

平成 26 年度 卒業論文

カラオケを盛り上げるためのタンバリン演奏支援システム

指導教員 北原 鉄朗 准教授

日本大学文理学部情報システム解析学科

木下 尚洋 栗原 拓也 山口 竜之介

2015 年 2 月 提出

概 要

カラオケが娯楽の一つのとして根付いている今日では、複数人でカラオケに行く機会が少なくない。しかし、その際、他の人が歌う曲を知らなかったりどうやって一緒に楽しめばいいのかが分からず、ただ聴いているだけになり退屈だと感じてしまうという経験をした人が多くいると思われる。カラオケ店にも盛り上げる為の様々な道具があるが、実際は使うきっかけが無くこれらの道具を使うことが恥ずかしかったり、自分が思うがままに使って歌う人に迷惑をかけてしまう等の様々な問題があり、使い辛いのが現状である。

本研究では、カラオケ店で一般的に置いてある楽器、タンバリンを用いてカラオケを盛り上げることが出来ることを目的とする。曲のリズムに合わせてどのようにタンバリンを演奏するかを自動で生成・表示し、タンバリンの演奏の仕方が分からない人にもタンバリンを叩くきっかけを与える。また、いろいろな叩き方ができることや、叩く以外にも振って演奏ができるというタンバリンの性質を最大限に生かし、体の動きの指示も加えることにより視覚的にもカラオケを盛り上げられるようにする。これにより、従来のカラオケ店に置いてあるだけだったタンバリンの利用を促し、歌唱者と非歌唱者が一体となってカラオケを楽しむことを支援する。システムを実装し、実際にカラオケ店で実験を行ったところ、タンバリン演奏者と聴き手から高い評価を受けタンバリンを利用し楽しむきっかけを与えることができた。しかし、歌唱者からは「その場のノリで楽しみたいので、演奏のタイミングを固定されたくない」、「タンバリンがズレると歌い辛かった」などの低い評価もみられた。また、歌唱者と非歌唱者共に不満な点もあり、環境

の工夫など今後の課題が顕在化する結果が得られた。

目 次

目 次	iii
図 目 次	vii
表 目 次	ix
第 1 章 序 論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究の目的	1
1.3 本論文の構成	2
第 2 章 関連研究と本研究へのアプローチ	3
2.1 カラオケに関する関連研究	3
2.1.1 浦川らの研究	3
2.1.2 白井らの研究	4
2.1.3 寺田らの研究	4
2.1.4 竹内らの研究	5
2.1.5 Pedro らの研究	5
2.2 打楽器支援に関する関連研究	5
2.2.1 岩見らの研究	5
2.2.2 辻らの研究	6
2.2.3 後藤らの研究	6

2.2.4	恒次らの研究	6
2.2.5	犬飼らの研究	7
2.3	本研究へのアプローチ	7
第3章	システム構成	9
3.1	システム概要	9
3.1.1	起動・準備	9
3.1.2	練習モード	10
3.2	タンバリン譜生成	16
3.2.1	叩くタイミングの生成	16
3.2.2	演奏方法の決定	18
3.2.3	叩く強さの決定	18
3.2.4	体の動きの決定	18
3.3	カラオケの開始	20
3.4	演奏の判定	20
3.4.1	強く叩かない時の叩いたかの判定	20
3.4.2	振ったかの判定	20
3.4.3	強く叩いたかの判定	21
3.4.4	体の動きの判定	21
第4章	評価実験	23
4.1	評価実験1	24
4.1.1	実験条件	24
4.1.2	実験結果・考察	24
4.2	評価実験2	27
4.2.1	実験条件	27
4.2.2	実験結果・考察	28

第 5 章 結 論	35
参考文献	37

目 次

3.1 システムの流れ	10
3.2 Wii タンバリン	11
3.3 Wii リモコン	12
3.4 スタート画面	13
3.5 練習画面	14
3.6 選曲画面	15
3.7 タンバリン譜	19
4.1 実験の様子	23

表 目 次

4.1	歌い手アンケート	25
4.2	叩き手アンケート	25
4.3	聴き手アンケート	26
4.4	総合アンケート	26
4.5	自由回答（抜粋）	29
4.6	実験結果	30
4.7	叩き手アンケート（既知の曲）	31
4.8	叩き手アンケート（未知の曲）	31
4.9	聴き手アンケート（既知の曲）	32
4.10	聴き手アンケート（未知の曲）	32
4.11	総合アンケート	32
4.12	追加実験結果	33

第1章 序 論

1.1 研究背景

今日カラオケは多くの人に親しまれる娯楽の一つとして根付いている。しかし、複数人でカラオケに行った際にその場にいる全ての人が一緒になって盛り上げられることは少ない。歌を歌っていない人達は、歌われている曲を知らなかったり、どのようにして歌っている人と一緒に楽しめばいいのかが分からずに、カラオケを退屈だと感じてしまう事が多くあるからである。

このような問題を解決するためにも、カラオケ店ではカラオケを盛り上げる為にタンバリンやマラカスなどの様々な道具があるが、どのように演奏すれば良いのかわからず使用しない、使うことが恥ずかしい、歌う人の邪魔になってしまう等の問題が生じてしまい使い辛いのが現状である。

カラオケに関する研究では、歌唱者に対するはずれた音程の訂正をするシステム [1] や 3DCG カメラを用いた通信カラオケの開発 [2] が行われているが、このような問題を解決する研究はない。

1.2 研究の目的

本研究では、タンバリンを用いてカラオケを盛り上げられるような演奏ができるように支援する。カラオケの伴奏の再生に用いられている MIDI データから曲のリズムに合わせてどのようにタンバリンを演奏するか（以下、タンバリン譜という）を自動で生成し、カラオケの画面上にタンバリン譜を表示する。タンバリ

ン譜を表示することで、タンバリンの演奏の仕方が分からない人にもタンバリンを叩くきっかけを与える。

タンバリン譜は、ただ叩くタイミングを指示するだけではなく、タンバリンを振る演奏の指示や、強く叩き続けて歌い手の邪魔になるようなことがないように叩く強さの指示、視覚的にもカラオケを盛り上げられるように体の動きの指示を行うなどタンバリンの性質を最大限に生かした演奏でカラオケを盛り上げることを支援することを目的とする。

1.3 本論文の構成

本論文は次の構成からなる。第2章では、本研究に関する研究や作品、本研究の課題について述べる。第3章では、提案システムの概要と構成について述べる。第4章では、評価実験とその考察について述べる。第5章では、本研究の結論、また課題について述べる。

