
- ชีทเพลง</td><td>ข้อมูลนำออก:
- ข้อมูลในตาราง CRD_SEQ
- ข้อมูลในตาราง EDIT_SONG_KEY</td></tr>
<tr><td colspan="3">ขั้นตอนการทำงาน:
1. โอนไฟล์ชีทเพลงไปยังแฟ้มของผู้ใช้
2. เข้าสู่ระบบด้วยสิทธิ์ของผู้ดูแลระบบ
3. เลือกแฟ้มของผู้ใช้แล้วคลิกปุ่ม OK
4. กำหนดรหัสเอกสาร
5. คลิกเพลงที่ต้องการนำเข้าเพื่อไปยังหน้าจอสกัดข้อมูล
6. คลิกปุ่ม NEXT เพื่อไปยังหน้าจอกรอกข้อมูล
7. คลิกปุ่ม SAVE เพื่อบันทึกข้อมูลลำดับคอร์ดและกุญแจเสียงในตาราง CRD_SEQ และ EDIT_SONG_KEY ตามลำดับ</td></tr>
<tr><td colspan="3">ผลลัพธ์ที่คาดหวัง: ระบบจัดเก็บข้อมูลลำดับคอร์ดและกุญแจเสียงในฐานข้อมูลได้ถูกต้อง</td></tr>
<tr><td colspan="2">ผลลัพธ์ที่ได้: เป็นไปตามผลลัพธ์ที่คาดหวัง</td><td>สรุปผลการทดสอบ: (√) ผ่าน ( ) ไม่ผ่าน</td></tr>
</table>

ตารางที่ 6.18 กรณีทดสอบของการแสดงอันดับความคล้ายระหว่างเพลงในระบบ

<table>
<tr><td colspan="2">ชื่อกรณีทดสอบ: การแสดงอันดับความคล้ายระหว่างเพลงในระบบ</td><td>รหัส: TC_SYT02</td></tr>
<tr><td colspan="3">วัตถุประสงค์: เพื่อทดสอบการใช้งานของระบบในการแสดงอันดับความคล้ายระหว่างเพลงที่ผู้ใช้เลือกกับเพลงที่มีในระบบ</td></tr>
<tr><td colspan="2">ข้อมูลนำเข้า:
- ข้อมูลในตาราง CSM_DOC, DIM_TITLE, DIM_ARTIST, DIM_GENRE, DIM_LANG และ MUSIC_SIM
- ไฟล์เอกสารในระบบ</td><td>ข้อมูลนำออก:
- รายการเพลงที่คล้ายกับเพลงที่เลือก</td></tr>
<tr><td colspan="3">ขั้นตอนการทำงาน:
1. เข้าสู่ระบบด้วยสิทธิ์ของผู้ใช้ทั่วไป
2. คลิกปุ่ม List ที่แถบเมนู
3. คลิกเพลงใดเพลงหนึ่งในรายการ
4. คลิกปุ่ม Find similar music</td></tr>
<tr><td colspan="3">ผลลัพธ์ที่คาดหวัง: ระบบแสดงอันดับความคล้ายระหว่างเพลงที่ผู้ใช้เลือกกับเพลงที่มีในระบบได้ถูกต้อง</td></tr>
<tr><td colspan="2">ผลลัพธ์ที่ได้: เป็นไปตามผลลัพธ์ที่คาดหวัง</td><td>สรุปผลการทดสอบ: (√) ผ่าน ( ) ไม่ผ่าน</td></tr>
</table>

บทที่ 7
สรุปผลการวิจัย

บทสุดท้ายนี้จะเป็นการสรุปผลการวิจัยซึ่งจะกล่าวถึงสิ่งที่ได้นำเสนอและผลสรุปของการทดลอง นอกจากนี้จะกล่าวถึงข้อจำกัดการวิจัย ข้อเสนอแนะ งานวิจัยในอนาคต และบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

7.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการวัดค่าความคล้ายของดนตรีในชีทเพลง โดยอาศัยข้อมูลลำดับคอร์ดที่ระบุในเอกสาร เพื่อนำไปใช้ในระบบค้นคืนชีทเพลงให้มีความสามารถในการค้นหาเพลงที่มีการดำเนินคอร์ดที่คล้ายกันได้ ซึ่งการที่จะทำให้ระบบมีความสามารถดังกล่าวนั้นก็ต้องมีการจัดเก็บข้อมูลค่าความคล้ายที่คำนวณได้จากการเปรียบเทียบลำดับคอร์ดที่สกัดได้จากเอกสาร ดังนั้นจึงได้แบ่งวิธีการที่นำเสนอเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1) การนำเข้าชีทเพลง

เนื่องจากเอกสารชนิดนี้ไม่ได้มีรูปแบบการเขียนที่ตายตัว ในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอกฎการปรับข้อความในเอกสารเพื่อให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกัน และยังได้เสนอการใช้สัญกรณ์จังหวะเพื่อให้สามารถระบุข้อมูลจังหวะที่สมบูรณ์ในเอกสารได้ จากนั้นก็ต้องมีการสกัดข้อมูลลำดับคอร์ดจากเอกสารซึ่งต้องแยกคำที่เป็นคอร์ดพร้อมทั้งแปลความหมายคอร์ด เพื่อให้สามารถหากุญแจเสียงและทำให้ลำดับคอร์ดอยู่ในบรรทัดฐานเดียวกันในการเปรียบเทียบได้ งานวิจัยนี้จึงได้เสนอต้นไม้อักขระของคอร์ดและชุดคำสั่งดำเนินการแปลความหมายคอร์ดจากการประยุกต์แบบรูปอินเทอร์พรีเตอร์ให้เข้ากับบริบทของดนตรี นอกจากนี้ยังได้เสนอแนวคิดในการหากุญแจเสียงของเพลงอีกด้วย

2) การเตรียมข้อมูลลำดับคอร์ดเพื่อการเปรียบเทียบ

ในงานวิจัยนี้ได้อาศัยกระบวนการอีทีแอลในการจัดการข้อมูลลำดับคอร์ดในฐานข้อมูลเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบลำดับคอร์ดได้ และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเปรียบเทียบจึงได้มีการใช้ตารางสรุปสำหรับเก็บข้อมูลผลรวมของจำนวนคอร์ดและความยาวของลำดับคอร์ด นอกจากนี้ยังได้ประยุกต์ใช้การเข้ารหัสแฟ้มลายเซ็นเพื่อจัดเก็บข้อมูลคอร์ดที่ได้จากการแปลความหมายให้ครบถ้วนได้ ซึ่งจะส่งผลให้การวัดความคล้ายระหว่างคอร์ดมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากข้อมูลคอร์ดจะอยู่ในรูปแบบเลขฐานสองและสามารถเปรียบเทียบตำแหน่งบิตได้โดยตรงเมื่อมีการวัดค่าความคล้ายคลึงระหว่างคอร์ดด้วยวิธีการที่นำเสนอ

3) การวัดค่าความคล้ายของดนตรี

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการวัดค่าความคล้ายออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับคอร์ด ระดับท่อน และระดับเพลง โดยเริ่มจากการวัดค่าความคล้ายคลึงระหว่างคอร์ด แล้วจึงหาผลรวมของค่าความคล้ายของการเปรียบลำดับคอร์ดระหว่างท่อน จากนั้นจึงหาผลรวมของค่าความคล้ายระดับเพลงในที่สุด ทั้งนี้ในวิธีการที่นำเสนอยังสามารถวัดค่าความคล้ายได้ 2 กรณี ทั้งแบบที่มีข้อมูลจังหวะและไม่มีข้อมูลจังหวะ

จากผลการทดลองเมื่อนำวิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับคอร์ดฮิสโตแกรมซึ่งเป็นวิธีการดั้งเดิมสำหรับกรณีที่เอกสารไม่มีข้อมูลจังหวะ พบว่าวิธีการที่นำเสนอมีความแม่นยำมากกว่าโดยคิดเป็นร้อยละ 53.97 ในขณะที่วิธีการดั้งเดิมใช้เวลาน้อยกว่า จึงสรุปได้ว่าการพิจารณาคอร์ดที่เป็นลำดับและการแบ่งท่อนของเพลงเป็นปัจจัยที่ช่วยให้การวัดความคล้ายมีความแม่นยำมากขึ้น

