

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการพื้นฐานสำหรับการทำโครงการ ซึ่งเนื้อหาที่จะกล่าวถึงในบทนี้ประกอบด้วย 2.1 ดนตรีประเภทเปียโน 2.2 ทฤษฎีดนตรี 2.3 ทฤษฎีการกรองสัญญาณ 2.4 ทฤษฎีการวางกรอบหน้าต่าง 2.5 ทฤษฎีการหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเสียง 2.6 ทฤษฎีการหาคุณลักษณะของสัญญาณเสียงและ 2.7 ทฤษฎีการจำแนกคอร์ด โดยดนตรีประเภทเปียโนจะประกอบด้วยคุณลักษณะพิเศษของเปียโนและเปียโนชนิดต่างๆ ทฤษฎีดนตรีจะกล่าวถึงคุณสมบัติของเสียงดนตรีและพื้นฐานในการสร้างคอร์ดต่างๆ ทฤษฎีการหาค่าพลังงานจะอธิบายถึงหลักการหาค่าพลังงานของสัญญาณเสียง ทฤษฎีการปรับเรียบพลังงานจะอธิบายถึงการตัดสัญญาณรบกวนออกจากเสียง ทฤษฎีการวางกรอบหน้าต่างเป็นการแบ่งเสียงออกเป็นช่วงสั้นๆ เพื่อให้สัญญาณมีความเสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา ทฤษฎีการหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเสียงเป็นวิธีการแยกเสียงดนตรีออกจากเสียงพื้นหลัง ทฤษฎีการหาคุณลักษณะของสัญญาณเสียงเป็นการหาคุณลักษณะเพื่อนำไปใช้ในการจำแนกคอร์ดและลำดับสุดท้ายคือ ทฤษฎีการจำแนกคอร์ดเป็นการจำแนกชนิดของคอร์ดหรือตัวโน้ตในคอร์ดเปียโนเพื่อสามารถนำไปใช้ตรวจสอบความถูกต้องของคอร์ดเปียโนได้

2.1 ดนตรีประเภทเปียโน

2.1.1 คุณลักษณะของเปียโน [1-2]

เปียโนถูกคิดค้นขึ้นที่ประเทศอิตาลีโดยนายบาร์โทโลเมโอ คริสโตโฟรี เปียโนเป็นเครื่องดนตรีขนาดใหญ่ที่พัฒนามาจากฮาร์ปซิคอร์ด จะเกิดเสียงได้เมื่อคีย์ถูกกด จะทำให้กลไกภายในเครื่องดีสาย เมื่อสายเปียโนถูกเคาะด้วยลิ้มจะสะท้อนกลับในทันที ทำให้เกิดการสั่นของสายอย่างเป็นอิสระ ลักษณะพิเศษของเปียโน คือ สามารถใช้บรรเลงทั้งทำนอง (Melody) และเสียงประสาน (Harmony) ได้ในเวลาเดียวกันโดยมีต้องอาศัยเครื่องดนตรีอื่นมาเล่นประกอบ เปียโนให้เสียงที่เป็นมาตรฐานจำนวน 88 เสียง จึงทำให้สามารถผลิตเสียงที่มีระดับสูงมากและต่ำมาก คือ มีช่วงกว้างของเสียง (Range) มาก ซึ่งเครื่องดนตรีชนิดอื่นไม่สามารถทำได้

2.1.2 ชนิดของเปียโน

1) แกรนด์เปียโน [1]

แกรนด์เปียโนเป็นเปียโนที่มีสายและโครงวางในแนวนอน โดยที่สายเสียงนั้นจะถูกขึงออกจากคีย์บอร์ด ซึ่งทำให้มีเสียงและลักษณะที่ต่างออกไปจากเปียโนตั้งตรง และต้องใช้พื้นที่มากเนื่องจากมีขนาดใหญ่ ทั้งยังจำเป็นต้องหาห้องที่มีการสะท้อนเสียงที่พอเหมาะสำหรับคุณภาพเสียงที่ดีที่สุด เปียโนที่มีความยาวจะสร้างเสียงที่ดีกว่าและเพี้ยนน้อยกว่าเปียโนเครื่องอื่นๆ แกรนด์เปียโนใหญ่จึงเป็นที่นิยมใช้ในคอนเสิร์ต แสดงดังรูปที่ 2.1

2) อัฟไรท์เปียโน [1]

อัฟไรท์เปียโนเป็นเปียโนที่มีสายและโครงวางในแนวตั้งและขึงสายเปียโนตั้งแต่ด้านล่างจนถึงด้านบนของเปียโน แต่เปียโนประเภทนี้ไม่สามารถควบคุมการสร้างเสียงได้เหมือนวลเท่าแกรนด์เปียโน อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันเทคโนโลยีเปียโนตั้งตรงได้พัฒนาคุณภาพเสียงมากขึ้น โดยการปรับปรุงโครงสร้างภายในให้ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น จึงจะได้คุณภาพเสียงที่ดีขึ้นโดยใช้พื้นที่ในการตั้งวางน้อยกว่าแกรนด์ แต่ให้เสียงที่ใกล้เคียงมากขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.2

3) คีย์บอร์ด [3]

คีย์บอร์ด หรือ คีย์บอร์ดไฟฟ้าเป็นเครื่องดนตรีที่มีลักษณะเป็นแป้นแต่ที่กดจะมีลักษณะคล้ายกับเปียโน สร้างเสียงเมื่อคีย์ถูกกดโดยจะมีการผลิตเสียงผ่านกระแสไฟฟ้า โหมดเสียงโดยคีย์บอร์ดจะมีให้เลือกเสียงตั้งแต่เสียงเปียโน ฮาร์ปซิ-คอร์ด กีตาร์ คลาวิคอร์ด ออร์แกน ทรอมโบน ทรัมเบ็ต แซกโซโฟน กีตาร์เบส และอื่นๆ คีย์บอร์ดเป็นเครื่องดนตรีที่มักใช้เล่นกับดนตรีแนว ร็อก เฮฟวี่เมทัล ป๊อป ดิสโก้ ยูโรแดนซ์ ดนตรีอิเล็กทรอนิกส์ คีย์บอร์ดไฟฟ้ายังได้รับความนิยมมากในยุค 80 โดยมักจะใช้เล่นเพลงแนว นิวเวฟ และ ซินธ์ป๊อป แสดงดังรูปที่ 2.3

เครื่องดนตรีแต่ละชนิด รวมทั้งเสียงร้องของมนุษย์จะมีคุณลักษณะของเสียงซึ่งมีความแตกต่างกัน เรียกว่า “สีสันทันของเสียง” (Tone Color) ดังนั้นจะสังเกตได้ว่า เครื่องดนตรีแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติของเสียงที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน แม้แต่เครื่องดนตรีชนิดเดียวกันก็ให้ความแตกต่างได้เช่นกัน เช่นเดียวกันกับเสียงร้องของมนุษย์ระหว่างเพศชายกับเพศหญิงหรือระหว่างเพศเดียวกัน ซึ่งล้วนแล้วแต่มีพื้นฐานของการแตกต่างทางด้านสรีระ [4]



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของแกรนด์เปียโน [5]



รูปที่ 2.2 ลักษณะของอัพไรท์เปียโน [6]



รูปที่ 2.3 ลักษณะของคีย์บอร์ด [3]

2.2 ทฤษฎีดนตรี

2.2.1 ตัวโน้ตดนตรี [7]