第2章 関連研究と本研究へのア プローチ

ここでは、本研究に関連する研究や作品について述べ、関連研究と本研究との目的の違いについて述べていく。

2.1 カラオケに関する関連研究

2.1.1 浦川らの研究

浦川らの研究 [1] は、歌が上手に歌えない音痴の人たちが付き合いでカラオケに行かなくてはならない時に、音程のずれを修正してくれるというものである。システムは Java により構築され、ボーカルパートを取得するブロック、声の高さを変換するブロック、メインブロックの三つのブロックから成り立つ。ボーカルパートを取得するブロックでは、SMF フォーマットからテンポ、ノートオン、ノートオフ、デルタタイムの情報を取得し、演奏開始からの経過時間の関数として、ボーカルパートの周波数を計算する。声の高さを変換するブロックでは、ピッチ抽出エラーによる影響を受けないよう、LPC 分析合成を用いて変換する。そして、メインブロックは、他の二つのブロックが連動し、カラオケシステムとして動作するものである。上記のシステムの構成により、マイクロホンに入力された歌声の音程がはずれいていても、MIDI データに入力されているボーカルパートの情報をを用いて正しい音程を得て、音程を修正してスピーカーから出力することができる。

ヴィブラートの付与、駆動源の位相特性の操作による声質変換などを盛り込みエンターテインメントとしての発展を今後の課題としている。

2.1.2 白井らの研究

白井らの研究 [2] は、曲にあった 3DCG アニメーションを作り、それを通信カラオケでリアルタイムで再生できる新たな 3DCG 通信カラオケを提案した。提案する上で以下の四つのことを開発した。1)MIDI と 3DCG との同期方法を一拍単位で行い、同期の遅延を軽減させる。2)3DCG のカラオケコンテンツ制作環境の CG データを部品化し、複数のカラオケコンテンツで共有することにより制作時間を軽減させる。3)3DCG のカラオケコンテンツデータ配信方法を 2) を利用してデータ転送量を限定し、転送時間を短縮させる。4)M2 システムでのプロトタイプ開発を行う。上記のことにより、より効率よく 3DCG 通信カラオケができるようになった。

2.1.3 寺田らの研究

寺田らの研究 [3] は、アクティブデータベースを用いたカラオケの背景画像生成システム Active Karaoke を構築した。この Active Karaoke は、データベース中に格納されている画像などのマルチメディア素材をもとにする。素材は間近に撮った写真を使用したり、用意していた画像をインターネットからダウンロードして得る事ができる。そして、歌詞の内容や曲調に合ったものを選択し、カラオケの背景として曲に合わせてリアルタイムに提示することを可能とした。また、様々な要求に対応できるように、発生する事象 (イベント)、ルールの発火条件 (コンディション)、実行される操作 (アクション) の三つの組みからなる ECA ルールに記述することで機能をカスタマイズすることができる。

2.1.4 竹内らの研究

竹内らの研究 [4] は、従来のカラオケ採点法にない 1) 『音程に対する分解能』の
高いピッチ抽出法、2) 検出誤りの少ない高精度なビブラート検出法の二つを用い
て人の歌声の音高と平均律音階の最小距離に基づいた歌唱評価法を提案するもの
である。歌唱評価用のピッチ抽出法では、音声信号を分析し、合成自己相関関数
を用いて抽出する。ビブラート検出は、スペクトルを利用したピッチ周期変化量
の算出を行い、正・負の相関係数を用いて検出する。また、より人の感性に近い
歌唱評価をするため、歌声が心地よく聴こえる”歌声の音高と平均律音階の距離”
を利用するものである。

2.1.5 Pedro らの研究

Pedro らの研究 [5] は、歌を歌っているときにあらかじめ録音した歌にリアルタ
イムでモーフィングするシステムの開発。歌っている歌のピッチ、音色、ビブラー
ト、発音を修正することで、事前に録音して解析した別の人の歌に似せることが
できる。

2.2 打楽器支援に関する関連研究

2.2.1 岩見らの研究

岩見らの研究 [6] は、MIDI ドラムから入力される演奏情報を解析し、奏者の演奏
を様々な方法でリアルタイムに視覚化する。また、予め定められた評価項目に従っ
て演奏を評価し、演奏に対するアドバイス等を奏者にフィードバックすることで
演奏練習の支援を行なう。演奏者は演奏したい楽譜を入力、あるいは選択する。演
奏は MIDI データとして記録され、欠落音や打叩時間のズレ、打叩強度を自動検

出する。検出したものは視覚化され、以降の演奏に反映させることができる。また、予め定められた評価項目に基づいて自動的に評価されるというものである。

2.2.2 辻らの研究

辻らの研究 [7] は、フォームの改善により間接的に演奏者の演奏能力を向上させることを目的とし、打楽器の演奏支援をフォーム改善の観点から試みているものである。先の研究の分析手法及び分析結果を用いてリズムのずれ、打拍フォームのずれ、手首の振り幅、叩いた強さのフィードバックが視覚的、聴覚的に可能な打楽器学習支援システムを開発したものである。フィードバックは大きく分けて「リズムフィードバック」、「フォームフィードバック」、「ペロシティフィードバック」からなる。それらをモーションキャプチャセンサと MIDI ドラムから測定し、特徴量を計算して行うものである。

2.2.3 後藤らの研究

後藤らの研究 [8] は、複数の打楽器によって演奏された楽曲を対象とした自動採譜システムである。複数の打楽器音が混合した音響信号を入力し、打楽器の種類とその発音時刻・強度をあらわすシンボルを出力する。演奏音はドラムスの九種類の打楽器を使用し、入力信号を A/D 変換した後、周波数解析を行い時間周波数マップを得る。これを解析し、複数の打楽器がいくつのくらいの強さで鳴っているかを認識する。最後にこれらの認識結果を SMF にシンボル化して出力する。

2.2.4 恒次らの研究

恒次らの研究 [9] は、初心者の演奏者における身体的動作の特徴を考慮すると共に初心者特有の短所を割り出し、その上で初心者を対象とするシェイカーを用い

た演奏技術を短期間で向上させるためのリズム演奏習得支援システムの開発を目指すものである。システムには、入力装置として磁気式モーションキャプチャ装置を用い、BPM 検出、及び音声信号を出力するためのコンピュータ、教授に必要なステレオスピーカーを用意する。モーションキャプチャ装置から入力されたデータをコンピュータで読み取り、リズム演奏時の縦方向における各部位の身体動作により BPM を検出する。各部位により検出された BPM を予め設定する BPM の倍数值と異なる場合、その部位の改善を促すため、コンピュータから学習者に音声信号を送る。また同時に、一定時間内における各部位の時間毎移動量を加算したものと平均移動量より、各部位の同期が取れているかの確認をし、同期が取れていない場合は同様に学習者に対して音声信号を送るというものである。

2.2.5 犬飼らの研究

犬飼らの研究 [10] は、MIDI における打楽器音色特有の性質を考慮した上で、それらを視覚化を試みたものである。打楽器演奏の効果的な視覚表現を提供することによって、より深い音楽の理解を促し、音楽制作の支援をするのが目的である。既存のソフトウェアは、リズムパートを鍵盤表示しているが、主体は打楽器であり音の高さは楽器の区別でしかないという問題点がある。また、ベロシティ表示も他の楽器と混在し各々のベロシティが見づらい状況である。それらの問題点を解決するために、ドラムセットを上からみたような配置の表示をし、イメージしやすいようにした。また、ベロシティ表示は画面を上下に分割し複数の楽器に対応できるようにした。