นอกจากนี้ยังได้มีการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะและไม่มีข้อมูลจังหวะ ซึ่งพบว่าได้ความแม่นยำเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 32.12 เมื่อให้ข้อมูลจังหวะกับเอกสารและเวลาที่ก็ใช้ก็ไม่ต่างกันมากด้วย ทั้งนี้แม้ว่าการมีข้อมูลจังหวะจะทำให้ต้องมีการขยายขนาดอาร์เรย์ที่จะเปรียบเทียบ แต่ก็สามารถชดเชยเวลากับการลดจำนวนวงวนในการคำนวณค่าความคล้ายได้ จึงสรุปได้ว่าข้อมูลจังหวะก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการวัดความคล้ายได้โดยไม่ทำให้ประสิทธิภาพลดลงด้วย

ยิ่งไปกว่านั้น จากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับซีเอสเอเอสและทีพีเอสดีในกรณีที่มีข้อมูลจังหวะ พบว่าได้ความแม่นยำที่ใกล้เคียงกับซีเอสเอเอสโดยมีความแม่นยำเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 2.26 โดยที่ซีเอสเอเอสนั้นเป็นวิธีการที่เด่นในเรื่องประสิทธิผล และในขณะเดียวก็ใช้เวลาใกล้เคียงกับทีพีเอสดีโดยใช้เวลาน้อยลงคิดเป็นร้อยละ 3.05 โดยที่ซีเอสเอเอสนั้นเป็นวิธีการที่เด่นในเรื่องประสิทธิภาพ จึงสรุปได้ว่าการทำดัชนีแฟ้มลายเซ็นที่เหมาะสมกับข้อมูลดนตรีจะส่งผลต่อคุณภาพในการวัดค่าความคล้ายของดนตรีได้ทั้งในเรื่องของประสิทธิภาพและประสิทธิผล

อย่างไรก็ตาม วิธีการที่นำเสนอนั้นยังต้องอาศัยการเตรียมข้อมูลลำดับคอร์ดด้วยตารางสรุปเพื่อให้สามารถคำนวณค่าความคล้ายของดนตรีได้ทั้ง 3 ระดับ ได้แก่ ระดับคอร์ด ระดับท่อน และระดับเพลง ซึ่งแม้ว่าการเตรียมข้อมูลดังกล่าวจะส่งผลให้การคำนวณมีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ แต่ก็ต้องอาศัยพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลมากขึ้น และก็ต้องใช้ระยะเวลาดำเนินงานมากขึ้นเพื่อเตรียมข้อมูลดังกล่าวด้วยเช่นกัน

7.2 ข้อจำกัดการวิจัย

1) เอกสารชีทเพลงที่ใช้ต้องมีข้อมูลดนตรีที่ถูกต้องและครบถ้วน ซึ่งต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเพื่อพิจารณาและคัดเลือกเอกสารเพื่อนำมาใช้เป็นหน่วยทดลองสำหรับการวิจัย อย่างไรก็ตามความถูกต้องและครบถ้วนของข้อมูลดนตรีนั้นอาจวัดได้ยาก แต่ก็ยังมีแนวทางอื่นในการคัดเลือกเอกสารได้ เช่น การวัดจากคะแนนความเห็นของผู้ใช้ที่เรียกดูเอกสาร เป็นต้น

2) การแบ่งท่อนของเพลงให้ถูกต้องนั้นยังไม่สามารถกำหนดได้อย่างแน่ชัด ซึ่งส่งผลต่อความแม่นยำในการวัดค่าความคล้ายได้หากในเพลงที่มีการแปรผันได้มีการแบ่งท่อนที่ต่างกัน ทั้งนี้ยังต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเพื่อพิจารณาการแบ่งท่อนหรือคัดเลือกเอกสารที่มีการแบ่งท่อนอย่างเหมาะสม

3) ถึงแม้ว่าข้อมูลจังหวะจะช่วยให้การวัดความคล้ายดีขึ้นทั้งด้านประสิทธิภาพและประสิทธิผล แต่การกำหนดข้อมูลจังหวะในชีทเพลงด้วยสัญกรณ์จังหวะก็ยังต้องทำด้วยมือ ซึ่งต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการกำหนดข้อมูลจังหวะหรือหาแหล่งข้อมูลที่ให้ข้อมูลจังหวะในเอกสารมาด้วย

7.3 ข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองในเชิงลึกพบว่ายังมีแนวทางในการปรับปรุงวิธีการที่นำเสนอให้มีประสิทธิภาพหรือประสิทธิผลมากขึ้นได้ดังนี้

1) ในการจับคู่เปรียบเทียบลำดับคอร์ดนั้น หากมีการจับคู่เปรียบเทียบที่เหมาะสมจะสามารถพัฒนาทั้งด้านประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการวัดค่าความคล้ายได้ ทั้งนี้อาจต้องมีการทดลองเพื่อค้นหาเงื่อนไขข้ามการคำนวณที่เหมาะสมยิ่งขึ้น เนื่องจากเงื่อนไขข้ามการคำนวณในกรณีที่ความยาวของลำดับคอร์ดทั้งสองต่างกันเกินสองเท่านั้นยังพบว่าไม่ถูกต้องในบางกรณีหรือมีการข้ามการเปรียบเทียบลำดับคอร์ดในคู่ที่ควรเปรียบเทียบไป

2) ในการหาผลรวมของค่าความคล้ายระดับเพลงซึ่งเป็นระดับสุดท้ายนั้น อาจยังมีวิธีการเลือกขั้วหรือการหาผลรวมที่เหมาะสมกว่า ทั้งนี้อาจต้องมีการทดลองเพื่อค้นหาเงื่อนไขในการเลือกขั้วที่เหมาะสมยิ่งขึ้น หรือค้นหาลำดับของค่าสรุปที่เหมาะสมที่จะช่วยให้ผลรวมของค่าความคล้ายสูงขึ้นสำหรับเอกสารที่แปรผันจากเพลงเดียวกัน

3) ในการแบ่งท่อนของเพลงซึ่งได้กำหนดมาแล้วในเอกสารนั้น ควรมีการสร้างกฎการแบ่งท่อนที่แน่นอนเพื่อให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกัน เช่น มีการกำหนดให้ระบบแบ่งย่อยลำดับคอร์ดเพื่อให้มีความยาวจังหวะเท่ากับ 8 เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อลดภาระของผู้เชี่ยวชาญในการพิจารณาการแบ่งท่อน หรือใช้รองรับกรณีที่พบการแบ่งท่อนที่ต่างกันซึ่งส่งผลให้ค่าความคล้ายเปลี่ยนได้

7.4 งานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยนี้ยังสามารถพัฒนาต่อยอดได้เพื่อให้สามารถนำวิธีการที่นำเสนอไปทำให้เกิดผลได้ในระบบค้นคืนชีทเพลงที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งนี้ยังมีประเด็นสำหรับการทำวิจัยในอนาคตดังนี้

1) การเตรียมเอกสารแบบอัตโนมัติ

เนื่องจากการทำให้เกิดผลสำหรับวิธีการวัดค่าความคล้ายของลำดับคอร์ดในชีทเพลงที่อาจมีจำนวนมากในระบบนั้น ควรลดขั้นตอนการเตรียมเอกสารด้วยมือให้ได้มากที่สุด จึงควรมีการดำเนินการปรับข้อความในเอกสารให้เป็นแบบอัตโนมัติเพื่อให้ระบบสามารถสกัดข้อมูลลำดับคอร์ดจากเอกสารได้โดยตรง ทั้งนี้ควรเพิ่มระเบียบวิธีในการจัดแบ่งท่อนของเพลงโดยไม่อาศัยการเว้นบรรทัดในเอกสาร และควรเพิ่มกระบวนการในการเพิ่มข้อมูลจังหวะในเอกสารแบบอัตโนมัติ โดยอาจมีการสกัดข้อมูลจังหวะจากไฟล์เสียงของเพลง เป็นต้น

2) การทำดัชนีแฟ้มลายเซ็นสำหรับการค้นคืน

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้อาศัยการออกแบบแฟ้มลายเซ็นของคอร์ดเพื่อใช้สำหรับการวัดค่าความคล้ายระหว่างคอร์ดเท่านั้น โดยยังต้องมีการเปรียบเทียบลำดับคอร์ดหรือเอกสารทุกคู่ ซึ่งการที่จะทำให้การค้นคืนมีประสิทธิภาพสำหรับคลังข้อมูลที่มีชีทเพลงจำนวนมากนั้น ควรมีการทำดัชนีแฟ้มลายเซ็นสำหรับลำดับคอร์ดหรือชีทเพลงแต่ละเอกสารด้วย เพื่อให้สามารถลดระยะเวลาดำเนินงานได้ด้วยการคัดเลือกการเปรียบเทียบที่เหมาะสมจากดัชนีแฟ้มลายเซ็น ซึ่งจะต้องมีการออกแบบแฟ้มลายเซ็นที่เหมาะสมกับบริบทของลำดับคอร์ดต่อไป