ตัวโน้ตดนตรีเป็นระบบการบันทึกแทนเสียงดนตรีที่มีมาตั้งแต่ศตวรรษที่ 11 โดยกีโดเดอ อเรซีโซ บาทหลวงชาวอิตาลีเยน ต่อมาได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสมบูรณ์อย่างที่เราได้พบเห็นและใช้กันในปัจจุบัน ตัวโน้ตสามารถบอกหรือสื่อให้นักดนตรีทราบถึงความสั้น-ยาวและสูง-ต่ำของระดับเสียงได้ ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับลักษณะของตัวโน้ตดนตรี (Music Notation) พอสังเขปแสดงในรูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5

○	Whole Note	โน้ตตัวกลม	or	Eighth Note	โน้ตตัวเข็มนิด 1 ชั้น
∩	Half Note	โน้ตตัวขาว	or	16th Note	โน้ตตัวเข็มนิด 2 ชั้น
┐	Quarter Note	โน้ตตัวดำ	or	32nd Note	โน้ตตัวเข็มนิด 3 ชั้น

รูปที่ 2.4 ตัวโน้ตแต่ละชนิด [7]



รูปที่ 2.5 ลักษณะของตัวโน้ต [7]

จากรูปที่ 2.5 สามารถอธิบายได้ว่า

โน้ตตัวกลม 1 ตัว ได้ตัวขาว 2 ตัว หรือได้ตัวดำ 4 ตัว

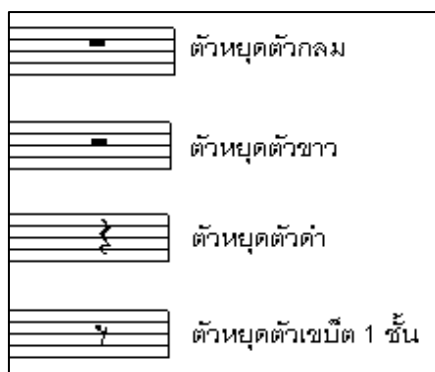
โน้ตตัวขาว 1 ตัว ได้ตัวดำ 2 ตัว

โน้ตตัวดำ 1 ตัว ได้ตัวเข้บัตหนึ่งชั้น 2 ตัว

โน้ตตัวเข้บัตหนึ่งชั้น 1 ตัว ได้ตัวเข้บัตสองชั้น 2 ตัว

2.2.2 ตัวหยุดหรือเครื่องหมายพักเสียง [7]

การบรรเลงดนตรีหรือการร้องเพลงในบทเพลงใดบทเพลงหนึ่งต้องมีบางตอนที่หยุดไปการหยุดนั้นอาจเป็น 4, 3, 2, 1 จังหวะ หรืออาจมาก-น้อยกว่านี้ขึ้นอยู่กับผู้แต่ง การบันทึกตัวหยุดนั้นได้กำหนดเป็นสัญลักษณ์เช่นเดียวกับตัวโน้ต ซึ่งโดยทั่วไปเรียกว่า “ตัวหยุด” (Rest) หมายถึงสัญลักษณ์ที่ใช้ในการเงียบเสียงดนตรีหรือเสียงร้องแต่อัตราจังหวะยังคงดำเนินไปตลอด ตัวหยุดจะถูกเขียนลงบนบรรทัด 5 เส้น เช่นเดียวกับตัวโน้ต มีลักษณะต่างกันแสดงดังรูปที่ 2.6 และรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 เครื่องหมายพักเสียง [7]



รูปที่ 2.7 การเปรียบเทียบตัวโน้ตและตัวหยุด [7]

2.2.3 เครื่องหมายแปลงเสียง (Accidentals) [7]

เครื่องหมายแปลงเสียงเป็นสัญลักษณ์ทางดนตรีที่ใช้บันทึกเพื่อให้ระดับเสียงของโน้ตตัวนั้นเปลี่ยนแปลงไปจากระดับเสียงเดิม เครื่องหมายแปลงเสียงมีอยู่ 5 ชนิดได้แก่

แฟล็ต (Flat, *b*) เปลี่ยนระดับเสียงของตัวโน้ตให้ต่ำลง 1/2 ชั้น

ชาร์ป (Sharp, *#*) เปลี่ยนระดับเสียงของตัวโน้ตให้สูงขึ้น 1/2 ชั้น

ดับเบิลชาร์ป (Double Sharp, *x*) เปลี่ยนระดับเสียงของตัวโน้ตให้สูงขึ้น 1 ชั้น

ดับเบิลแฟล็ต (Double Flat, *bb*) เปลี่ยนระดับเสียงของตัวโน้ตให้ต่ำลง 1 ชั้น

เนเจอร์ล (Natural, *♮*) กำหนดให้ตัวโน้ตกลับสู่ระดับเสียงปกติ

2.2.4 การเรียกชื่อตัวโน้ต [5]

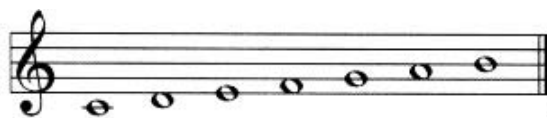
ระบบการเรียกชื่อตัวโน้ตสากลนิยมใช้อยู่ 2 ระบบ คือ

1) ระบบโซ-ฟา (So-Fa System) เป็นระบบการเรียกชื่อตัวโน้ตที่เรียงลำดับจากต่ำไปสูง ดังนี้

โด(Do), เร(Re), มี(Me), ฟา(Fa), ซอล(So), ลา(La), ที(Ti) แสดงดังรูปที่ 2.8

2) ระบบตัวอักษร (Letter System) เป็นระบบการเรียกชื่อตัวโน้ตที่เรียงลำดับจากต่ำไปสูง ดังนี้

เอ(A), บี(B), ซี(C), ดี(D), อี(E), เอฟ(F), จี(G)



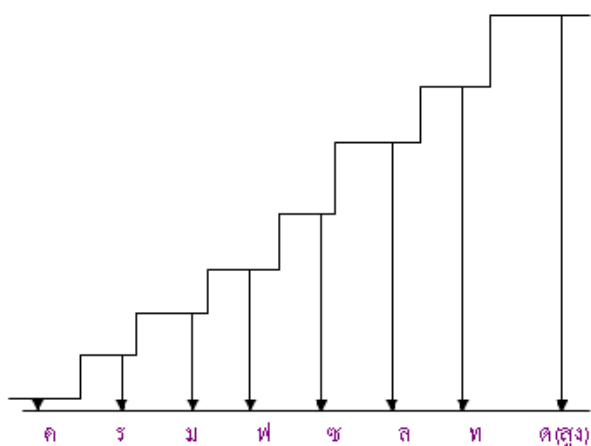
รูปที่ 2.8 แสดงตัวโน้ตจากต่ำไปสูงแบบโซ-ฟา [8]

2.2.5 ระดับเสียง (Tone) [4, 9]

เสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนของอากาศที่เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ส่วนเสียงอีกทีกหรือเสียงรบกวน (Noise) เกิดจากการสั่นสะเทือนของอากาศที่ไม่สม่ำเสมอ ลักษณะความแตกต่างของเสียงขึ้นอยู่กับคุณสมบัติสำคัญ 4 ประการ คือ ระดับเสียง ความยาวของเสียง ความเข้มของเสียง และคุณภาพของเสียง

1) ระดับเสียง (Pitch)

ระดับเสียง หมายถึง ระดับความสูง-ต่ำของเสียง ซึ่งเกิดการจำแนกความถี่ของการสั่นสะเทือน กล่าวคือ ถ้าเสียงที่มีความถี่สูง ลักษณะการสั่นสะเทือนเร็ว จะส่งผลให้มีระดับเสียงสูง แต่ถ้าหากเสียงมีความถี่ต่ำ ลักษณะการสั่นสะเทือนช้าจะส่งผลให้มีระดับเสียงต่ำ ภาพของระดับเสียงแสดงดังรูปที่ 2.9



