

## 複数の仮想指揮者によるオーケストラ演奏の支援

高津良介<sup>†1</sup> 牧宥作<sup>†2</sup> 権藤聡志<sup>†2</sup> 井上智雄<sup>†3</sup> 岡田謙一<sup>†1</sup>

オーケストラをはじめとした大人数の演奏形態は身近な存在となり、アマチュアを中心としたオーケストラも多数見られるようになった。大人数による音楽演奏の場において、指揮者の存在は演奏をまとめる上で重要である。指揮者に求められる専門知識の敷居は高く、アマチュアオーケストラにおいては指揮者不足が問題として挙げられている。その状況に焦点を当てた、指揮者不在でも演奏を成立させるための仮想指揮者の研究が存在する。しかし、それらの仮想指揮者は人間の指揮ほど多種多様な表現を行えないため、演奏内容を豊かにするだけの指揮能力を持たせることは困難である。そこで我々は、演奏者一人一人に指揮を行う環境を提案する。本システムでは、演奏者全員の面前にタブレット端末を配置し、これに演奏者の役割に応じた個別の仮想指揮者を表示する。それぞれの仮想指揮者のタイミングは同期を取る。このシステムによって、高い指揮能力を持つ仮想指揮者を実現し、指揮者不在でも演奏しやすい環境を提供できることが期待できる。

## Support of Orchestra Performances by Multiple Virtual Conductors

RYOSUKE TAKATSU<sup>†1</sup> YUSAKU MAKI<sup>†2</sup>  
SATOSHI GONDO<sup>†2</sup> TOMOO INOUE<sup>†3</sup> KEN-ICHI OKADA<sup>†1</sup>

Instrumental performances which consist of a large number of people, such as the orchestra, have been familiar. In addition, orchestras consist of many amateur musicians are often seen. When music is played by a large group, what becomes most essential in order to put together a performance is the existence of the conductor. A conductor is required of a wide range of expertise, and shortage of conductors due to this load, has been a serious problem within amateur orchestras. Focusing on such situations, there are studies using a Virtual Conductor in order to make performances workout in the absence of the conductor. Unfortunately, these Virtual Conductors obviously lack variety of expressions than human conductors, so it is difficult for the conductor to have conducting abilities to enrich the performance. Therefore, we suggest an environment where each performer can have one conductor to conduct them. In this system, tablets are placed in front of each player. Separate Virtual Conductors are in display that could provide personalized directions that suit their role in the orchestra. Timing of each Virtual Conductor is synchronized. This system can realize a Virtual Conductor with high conducting ability, and is expected to make possible to provide supportive playing environments for amateur players without the conductor.

### 1. はじめに

オーケストラをはじめとした大人数による音楽演奏形態は身近になり、アマチュア演奏家を中心としたオーケストラが増えてきている。主に休日に活動を行う社会人中心のものから、学生を中心としたものまで、実力、年齢共に幅広い層のオーケストラが存在する[1]。

大人数による音楽演奏の場において、指揮者の存在は演奏をまとめる上で重要であり、指揮者に求められる専門知識の敷居は高い[2]。演奏曲で使用する楽器全てに精通し、演奏者以上に曲を理解している必要がある。そのため、アマチュアが指揮者を務めることは容易ではなく、指揮者のみがプロであるアマチュアオーケストラも多く見られるよ

うになってきている。しかし、アマチュアオーケストラはプロのオーケストラに比べて練習回数が多く、プロの指揮者を招く場合多大なコストがかかる。また、指揮を任せられるアマチュアの指揮者が不足しているのが実情である。

これを解決するため、CGによる仮想指揮者を用いることで指揮者不在での演奏を可能にするといった研究がある[3]。ただそのような研究は、人間の指揮に比べ細かい動きや表情を指揮内容に取り入れることが難しいため、演奏内容を豊かにするだけの指揮能力を持たせることが困難であるという問題がある。そこで本研究では、演奏者一人一人に対して仮想指揮者を配置し、個別に指揮を行う。指揮を個別にすることで、仮想指揮者に演奏者のパートや役割に応じた指揮内容を持たせることができる。提案システムでは演奏者一人一人がタブレット端末を持ち、これに各パートの役割に対応した仮想指揮者を表示し同期を取る。これにより従来の仮想指揮者で課題となっていた指揮能力の向上が期待できる。また、このシステムの有用性を評価するため、仮想指揮者の指揮内容が共通である場合と個別である場合とを比較する評価実験を行った。