2.3 本研究へのアプローチ

本研究では、カラオケの歌唱支援や映像の生成、楽器の演奏支援ではなく、楽器を用いてカラオケにて一体感を持たせ盛り上げるというものである。楽器は、カ

ラオケ店で一般的に置いてあるタンバリンを使用する。また、タンバリンの演奏支援を目的とした研究はないので、タンバリンの演奏支援という目的でも新規性のある研究である。

第3章 システム構成

この章では、本研究の提案システムの概要と構成を述べる。

3.1 システム概要

本システムは、通常のカラオケのような伴奏の再生および歌詞の表示にタンバリン譜の表示を加えることで、タンバリンの演奏方法を自ら考えられない人でもタンバリンを叩けるようにし、タンバリンの使用を促す。画面例を図 3.7 に示す。タンバリン譜は、伴奏の再生に用いる MIDI データから自動で生成する。また、タンバリンの演奏には市販のタンバリンに Wii リモコン [11] を取り付けたもの（図 3.2）を使用し、タンバリン奏者（以下、叩き手という）が譜面どおりに叩けたときに、そのことが分かるように表示を変化させる。

3.1.1 起動・準備

本システムを起動するとまず、Wii リモコンの 1 と 2 のボタンを押すことを要求される（図 3.4）。実行すると Wii リモコンが Bluetooth で接続を行う。本システムを始めて使用する人は、練習モードを選択しシステムの説明と演奏の練習（図 3.5）を行う。完了後、選曲画面（図 3.6）に移行し、そこで Wii リモコンの十字キーとボタンを使い曲を選択する。選択した曲の MIDI データを読み込みタンバリン譜の生成をし、準備を完了する。

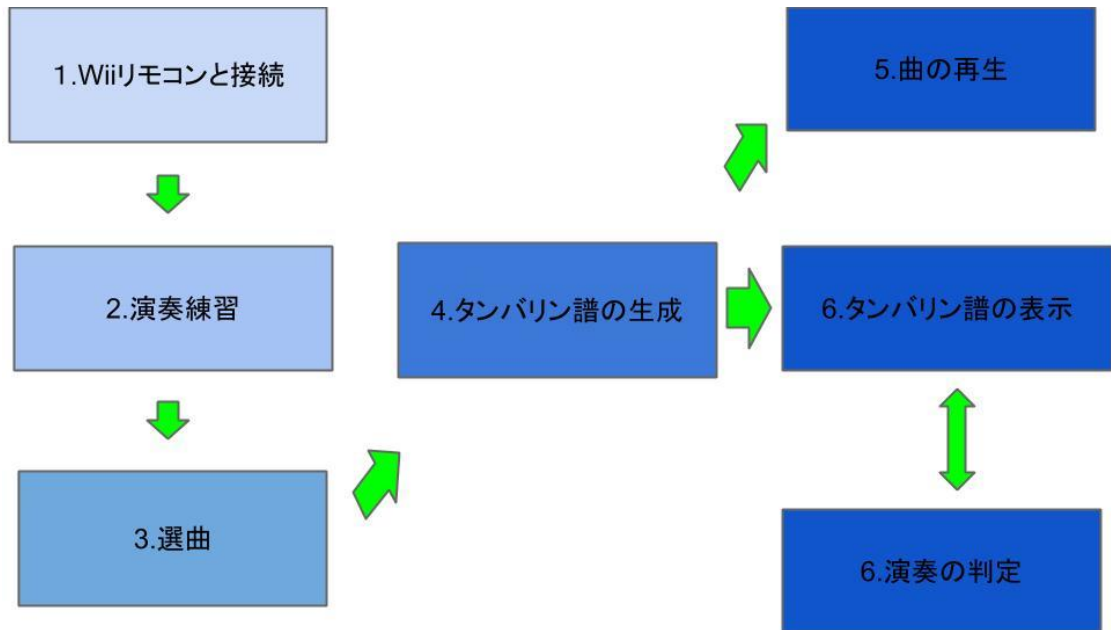


図 3.1: システムの流れ

3.1.2 練習モード

練習モードでの演奏の練習の際に、演奏者の動きの加速度を計測する。この時計測したデータから演奏の判定を行えるようにするために、次のことを行う。

- 叩いたと判定する加速度の閾値 α_1 の決定
- 振ったと判定するタンバリンを左右に振る回数の閾値 α_2 の決定
- 強く叩いたと判定する加速度の閾値 α_3 の決定
- 動きのパターン認識に利用するデータ $E_{\alpha}^k, \sigma_{\alpha}^k$ の学習