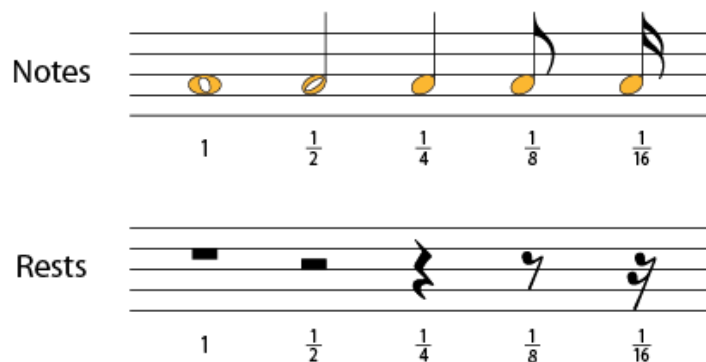
รูปที่ 2.9 แสดงระดับเสียงต่ำไปสูงและสูงไปต่ำ [10]

2) ความสั้น-ยาวของเสียง (Duration)

ความสั้น-ยาวของเสียง หมายถึง คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับความยาว-สั้นของเสียง แสดงดังรูปที่ 2.10 ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างยิ่งของการกำหนดลีลา จังหวะ ในดนตรีตะวันตก การกำหนดความสั้น-ยาวของเสียง สามารถแสดงให้เห็นได้จากลักษณะของตัวโน้ต เช่น โน้ตตัวกลม ตัวขาว และตัวดำ แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 แสดงโน้ตดนตรีที่มีความสั้น-ยาวของเสียงแตกต่างกัน [9]



รูปที่ 2.11 แสดงโน้ต ตัวกลม ตัวขาว และตัวดำที่มีความสั้น-ยาวของเสียง
ที่แตกต่างกันและความยาวลดลงตามลำดับ [9]

3) ความเข้มของเสียง (Intensity)

เมื่อมีโมเลกุลของอากาศที่อยู่รอบๆ แหล่งกำเนิดเสียงจะเกิดการถ่ายโอนพลังงานเสียงไปสู่ผู้ฟัง ผู้ฟังจะได้ยินเสียงดังหรือเบาขึ้นกับพลังงานเสียงที่ถ่ายโอนผ่านโมเลกุลอากาศว่ามีพลังงานถ่ายโอนมากหรือน้อย นอกจากนั้นยังมีเรื่องระยะทางในการถ่ายโอนพลังงานเสียงซึ่งจะมีผลต่อการได้ยินเสียงดังหรือเบาอีกด้วย ความเข้มของเสียงจะเป็นคุณสมบัติที่ก่อประโยชน์ในการเกื้อหนุนเสียงให้มีสีลาจังหวะที่สมบูรณ์และมีผลต่อการบันทึกเสียงด้วย [23]

4) คุณภาพของเสียง (Quality)

คุณภาพของเสียงเกิดจากคุณภาพของแหล่งกำเนิดเสียงที่แตกต่างกัน ปัจจัยที่ทำให้คุณภาพของเสียงเกิดความแตกต่างกันนั้น เกิดจากหลายสาเหตุ เช่น วิธีการผลิตเสียง รูปทรงของแหล่งกำเนิดเสียง และวัสดุที่ใช้ทำแหล่งกำเนิดเสียง ปัจจัยเหล่านี้ก่อให้เกิดลักษณะคุณภาพของเสียง ซึ่งเป็นหลักสำคัญให้ผู้ฟังสามารถแยกแยะสีลันของเสียง (Tone Color) ระหว่างเครื่องดนตรีเครื่องหนึ่งกับเครื่องหนึ่งได้อย่างชัดเจน

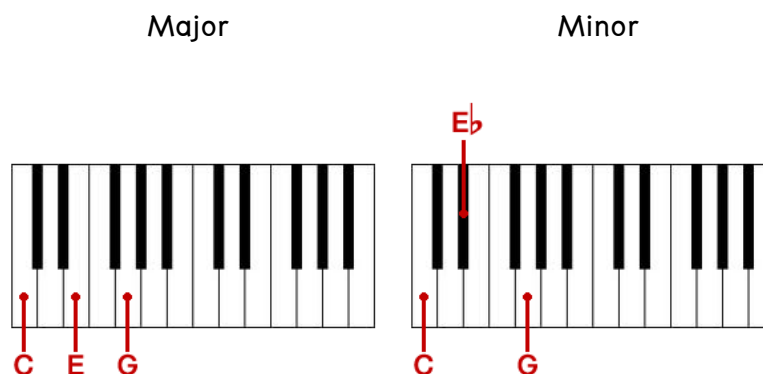
2.2.6 คอร์ด(Chord) [9, 11]

คอร์ดเป็นกลุ่มของตัวโน้ตที่แตกต่างกันตั้งแต่ 3 ตัวขึ้นไปที่มาประกอบกันเป็นเสียงประสาน ดนตรีมีคอร์ดเพิ่มเข้ามาเพื่อเข้าสนับสนุนให้แนวทำนองเด่นชัดและมีความไพเราะยิ่งขึ้น ในการประสานเสียงนั้นมีทั้งคอร์ดที่มีเสียงกลมกลืนและไม่กลมกลืน โดยทั่วไปแล้วคอร์ดที่มีเสียงกลมกลืนจะใช้มากกว่าคอร์ดที่มีเสียงไม่กลมกลืน

โครงการนี้จะจำแนกคอร์ดพื้นฐานจำนวน 24 คอร์ด ที่ประกอบด้วยคอร์ดชนิดเมเจอร์ 12 คอร์ด และคอร์ดชนิดไมเนอร์ 12 คอร์ด ใช้สำหรับผู้เริ่มต้นหัดเล่นเปียโน ดังแสดงในภาคผนวก

2.2.7 รูปแบบของคอร์ดเปียโน [12]

คอร์ดเมเจอร์และคอร์ดไมเนอร์ (Major Chords and Minor Chords)



รูปที่ 2.12 คอร์ด C Major (C) และคอร์ด C Minor (Cm) [12]

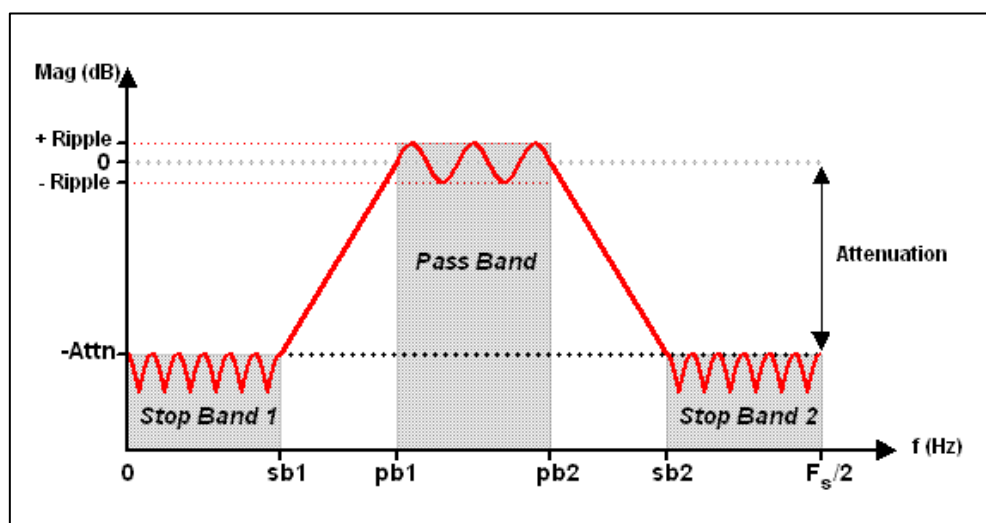
2.3 ทฤษฎีการกรองสัญญาณ [11]