7.5 บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

1) หัวเรื่อง “A Music Similarity Measure Based on Chord Progression and Song Segmentation Analysis” โดย ชัยทรัพย์ วงศาโรจน์, นครทิพย์ พร้อมพูล และ อรรถสิทธิ์ สุรฤกษ์ ในบันทึกการประชุม “4th International Conference on Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP 2014)” ซึ่งจัดขึ้น ณ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย จังหวัดกรุงเทพฯ ประเทศไทย ระหว่างวันที่ 6-8 พฤษภาคม พ.ศ. 2557

2) หัวเรื่อง “Using Beat Notation for Enhancement of Chord Sheet Music Document Similarity” โดย ชัยทรัพย์ วงศาโรจน์, นครทิพย์ พร้อมพูล และ อรรถสิทธิ์ สุรฤกษ์ ในบันทึกการประชุม “6th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS 2015)” ซึ่งจัดขึ้น ณ “China Hall of Science and Technology” กรุงปักกิ่ง ประเทศจีน ระหว่างวันที่ 23-25 กันยายน พ.ศ. 2558

รายการอ้างอิง

[1] N. Corthaut, S. Govaerts, K. Verbert, and E. Duval. Connecting the dots: Music metadata generation, schemas and applications. International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR), pp. 249-254, 2008.

[2] S. Jun, B. J. Han, and E. Hwang. A similar music retrieval scheme based on musical mood variation. Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems (ACIIDS), pp. 167-172, 2009.

[3] E. Aiba, K. Tobitani, T. Shimotomai, M. Tani, N. Nagata, and T. X. Fujisawa. Chord character evaluation model based on harmoniousness: Application to music mood visualization interface. Joint 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 13th International Symposium on Advanced Intelligence Systems (ISIS), pp. 131-135, 2012.

[4] M. Casey and M. Slaney. The importance of sequences in musical similarity. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), pp. V5-V8, 2006.

[5] W. B. De Haas, R. C. Veltkamp, and F. Wiering. Tonal pitch step distance: A similarity measure for chord progressions. International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR), pp. 51-56, 2008.

[6] W. B. De Haas, M. Rohrmeier, R. C. Veltkamp, and F. Wiering. Modeling harmonic similarity using a generative grammar of tonal harmony. International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR), pp. 549-554, 2009.

[7] R. Macrae and S. Dixon. Guitar tab mining, analysis and ranking. International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR), pp. 453-458, 2011.

[8] P. Hanna, M. Robine, and T. Rocher. An alignment based system for chord sequence retrieval. ACM/IEEE Joint Conference on Digital Libraries (JCDL), pp. 101-104, 2009.

[9] W. B. De Haas, M. Robine, P. Hanna, R. C. Veltkamp, and F. Wiering. Comparing approaches to the similarity of musical chord sequences. International Symposium on Computer Music Modeling and Retrieval (CMMR), pp. 242-258, 2010.

[10] W. B. De Haas, F. Wiering, and R. C. Veltkamp. A geometrical distance measure for determining the similarity of musical harmony. International Journal of Multimedia Information Retrieval, vol. 2, pp. 189-202, 2013.

[11] R. Baeza-Yates and B. Ribeiro-Neto. Modern Information Retrieval: The Concepts and Technology Behind Search, Second Edition. Addison Wesley Professional, 2011.

[12] ดร. ศุภชัย ตั้งวงศ์ศานต์. ระบบการจัดเก็บและค้นคืนสารสนเทศด้วยคอมพิวเตอร์, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์พิทักษ์การพิมพ์, 2553.

[13] ณัชชา พันธุ์เจริญ. ทฤษฎีดนตรี, พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์เกศกะรัต, 2555.

[14] Wikimedia Foundation, Inc. Circle of fifths [Online]. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Circle_of_fifths [2015, June 18].

[15] E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, and J. Vlissides. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software, Pearson Education, 1994.

[16] OODesign.com. Interpreter pattern [Online]. Available from: http://www.oodesign.com/interpreter-pattern.html [2015, June 18].

[17] Ultimate-guitar.com. Ultimate-guitar [Online]. Available from: http://www.ultimate-guitar.com [2015, June 18].

[18] M. Mauch, H. Fujihara, and M. Goto. Integrating additional chord information into HMM-based lyrics-to-audio alignment. IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing, vol. 20, pp. 188-198, 2012.

[19] F. Lerdahl. Tonal Pitch Space, USA : Oxford University Press, 2001.

[20] Hal Leonard Publishing Co., Inc. The Real Book, Hal Leonard Publishing Corporation, 2004.

[21] H. T. Cheng, Y. H. Yang, Y. C. Lin, I. B. Liao, and H. H. Chen. Automatic chord recognition for music classification and retrieval. IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), pp. 1505-1508, 2008.

[22] Wikimedia Foundation, Inc. Lp space [Online]. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Lp_space [2015, June 18].

[23] PG Music Inc. Band-in-a-Box [Online]. Available from: http://www.pgmusic.com/bbwin.htm [2015, June 18].

[24] Wikimedia Foundation, Inc. Chord names and symbols (popular music) [Online]. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Chord_names_and_symbols_(popular_music) [2015, June 18].

[25] M. Pater and D. E. Popescu. The benefits of using prefix tree data structure in multi-level frequent pattern mining. IEEE International Workshop on Soft Computing Applications (SOFA), pp. 179-182, 2007.

[26] R. Hampton. Heartwood Guitar. Free Guitar Chords, Tabs, Lyrics, & Strumming Patterns [Online]. Available from: http://www.heartwoodguitar.com/chords [2015, June 18].

[27] SoundHa.com. Guitar Chords Information [Online]. Available from: http://www.soundha.com [2015, June 18].

[28] UkuLover.com. Ukulele Chords Information [Online]. Available from: http://www.ukulover.com [2015, June 18].

[29] Lyricsforchristmas.com. Christmas songs chords [Online]. Available from: http://www.lyricsforchristmas.com/christmas-lyrics-chords [2015, June 18].

[30] L. Rev and C. Johnson. Hal Leonard Ukulele Method Book 1 Plus Chord Finder, Hal Leonard Publishing Corporation, 2011.

[31] Alfred Music Publishing, Inc. Christmas Ukulele: More Than 40 Christmas Classics, USA : Alfred Music Publishing, 2010.

[32] J. Tague-Sutcliffe. The pragmatics of information retrieval experimentation, revisited. Information Processing and Management, vol. 28, pp. 467-490, 1992.

[33] C. Wongsaroj, N. Prompoon, and A. Surarerks. A music similarity measure based on chord progression and song segmentation analysis. International Conference on Digital Information and Communication Technology and Its Applications (DICTAP), pp. 158-163, 2014.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
รายการคำสำคัญในทฤษฎีดนตรีและความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ตารางที่ ก.1 รายการคำสำคัญในทฤษฎีดนตรีและความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย

คำสำคัญ	คำอธิบาย	ความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย
การดำเนินคอร์ด (Chord progression)	ลำดับคอร์ดที่สร้างจากสูตรซึ่งมีแบบรูปตามทฤษฎีดนตรี	ใช้ในการหากุญแจเสียงของเพลง
การแปรผัน (Variations)	ลำดับคอร์ดที่หลากหลายที่สามารถสอดคล้องกับเมโลดีแบบเดียวกัน	ใช้ในการทดลองเพื่อค้นหาเพลงที่คล้ายกัน
กุญแจเสียง (Key)	รูปแบบการบันทึกข้อมูลดนตรีในเอกสาร ซึ่งมี 12 แบบตามชื่อกุญแจเสียง	ใช้แปลงข้อมูลดนตรีให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันก่อนการจัดเก็บ
ข้อมูลจังหวะ (Beat information)	ข้อมูลที่บ่งบอกถึงความยาวจังหวะของแต่ละคอร์ด	เป็นข้อมูลดนตรีที่สกัดได้จากเอกสาร
คอร์ด (Chord)	สัญลักษณ์ในทางดนตรีสากลที่ใช้แทนเสียงประสาน (Harmony) ของกลุ่มของโน้ต	เป็นอักขระที่สกัดได้จากเอกสาร
เครื่องหมายกำหนดจังหวะ (Time Signature)	สัญลักษณ์ที่บ่งบอกถึงจำนวนจังหวะต่อห้องในเพลง	เป็นทฤษฎีดนตรีขั้นพื้นฐาน
เครื่องหมายชาร์ป (Sharp, #)	สัญลักษณ์ที่ใช้เลื่อนระดับเสียงของโน้ตเพิ่มขึ้น 1 ระดับ	เป็นอักขระที่สกัดได้จากเอกสาร
เครื่องหมายแฟลต (Flat, b)	สัญลักษณ์ที่ใช้เลื่อนระดับเสียงของโน้ตลดลง 1 ระดับ	เป็นอักขระที่สกัดได้จากเอกสาร
เครื่องหมายแปลงเสียง (Accidental)	สัญลักษณ์ที่ใช้กำกับต่อท้ายตัวโน้ตเพื่อเลื่อนระดับเสียง ได้แก่ # และ b	เป็นอักขระที่สกัดได้จากเอกสาร
ชนิดของคอร์ด (Chord type)	ชื่อส่วนท้ายของคอร์ดที่เป็นชนิดของคอร์ด	ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของคอร์ด