これを利用した演奏の判定について詳しくは3.4節で述べる。



図 3.2: Wii タンバリン



図 3.3: Wii リモコン



図 3.4: スタート画面



図 3.5: 練習画面

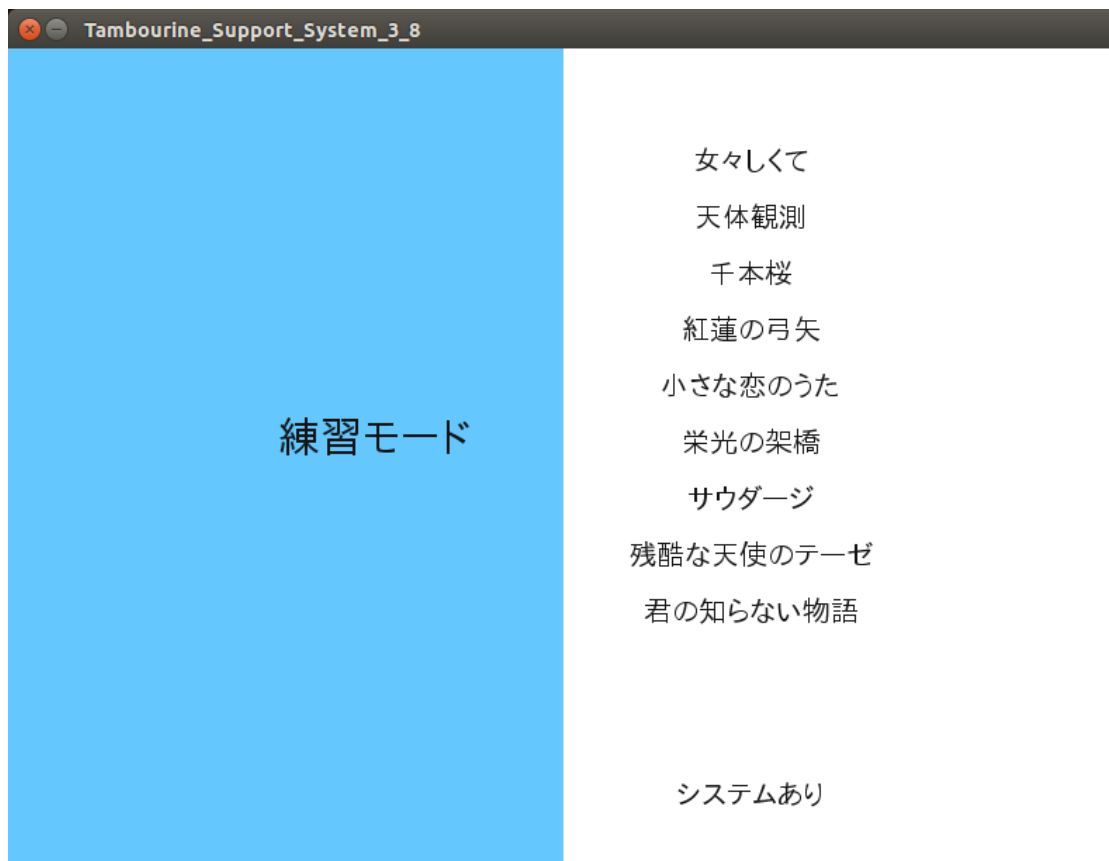


図 3.6: 選曲画面

3.2 タンバリン譜生成

カラオケでのタンバリン演奏の難しい点は、叩き方がわからない、歌い手の邪魔になってしまうことなので、

1) 盛り上がるような叩き方をする

2) 歌い手の邪魔をしない

という相反する条件に合うよう演奏する必要がある。そこで、我々はタンバリン譜の生成にあたり次の方針を採用することにした。

- スネアドラムに合わせて叩くようにする
- キメの部分ではできるだけキメに合うように
- タンバリンを叩くだけでなく振る
- 静かな曲では静かに
- サビと間奏では動きも付ける

この方針に基づいて、次のアルゴリズムを用いてタンバリン譜を生成する。

3.2.1 叩くタイミングの生成

叩くタイミングはスネアドラムの譜を元に生成する。しかし、スネアドラムの譜をそのままタンバリンの譜にしてしまうと、タンバリンでは、叩き辛い譜になってしまうことがある。そこで、以下の条件を加えタンバリンにあった譜を生成する。

1. MIDI データのスネアドラムに合わせて8分音符で生成する。

スネアドラムの譜は符と符の間が短すぎて、タンバリンで演奏したときに演奏が追いつかなくなってしまうという問題が生じてしまう。そこで8分音符にすることで、符と符が連続してもタンバリンの演奏を可能にした。

2. ヴェロシティの低いスネアドラムの譜を除外する。

曲によっては、ヴェロシティの低いスネアドラムが入っていることがある。しかし、ヴェロシティの低いスネアドラムをタンバリンで演奏すると叩くところが多くなりすぎたり、叩き辛かったりするので除外し、ヴェロシティの高いスネアドラムのみをタンバリン譜にする。

ヴェロシティが高いか、低いかは、ヒストグラムを作ってヴェロシティの一番低いところにある山をヴェロシティの低い集団として除外する。

3. 7つ以上の楽器が一小節で3音以上同時に鳴っていたらキメと判断し符を生成する。

キメ(ここで言うキメとはサビの前などに多く見られる複数の楽器が同じフレーズを同時に演奏する印象に残りやすい部分)に合わせてタンバリンを演奏できると、タンバリンの演奏が曲としっかり合っているように感じられる。なので、キメのフレーズにも合わせてタンバリン譜を生成する。

キメかどうかの判定は、同時に7つ以上の楽器が一小節で3音以上なっているフレーズをキメし、そのフレーズに合わせてタンバリンを演奏するようにタンバリン譜を生成する。

4. タンバリン符がない小節は他のパートが無音でなければ小節の頭に符を生成する。

スネアドラムの符と符の間が長いと、タンバリンも演奏をせず何もしない時間が続いてしまう。するとタンバリン演奏者も退屈を感じてしまい、盛り上がっていた場が盛り下がってしまう。

そこで、スネアドラム入っていない小節で他のパートが無音でないときにその小節の頭に符を生成して頭打ちにする。

3.2.2 演奏方法の決定

本システムで指示するタンバリンの演奏方法は、叩くと振るの2種類である。

タンバリン符が8分音符レベルで3つ以上連続で続いたらその符は振る指示を行う。それ以外の符は叩く指示を行う。

3.2.3 叩く強さの決定

スネアドラムのヴェロシティの平均が高い曲は賑やかで、ヴェロシティの平均が低い曲は静かな曲になる。そこで、ヴェロシティの平均の高い曲は強く叩く符を多く、ヴェロシティの低い曲は強く叩く符を少なくする。

様々な曲から求めた全スネアドラムの譜のヴェロシティの平均値 M 、対象曲のみから求めたスネアドラムのヴェロシティの平均値 m とすると、

$$R = \begin{cases} \frac{1}{3}(1 + \frac{m-M}{127-M}) & (m > M) \\ \frac{m}{3M} & (otherwise) \end{cases}$$

を強く叩く割合とする。タンバリンの各符に対して同時に鳴っている楽器の数が多い順にこの割合の分だけ「強く叩く符」に割り当てる。ただし、強符と弱符が混在すると叩きにくくなるので小節ごとに同じ強さになるようにする。

3.2.4 体の動きの決定

本システムが、叩き手に指示する体の動きは「上で叩く」と「下の叩く」の2種類がある。体の動きを曲中ずっとつけていると叩き手が疲れてしまうので、曲が盛り上がるサビとタンバリンの見せ場である間奏の時のみ体の動きを指示する。

サビは曲中に同じメロディがあった場合、最も長いメロディの部分にサビ区間が含まれている [12][13] 事を前提条件とする。サビ区間は三つの場合分けで検出を行う。(1) 最も長いメロディ区間の長さより短い (19,200tick 未満) 場合は、その区間

そのものがサビ区間である。(2) 最も長いメロディ区間の長さが一定区間より長い (38,400tick より多い) 場合は、最も長いメロディ区間の長さを半分に分割した後半から最も早く同じメロディ区間の開始が出現する地点から最も長いメロディ区間の最後尾までがサビ区間である。(3) 一定区間内 (19,200tick 以上 38,400tick 以下) の場合、最も早く同じメロディ区間の開始が出現する地点から最も長いメロディ区間の最後尾までがサビ区間である。

間奏の検出は MIDI データの歌詞情報に間奏の時間が入力されているのでそれを利用する。



Tambourine_Support_System_3_7

ひ　　じ
日の丸印るしの二輪車転がし

い　　ち　　ち
磊々い落く々く反戦国家

47654

WiiリモコンのHomeボタンで停止

[千本桜]

図 3.7: タンバリン譜

3.3 カラオケの開始

図 3.7 のように MIDI データを再生し、同時に生成したタンバリン譜を表示する。また、MIDI データに含まれる歌詞を引き出し、通常のカラオケと同様、表示させる。

3.4 演奏の判定

タンバリンに取り付けた Wii リモコンで三次元の加速度データを取得して正しく演奏出来ているか判定する。叩いたかの判定、振ったかの判定、強く叩いたかの判定、強く叩いたかの判定に利用する閾値は、練習モードでの演奏練習の時に決定する。体の動きの判定に利用する学習データも演奏練習の時に取得する。