เมื่อทำการบันทึกเสียงเข้ามาเก็บไว้จะต้องทำดัดสัญญาณรบกวนเพื่อปรับปรุงคุณลักษณะของสัญญาณเสียงให้เหมาะสมก่อนนำไปวิเคราะห์ต่อไป วิธีที่ใช้ในการกรองสัญญาณที่ได้ศึกษา คือ การกรองความถี่ช่วงกลางผ่าน

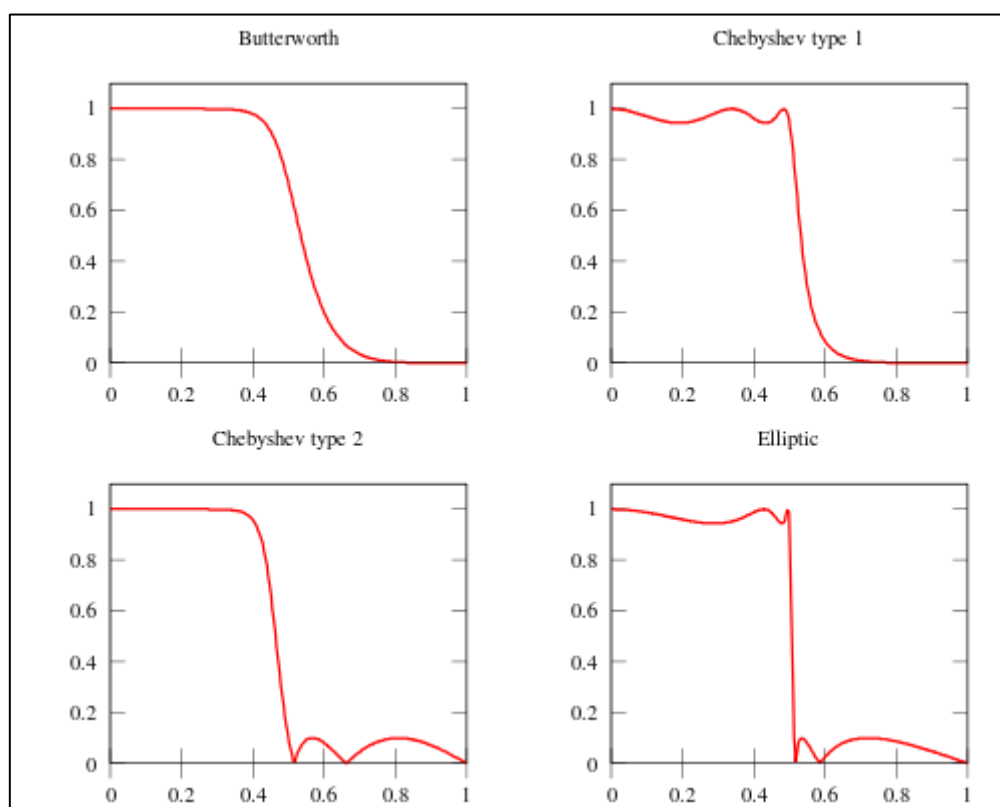
2.3.1 การกรองความถี่ช่วงกลางผ่าน (Band-pass Elliptic Filter)

การกรองความถี่ช่วงกลางผ่านเป็นวงจรที่มีลักษณะคล้ายกับการนำเอาวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำและความถี่สูงมาต่อรวมกัน (Cascade) ดังนั้น วงจรกรองความถี่ผ่านตรงกลางเฉพาะช่วง จะยอมให้สัญญาณผ่านไปได้เฉพาะช่วงที่กำหนดเท่านั้น ความถี่ที่นอกเหนือจากที่กำหนดจะถูกจำกัดโดยการลดทอนให้หมดไป โดยแสดงดังรูปที่ 2.12 การกรองความถี่แบบเอลลิปติก (Elliptic Filter) มีลักษณะความลาดชันมากกว่าการกรองความถี่แบบบัตเตอร์เวิร์ธ (Butterworth Filter) และการกรองความถี่แบบเชบีเชฟ (Chebyshev Filters) ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.13 การกรองความถี่แบบเอลลิปติก มี 2 แบบ คือ แบบความถี่ช่วงกลางผ่าน (Band Pass Filter) และแบบความถี่ช่วงหยุดผ่าน (Band Stop Filter) จะมีข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง

กับประสิทธิภาพการทำงานคือ เป็นการกรองความถี่ที่มีอันดับอนุพัทธ์น้อยที่สุด มีผลให้การประมวลผลเร็วขึ้น



รูปที่ 2.13 การกรองความถี่แบบช่วงกลางผ่านโดยเก็บเฉพาะความถี่
ช่วงที่กำหนดไว้ [11]



รูปที่ 2.14 ความชันของกราฟของการกรองความถี่แบบเอลลิปติก การกรองความถี่
แบบบัตเตอร์เวิร์ธและการกรองความถี่แบบเชบีเชฟ [11]

2.4 ทฤษฎีการวางกรอบหน้าต่าง (Windowing) [11]

การวางกรอบหน้าต่างสัญญาณเสียง (Windowing: $w(n)$) ทำเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงกะทันหันบริเวณช่วงปลายกรอบหน้าต่าง โดยที่ขนาดของสัญญาณเสียงจะลดลงอย่างช้าๆ ที่บริเวณปลายกรอบหน้าต่าง ทำให้สัญญาณเสียงมีความเสถียรและไม่เปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา ขั้นตอนการวางกรอบหน้าต่างคือ แบ่งสัญญาณเสียงออกเป็นช่วงเวลาสั้นๆ แล้วนำสัญญาณเสียงนั้นไปคูณด้วยฟังก์ชันกรอบหน้าต่าง รูปแบบของฟังก์ชันใช้ฟังก์ชันแฮมมิง (Hamming Function) ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ (2.1)

$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{M}\right) \quad (2.1)$$

โดย $n = 0, 1, \dots, M$

เมื่อ M คือ จำนวนตัวอย่างเสียงภายในกรอบหน้าต่าง

2.5 ทฤษฎีการหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเสียง [13]

การหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเสียงเป็นกระบวนการที่แยกส่วนที่เป็นเสียงดนตรี ออกจากส่วนที่ไม่ใช่เสียงดนตรีหรือส่วนที่เป็นเสียงพื้นหลัง (Background sound) วิธีในการหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเสียงประกอบไปด้วย

2.5.1 การหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเสียงโดยใช้ค่าลอการิทึมของพลังงาน

(Log Energy : $\text{Log}E$)

การหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเสียงสามารถพิจารณาจากการหาพลังงานในช่วงเวลาสั้นๆ (short-time energy) โดยช่วงที่เป็นเสียงดนตรีจะมีค่าพลังงานมากกว่าช่วงที่ไม่ใช่เสียงดนตรี วิธีการคำนวณหาค่าพลังงานเสียง คือ พิจารณาค่าผลรวมของแต่ละจุด (sample) ที่อยู่ในช่วงของสัญญาณเสียงที่ต้องการ ดังแสดงในสมการที่ (2.2)

$$E = \sum_{i=1}^N s^2(i) \quad (2.2)$$

โดยที่ E คือ ค่าพลังงานรวมทั้งหมด

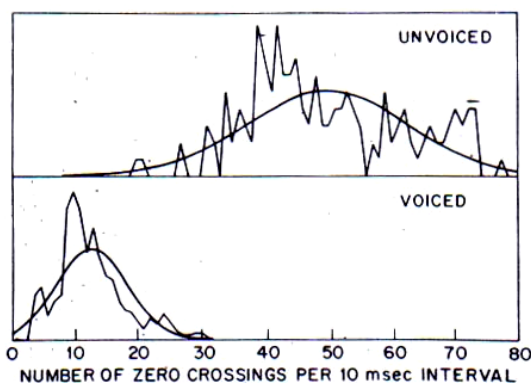
$s(i)$ คือ สัญญาณเสียงลำดับที่ i ในช่วงที่ต้องการหาค่าพลังงาน

N คือ จำนวน Sample ทั้งหมดในช่วงที่ต้องการหาค่าพลังงาน

$$\text{Log}E = 10 \log_{10} E \quad (2.3)$$

2.5.2 การหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเสียงด้วยวิธีอัตราการตัดศูนย์ (Zero Crossing Rate)

ปกติสัญญาณเสียงที่มีค่าจุดตัดสูงจะเป็นเสียงไม่ก้อง (Unvoiced) และสัญญาณเสียงที่มีค่าจุดตัดต่ำจะเป็นเสียงก้อง (Voiced) การหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเสียงจะมีการกำหนดเส้นขีดแบ่ง (Threshold) เพื่อเป็นเกณฑ์ในการแยกช่วงที่เป็นสัญญาณเสียงและไม่ใช่นำสัญญาณเสียง ดังนั้น จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเสียง คือ ช่วงของสัญญาณเสียงที่มีค่าจุดตัดต่ำกว่าเส้นขีดแบ่งที่กำหนดไว้



รูปที่ 2.15 แสดงการกระจายของค่าจุดตัดศูนย์ของเสียงไม่ก้องและเสียงก้อง [13]

อัตราการตัดศูนย์สามารถนิยามได้ดังสมการ

$$ZC[m] = \frac{1}{8} \sum_{n=m-N+1}^m |\text{sgn}(s[n]) - \text{sgn}(s[n-1])| \quad (2.4)$$

จากสมการที่ (2.4) เป็นการหาหนึ่งส่วนแปดของผลรวมของผลต่างของ signs ของแต่ละ sample

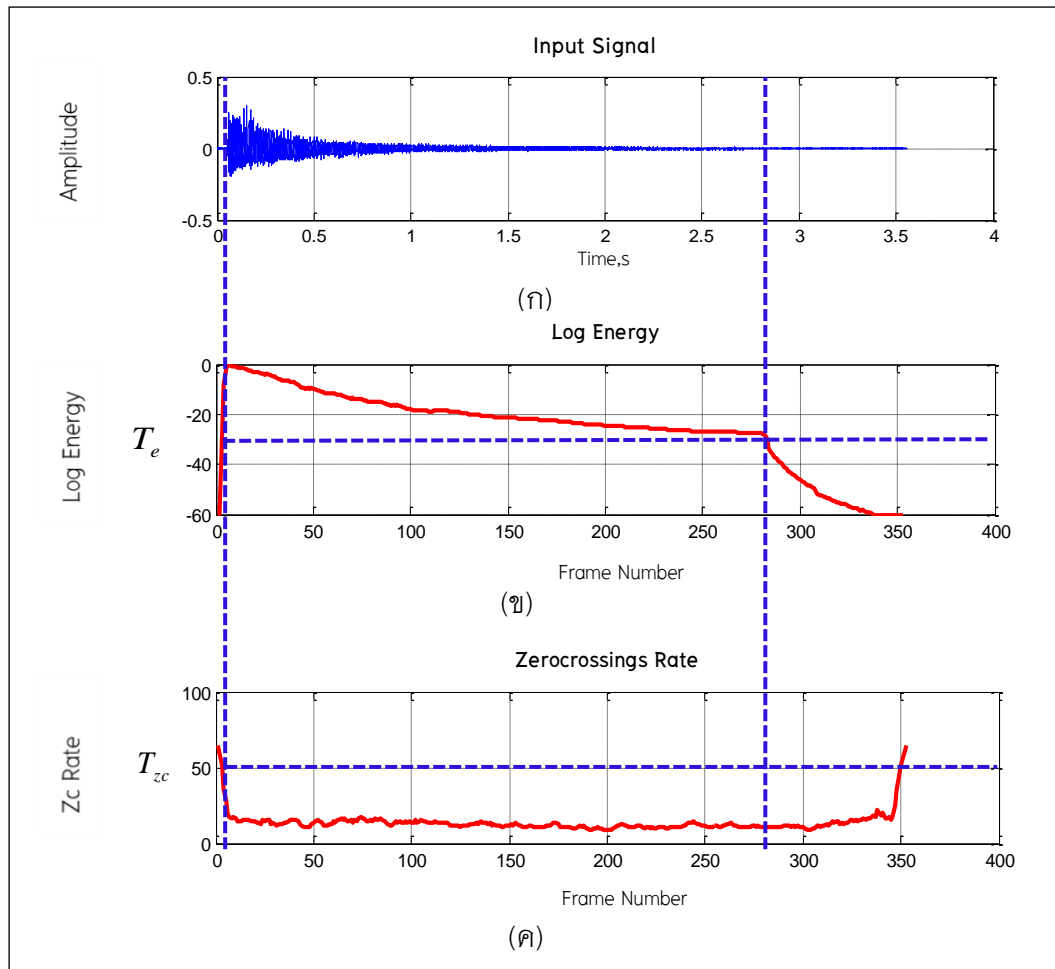
โดย sgn มีค่าเป็น 1 เมื่อ $s[n] > 0$

และ sgn มีค่าเป็น 0 เมื่อ $s[n] < 0$

$s[n]$ คือ ตำแหน่งของสัญญาณเสียงลำดับที่ n

N คือ ความยาวเฟรม

m คือ ความยาวเฟรมเลื่อน



รูปที่ 2.16 การหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเสียงโดยใช้ค่าพลังงานและอัตราการตัดศูนย์ร่วมกัน

(ก) สัญญาณอินพุต

(ข) การหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเสียงด้วยวิธีค่าพลังงาน

(ค) การหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเสียงด้วยวิธีการตัดหัวท้ายโดยใช้อัตราการตัดศูนย์

กำหนดให้ T_e คือ ค่าเส้นขีดแบ่งของค่าพลังงาน มีค่าเท่ากับ -30 และ T_{zc} คือ ค่าเส้นขีดแบ่งของอัตราการตัดศูนย์ มีค่าเท่ากับ 50

จากรูปที่ 2.15 แสดงการหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเสียงด้วยวิธีค่าพลังงานและวิธีอัตราการตัดศูนย์ร่วมกัน จากรูปที่ 2.15 (ก) แสดงสัญญาณอินพุตก่อนการหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเสียง แกน x คือ เวลาในหน่วยวินาที (Time, s) แกน y คือ ความสูงคลื่นเสียง (Amplitude) รูป 2.15 (ข) แสดงการหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเสียงด้วยวิธีค่าพลังงาน แกน x คือ ลำดับเฟรม (Frame Number) แกน y คือ ค่าลอการิทึมของพลังงาน (Log Energy) และรูป 2.15 (ค) แสดงการหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเสียงด้วยวิธีอัตราการตัดศูนย์ แกน x คือ ลำดับเฟรม (Frame Number) แกน y คือ ค่าอัตราการตัดศูนย์ (Zc Rate) ซึ่งการหา