ตารางที่ ก.1 รายการคำสำคัญในทฤษฎีดนตรีและความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย (ต่อ)

คำสำคัญ	คำอธิบาย	ความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย
ชีทเพลง (Sheet music)	เอกสารดนตรีที่ประกอบด้วยข้อมูลดนตรี ได้แก่ คอร์ดและเนื้อเพลง	เป็นเอกสารหน่วยทดลองในงานวิจัย
เซตของพิทช์คลาส (Pitch class set)	ส่วนประกอบของคอร์ดที่สามารถระบุได้ด้วยเซตที่มีสมาชิกเป็นพิทช์คลาส	ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของคอร์ด
ทรัยแอด (Triad)	สูตรในการสร้างคอร์ด	เป็นทฤษฎีดนตรีขั้นพื้นฐาน
เนื้อเพลง (Lyrics)	ทำนองหลักของเพลงที่ประกอบด้วยคำร้อง	เป็นอักขระที่ไม่ได้สกัดจากเอกสาร
โน้ต (Note)	สัญลักษณ์ในทางดนตรีสากลที่ใช้แทนระดับเสียงได้แก่ C, D, E, F, G, A และ B	เป็นอักขระที่สกัดได้จากเอกสาร
โน้ตฐาน (Root note)	ชื่อส่วนหน้าของคอร์ด	ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของคอร์ด
โน้ตเบส (Bass note)	ชื่อส่วนท้ายของคอร์ดที่เป็นเบส	ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของคอร์ด
บันไดเสียงเมเจอร์ (Major scale)	การจัดเรียงโน้ตตามกุญแจเสียงเมเจอร์	เป็นทฤษฎีดนตรีขั้นพื้นฐาน
พิทช์คลาส (Pitch class)	กลุ่มของระดับเสียงทั้งหมด 12 กลุ่มที่ใช้แทนโน้ตทุกตัวที่สามารถเขียนแทนได้ด้วยจำนวนเต็มตั้งแต่ 0 ถึง 11	ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของคอร์ด
เมเจอร์ทรัยแอด (Major triad)	สูตรในการสร้างคอร์ดโดยอาศัยเซตของพิทช์คลาส {0, 4, 7}	เป็นทฤษฎีดนตรีขั้นพื้นฐาน
เมโลดี (Melody)	ทำนองหลักของเพลง	เป็นทฤษฎีดนตรีขั้นพื้นฐาน

ตารางที่ ก.1 รายการคำสำคัญในทฤษฎีดนตรีและความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย (ต่อ)

คำสำคัญ	คำอธิบาย	ความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย
ระดับเสียง (Pitch)	ความถี่เสียงของโน้ต ซึ่งโน้ตตัวหนึ่งอาจมีความถี่ได้หลายค่า	เป็นทฤษฎีดนตรีขั้นพื้นฐาน
ลำดับคอร์ด (Chord sequence)	การเปลี่ยนแปลงของคอร์ดที่แสดงให้เห็นเป็นลำดับในช่วงหนึ่งของเพลง	เป็นข้อมูลดนตรีที่สกัดได้จากเอกสาร
ไลน์ (Line)	ทำนองที่บรรเลงจากเครื่องดนตรีชิ้นหนึ่งในเพลง	เป็นทฤษฎีดนตรีขั้นพื้นฐาน
วงกลมคู่ที่ 5 (Circle of Fifths)	การจัดเรียงกุญแจเสียงตามจำนวนเครื่องหมายแปลงเสียง	เป็นทฤษฎีดนตรีขั้นพื้นฐาน
สัญกรณ์จังหวะ (Beat notation)	สัญลักษณ์ที่บ่งบอกถึงข้อมูลจังหวะในชีทเพลงที่กำหนดขึ้นในงานวิจัยนี้	เป็นอักขระที่สกัดได้จากเอกสาร
ห้อง (Bar)	หน่วยของช่วงของเพลง	เป็นทฤษฎีดนตรีขั้นพื้นฐาน
ออกเตฟ (Octave)	ช่วงระดับเสียงของกลุ่มโน้ตที่มีความถี่เดียว	เป็นทฤษฎีดนตรีขั้นพื้นฐาน
แอคคอมพานิเมนท์ (Accompaniment)	ทำนองเสริมที่สร้างด้วยการบรรเลงคอร์ดตามจังหวะที่กำหนดในลำดับคอร์ด	เป็นทฤษฎีดนตรีขั้นพื้นฐาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข
รายการเพลงและเอกสารที่มีการแปรผันของลำดับคอร์ด

ตารางที่ ข.1 รายการเพลงที่ไม่มีการแปรผันของลำดับคอร์ด

รายการเพลงที่ไม่มีการแปรผันของลำดับคอร์ด
A Case Of You, A Hold On Me, Alright, Amsterdam, Angel, Annie's Song, Arizona, Bad Day, Basket Case, Be Prepared, Beat It, Better Man, Beverly Hills, Bingo, Blowin' In The Wind, Blue, Blue Eyes, Blue Ridge Mountains, Bluebird, Borders, Branching Out, Brand New Set of Wings, Bring A Torch Jeannette Isabella, Brown Eyed Girl, Brown Eyed Handsome Man, Calamity Song, Carol Of The Birds, Cherry Bomb, Child This Day Is Born, Christmas Morning, Clocks, Close To You, Come As You Are, Come To Jesus, Comfortably Numb, Conventry Carol, Crazy, Creep, Creeper, Dancing, Daughters, Don't Look Back In Anger, Down By The Water, Downtown Train, Drift Away, End Of The Day, Feliz Navidad, Find The River, Fireflies, Firework, First Noel, Follow Me, Folsom Prison Blues, Friend Of The Devil, Give Me Novacaine, Go Tell It On The Mountain, God Rest Ye Merry Gentlemen, Good King Wenceslas, Good Riddance, Gulf Coast Highway, Happy Together, Happy Xmas (War Is Over), Hard Way Home, HARK The Herald Angels Sing, Here We Come A-Wassailing, Hey Joe, Hey Ya!, Holiday, Holy And Ivy, Holy Night Peaceful Night, Honky Tonk Women, Hot N Cold, Hound Dog, House Of The Rising Sun, How To Disappear Completely, I Am, I Am Always The One Who Calls, I Don't Believe You, I Don't Know Why, I Hear Them All, I Heard It Through The Grapevine, I Heard The Bells On Christmas Day, I Know You Well, I Will Follow You Into the Dark, If I Needed You, If You See Her - Say Hello, If You Were To Wake Up, In The Bleak Midwinter, Into The Mystic, Is She Really Going Out With Him, It Came Upon The Midnight Clear, Its My Life, It's the End of the World As We Know It, I'm Always In Love, Jesus Etc,

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.1 รายการเพลงที่ไม่มีการแปรผันของลำดับคอร์ด (ต่อ)