Wii リモコンの加速度の向きは図 3.3 の通りで、これを図 3.2 の様に取り付けているので、タンバリンを叩く、振る時に加速する向きは x 軸になる。

3.4.1 強く叩かない時の叩いたかの判定

1 フレーム毎に Wii リモコンの x 軸の加速差を出し、この加速度差が大きい時を叩いたと判定する。具体的には、練習モードでタンバリンを何度か叩いて貰ったときの加速度差の平均を α_1 とし、時刻 t における加速度を a_t とすると $|a_t - a_{t-1}| > 0.7\alpha_1$ となる時刻 t の時に叩いたと判断する。

3.4.2 振ったかの判定

Wii リモコンの x 軸の加速度を 1 フレーム毎に計測する。時刻 t における加速度を a_t とすると $a_t a_{t-1} < 0$ の時、タンバリンの動く向きが変わったということになる。20 フレームの間でタンバリンの動く向きが変わる回数を計測し、その回数を c

とする。 $c \geq 0.7\alpha_2$ のときタンバリンを振ったと判断する。ここで、 α_2 は練習モードで振ったときの 20 フレームの間でタンバリンの動く向きが変わった回数の平均である。

3.4.3 強く叩いたかの判定

3.4.1 節と同様に 1 フレーム毎に Wii リモコンの x 軸の加速度差を出し、この加速度差が閾値 α_3 を超えたときに強く叩いたと判定する。具体的には、練習モードでタンバリンを何度か強く叩いてもらったときの加速度差の平均を α_3 とし、時刻 t における加速度を a_t とすると $|a_t - a_{t-1}| > 0.7\alpha_3$ となる時刻 t の時に強く叩いたと判断する。

3.4.4 体の動きの判定

既存の研究 [14][15] を参考にして、「上で叩く」か「下で叩く」かの判定を行う。判定は、練習モード時に取得したテンプレートとの相違度を xy 平面、 yz 平面、 zx 平面ごとに計算し、その和に基づいて行う。以下、相違度の計算方法を xy 平面を例にとって述べる。

xy 軸における相違度は、16ms ごとに計測した x 軸、 y 軸の加速度 $\mathbf{a}_t = (a_{x,t}, a_{y,t})$ (t :時刻) のうち S フレーム分から加速度変化 P_d 、回転運動の方向 P_g 、動作の向き P_r 、各方向の加速度の密度 $P_{a,0}, \dots, P_{a,7}$ の抽出を行う。現在の実装では $S = 20$ としている。加速度変化の大きさは、 $P_d = \sum_{t=1}^{S-1} |\mathbf{a}_t - \mathbf{a}_{t-1}|$ で求める。

回転運動の方向 P_g は、 $\mathbf{a}_t$ と $\mathbf{a}_{t-1}$ の外積により計算され、 $\mathbf{a}_{t-1}$ から $\mathbf{a}_t$ へ反時計回りに移動した場合、 P_g に 1 が加算される。

$$P_g = \sum_{t=1}^{S-1} u(\mathbf{a}_t \times \mathbf{a}_{t-1})$$

$$u(m) = \begin{cases} 1 & (m \geq 0 \text{ のとき}) \\ 0 & (m < 0 \text{ のとき}) \end{cases}$$

P_r は S 個のベクトルによって描かれる図形の外接四角形の縦横比であり、絶対値の大きいベクトルによって与えられる方向である。

$$P_r = \frac{\max_{t=1,\dots,S} \{a_{x,t}\} - \min_{t=1,\dots,S} \{a_{x,t}\}}{\max_{t=1,\dots,S} \{a_{y,t}\} - \min_{t=1,\dots,S} \{a_{y,t}\}}$$

$P_{a,0}$ から $P_{a,7}$ までは、 $\pi/4$ ごとの8つの主方向への加速度データの偏りを表すものである。メンバシップ関数 [14] を用いて各方向の加速度の密度を求める。

$$P_{a,n} = \sum_{t=2}^S F_n(\theta_t)$$

$F_n(\theta_t)$: メンバシップ関数

θ_t : a_t の方向

$$n = 0, 1, 2, \dots, 7$$

メンバシップ関数は各主方向から隣接する主方向まで直線的に減少する孤立三角波関数とした。

練習モードで体の上と下で複数回叩いてもらい、「上で叩く」と「下で叩く」の2種類の体の動きのデータを取得し、それぞれの動き k の各運動パラメーター $\alpha = (P_d, P_g, P_r, P_{a,n})$ についての平均値 E_{α^k} と標準偏差 σ_{α^k} を求める。演奏時には、各運動特徴パラメーター V_{α} について、学習データの平均値 E_{α^k} との2乗差を計算し、それぞれ標準偏差 σ_{α^k} の2乗である分散値で割って規格化したものを重み付き誤差 ϵ_{α^k} とする。この重み付き誤差を全てのデータごとに特徴パラメーターのものを加え合わせたものを相違度 e_k とする。つまり、

$$e_k = \sum_{\alpha} \epsilon_{\alpha^k} = \sum_{\alpha} \frac{(V_{\alpha} - E_{\alpha^k})^2}{(\sigma_{\alpha^k})^2}$$

である。この相違度を xy 平面、 yz 平面、 zx 平面ごとに計算し、和を取ったものが最小となる動きを選び、これを判定結果とする。

第4章 評価実験

今回の実験では、場にいる全員が曲を知っていることを前提としてシステムの有効性を確認した評価実験1と、未知の曲に対してシステムの有効性を確認した評価実験2の二種類の実験を行った。どちらも実際のカラオケ店で本システムと同じ画面で譜面の無い比較システムの両方でタンバリンを演奏してもらう比較実験を行った。歌い手(評価実験2では除く)、叩き手、聴き手にアンケートを行いそれぞれの役割で本システムと比較システムでどう盛り上がり度が変化するか検証をした。実験の様子は図4.1の通りである。