ตำแหน่งเริ่มต้นและสิ้นสุดจะกำหนดเงื่อนไขโดยใช้เส้นขีดแบ่ง T_e และ T_{zc} ในการหาตำแหน่งเริ่มต้นของเสียงจะพิจารณาจากตำแหน่งแรกของพลังงานที่เริ่มมากกว่า T_e และตำแหน่งนั้นต้องมีค่าอัตราการตัดศูนย์ที่น้อยกว่า T_{zc} ด้วยจึงถือเป็นตำแหน่งเริ่มต้นของเสียง ส่วนตำแหน่งสิ้นสุดของเสียงพิจารณาจากตำแหน่งที่สองของพลังงานที่มีค่าพลังงานเริ่มน้อยกว่า T_e และตำแหน่งนั้นต้องมีค่าอัตราการตัดศูนย์ที่น้อยกว่า T_{zc} ด้วยเช่นกัน ซึ่งการหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเสียงนอกจากจะใช้อัตราการตัดศูนย์แล้วยังใช้ค่าพลังงานมาช่วยวิเคราะห์เพื่อให้ครอบคลุมในการพิจารณาหาตำแหน่งที่ถูกต้อง

2.6 ทฤษฎีการหาค่าคุณลักษณะ

2.6.1 อัลกอริธึมแบบสัมพันธ์อัตโนมัติ (Autocorrelation) [14–15]

อัลกอริธึมแบบสัมพันธ์อัตโนมัติเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “ความสัมพันธ์แบบอนุกรม (Serial Correlation)” เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์สำหรับการค้นหารูปแบบการทำซ้ำ เช่น การระบุความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency) ที่พบในสัญญาณเสียงซึ่งเป็นค่าคุณลักษณะเฉพาะของเสียงที่แสดงโดยค่าความถี่ทางฮาร์โมนิค ส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในการประมวลผลสัญญาณสำหรับการวิเคราะห์การทำงานหรือชุดของตัวแปร เช่น สัญญาณโดเมนเวลา เป็นต้น

การหาค่าสหสัมพันธ์อัตโนมัติสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.5)

$$R_{xx}(m) = \sum_{n=0}^{N-m-1} x_{n+m} x_n \quad (2.5)$$

โดยที่ x_n คือ ค่าของสัญญาณเซนเตอร์คลิปปิง (Center Clipping) จุดที่ n

R_{xx} คือ ค่าสหสัมพันธ์อัตโนมัติ

N คือ ความยาวเฟรม

m คือ ค่าความล่าช้าในโดเมนเวลา โดยกำหนดให้ $m = 1, 2, \dots, N$

การนำอัลกอริธึมแบบสัมพันธ์อัตโนมัติมาหาค่าคุณลักษณะของเสียงทำได้โดยนำสัญญาณที่ผ่านอัลกอริธึมสหสัมพันธ์อัตโนมัติมาหาจุดที่มีค่าสูงสุดของแต่ละเฟรมเพื่อคำนวณหาค่าความถี่มูลฐานและนำความถี่มูลฐานมาจำแนกข้อมูลเสียงที่มีความต่างกันตามระดับเสียง เมื่อนำเสียงมาวิเคราะห์หาค่าความถี่มูลฐาน ข้อมูลเสียงที่เป็นเสียงชนิดเดียวกันจะมีความสัมพันธ์กันโดยมีค่าความถี่มูลฐานใกล้เคียงกับที่กำหนดไว้และแยกตามระดับของเสียง

2.6.2 แมกนิจูดฟูเรียร์ (Magnitude Fourier) [11]

การแปลงฟูเรียร์เป็นการแปลงสัญญาณเสียงให้อยู่ในรูปของแถบความถี่เสียงซึ่งประกอบไปด้วยแอมพลิจูดและความถี่ การแปลงฟูเรียร์สามารถนำมาใช้หาค่าคุณลักษณะของเสียงโดยการวิเคราะห์หาโน้ตของคอร์ดและสเปกตรัมที่ได้จะสามารถนำไปใช้ในการจำแนกคอร์ดด้วยฟังก์ชันของการแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่องของสัญญาณ $f(x)$ สามารถใช้ฟังก์ชันแมกนิจูดในการเปลี่ยนฟังก์ชันเชิงซ้อนให้เป็นจำนวนจริงได้ การหาแมกนิจูดฟูเรียร์แสดงได้ดังสมการที่ (2.6)

$$|F(u)| = \sum_{x=0}^N f(x) \omega_N^{(x-1)(u-1)} \quad (2.6)$$

โดยที่ $u = 0, 1, 2, \dots, N-1$

$$\omega_N = e^{(-2\pi i)/N}$$

เมื่อ N คือ จำนวนตัวอย่างของฟูเรียร์

จากสมการที่ (2.6) สามารถใช้ในการสกัดหาค่าคุณลักษณะของเสียงได้โดยนำค่าแมกนิจูดฟูเรียร์มาแปลงอยู่ในหน่วยของเดซิเบล (dB) แสดงได้ดังสมการที่ (2.7)

$$F(u) = 2 \log_{10}(|F(u)|) \quad (2.7)$$

จากสัญญาณเสียง $f(x)$ สามารถนำแถบความถี่เสียง ($F(u)$) มาประมาณเป็นค่าความถี่ได้ดังสมการที่ (2.8)

$$f(u) = \frac{u \times A}{N} \quad (2.8)$$

โดย $u = 0, 1, \dots, \frac{N}{2}$

เมื่อ $f(u)$ คือ ความถี่เสียง

A คือ อัตราการสุ่มตัวอย่างเสียง

N คือ จำนวนตัวอย่างของฟูเรียร์

จากสมการที่ (2.9) จะได้ความถี่จากการแปลงฟูเรียร์ดังนี้ $0, \frac{1 \times A}{N}, \frac{2 \times A}{N}, \frac{3 \times A}{N}, \dots, \frac{N \times A}{2N}$ เช่น ถ้ากำหนดให้อัตราการสุ่มตัวอย่างเสียงเท่ากับ 11025 Hz และจำนวนตัวอย่างของฟูเรียร์เท่ากับ 1000 ดังนั้นเราจะได้ความถี่ดังนี้ 0, 11.03, 22.05, 33.08, ..., 22050 Hz

2.6.3 การหาอัตราสุ่มตัวอย่างของสัญญาณเสียง (Sampling Rate) [16–19]