รายการเพลงที่ไม่มีการแปรผันของลำดับคอร์ด
Karma Police, Kids, Kiss Me, Kissing The Lipless, Knockin' On Heaven's Door, Lately, Laura, Leaving On A Jet Plane, Lemon Grove Avenue, Let Her Go, Let It Go, Let It Rock, Lil Red Riding Hood, Listen To Her Heart, Lodi, Long As I Can See The Light, Look At Miss Ohio, Lost In My Mind, Lost Stars, Love Rescue Me, Love Story, Lumina, Maggie May, Marching Bands Of Manhattan, Maybe, Memories Of East Texas, Memphis Lives In Me, Move On, My Remembrance Of You, Neighbor Of The Beast, Never Say Never, New Slang, Nothing On You, Nothingman, O Come All Ye Faithful, O Come O Come Emmanuel, O Little Town Of Bethlehem, Ode To Joy, Oh Marie, Old Man, One, Orphan Girl, Other Side Of The World, Out on the Weekend, Over My Head (Cable Car), Paparazzi, Patapan, Patience, Pilgrim On This Road, Price Tag, Pulaski, Pumped Up Kicks, Rainbow Road, Red Hill Mining Town, Redempton Song, Remember When, Rhubarb Pie, Ring Of Fire, Ripple, Riverwide, Rockville (Don't Go Back To), Romeo And Juliet, Roy G, San Diego Serenade, Savin Me, Saving All My Love For You, Say Yes, Scar Tissue, Screen Door, Second Hand News, Seven Spanish Angels, She Moves In Her Own Way, She's A Rebel, She's Not There, Shine A Light, Simple Gifts, Simple Twist Of Fate, Sittin' On The Dock Of The Bay, Smoke On The Water, Soak Up The Sun, Society, Someday Soon, Sometimes, Songbird, Sonja, Son's Gonna Rise, Soulmate, Speak Now, Steal The Crumbs, Still Be Around, Stone Thrown, Sunny Came Home, Sunshine (Go Away Today), Sweet Child O Mine, Sweet Virginia, Swing Life Away, Take Me Home - Country Roads, Teardrops On My Guitar, Ten Year Night, Thank You For Your Love, That's The Way that the World Goes Round, The Cape, The First Cut Is The Deepest, The Joker, The Lazy Song, The Littlest Monkey, The Middle, The Only Living Boy In New York, The Sporting Life, The Waltzing Fool, The Way I Am, This Love, Three Little Birds, Thunder Road, Til I Gain Control Again, Time To Pretend, Travelin' Soldier, Trouble Is A Friend, Two For The Road,

ตารางที่ ข.1 รายการเพลงที่ไม่มีการแปรผันของลำดับคอร์ด (ต่อ)

รายการเพลงที่ไม่มีการแปรผันของลำดับคอร์ด
Under The Bridge, Undone (The Sweater Song), Unloveable, Up On The Housetop, Videotape, Wake Me Up When September Ends, Walk Away, Warning Sign, Wasting Time, Wave Over Wave, Wayside (Back In Time), We Three Kings, Welcome To Paradise, What Can I Say, What Child Is This, What If No Matter, What I've Been Looking For, What I've Done, What You Know, Whippin Piccadilly, White Daisy Passing, Wild For You Baby, Wildwood Flower, Windfall, You Belong With Me, You Remind Me Of Home, You Were Meant For Me, You're Gonna Go Far - Kid, กลับบ้านเรา ...รักรออยู่, กะทันหัน, ขอบคุณที่รักกัน, คนที่ไม่เข้าตา, คนบ้านเดียวกัน, คนหลงทาง, คนใจง่าย, คนไม่เอาถ่าน, ความพยายาม, ความรักดีๆอยู่ที่ไหน, ความเจ็บปวด, คำยินดี, คิดถึงนะ, คิดมาก, คืนนี้ขอหอม, จีบได้แฟนตายแล้ว, ฉันต้องคู่กับเธอ, ช่างไม่รู้อะไรบ้างเลย, ดอกไม้, ตาสว่าง, ทราย, ทะเลสีดำ, ทะเลใจ, ที่รักของฉันคนเดียว, ทุ้มอยู่ในใจ, บอกตรงๆ รักจังเลย, ปล่อยฉัน, ปล่อยวาง, ฝันรึเปล่า, ฝันไปหรือเปล่า, พรหมลิขิต, พลังของหัวใจ, พูดไม่ค่อยเก่ง, ภูมิแพ้กรุงเทพ, มีแต่เธอ, มุม, ยอม, ยังโสด, ยังไม่พ้นขีดอันตราย, ยิ่งรู้จักยิ่งรักเธอ, ย้ำ, รอเธอหันมา, รักต้องเปิด (แน่นอก), รักเธอมากกว่าใครนะ , รักเปิดเผย, รักแท้ดูแลไม่ได้, รักแท้อยู่เหนือกาลเวลา, ร่มสีเทา, ฤดูที่แตกต่าง, ลูกอม, สักวันฉันจะดีพอ, สิ่งสำคัญ, สุดใจ, หยุด, หัวใจผูกกัน, ห้ามใจ, อกหัก, อยู่ต่อเลยได้ไหม, อย่างน้อย, อาย, อาย. เลิฟ.ยู (I LOVE YOU), ฮาร์เล่ย์ไทยแลนด์, เกิดมาแค่รักกัน, เธอ, เธอคือของขวัญ, เธอทำให้ฉันเสียใจ, เธอยัง, เพราะว่ารัก, เพียงกระซิบ, เรือเล็กควรออกจากฝั่ง, เหตุเกิดจากความเหงา, แค่บอกว่ารักเธอ, แค่เธอก็พอ, แฟนดีดี, แสงสุดท้าย, แอบชอบ, โนราห์ โนบรา, โปรดส่งใครมารักฉันที, ใกล้, ใกล้รุ่ง, ใจของคนคอย, ใจเธอกอดใคร, ให้ทาย, ให้รักมันโตในใจ, ไม่บอกเธอ, ไม่รู้จักฉันไม่รู้จักเธอ

ตารางที่ ข.2 รายการเพลงที่มีจำนวนการแปรผันของลำดับคอร์ดตั้งแต่ 2 เอกสารขึ้นไป

ลำดับ	ชื่อเพลง	จำนวน	รหัสเอกสารข้อคำถาม
1	All I Want For Christmas Is You	3	1, 2, 362
2	All I Want Is You	2	103, 326
3	All My Loving	2	71, 72
4	Always Love	2	105, 327
5	Angel From Montgomery	2	107, 328
6	Angels We Have Heard On High	3	3, 4, 502
7	Auld Lang Syne	4	41, 42, 43, 503
8	Aura Lee	2	44, 45
9	Away In A Manager	2	504, 505
10	Babylon	2	111, 329
11	Beautiful	2	73, 74
12	Beds Are Burning	2	115, 330
13	Black Boys On Mopeds	2	117, 331
14	Boulevard Of Broken Dreams	2	124, 332
15	Bubbly	3	129, 333, 334
16	Can The Circle Be Unbroken	2	131, 335
17	Can’t Take My Eyes Off You	3	336, 337, 365
18	Change	2	132, 338
19	Closer to Fine	2	136, 339
20	Crystal Village	2	143, 340
21	Deck The Halls	3	5, 6, 510
22	Desperado	2	145, 341
23	Dirty Little Secret	2	75, 76
24	Do Re Mi	3	47, 48, 49
25	Donald And Lydia	2	146, 342

ตารางที่ ข.2 รายการเพลงที่มีจำนวนการแปรผันของลำดับคอร์ดตั้งแต่ 2 เอกสารขึ้นไป (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อเพลง	จำนวน	รหัสเอกสารข้อคำถาม
26	Don’t Know Why	2	147, 343
27	Don’t Stop Believing	2	148, 344
28	Drive My Car	2	77, 78
29	Dust In The Wind	3	152, 345, 346
30	Early Morning Rain	2	153, 347
31	Eleanor Rigby	2	79, 80
32	Every Breath You Take	2	155, 348
33	Feels Like Rain	2	156, 349
34	Fix You	2	160, 350
35	Frosty The Snowman	2	8, 9
36	Greensleeves	2	50, 51
37	Happy Birthday	2	52, 53
38	Have Yourself A Merry Little Christmas	3	10, 11, 516
39	Heart of Gold	2	170, 351
40	Here Comes Santa Claus	2	12, 13
41	Here There And Everywhere	2	81, 82
42	Hey Jude	2	83, 84
43	Hey There Delilah	2	172, 352
44	Hurt	3	179, 353, 354
45	I Saw Three Ships	3	14, 15, 521
46	I Shall Be Released	4	187, 355, 356, 357
47	I Will	3	85, 86, 368
48	I Will Remember You	2	189, 358
49	If I Had A Boat	2	190, 359
50	Imagine	3	194, 360, 361