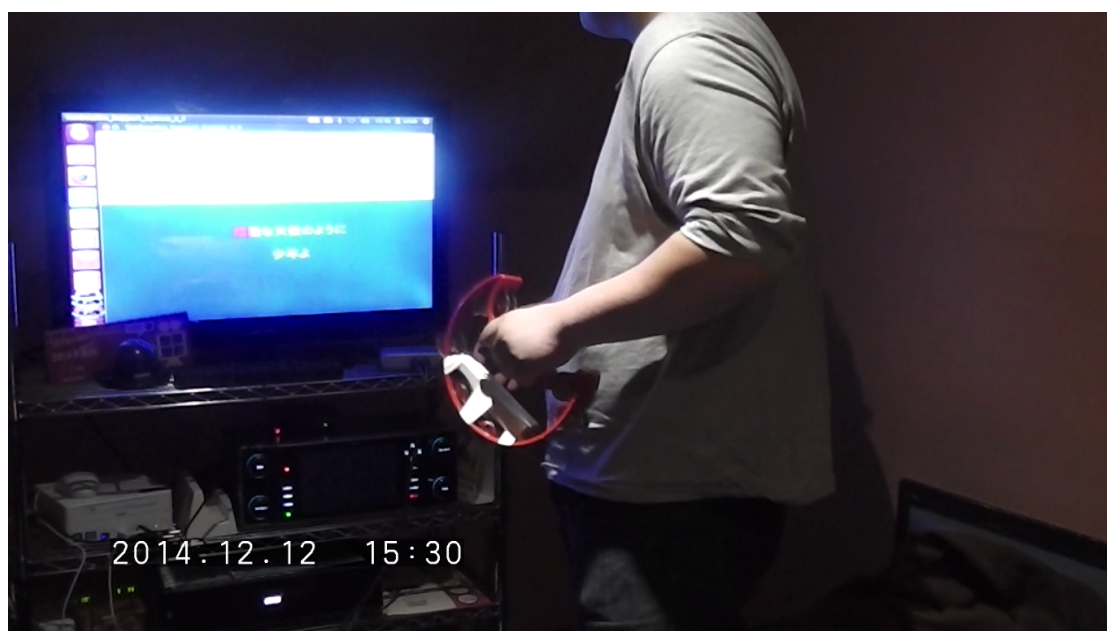


図 4.1: 実験の様子

4.1 評価実験 1

4.1.1 実験条件

評価実験 1 では全員が知っている曲を対象とするため、JOYSOUND2013 年のカラオケランキング [16] 上位から被験者である 20 代に人気でタンバリンの合う 4 曲を用意した。実験は 12 人を歌い手、叩き手、聴き手の 1 人ずつに分けた 4 グループを対象に行った。またカラオケは基本的に仲の良い知り合い同士で行く事が多いため、実際のカラオケと雰囲気近づけるために被験者は全員同じサークルに所属している知り合い同士とした。実験使用する曲は本システム用が 2 曲 (残酷な天使のテーゼ (高橋洋子)、千本桜 (WhiteFlame feat. 初音ミク))、比較システム用が 2 曲 (女々しくて (ゴールデンボンバー)、君の知らない物語 (supercell)) の 4 曲を使用し、曲を固定して行った。選曲には曲による難易度によって結果に差がないようタンバリン符の総数、曲のテンポ、タンバリン符の裏打ちの数から決定した難易度を考慮した。

被験者には事前にアンケートを行い実験に使用する曲の認知度を確認し、歌える程度の認知度の者を歌い手に、聴いたことある程度以上の認知度の者をタンバリンの演奏者に、残りの被験者を聴き手に分けた。

実験の流れは本システムを 2 回続けて実験してもらい次に比較システム 2 回続けて実験してもらう。順番による効果が出ないように半分のグループはシステムを使う順番を入れ替えた。

4.1.2 実験結果・考察

アンケート結果を表 4.1～表 4.4 に示す。どの項目も 1 をネガティブな評価、6 をポジティブな評価である。また、表 4.5 にはアンケートの自由回答に記入された意見を抜粋して示す。

表 4.1: 歌い手アンケート

質問	比較システム	本システム
Q1. 聴き手が自分の歌を楽しんでいたか	5.00	4.50
Q2. 歌いやすい環境か	5.40	5.00
Q3. タンバリンが歌の邪魔に感じなかったか	5.60	4.80
Q4. 演奏タイミングが歌にあっていたか	4.80	3.80
Q5. タンバリンの叩き手もやりたいか	4.50	3.40

表 4.2: 叩き手アンケート

質問	比較システム	本システム
Q1. タンバリンは叩きやすかったか	4.10	4.60
Q2. 音楽に合わせて演奏できたか	4.50	4.30
Q3. 演奏がワンパターンにならなかったか	2.10	5.40
Q4. 曲やリズムにのれたか	3.10	4.90
Q5. 演奏がカラオケを盛り上げられたか	3.40	4.10

叩き手からは本システムの方が高い評価を得た。特に叩き手には単調でないタンバリン譜面を提示することができ（表 4.2Q3）、演奏支援に対し一定の評価を得た。叩き手からの意見として、譜面の難易度が高い場所が部分的にあり、叩き辛さを感じたという意見がいくつか寄せられ、それに関連して難易度を調整できた方が良いという声も挙がっていた。動きに対しては現状のアルゴリズムでは体を動かし辛く、指示のとおり満足に体を動かせなかったというマイナス意見が多かった。

聴き手からの評価は表 4.3Q1～Q3 に対してはやや本システムの評価が低かった。だが、叩き手をやってみたいかという質問（表 4.3Q4）に対しては本システムの評価がかなり高く、タンバリンを演奏してみたいと思わせられる事が分かった。本システムによってタンバリンを演奏させるきっかけを与えられているという事が

表 4.3: 聴き手アンケート

質問	比較システム	本システム
Q1. 飽きを感じなかったか	5.00	4.30
Q2. 歌に興味を持てたか	4.50	4.00
Q3. 演奏がうるさくなかったか	5.30	3.60
Q4. 演奏が曲にあったか	4.90	4.10
Q5. 歌い手をやりたいか	3.50	4.40
Q6. 叩き手をやりたいか	2.80	4.40

表 4.4: 総合アンケート

質問	比較システム	本システム
Q1. 盛り上がったか (歌い手)	5.75	3.25
Q1. 盛り上がったか (叩き手)	3.75	4.75
Q1. 盛り上がったか (聴き手)	4.25	4.50
Q2. タンバリンは必要か (歌い手)	3.75	3.25
Q2. タンバリンは必要か (叩き手)	5.50	5.25
Q2. タンバリンは必要か (聴き手)	4.24	4.00

言える。本システムの感想として聴き手から特に多かったのは、ただの演奏支援としてだけではなくシステムにゲーム性を感じてカラオケの楽しみ方だけでなく、遊ぶような楽しさを感じたという意見がいくつか寄せられた。

一方、歌い手は比較システムのほうが評価が高い結果となった。この理由として考えられるのが、歌い手がタンバリンの演奏タイミングのズレに敏感だったということである。そのことが表 4.1 の Q2~Q4 までの結果に出ていると言える。それとは逆にタンバリンの音が大きくても気にも留めず歌っていたということもあったが、この場合もタンバリンを気にしていないので盛り上がったかどうかいまい

ち分からずシステムの評価に繋がらなかった。比較システムの方が評価が良い点については、その場のノリで楽しみたいという意見もあり、歌い手は演奏のタイミングが指定されていないタンバリンを好む傾向があった。また、タンバリンを振る指示が多い場所はタンバリンの音をうるさく感じやすく、その部分が音楽に合っていないというマイナスの意見が多かった。

特に大きく評価を評価を下げたと考えられる点が動きの付いた譜面に対する演奏の判定の悪さである。動きの付いた箇所ではタイミングと位置が合っていても正しく判定されていない事があった。また、動きの指示に関しては体を動かしてタンバリンを叩くことに対しては評価する声が多かったが、現在のシステムでは上下の動作のみなので、単調な動きだけだと意味を感じられず邪魔だと感じたという意見もあった。