<sup>†1</sup> 慶應義塾大学理工学部情報工学科  
Department of Computer and Information Science, Faculty of Science and Technology, Keio University

<sup>†2</sup> 慶應義塾大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Science and Technology, Keio University

<sup>†3</sup> 筑波大学大学院図書館情報メディア研究科  
Graduate School of Library, Information and Media Studies, University of Tsukuba

## 2. 背景

### 2.1 オーケストラにおける指揮者の役割

#### 2.1.1 指揮者の存在意義

大人数での演奏形態において、全てのパートの演奏内容を理解している演奏者がいることは稀である[4]。プロであっても、演奏者は主として自分のパートに関して理解を深め、それを楽器で表現するために練習を行う。しかし、自分のパートに関して完全に理解しているメンバーが集まっても、調和のとれた演奏ができるわけではない。そこで、すべてのパートの演奏内容を熟知した指揮者が中心になり指示を出すことで、調和のとれた演奏が実現できる。

#### 2.1.2 指揮者に求められる知識

指揮者には様々な知識が必要である[2]。ミスを聴き分け、的確に指摘できること、またそのための絶対音感も重要となる。そして音楽理論にも精通し、楽譜から作曲者の意図まで読み取る能力が要求される。オーケストラにおいてはそこで振る指揮者の評価がオーケストラの評価に直結するとさえ言われている[5]。

#### 2.1.3 演奏中における指揮者の役割

実際の演奏中に指揮者が行うことの中で最も重要なことは、入るきっかけと終わるタイミングの指示を行うことである[5]。一般的に10人以下の演奏形態では、演奏者同士がお互いの呼吸や体の動きを感じ合うことでこれらのタイミングを合わせる事が可能であるため、指揮者を立てずに演奏を行うことも多い。しかし10人を超える大人数の演奏形態においては、指揮者によるタイミングの指示は演奏を成立させるために不可欠となる[2]。例外として、現代音楽などに多く見られる、途中でテンポが高頻度で変化する、構成が入り組んでいるなどの特徴をもつ曲では10人以下の演奏形態でも指揮者を必要とする場合がある。

タイミング以外に指揮者の指示が必要な要素として、音量(ダイナミクス)がある。特に音量が大きく変化する場面では、どのように音量を変化させるかの指示を指揮者が出すことで、演奏者全体で大規模なダイナミクスを表現することが可能になる。この他にも、アーティキュレーション(音の出し方や質感)に関しても指揮者が指示を出す場面は多い。テンポと音量が同一でも、レガート(音を繋げて演奏)とマルカート(音を一つ一つはっきり演奏)では指揮の振り方が大きく異なる。また、指揮者の表情や気迫によって演奏に変化が生じることもある[2]。

#### 2.1.4 指揮法

世界には非常に多くの指揮法が存在する。同じ曲であっても、指揮法が異なれば指揮の振り方も大きく異なる。さらに、指揮者一人一人において曲の解釈も異なる上に、その瞬間の指揮者の感情によって指揮にも変化がみられる。よって、ある曲において全く同じ指揮というものには存在せず、指揮者の個性が演奏の内容を大きく変える要因になっ

ている[5]。

また、プロのオーケストラとアマチュアのオーケストラとで指揮の振り方が異なる傾向がある。演奏者がプロである場合、指揮者の指示がなくても楽譜通りのテンポ及び強弱で演奏することが可能であるため、指揮者は常に拍を出すことはせず、テンポに変化がある場面や特に強調したい箇所のみ指示を出すことが多い。対照的に、演奏者がアマチュアである場合、指揮者は基本的に右手で主にテンポと音量を指示し、その他の指示を左手で伝える指揮法を採用することが多い[6]。本論文では主にアマチュアオーケストラを支援対象として想定しているため、後者の指揮法を採用する。

### 2.2 指揮者に関する研究

現在、様々な方面から音楽演奏の場を支援する研究が行われている[7]。Ryan らの研究[8]や Sylvain らの研究[9]などの特殊なインタフェースを用いたもの、Gil らの研究[10]や Guy らの研究[11]などの人間と共に演奏することが可能なロボットに関するものなど、その分野は幅広い。

指揮者に関する研究も数多く行われている。指揮者に関する研究は大きく二つに分けることができる。一つは指揮者を支援する研究であり、もう一つは指揮者不在の環境における演奏者の支援である。