ตารางที่ ข.2 รายการเพลงที่มีจำนวนการแปรผันของลำดับคอร์ดตั้งแต่ 2 เอกสารขึ้นไป (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อเพลง	จำนวน	รหัสเอกสารข้อคำถาม
51	I'm Yours	2	199, 370
52	Jamaica Farewell	2	55, 56
53	Jingle Bell	4	19, 20, 21, 524
54	Jingle Bell Rock	3	16, 17, 18
55	Joy To The World	3	22, 23, 525
56	Let It Be	3	88, 89, 90
57	Let It Snow	2	24, 25
58	Live And Die	2	91, 92
59	London Bridge	2	57, 58
60	Love	2	383, 384
61	Melissa	2	93, 94
62	Nuclear	2	95, 96
63	O Christmas Tree	3	26, 27, 526
64	O Holy Night	2	28, 529
65	Oh Susanna	2	60, 61
66	Puff The Magic Dragon	3	62, 63, 240
67	Ramblin Man	2	97, 98
68	Rudolph The Red Nosed Reindeer	3	29, 30, 31
69	Santa Claus Is Coming To Town	2	32, 33
70	Scarborough Fair	2	64, 65
71	Silent Night	4	34, 35, 36, 532
72	Twinkle Twinkle Little Star	2	66, 67
73	We Wish You A Merry Christmas	5	37, 38, 39, 40, 536
74	When The Saints Go Marching In	2	68, 69
75	When You Say Nothing At All	2	317, 381

ตารางที่ ข.2 รายการเพลงที่มีจำนวนการแปรผันของลำดับคอร์ดตั้งแต่ 2 เอกสารขึ้นไป (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อเพลง	จำนวน	รหัสเอกสารข้อคำถาม
76	With A Little Help From My Friends	2	99, 100
77	ก่อน	2	390, 391
78	ของขวัญ	2	392, 393
79	ขอมือเธอหน่อย	2	395, 396
80	คนข้างๆ	2	397, 398
81	ความลับ	2	406, 407
82	รักไม่ต้องการเวลา	2	445, 446
83	ฤดูร้อน	2	449, 450
84	หากันจนเจอ	2	457, 458
85	อย่าคิดเลย	2	462, 463
86	เบา เบา	2	473, 474
87	เพื่อดาวดวงนั้น	2	477, 478
88	เรื่องบนเตียง	2	480, 481
89	เล่นของสูง	2	482, 483
90	ไกลแค่ไหนคือใกล้	2	498, 499

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค
ผลการทดลองในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ

ตารางที่ ค.1 ค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ยในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ

ลำดับที่	รหัสเอกสารข้อคำถาม	จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ร้อยละของค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ย (MAP) ของแต่ละวิธีการ (%)				
			CH	CPSA1	CPSA2	CSAS	TPSD
1	1	2	0.71	84.85	54.73	54.74	54.73
2	2	2	0.93	69.70	55.33	58.33	55.11
3	3	2	69.70	77.27	100.00	100.00	100.00
4	4	2	77.27	45.45	100.00	100.00	100.00
5	5	2	9.82	2.13	100.00	100.00	84.85
6	6	2	60.23	3.08	100.00	100.00	100.00
7	8	1	3.03	1.75	100.00	100.00	100.00
8	9	1	9.09	7.69	100.00	100.00	100.00
9	10	2	84.85	34.85	100.00	100.00	100.00
10	11	2	59.89	100.00	100.00	100.00	100.00
11	12	1	2.33	100.00	100.00	100.00	100.00
12	13	1	2.50	100.00	100.00	100.00	100.00
13	14	2	33.33	84.85	77.27	100.00	22.73
14	15	2	40.00	54.77	24.24	17.59	7.24
15	16	2	55.08	84.85	100.00	100.00	100.00
16	17	2	4.50	29.95	100.00	100.00	100.00
17	18	2	54.85	58.87	100.00	77.27	84.85
18	19	3	85.45	52.60	100.00	100.00	100.00
19	20	3	27.27	40.18	100.00	100.00	100.00
20	21	3	90.91	50.30	100.00	100.00	100.00
21	22	2	4.55	18.42	77.27	84.85	72.73
22	23	2	1.13	55.63	100.00	100.00	100.00
23	24	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ตารางที่ ค.1 ค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ยในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสเอกสารข้อคำถาม	จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ร้อยละของค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ย (MAP) ของแต่ละวิธีการ (%)				
			CH	CPSA1	CPSA2	CSAS	TPSD
24	25	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
25	26	2	32.62	26.45	100.00	100.00	100.00
26	27	2	7.69	23.86	66.67	42.42	69.70
27	28	1	100.00	0.25	1.61	1.96	1.56
28	29	2	2.33	55.36	100.00	100.00	100.00
29	30	2	4.17	58.68	100.00	100.00	100.00
30	31	2	7.31	15.96	100.00	84.85	84.85
31	32	1	1.69	100.00	100.00	100.00	100.00
32	33	1	1.64	50.00	100.00	100.00	100.00
33	34	3	50.00	84.09	100.00	100.00	100.00
34	35	3	75.76	100.00	100.00	100.00	100.00
35	36	3	75.76	90.91	100.00	100.00	100.00
36	37	4	19.02	25.80	65.45	42.44	69.00
37	38	4	12.76	16.44	82.64	80.52	77.58
38	39	4	51.40	9.56	86.36	61.64	56.36
39	40	4	38.23	8.60	46.28	59.55	44.44
40	41	3	1.72	1.65	29.04	22.08	9.90
41	42	3	2.22	12.50	39.09	22.27	15.17
42	43	3	20.52	41.08	68.18	100.00	42.73
43	44	1	100.00	50.00	100.00	50.00	50.00
44	45	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
45	47	2	1.41	3.61	77.27	32.62	23.53
46	48	2	11.61	32.32	84.85	72.73	72.73
47	49	2	6.87	56.48	84.85	42.42	100.00
48	50	1	33.33	3.33	100.00	100.00	100.00
49	51	1	14.29	1.39	100.00	100.00	100.00
50	52	1	16.67	4.76	100.00	100.00	100.00

ตารางที่ ค.1 ค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ยในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสเอกสารข้อคำถาม	จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ร้อยละของค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ย (MAP) ของแต่ละวิธีการ (%)				
			CH	CPSA1	CPSA2	CSAS	TPSD
51	53	1	12.50	7.14	100.00	100.00	100.00
52	55	1	3.03	6.25	100.00	100.00	100.00
53	56	1	2.86	20.00	50.00	100.00	100.00
54	57	1	100.00	100.00	100.00	100.00	50.00
55	58	1	100.00	100.00	100.00	100.00	50.00
56	60	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
57	61	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
58	62	2	0.80	100.00	100.00	100.00	100.00
59	63	2	0.91	100.00	100.00	100.00	100.00
60	64	1	100.00	50.00	100.00	100.00	100.00
61	65	1	100.00	50.00	100.00	100.00	100.00
62	66	1	2.13	1.69	25.00	14.29	8.33
63	67	1	2.63	4.35	100.00	100.00	33.33
64	68	1	33.33	12.50	100.00	100.00	100.00
65	69	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
66	71	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
67	72	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
68	73	1	0.27	100.00	100.00	100.00	100.00
69	74	1	16.67	100.00	100.00	100.00	100.00
70	75	1	0.46	100.00	100.00	100.00	100.00
71	76	1	0.90	100.00	100.00	100.00	100.00
72	77	1	1.64	8.33	1.28	1.67	1.72
73	78	1	5.88	4.35	4.17	5.00	4.55
74	79	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
75	80	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ตารางที่ ค.1 ค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ยในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสเอกสารข้อคำถาม	จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ร้อยละของค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ย (MAP) ของแต่ละวิธีการ (%)				
			CH	CPSA1	CPSA2	CSAS	TPSD
76	81	1	100.00	33.33	33.33	100.00	2.50
77	82	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
78	83	1	14.29	100.00	100.00	100.00	100.00
79	84	1	3.33	100.00	100.00	100.00	100.00
80	85	2	100.00	100.00	100.00	100.00	77.27
81	86	2	100.00	65.91	100.00	100.00	77.27
82	88	2	2.04	65.91	100.00	100.00	100.00
83	89	2	1.28	84.85	84.85	100.00	100.00
84	90	2	0.74	62.12	69.70	84.85	38.64
85	91	1	0.54	100.00	100.00	100.00	100.00
86	92	1	4.35	100.00	100.00	100.00	100.00
87	93	1	0.22	100.00	100.00	100.00	50.00
88	94	1	0.27	100.00	100.00	50.00	20.00
89	95	1	7.69	50.00	50.00	12.50	50.00
90	96	1	20.00	50.00	50.00	50.00	100.00
91	97	1	2.13	100.00	100.00	100.00	100.00
92	98	1	33.33	100.00	100.00	100.00	100.00
93	99	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
94	100	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
95	103	1	0.30	16.67	1.12	1.54	0.42
96	105	1	16.67	100.00	100.00	100.00	100.00
97	107	1	33.33	25.00	5.56	11.11	5.88
98	111	1	0.40	100.00	100.00	100.00	100.00
99	115	1	0.22	0.24	0.22	0.20	0.41
100	117	1	0.49	100.00	100.00	100.00	50.00