เนื่องจากการนำสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณแบบอนาล็อกที่มีความต่อเนื่องของสัญญาณ เมื่อนำสัญญาณเสียงมาจัดเก็บในคอมพิวเตอร์จึงต้องทำการแปลงสัญญาณเสียงเป็นแบบดิจิทัลซึ่งเป็นสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่อง ในการใช้รูปคลื่นของสัญญาณอนาล็อกมาแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลโดยการวัดความสูงของลูกคลื่นจากหลายตำแหน่ง เรียกว่า วิธีแซมปลิง (Sampling) โดยจะสุ่มตัวอย่างเป็นสองเท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณที่ใช้ เช่น เสียงมีความถี่ 20,000 Hz ดังนั้น ค่าความถี่ของการแซมปลิงจึงเท่ากับ 40,000 ครั้งต่อวินาที แล้วจึงสร้างสัญญาณดิจิทัลจากความสูงที่วัดได้ วิธีการนี้เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแปลงเสียง (Voice) ให้เป็นข้อมูลดิจิทัล เรียกว่า “Voice Digitization” สูตรการหาอัตราสุ่มตัวอย่างแสดงดังสมการที่ 2.10

$$F_s \geq 2F_{\max} \quad (2.10)$$

โดย F_s คือ อัตราการสุ่มตัวอย่าง

F_{\max} คือ ความถี่มากที่สุดที่ใช้ในการหาอัตราสุ่มตัวอย่าง

สำหรับการลดอัตราสุ่มตัวอย่างของสัญญาณเสียงเพื่อให้ขนาดของไฟล์เสียงลดลง เพื่อจะได้นำไปจัดเก็บในพื้นที่ที่มีขนาดจำกัด หรือใช้ในการประมวลผลสัญญาณ ซึ่งจำนวนอัตราสุ่มตัวอย่างเสียงที่มีค่ามากจะมีผลต่อเวลาในการประมวลผลสัญญาณที่มากขึ้นไปด้วย หากลดอัตราสุ่มตัวอย่างเสียงโดยให้สัญญาณเสียงจะมีความใกล้เคียงกับเสียงต้นฉบับมากที่สุดจะใช้อัตราสุ่มตัวอย่างที่มีค่ามาก หากอัตราสุ่มตัวอย่างเสียงน้อยความใกล้เคียงกับสัญญาณเสียงต้นฉบับก็จะน้อยตามไปด้วย อัตราสุ่มตัวอย่างเสียงที่เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรม ได้แก่ 6000 Hz, 8000 Hz, 11025 Hz, 16000 Hz, 22050 Hz, 32000 Hz, 32075 Hz, 44100 Hz, 48000 Hz เป็นต้น สำหรับค่าอัตราการสุ่มตัวอย่างเสียงที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานด้านต่างๆแสดงดังตารางที่ 2.11 การกำหนดอัตราสุ่มตัวอย่างของสัญญาณเสียงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณในอัลกอริทึมต่างๆจะต้องคำนึงถึงเวลาในการประมวลผล จึงควรเลือกอัตราสุ่มตัวอย่างเสียงที่เหมาะสม ปกติความถี่เสียงที่มนุษย์สามารถได้ยินอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 10000 Hz ดังนั้นอัตราการสุ่มตัวอย่างเสียงจะมากกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุด คือ มากกว่า 20000 Hz เสียงโทรศัพท์ผ่านไมโครโฟนจะผ่านการกรองสัญญาณก่อนเข้าสู่สวิตชิงเน็ตเวิร์ค (Switching Network) จะได้ความถี่ที่ 4000 Hz และจะได้อัตราการสุ่มตัวอย่างเสียงเท่ากับ 8000 Hz ซึ่งโครงงานนี้ได้กำหนดอัตราการสุ่มตัวอย่างเสียงคอร์ตเปียนเพื่อนำไปใช้ในการ

ประมวลผลสัญญาณเท่ากับ 11025 เฮิรตซ์ (Hz) ซึ่งเป็นเสียงที่ผ่านไมโครโฟนและผ่านการกรองสัญญาณโดยการกรองความถี่ช่วงกลางผ่าน จึงมีความถี่มากที่สุดที่ 3400 Hz จะได้อัตราการสุ่มตัวอย่างมากกว่าหรือเท่ากับ 6800 Hz ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมสามารถใช้อัตราการสุ่มตัวอย่างที่ 8000 Hz หรือ 11025 Hz ได้

ตารางที่ 2.11 อัตราสุ่มตัวอย่างเสียงที่เหมาะสมกับงาน

อัตราสุ่มตัวอย่างเสียง	การใช้งาน
8000 Hz	สำหรับโทรศัพท์
11,025 Hz	สำหรับเก็บข้อมูลเสียง
22,050 Hz	ใช้ในการกระจายเสียงวิทยุ
32,000 Hz – 44,100 Hz	อัตราการสุ่มตัวอย่างเสียงแบบออดิโอ ซีดี (Audio CD) ที่ใช้สำหรับไฟล์เสียงเพลง และไฟล์เสียงในกล่องวิดีโอ ในรูปแบบของ VCD, SVCD, MP3
47,250 Hz	สำหรับภาพยนตร์และเสียงระดับมืออาชีพ
48,000 Hz	การพัฒนาอัตราการสุ่มตัวอย่างแรกของโลกที่ใช้ได้ในเชิงพาณิชย์ที่ใช้ PCM บันทึก เช่น miniDV, ดิจิตอล TV, DVD, DAT
50,000 Hz	อัตราการสุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการบันทึกดิจิตอล พัฒนาเพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์ เช่น 1970 3M และ Soundstream
96,000 หรือ 192,000 Hz	อัตราการสุ่มตัวอย่างสำหรับภาพและเสียงระดับสูง เช่น DVD-Audio, HD-DVD (High Definition DVD)

2.7 ทฤษฎีการจำแนกคอร์ด

2.7.1 อัลกอริธึมตารางการตัดสินใจ (Decision Table) [16]

ตารางการตัดสินใจเป็นเครื่องมือที่ใช้แสดงเงื่อนไขการตัดสินใจ และการเลือกการทำงานหรือกระทำการกิจกรรมใดเหตุการณ์ของเงื่อนไขที่ระบุ เช่นเดียวกับต้นไม้การตัดสินใจ แต่ตารางการตัดสินใจเป็นลักษณะตาราง ซึ่งในโครงงานนี้ใช้อัลกอริธึมตารางการตัดสินใจในการนำค่าคุณลักษณะที่สกัดได้จากสัญญาณเสียงมาทำการจำแนกเสียงคอร์ดเปียโนรูปแบบของตารางการตัดสินใจแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รูปแบบของการสร้างตารางการตัดสินใจ

เงื่อนไข	กฎสำหรับการตัดสินใจ / การกระทำ
การระบุเงื่อนไขสำหรับการพิจารณาการทำงาน	กฎที่เป็นไปได้ตามเงื่อนไขที่ระบุ
การกระทำที่เป็นไปได้	การระบุการเลือกการกระทำภายใต้กฎเกณฑ์

ตัวอย่าง การอนุมัติจ่ายเงินให้กับใบทวงหนี้ ถ้าจำนวนเงินในใบทวงหนี้น้อยกว่า 25,000 บาท สั่งจ่ายทันที ถ้าจำนวนเงินในใบทวงหนี้อยู่ระหว่าง 25,000 ถึง 250,000 บาท และมีส่วนลดหรือใบทวงหนี้ค้างมากกว่า 10 วัน ให้จ่ายเงินได้ทันที ถ้าใบทวงหนี้มีมูลค่ามากกว่า 250,000 บาท จะต้องพิมพ์รายงานเพื่อเตรียมเงินสดและส่งไปให้ผู้บริหารเพื่อรอการอนุมัติจ่ายเงินต่อไป

รูปแบบการวิเคราะห์เงื่อนไขแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงรูปแบบของการตั้งตารางตัดสินใจจากโจทย์โดยมีเงื่อนไขและค่าที่เป็นไปได้

เงื่อนไข	ค่าที่เป็นไปได้
1. จำนวนเงินในใบทวงหนี้	a. น้อยกว่า 25,000 b. ระหว่าง 25,000 ถึง 250,000 c. มากกว่า 250,000
2. วันค้างจ่าย	a. น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 วัน b. มากกว่า 10 วัน
3. ส่วนลดถ้าจ่ายเร็ว	a. มี b. ไม่มี