#### 2.2.1 指揮者支援の研究

指揮者を支援する研究では、指揮者の動きをセンシングすることで指揮者の出す拍を電子的に読み取る研究が以前からなされてきた。Morita らの研究[12]では、指揮者の手にセンサ付きグローブを装着し、指揮者の出すテンポを読み取ることで、指揮者のテンポに合わせて MIDI 音源を再生することができる。Sarah らの研究[13]では、さらにこれに改良を加え、レガートやマルカートなどのアーティキュレーションまで読み取ることが可能である。これに加えて、このセンサ付きグローブの代わりにスマートフォンや Wii リモコンなどの身近なデバイスを用いて、指揮をセンシングする研究が存在する[14][15]。これらの技術は演奏本番だけでなく、練習に適応しており、練習を支援する研究も存在する[16][17]。これらの研究は、指揮者の出すテンポやダイナミクスを検出し、それに合わせて予め用意された音源を再生することができる。これにより、指揮者は自分の指揮のフィードバックを得ることができる。

#### 2.2.2 指揮者不在の環境における演奏者支援

指揮者不在の環境における演奏者支援の研究として代表的なものに、Pieter らによる仮想指揮者に関する研究[3]がある。本稿において仮想指揮者とは、CG によって作成された指揮者を指す。Pieter らの研究では、ディスプレイ上に仮想指揮者を表示し、予め決められたテンポ及びダイナミクスで指揮を振る。演奏者はこの映像を見ることで、指揮者不在の環境でも大人数での演奏が可能になる。仮想指揮者の問題点として挙げられることに一つに、演奏者の演

奏が指揮とずれた際に、再び指揮と合わせて演奏を立て直すことが難しいということがあがるが、この研究では演奏を音声解析することで演奏のテンポを分析し、指揮と演奏がずれた際に指揮の再生スピードを調節することが可能である。また、Denis らはこの研究に改良を加え、演奏者の注目を特に集めたい時に両手を使うなどのジェスチャを追加した[18]。さらに、Mark らはこれらの研究をオーケストラのリハーサル支援に応用した[6]。音声認識をテンポの判定のみだけでなく音量の変化まで拡張し、ミス判定を可能にした。さらに、ミス箇所を繰り返し練習する際にはテンポを落とす、演奏者にテキストベースのフィードバックを与えるなどの機能も備えている。これらの研究により、指揮者不在の環境でも大人数の演奏形態による演奏を成立させ、かつ演奏者の技術向上を望むことも可能になった。

### 2.2.3 仮想指揮者の問題点

2.1.3 節で述べたように、指揮者は演奏者に向けて多種多様な指示を出すことが求められる。しかし現状では、演奏者とのアイコンタクトや感情的な表現など仮想指揮者が人間の指揮者と同程度の指揮能力ことは非常に難しい。

Mark らの研究[6]では演奏を音声解析することで演奏者とのテンポのずれを是正する機能を持たせているが、これはあくまで指揮と演奏がずれた後の対策であり、指揮に合わせやすくするための機能ではない。指揮とずれた時点で演奏者間でのタイミングもずれてしまうため、指揮とのずれを起りにくくする必要がある。また、仮想指揮者は何度再生しても指揮内容が不変であるからこそ、繰り返し用いることで指揮に合わせやすくなるのが利点として予想されるが、演奏次第でテンポを変化させることは、この利点を消してしまうことに繋がるとも言える。

つまり、前提として指揮と演奏がずれにくく、かつ仮想指揮者の指揮能力の低さを補う工夫が必要となる。

## 3. 提案

### 3.1 コンセプト

2.2.4 節で述べたように、指揮者不在の環境においても大人数での演奏を成立させるために仮想指揮者を用いた研究が行われてきた[3][6][18]。しかし、従来研究では 2.2.5 節で述べたように、仮想指揮者の指揮内容にテンポとダイナミクス以上の指揮内容を持たせることが困難であり、指揮能力に限界があることが問題であった。本研究では、仮想指揮者を用いて演奏者一人一人に指揮を行う環境を提案する。仮想指揮者は現実の指揮と異なり、容易に複数存在させることができる。この仮想指揮者を役割ごとに対応させることで、指揮者から演奏者に対して送る指示を多くかつ的確に伝えることができる。このシステムによって、総合的に高い指揮能力を持つ仮想指揮者を実現し、指揮者不在でも演奏しやすい環境を提供できることが期待できる。

### 3.2 想定環境

指揮者不在のアマチュアオーケストラにおいて、一定以上の難易度の曲を演奏する環境を想定する。一定以上の難易度の曲である理由としては、指揮者が指示する内容が多く、指揮者の必要性が大きいためである。提案システムの使用環境としては、演奏者全員の面前に一つずつタブレット端末を配置し、これに仮想指揮者を表示する。表示される仮想指揮者の指揮内容は各パートの役割に対応しており、再生のタイミング、テンポ及び拍子は端末間で同期を取るものとする。