ตารางที่ ค.1 ค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ยในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสเอกสารข้อคำถาม	จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ร้อยละของค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ย (MAP) ของแต่ละวิธีการ (%)				
			CH	CPSA1	CPSA2	CSAS	TPSD
101	124	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
102	129	2	6.43	42.42	23.23	67.53	16.67
103	131	1	0.79	50.00	100.00	100.00	33.33
104	132	1	0.23	2.08	1.23	7.69	3.85
105	136	1	16.67	100.00	50.00	25.00	100.00
106	143	1	9.09	14.29	50.00	100.00	33.33
107	145	1	50.00	100.00	100.00	100.00	100.00
108	146	1	100.00	33.33	100.00	100.00	100.00
109	147	1	25.00	50.00	100.00	100.00	100.00
110	148	1	0.19	33.33	14.29	8.33	6.25
111	152	2	54.99	54.77	54.88	55.64	55.40
112	153	1	100.00	9.09	5.56	9.09	33.33
113	155	1	50.00	100.00	100.00	100.00	3.45
114	156	1	100.00	7.14	100.00	100.00	100.00
115	160	1	100.00	5.56	2.04	0.97	1.69
116	170	1	1.52	100.00	100.00	100.00	100.00
117	172	1	1.75	25.00	100.00	100.00	100.00
118	179	2	72.73	100.00	100.00	100.00	100.00
119	187	3	6.93	9.11	3.49	2.77	3.55
120	189	1	1.25	14.29	100.00	100.00	100.00
121	190	1	0.57	100.00	100.00	0.97	14.29
122	194	2	0.43	31.60	100.00	100.00	100.00
123	199	1	3.85	100.00	100.00	100.00	100.00
124	240	2	0.93	100.00	100.00	100.00	100.00
125	317	1	50.00	100.00	100.00	100.00	100.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค.1 ค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ยในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสเอกสารข้อคำถาม	จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ร้อยละของค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ย (MAP) ของแต่ละวิธีการ (%)				
			CH	CPSA1	CPSA2	CSAS	TPSD
126	326	1	1.12	20.00	1.33	1.12	0.35
127	327	1	50.00	100.00	100.00	100.00	100.00
128	328	1	100.00	100.00	25.00	50.00	50.00
129	329	1	0.21	100.00	100.00	100.00	100.00
130	330	1	0.24	0.37	0.22	0.21	0.29
131	331	1	0.89	100.00	100.00	100.00	100.00
132	332	1	2.44	100.00	100.00	100.00	100.00
133	333	2	3.42	42.42	28.28	33.33	19.32
134	334	2	1.47	100.00	45.45	100.00	40.26
135	335	1	0.97	100.00	50.00	33.33	33.33
136	336	2	9.40	54.90	54.83	54.76	54.76
137	337	2	4.62	2.60	1.89	2.20	0.61
138	338	1	0.19	0.33	0.48	0.49	0.68
139	339	1	0.19	100.00	100.00	100.00	100.00
140	340	1	0.24	100.00	100.00	50.00	100.00
141	341	1	0.98	100.00	100.00	100.00	100.00
142	342	1	100.00	25.00	100.00	100.00	100.00
143	343	1	16.67	100.00	100.00	100.00	100.00
144	344	1	1.89	50.00	20.00	33.33	14.29
145	345	2	0.83	0.53	1.02	0.90	3.45
146	346	2	54.97	55.19	54.78	55.14	54.82
147	347	1	100.00	11.11	9.09	20.00	50.00
148	348	1	50.00	100.00	100.00	50.00	20.00
149	349	1	50.00	2.86	100.00	100.00	100.00
150	350	1	25.00	5.00	10.00	1.37	4.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค.1 ค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ยในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสเอกสารข้อคำถาม	จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ร้อยละของค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ย (MAP) ของแต่ละวิธีการ (%)				
			CH	CPSA1	CPSA2	CSAS	TPSD
151	351	1	11.11	100.00	100.00	100.00	100.00
152	352	1	5.88	25.00	100.00	100.00	100.00
153	353	2	100.00	84.85	100.00	100.00	100.00
154	354	2	100.00	84.85	100.00	100.00	100.00
155	355	3	50.22	52.23	21.85	39.64	21.41
156	356	3	15.68	57.14	6.67	6.91	15.00
157	357	3	42.03	27.71	5.11	3.49	5.07
158	358	1	6.67	14.29	100.00	100.00	100.00
159	359	1	1.02	100.00	100.00	100.00	100.00
160	360	2	3.58	55.48	77.27	77.27	31.17
161	361	2	3.17	7.50	100.00	100.00	77.27
162	362	2	33.33	40.26	2.22	4.75	0.96
163	365	2	1.96	55.26	55.00	54.84	54.73
164	368	2	100.00	21.21	100.00	100.00	100.00
165	370	1	3.33	50.00	100.00	100.00	100.00
166	381	1	33.33	100.00	100.00	100.00	100.00
167	383	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
168	384	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
169	390	1	100.00	100.00	33.33	33.33	16.67
170	391	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
171	392	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
172	393	1	100.00	25.00	100.00	50.00	100.00
173	395	1	6.67	20.00	100.00	50.00	50.00
174	396	1	5.88	16.67	33.33	50.00	33.33
175	397	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ตารางที่ ค.1 ค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ยในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสเอกสารข้อคำถาม	จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ร้อยละของค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ย (MAP) ของแต่ละวิธีการ (%)				
			CH	CPSA1	CPSA2	CSAS	TPSD
176	398	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
177	406	1	1.27	5.00	25.00	20.00	6.67
178	407	1	4.76	25.00	100.00	100.00	100.00
179	445	1	33.33	0.95	0.74	0.85	0.26
180	446	1	10.00	0.80	0.52	0.35	0.28
181	449	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
182	450	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
183	457	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
184	458	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
185	462	1	100.00	100.00	100.00	100.00	14.29
186	463	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
187	473	1	0.85	16.67	100.00	33.33	50.00
188	474	1	0.69	4.55	33.33	25.00	100.00
189	477	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
190	478	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
191	480	1	14.29	100.00	100.00	100.00	100.00
192	481	1	14.29	100.00	50.00	50.00	50.00
193	482	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
194	483	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
195	498	1	20.00	100.00	100.00	100.00	100.00
196	499	1	25.00	100.00	100.00	100.00	100.00
197	502	2	50.00	77.27	100.00	100.00	100.00
198	503	3	6.33	40.41	90.91	75.00	42.73
199	504	1	0.60	1.82	16.67	12.50	14.29
200	505	1	0.76	2.78	100.00	100.00	20.00

ตารางที่ ค.1 ค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ยในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสเอกสารข้อคำถาม	จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ร้อยละของค่ามัชฌิมของความแม่นยำเฉลี่ย (MAP) ของแต่ละวิธีการ (%)				
			CH	CPSA1	CPSA2	CSAS	TPSD
201	510	2	31.17	2.99	100.00	100.00	100.00
202	516	2	84.85	100.00	100.00	100.00	100.00
203	521	2	19.83	11.26	100.00	100.00	65.91
204	524	3	60.61	100.00	100.00	100.00	100.00
205	525	2	2.86	6.85	84.85	84.85	84.85
206	526	2	22.97	17.90	50.00	50.00	40.00
207	529	1	100.00	2.22	2.78	2.78	2.08
208	532	3	79.22	90.91	100.00	100.00	100.00
209	536	4	22.97	49.11	84.85	86.36	81.82

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค.2 ค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ

ลำดับที่	รหัสเอกสารข้อคำถาม	จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ร้อยละของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึก (RP) ของแต่ละวิธีการ (%)				
			CH	CPSA1	CPSA2	CSAS	TPSD
1	1	2	0.00	50.00	50.00	50.00	50.00
2	2	2	0.00	50.00	50.00	50.00	50.00
3	3	2	50.00	50.00	100.00	100.00	100.00
4	4	2	50.00	50.00	100.00	100.00	100.00
5	5	2	0.00	0.00	100.00	100.00	50.00
6	6	2	50.00	0.00	100.00	100.00	100.00
7	8	1	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
8	9	1	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
9	10	2	50.00	50.00	100.00	100.00	100.00
10	11	2	50.00	100.00	100.00	100.00	100.00
11	12	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
12	13	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
13	14	2	50.00	50.00	50.00	100.00	0.00
14	15	2	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00
15	16	2	50.00	50.00	100.00	100.00	100.00
16	17	2	0.00	50.00	100.00	100.00	100.00
17	18	2	50.00	50.00	100.00	50.00	50.00
18	19	3	66.67	33.33	100.00	100.00	100.00
19	20	3	0.00	33.33	100.00	100.00	100.00
20	21	3	66.67	33.33	100.00	100.00	100.00
21	22	2	0.00	0.00	50.00	50.00	50.00
22	23	2	0.00	50.00	100.00	100.00	100.00
23	24	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
24	25	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
25	26	2	50.00	0.00	100.00	100.00	100.00