また、叩き手から計測した譜面の正解率のデータを表 4.6 に示す。事前アンケートの回答より、1 人目～3 人目は楽器を習っていた経験があり、4 人目は楽器を習った経験が無い。また、叩いた回数が符の数に対して多いのは振るの判定を複数回叩いたと見なしている為である。正解率 2(体の動きも除いた正解数) が楽器経験有りの被験者は 8 割、楽器経験無しの被験者も 7 割近い数値が出ていて一定程度叩ける譜面になっていたと言える。正解数 1 (全ての正解数) が正解数 2 より 2 割近く下がる原因に譜面の難易度より、動きも含めた譜面の判定精度が普通の譜面の判定精度より悪かった事や、動きの判定に誤りがあったなどの事が考えられる。

4.2 評価実験 2

4.2.1 実験条件

叩き手および聴き手が、対象曲を知っているか知らないかで本システムによる演奏支援の有効性がどう変化するかを確認するため、未知の曲を含めた実験を行った。実験方法、比較システムは本実験と同様だが、実験に使用した曲は本実験に使

用し被験者が知っている曲が2曲(女々しくて、残酷な天使のテーゼ)と、未知の曲としてRWC研究用音楽データベース[17]より研究用に新規に作成されたJ-POP風楽曲二曲を用いて実験を行った。実験設定は大学生かつ同じサークルという点は同様である。叩き手は本実験と同じ被験者に実行してもらった。また、歌い手はどの曲に対しても既知であるので追加実験の対象から除外し、実験者が統一して行った。

4.2.2 実験結果・考察

アンケート結果を表4.7～表4.11に示す。評価方法は本実験と同様である。

叩き手、歌い手も既知の曲は本実験と同様に項目によって本システムと比較システムそれぞれに評価が出ているが、未知の曲の場合はほぼ全ての項目において本システムが比較システムを上回っている。未知の曲にタンバリンをつける際には叩き手から比較システムの場合だと譜面も無く、曲調も知らないためリズムをなんとなくきざむ事しかできず、消極的に演奏しがちになり盛り上げることができた実感を感じなかったという意見が殆どであった。それに対して本システムの譜面を表示することである程度のレベルの演奏が可能となったので上手くできたという意見が見られるようになった。聴き手からも本システムによって知らない曲をただ聴いているより楽しむことができたという意見が挙げられていたため、カラオケをつまらないものにする原因の一つである知らない曲に対する飽きを緩和できたと言える。また、譜面の正解率を表4.12に示す。正解率2が7割、8割近いものになっているため、タイミングだけであれば既知の曲、未知の曲関係なく評価実験1と同様に叩ける譜面になっていたと言える。

表 4.5: 自由回答（抜粋）

役割	意見
歌い手	システムのタイミングに合わせて叩くのが大変そうだった
	歌っている最中は音が気にはならず、 あってもなくても変わらないと思った
	間奏部分は良かったが、サビの時の演奏が気になった
	その場のノリで楽しみたいので、 演奏のタイミングを固定されたくなかった
	タンバリンがズレると歌い辛かった
叩き手	動きやリズムの変化が多くてワンパターンにならないと感じた
	自分で考えて叩いた場合と違って良かった
	曲を把握してないとタイミングが分からない場所もあるので 表示があって良かった
	難易度が高くてちょっと難しかった 難易度があるといい
	下の動き判定が悪く、体の指示がついていけなかった
聴き手	タンバリンのタイミングに少し違和感を感じた
	タンバリンがあると楽しいが、必要という程ではない
	システムが気になり、歌よりモニターばかりに注意が行った
	タンバリンが楽しそうだったので、やってみたいと思った
	ゲーム性あって良かったが、曲にあってない部分が気になった

表 4.6: 実験結果

	曲名	符の数	叩いた 回数	正解 数 1	正解 数 2	正解 率 1	正解 率 2
1 人 目	残酷な天使 のテーゼ	300	1291	204	239	68.00	79.67
	千本桜	563	3231	444	563	78.86	100.00
2 人 目	残酷な天使 のテーゼ	300	887	172	220	57.33	73.33
	千本桜	563	1926	403	511	71.58	90.76
3 人 目	残酷な天使 のテーゼ	300	1333	184	242	61.33	80.67
	千本桜	563	2686	408	471	72.47	83.66
4 人 目	残酷な天使 のテーゼ	300	994	170	210	56.67	70.00
	千本桜	563	1106	342	440	60.75	78.15

正解数 1	全ての正解数
正解数 2	体の動きを除いた正解数
正解率 1	全ての正解率
正解率 2	体の動きを除いた正解率

表 4.7: 叩き手アンケート (既知の曲)

質問	比較システム	本システム
Q1.t タンバリンは叩きやすかったか	4.50	5.00
Q2. 音楽に合わせて演奏できたか	5.50	4.75
Q3. ワンパターンではなかったか	1.75	4.25
Q4. 曲やリズムにのれたか	5.00	4.75
Q5. 演奏がカラオケを盛り上げられたか	2.75	4.50

表 4.8: 叩き手アンケート (未知の曲)

質問	比較システム	本システム
Q1. タンバリンは叩きやすかったか	3.25	5.00
Q2. 音楽に合わせて演奏できたか	3.00	5.50
Q3. 演奏がワンパターンにならなかったか	1.25	1.75
Q4. 曲やリズムにのれたか	2.50	5.50
Q5. 演奏がカラオケを盛り上げられたか	2.00	4.00

表 4.9: 聴き手アンケート (既知の曲)

質問	比較システム	本システム
Q1. 飽きを感じなかったか	5.50	4.75
Q2. 歌に興味を持てたか	5.50	4.75
Q3. 演奏がうるさくなかったか	4.50	4.00
Q4 演奏が曲にあっていたか	4.00	4.00
Q5. 歌い手をやりたいか	4.75	4.00
Q6. 叩き手をやりたいか	5.00	4.25

表 4.10: 聴き手アンケート (未知の曲)

質問	比較システム	本システム
Q1. 飽きを感じなかったか	3.25	4.25
Q2. 歌に興味を持てたか	3.75	3.75
Q3. 演奏がうるさくなかったか	3.75	5.25
Q4 演奏が曲にあっていたか	2.50	5.00
Q5. 歌い手をやりたいか	2.25	3.75
Q6. 叩き手をやりたいか	1.75	5.00

表 4.11: 総合アンケート

質問	比較システム	本システム
Q1. 盛り上がったか (歌い手)	5.75	3.25
Q1. 盛り上がったか (叩き手)	3.75	4.75
Q1. 盛り上がったか (聴き手)	4.25	4.50
Q2. タンバリンは必要か (歌い手)	3.75	3.25
Q2. タンバリンは必要か (叩き手)	5.50	5.25
Q2. タンバリンは必要か (聴き手)	4.24	4.00