### 3.3 複数の仮想指揮者によるオーケストラ演奏支援

各タブレット端末には仮想指揮者が表示されるが、その指揮内容はそれぞれ各パートの役割に応じたものになっている。これらの仮想指揮者を同期再生することで、演奏者それぞれが自分のパートにあった指揮により演奏することができる。本提案では演奏者一人一人に対して音の入りや切り、またブレスのタイミングを指示することができる。加えて音量に関しても、演奏者一人一人に対して指揮することが可能になる。

## 4. 実装

本章では提案システムの実装環境及び実装手段について、今回作成した提案システムの性能について説明する。

### 4.1 ハードウェア構成

試作システムでは、仮想指揮者を表示するためのタブレット端末として、ASUS 社の Nexus 7 を利用した。OS は Android™ 4.4.4、画面解像度は 1,280×800 ピクセル(WXGA)である。演奏者が演奏中に仮想指揮者を見る上で十分な画面サイズであるデバイスを選択した。



図1 複数のタブレットに表示された仮想指揮者

### 4.2 仮想指揮者

#### 4.2.1 製作環境

仮想指揮者の作成には、e frontier 社[19]の Poser 10 を使用した。フレーム毎に人型 CG モデル(フィギュア)のポーズを設定することができ、またフレームの再生速度が一定

であるため、指揮のテンポを一定に保つことが容易であることからこれを利用した。

#### 4.2.2 指揮内容の作成

指揮内容の作成に関しては、瀬浩昭氏の指揮法[20]に基づいて行った。拍子に関しては同氏の指揮図形[21]に則し、1拍子～6拍子のポーズの設計を行った。なお、7拍子以上の場面では拍子内を分割して指揮を行う(例: 7拍子=3拍子+4拍子)。強弱に関しては、各拍子について pp～ff の6段階作成した。強弱は主に示す指揮図形の大きさで表現しているが、ff の際は肩、腕を使用して勢いをつけて振り、pp では手首を主に使うなどの変化もつけている。拍子、強弱が変化する際は、変化する直前の拍から変化後の拍子、強弱で指揮を振るように作成した。

さらに、演奏者に息を吸うべきタイミングを指示する「ブレス」も指揮内容として加えた。また、長く音を伸ばし続ける場面及び音を切る場面では必要に応じて指示を出すようにした。

音量及びこれらの指示は全て個々のパートに対応させて作成した。テンポに関しては全ての場面において仮想指揮者間で共通である。加えて、自パートが音を出す必要のない場面では仮想指揮者は目を閉じ、拍感を失わない程度に小さく指揮を振り、自パートが音を出す際に目を開くようにすることで、音を出すべき場面と出さない場面との差を明確にした。

#### 4.2.3 仮想指揮者映像の再生

各仮想指揮者の指揮スピードはフレーム単位で管理しているため、再生開始のタイミングを合わせることで同期再生が可能である。再生開始のタイミング合わせは時刻同期により行う。



図2 提案システムの使用場面

## 5. 評価実験

本章では、仮想指揮者の指揮内容が個別に異なることが演奏者にとって有益であるかを評価することを目的に行った評価実験について述べる。

### 5.1 実験内容

今回の評価実験では、木管五重奏において提案システムを使用し、指揮内容を全員共通にした場合との比較実験を行った。今回木管五重奏を選択した理由としては、パート毎の役割の差が明確であり、かつ曲によっては指揮者を必要とする編成であるため、提案システムの有用性を検証する上で適していると判断したためである。これに対応するため、タブレット端末を5つ用意した。

提案システムの有用性を評価するためには、二つの実験を行う必要があると判断した。一つ目は、提案システムを使用することで演奏者が演奏しやすくなるかを評価する実験であり、二つ目は、提案システムを使用した際の演奏が、第三者が聴いた際に良くなっているかを評価する実験である。現段階では前者のみ実験が終了しているため、詳細と結果を以下に記述する。

#### 5.1.1 被験者

木管五重奏の各パート(フルート、オーボエ、クラリネット、ホルン、ファゴット)経験者各1名ずつの5名グループを2組、計10名で行った。被験者全員がどちらか一方のみのグループに属している。全員アマチュアオーケストラに所属する学生である。演奏者レベルとしては、人間による一般的な指揮に合わせて楽譜通りに演奏することができるが、楽譜をみただけで他パート全ての役割を把握しながら演奏を行うだけの音楽知識は持っていない。