ตารางที่ ค.2 ค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสเอกสารข้อคำถาม	จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ร้อยละของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึก (RP) ของแต่ละวิธีการ (%)				
			CH	CPSA1	CPSA2	CSAS	TPSD
26	27	2	0.00	0.00	50.00	50.00	50.00
27	28	1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	29	2	0.00	50.00	100.00	100.00	100.00
29	30	2	0.00	50.00	100.00	100.00	100.00
30	31	2	0.00	0.00	100.00	50.00	50.00
31	32	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
32	33	1	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
33	34	3	33.33	66.67	100.00	100.00	100.00
34	35	3	66.67	100.00	100.00	100.00	100.00
35	36	3	66.67	66.67	100.00	100.00	100.00
36	37	4	25.00	25.00	50.00	25.00	50.00
37	38	4	0.00	25.00	75.00	50.00	50.00
38	39	4	50.00	0.00	75.00	50.00	50.00
39	40	4	25.00	0.00	50.00	50.00	25.00
40	41	3	0.00	0.00	33.33	33.33	0.00
41	42	3	0.00	0.00	33.33	33.33	0.00
42	43	3	33.33	33.33	66.67	100.00	33.33
43	44	1	100.00	0.00	100.00	0.00	0.00
44	45	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
45	47	2	0.00	0.00	50.00	50.00	0.00
46	48	2	0.00	50.00	50.00	50.00	50.00
47	49	2	0.00	50.00	50.00	50.00	100.00
48	50	1	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
49	51	1	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
50	52	1	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00

ตารางที่ ค.2 ค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสเอกสารข้อคำถาม	จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ร้อยละของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึก (RP) ของแต่ละวิธีการ (%)				
			CH	CPSA1	CPSA2	CSAS	TPSD
51	53	1	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
52	55	1	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
53	56	1	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
54	57	1	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
55	58	1	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
56	60	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
57	61	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
58	62	2	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
59	63	2	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
60	64	1	100.00	0.00	100.00	100.00	100.00
61	65	1	100.00	0.00	100.00	100.00	100.00
62	66	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
63	67	1	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
64	68	1	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
65	69	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
66	71	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
67	72	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
68	73	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
69	74	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
70	75	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
71	76	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
72	77	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
73	78	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
74	79	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
75	80	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค.2 ค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสเอกสารข้อคำถาม	จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ร้อยละของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึก (RP) ของแต่ละวิธีการ (%)				
			CH	CPSA1	CPSA2	CSAS	TPSD
76	81	1	100.00	0.00	0.00	100.00	0.00
77	82	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
78	83	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
79	84	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
80	85	2	100.00	100.00	100.00	100.00	50.00
81	86	2	100.00	50.00	100.00	100.00	50.00
82	88	2	0.00	50.00	100.00	100.00	100.00
83	89	2	0.00	50.00	50.00	100.00	100.00
84	90	2	0.00	50.00	50.00	50.00	50.00
85	91	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
86	92	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
87	93	1	0.00	100.00	100.00	100.00	0.00
88	94	1	0.00	100.00	100.00	0.00	0.00
89	95	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	96	1	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
91	97	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
92	98	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
93	99	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
94	100	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
95	103	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
96	105	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
97	107	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
98	111	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
99	115	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	117	1	0.00	100.00	100.00	100.00	0.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค.2 ค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสเอกสารข้อคำถาม	จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ร้อยละของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึก (RP) ของแต่ละวิธีการ (%)				
			CH	CPSA1	CPSA2	CSAS	TPSD
101	124	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
102	129	2	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00
103	131	1	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
104	132	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	136	1	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
106	143	1	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
107	145	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
108	146	1	100.00	0.00	100.00	100.00	100.00
109	147	1	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
110	148	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
111	152	2	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
112	153	1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
113	155	1	0.00	100.00	100.00	100.00	0.00
114	156	1	100.00	0.00	100.00	100.00	100.00
115	160	1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
116	170	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
117	172	1	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
118	179	2	50.00	100.00	100.00	100.00	100.00
119	187	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	189	1	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
121	190	1	0.00	100.00	100.00	0.00	0.00
122	194	2	0.00	50.00	100.00	100.00	100.00
123	199	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
124	240	2	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
125	317	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค.2 ค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสเอกสารข้อคำถาม	จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ร้อยละของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึก (RP) ของแต่ละวิธีการ (%)				
			CH	CPSA1	CPSA2	CSAS	TPSD
126	326	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
127	327	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
128	328	1	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
129	329	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
130	330	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
131	331	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
132	332	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
133	333	2	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00
134	334	2	0.00	100.00	50.00	100.00	50.00
135	335	1	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
136	336	2	0.00	50.00	50.00	50.00	50.00
137	337	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
138	338	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
139	339	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
140	340	1	0.00	100.00	100.00	0.00	100.00
141	341	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
142	342	1	100.00	0.00	100.00	100.00	100.00
143	343	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
144	344	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
145	345	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
146	346	2	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
147	347	1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
148	348	1	0.00	100.00	100.00	0.00	0.00
149	349	1	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
150	350	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ ค.2 ค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสเอกสารข้อคำถาม	จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ร้อยละของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึก (RP) ของแต่ละวิธีการ (%)				
			CH	CPSA1	CPSA2	CSAS	TPSD
151	351	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
152	352	1	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
153	353	2	100.00	50.00	100.00	100.00	100.00
154	354	2	100.00	50.00	100.00	100.00	100.00
155	355	3	33.33	33.33	33.33	33.33	33.33
156	356	3	0.00	66.67	0.00	0.00	0.00
157	357	3	33.33	33.33	0.00	0.00	0.00
158	358	1	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
159	359	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
160	360	2	0.00	50.00	50.00	50.00	0.00
161	361	2	0.00	0.00	100.00	100.00	50.00
162	362	2	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00
163	365	2	0.00	50.00	50.00	50.00	50.00
164	368	2	100.00	0.00	100.00	100.00	100.00
165	370	1	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
166	381	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
167	383	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
168	384	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
169	390	1	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
170	391	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
171	392	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
172	393	1	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00
173	395	1	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
174	396	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	397	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค.2 ค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสเอกสารข้อคำถาม	จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ร้อยละของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึก (RP) ของแต่ละวิธีการ (%)				
			CH	CPSA1	CPSA2	CSAS	TPSD
176	398	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
177	406	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
178	407	1	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
179	445	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	446	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
181	449	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
182	450	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
183	457	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
184	458	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
185	462	1	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
186	463	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
187	473	1	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
188	474	1	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
189	477	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
190	478	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
191	480	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
192	481	1	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
193	482	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
194	483	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
195	498	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
196	499	1	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
197	502	2	0.00	50.00	100.00	100.00	100.00
198	503	3	0.00	33.33	66.67	66.67	33.33
199	504	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	505	1	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00

ตารางที่ ค.2 ค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึกในแต่ละข้อคำถามของแต่ละวิธีการ (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสเอกสารข้อคำถาม	จำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	ร้อยละของค่าความแม่นยำที่ตำแหน่งค่าระลึก (RP) ของแต่ละวิธีการ (%)				
			CH	CPSA1	CPSA2	CSAS	TPSD
201	510	2	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
202	516	2	50.00	100.00	100.00	100.00	100.00
203	521	2	0.00	0.00	100.00	100.00	50.00
204	524	3	66.67	100.00	100.00	100.00	100.00
205	525	2	0.00	0.00	50.00	50.00	50.00
206	526	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
207	529	1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
208	532	3	66.67	66.67	100.00	100.00	100.00
209	536	4	25.00	50.00	75.00	75.00	75.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายชัยทรัพย์ วงศาโรจน์ เกิดเมื่อวันที่ 19 กันยายน พ.ศ. 2528 สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเซนต์คาเบรียล สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550 จากนั้นได้เข้าทำงานที่บริษัทกรุงไทยคอมพิวเตอร์เซอร์วิสเซส จำกัด ตั้งแต่ปี 2551 ถึง 2554 และได้เข้าศึกษาระดับปริญญาโทต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University