1) การสร้างตารางตัดสินใจ

การสร้างตารางตัดสินใจจะกำหนดจำนวนแถวของตารางให้เท่ากับจำนวนเงื่อนไขบวกหนึ่ง สำหรับจำนวนคอลัมน์จะมีค่าเท่ากับผลคูณของตัวแปรที่เป็นไปได้ทั้งหมดบวกหนึ่งคอลัมน์สำหรับเขียนคำอธิบายเงื่อนไข การแบ่งคอลัมน์และแถวของตารางตัดสินใจแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การแบ่งคอลัมน์และแถวของตารางการตัดสินใจ

		แถวตั้งที่												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
แถวนอนที่	1													
	2													
	3													
	4													

ตารางที่ 2.4 การใส่เงื่อนไขในตารางตัดสินใจ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
จำนวนเงินใน ใบทวงหนี้												
จำนวนวัน ค้างจ่าย												
ส่วนลด												

2) เงื่อนไข (Condition)

หลังจากสร้างตารางแล้ว จากนั้นใส่เงื่อนไขที่เป็นไปได้สำหรับตัวแปรแต่ละตัว เพื่อให้การเติมค่าต่างๆ เป็นไปอย่างมีระเบียบเพื่อไม่ให้เกิดความสับสนหรือซ้ำซ้อน การใส่เงื่อนไขในตารางตัดสินใจแสดงดังตารางที่ 2.4 เงื่อนไขของตารางตัดสินใจมีหลักการดังนี้

2.1) เงื่อนไขที่ 1 จำนวนเงินในใบทวงหนี้

เริ่มต้นลบ 1 ออกจากจำนวนแถวตั้งทั้งหมด จะได้จำนวนแถวตั้งเหลือ 12 แถว จากนั้นนำจำนวนที่ได้มาหารด้วยจำนวนค่าที่เป็นไปได้ของเงื่อนไขนี้คือ 3 ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 4 ผลลัพธ์ดังกล่าวคือ จำนวนที่จะต้องเขียนซ้ำสำหรับแต่ละค่าที่เป็นไปได้ของตัวแปรนี้ หากเขียนในตารางจะได้ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ผลลัพธ์ของเงื่อนไขที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
จำนวนเงินในใบทวงหนี้	< 25000	< 25000	< 25000	< 25000	25000 - 25000	25000 - 25000	25000 - 25000	25000 - 25000	> 25000	> 25000	> 25000	> 25000

2.2) เงื่อนไขที่ 2 : จำนวนวันค้างจ่าย

การคำนวณการเขียนซ้ำในตารางสำหรับเงื่อนไขที่ 2 สามารถหาได้โดยนำค่าที่เป็นไปได้ของเงื่อนไขนี้คือ 2 ไปหารจำนวนที่เขียนซ้ำของเงื่อนไขที่ 1 คือ 4 ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 2 ดังนั้นค่าที่เป็นไปได้ของเงื่อนไขจำนวนวันค้างจ่ายจะต้องเขียนซ้ำ 2 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ผลลัพธ์ของเงื่อนไขที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
จำนวนเงินในใบทวงหนี้												
จำนวนวันค้างจ่าย	<= 10	<= 10	> 10	> 10	<= 10	<= 10	> 10	> 10	<= 10	<= 10	> 10	> 10
ส่วนลด												

2.3) เงื่อนไขที่ 3 ส่วนลด

เงื่อนไขที่ 3 จะมีตาราง คล้ายกับเงื่อนไขที่ 2 คือ จะสามารถคำนวณว่าเขียนซ้ำได้กี่ครั้ง โดยการนำค่าที่เป็นไปได้ของเงื่อนไขนี้คือ 2 (คือมีส่วนลด (Y) หรือไม่มีส่วนลด (N)) ไปหารจำนวนที่เขียนซ้ำของเงื่อนไขที่ 2 คือ 2 ได้ผลลัพธ์เป็น 1 ดังนั้นค่าที่เป็นไปได้ของส่วนลดจะต้องเขียนซ้ำเพียงครั้งเดียวเท่านั้น ดังแสดงตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ผลลัพธ์ของเงื่อนไขที่ 3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
จำนวนเงิน ในใบทวงหนี้												
จำนวนวัน ค้างจ่าย												
ส่วนลด	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N

3) การตัดสินใจ

เริ่มต้นโดยขีดเส้น 2 เส้นเพื่อแบ่งแยกเงื่อนไขกับการตัดสินใจ แล้วเติมแถวนอนสำหรับการตัดสินใจที่เป็นไปได้ ซึ่งในที่นี้มีทางเลือก 3 ทางคือ จ่ายเงินได้ทันที หรือเก็บใบทวงหนี้ไว้ หรือพิมพ์รายงานเพื่อเตรียมเงินสด เพราะฉะนั้นให้เติมแถวนอน 3 แถวและในแถวตั้งที่เกิดขึ้นให้เติมอักษร “X” ลงไปในช่องที่ตัดสินใจเลือก ซึ่งจะได้ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ผลลัพธ์ของการตัดสินใจ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
จำนวน เงินในใบ ทวงหนี้	< 25000	< 25000	< 25000	< 25000	25000 - 25000	25000 - 25000	25000 - 25000	25000 - 25000	> 25000	> 25000	> 25000	> 25000
จำนวน วัน	<= 10	<= 10	> 10	> 10	<= 10	<= 10	> 10	> 10	<= 10	<= 10	> 10	> 10
ส่วนลด	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N
จ่ายเงิน	X	X	X	X		X	X	X				
เก็บไว้					X							
พิมพ์ รายงาน									X	X	X	X

Y : Yes < : น้อยกว่า

N : No > : มากกว่า

X : เลือก < = : น้อยกว่าหรือเท่ากับ

ตารางตัดสินใจสามารถเขียนให้สั้นขึ้นได้โดยใช้ตัวอักษรแทนการตัดสินใจ ตัวอย่างเช่น

A = จ่ายเงิน

S = เก็บไว้

P = พิมพ์รายงานเพื่อเตรียมเงินสด

จะได้ตารางใหม่ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 การใช้อักษรแทนการตัดสินใจ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ตัดสินใจ	A	A	A	A	A	S	A	A	P	P	P	P

4) ทำตารางตัดสินใจให้กระชับ

จากตารางตัดสินใจที่ได้มานั้นอาจใหญ่เกินไปและมีหลายกรณีที่เงื่อนไขบางเงื่อนไขไม่มีความหมายแต่ให้ผลลัพธ์ออกมาเหมือนกัน ตัวอย่างเช่น หากจำนวนเงินน้อยกว่า 25,000 บาท การสร้างตารางไม่จำเป็นจะต้องสนใจเงื่อนไขวันค้างจ่ายหรือส่วนลด ดังนั้นตารางอาจยุบให้สั้นขึ้นได้

เงื่อนไขที่ไม่ได้ใช้จะเขียนแทนด้วยเครื่องหมาย “-” ในแถวตั้งของเงื่อนไขที่ไม่จำเป็น จากนั้นให้ยุบแถวตั้ง 1-4 เหลือเพียง 1 แถว (แถวที่ 1) แถวที่ 5-8 ยุบลงเหลือ 3 แถวตั้งในตารางด้านล่างคือ แถวที่ 2-4 ส่วนแถวที่ 9-12 เหลือเพียง 1 แถว (แถวที่ 5) การทำตารางตัดสินใจให้กระชับขึ้นแสดงดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 การทำตารางตัดสินใจให้กระชับ

	1	2	3	4	5
จำนวนเงินในใบทางหนี้	< 25000	25000 - 25000	25000 - 25000	25000 - 25000	> 25000
วันค้างจ่าย	-	<= 10	<= 10	>10	-
ส่วนลด	-	Y	N	-	-
ตัดสินใจ	A	A	S	A	P