表 4.12: 追加実験結果

	曲名	符の数	叩いた回数	正解数 1	正解数 2	正解率 1	正解率 2
1 人目	REAL な五分	281	712	109	187	38.79	66.55
	女々しくて	503	1606	126	323	25.05	64.21
2 人目	REAL な五分	281	802	118	212	41.99	75.44
	女々しくて	503	1962	292	292	58.05	58.05
3 人目	REAL な五分	281	1729	168	242	59.79	86.12
	女々しくて	503	1932	219	346	43.54	68.79
4 人目	REAL な五分	281	1340	162	238	57.65	84.70
	女々しくて	503	1741	204	330	40.56	65.61

正解数 1	全ての正解数
正解数 2	体の動きを除いた正解数
正解率 1	全ての正解率
正解率 2	体の動きを除いた正解率

第5章 結 論

本研究では、カラオケを盛り上げるタンバリン演奏支援システムとして、MIDIデータのスネアドラムを元にタンバリンの譜面を生成し画面に提示することで、カラオケでタンバリンを演奏するきっかけを与えるシステムを提案した。現段階ではタンバリンの叩き方が分からない人や全く知らない曲に対する演奏支援、タンバリンを使ってみたいと思うきっかけ作りという目的は達成しているが、歌い手、叩き手、聴き手全員が一体となって盛り上げられるようなカラオケ支援システムとしてはまだ完成していない。今回の実験で分かった歌い手、叩き手、聴き手の役割によってタンバリンへの印象が異なる点や、タンバリンが欲しい場面と欲しくない場面が人の主観によって異なるという点からタンバリンを使って場にいる全員を盛り上げる事の難しさを再確認した。この様な使用者側の問題を解決し、本システムが全員が一体となって盛り上がることのできる支援システムとなる為には課題が多く残されていると言える。

まず現在の大きな問題として、譜面の生成がスネアドラムに大きく依存しているため、スネアドラムが無ければ無いほど頭打ちだけの譜面しか生成できなくなってしまう。また曲のジャンルもタンバリンが似合いそうなポップやロックなどといったジャンルのみを想定しているため、バラードのようなスローテンポの曲やドラムを使わないような音楽ジャンルまではカバーしきれていない。より多くの楽曲に対応できるようにするため、スネアドラムを使わない曲では代わりに指標となる楽器を場合によって選択できるようにする、あるいは楽器情報に依存せずタンバリン譜を生成できるアルゴリズムを作る必要がある。

また、今回の実験で評価が低かった歌い手にも悪い印象を与えず盛り上がる事ができる譜面を実現するために叩き手のレベルに合わせた難易度の調整や歌の盛り上がりを配慮し邪魔しないような譜面の生成が考えられる。

動きの譜面に関しては判定精度を正確なものとし、上下だけでない動きのバリエーションを増やして動きで楽しめるような指示のアルゴリズムを作り更に効果的なものとする必要がある。他にも当初の予定では叩き手の動きを見せて盛り上がるという点はタンバリン演奏では重要な部分と考えていたが、全員譜面に集中していて叩き手の動きをあまり見せることができていなかった。聴き手に動きを見せるために、カメラを使いモニターに叩き手を映して注意を引かせるなどの叩き手を視覚的に注目できる環境をつくる工夫が必要である。

今後は残された課題を実現し、楽しさをより感じられる工夫を盛り込むことで、人の主観に左右されず多くの人がタンバリンを使って盛り上がったと思えるような演奏支援システムを実現していきたい。

参考文献

- [1] 浦川 雄一, 勝瀬 郁代, 川島 達也 “外れた音程を修正するカラオケシステム”, 平成 20 年度電気関係学会九州支部連合大会 (第 61 回連合大会) 講演論文集, セッション ID: 03-2P-06
- [2] 白井 豊, 林 克彦, 徳永 真志, 鈴木 誠一, 大久保 晴代 “3 次元 CG を用いた通信カラオケの開発”, 情報処理学会研究報告. グラフィクスと CAD 研究会報告 98(32), 37-42, 1998-04-24
- [3] 寺田 努, 塚本 昌彦, 西尾 章治郎 “アクティブデータベースを用いたカラオケの背景作成システム ”, 情報処理学会研究報告. [音楽情報科学] 2000(19), 73-78, 2000-02-17
- [4] 竹内 英世, 保黒 政大, 梅崎 太造 “人の主観評価に近いカラオケ採点法 ”, Vol.130(2010)No.6 P 1042-1053
- [5] Pedro Cano, Alex Loscos, Jordi Bonada, Maarten de Boer, Xavier Serra “Voice Morphing System for Impersonating in Karaoke Applications ”, ICMC2000, 2000
- [6] 岩見 直樹, 三浦 雅展 “MIDI 楽器を用いたドラム演奏練習支援システムの提案 ”, 情報処理学会研究報告.[音楽情報科学], 2007
- [7] 辻 靖彦, 西方 敦博 “リズムと打拍フォームに基づく打楽器学習支援システムの開発と評価 ”, 電子情報通信学会論文誌 D Vol.J88-D1 No.2 pp.508-516

- [8] 後藤 真孝, 田淵 仁浩, 村岡 洋一 “打楽器音を対象にした自動採譜システム ”, 全国大会講演論文集, 1993
- [9] 恒次 創, 藤波 努, 山本 知幸 “リアルタイム音声信号生成によるリズム演奏の習得支援 ”, 人工知能学会全国大会論文集 JSAI04(0), 220-220, 2004
- [10] 犬飼 敏章, 竹田 尚彦 “MIDI による打楽器の視覚表現の試み ”, 電子情報通信学会技術研究報告. ET, 教育工学 98(496), 159-165, 1998-12-19
- [11] <http://www.nintendo.co.jp/wii/controllers/index.html>
- [12] 後藤 真孝 “リアルタイム音楽情景記述システム:サビ区間検出手法 ”, 情報処理学会 音楽情報科学研究会 研究報告, Vol.2002, No.100, pp.27-34, October 2002.
- [13] 高田 友則 橋口 博樹 “MIDI におけるメロディ情報を利用した繰り返し構造の検出 ”, 埼玉大学紀要 工学部 第 39 号 2006
- [14] 澤田 英之, 橋本 周司 “加速度センサを用いたジェスチャー認識と音楽制御への応用”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.79-A, No.2, pp.452-259, 1996 年 2 月.
- [15] 飯村 伊知郎, 藤木 拓郎, 中山 茂 “家庭用ゲーム機の入力デバイスを用いた階層型ニューラルネットワークによるジェスチャ認識”, 情報処理学会論文誌, Vol.51, No.1, p199-203, 2010.
- [16] JOYSOUND 2013 年 年間カラオケランキング
<http://www.joysound.com/st/2013yearranking>
- [17] 後藤 真孝, 橋口 博樹, 西村拓一, 岡隆一 “RWC 研究用音楽データベース:研究目的で利用可能な著作権処理済み楽曲・楽器音データベース ”, 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.3, p728-738, 2004.

謝 辞

本研究を進めるにあたり、北原鉄朗准教授から丁寧かつ熱心なご指導を賜りました。また、評価実験を快く引き受けてくださった被験者の皆様に感謝致します。