#### 5.1.2 比較対象

本実験では、各被験者の面前に配置したタブレット端末に仮想指揮者を表示した。表示する仮想指揮者の指揮内容が被験者毎に個別である環境(提案システム)と、全被験者において共通である環境(比較システム)で比較を行った。

#### 5.1.3 使用楽曲

今回の評価実験では演奏曲として、Eugene Bozzaによる“Variations Sur Un Theme Libre: Quintette a Vent”を使用した。現代曲であり、テンポの変化が多くパートをまたいだフレーズも多く見られることから、木管五重奏でありながら指揮者を立てて演奏されることも多い楽曲である。全楽章合わせて10分以上の曲であるが、今回はこの曲の一部を抜粋した。抜粋部分を前半(約2分)と後半(2分弱)に分け、前半部分をA曲、後半部分をB曲とした。

#### 5.1.4 評価方法

提案システム及び比較システムの双方で使用楽曲の演奏を行った後に、被験者に対してアンケート調査を行った。アンケートの内容を図4に示す。5段階評価については、評価1が低く評価5が高い、となっている。

- |   |
|---|
| <p>1. 演奏中に関して</p> <p>Q1. 指揮者は参考になったか.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 指揮内容が同一のとき(5段階評価)</li><li>・ 指揮内容が個別のとき(5段階評価)</li></ul> <p>Q2. 他の演奏者とのタイミング合わせはやり易かったか.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 指揮内容が同一のとき(5段階評価)</li><li>・ 指揮内容が個別のとき(5段階評価)</li></ul> <p>Q3. 自分の出すべき音のイメージが持てたか.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 指揮内容が同一のとき(5段階評価)</li><li>・ 指揮内容が個別のとき(5段階評価)</li></ul> <p>2. どちらのシステムが演奏しやすかったか.</p> <p>(指揮内容が同一・指揮内容が個別・差なし)の3択</p> <p>3. 評価実験に関して感じたことを自由に記述。(記述)</p> |
|---|

図4: アンケートの内容

## 5.2 実験手順

評価実験の事前準備として、被験者には各パートの楽譜及び使用楽曲の参考音源(プロの演奏の録音)を送り、実験当日までに譜面読みを終わらせておいてもらった。2つのグループはそれぞれ別々の日時に実験を行った。先に実験を行ったグループをグループ1、後に実験を行ったグループをグループ2とした。

実験当日は、まず被験者に実験の内容と、提案システム(指揮内容が個別)と比較システム(指揮内容が全員共通)の違いに関して説明を行った。その後、提案システムと比較システムを使用して使用楽曲を演奏してもらった。実験環境の差をなくすため、以下の順序で実験を行った。

### 【グループ1】

- ① A曲: 比較システム
- ② A曲: 提案システム
- ③ B曲: 提案システム
- ④ B曲: 比較システム

### 【グループ2】

- ① A曲: 提案システム
- ② A曲: 比較システム
- ③ B曲: 比較システム
- ④ B曲: 提案システム

なお、今回は被験者の掛け声に合わせて再生ボタンをタッチすることで再生開始のタイミング合わせを行った。実験は①～④の順で練習、その後①～④の順で本番を行ってもらった。図4のように被験者同士が向かい合う環境の場合、お互いの呼吸や視線で指揮と周囲の音以外の情報を得ることができる。図5のように演奏者同士が背中合わせに座る場合、演奏者はお互いの呼吸や視線を感じることはできない。本実験では、指揮者は本システムから得られる指

示で演奏しやすくなるかを評価するものである。そこで練習の際に、図4・図5両方の環境において行ってもらった。これは①～④の工程全てで行った。本番の際には、図5の環境のみで行った。このときの演奏は、5.1節で述べた第三者が聴いた際に演奏が良くなっているかどうかを評価するための実験に使用するために録音した。その後、被験者に図4のアンケートを配布し、調査を行った。



図5: 演奏者が向かい合った配置



図6: 演奏者が背を向け合った配置

## 5.3 実験結果

### 5.3.1 演奏中に関する評価

アンケートでは演奏中における仮想指揮者の指揮能力に関する設問を3つ用意した。これらの設問に対する回答のみから指揮が個別である方が良いと断定するには至らなかったが、個々の回答において比較システムに対する評価と提案システムに関する評価を比べると、多くの被験者において提案システムの評価が高い傾向があった。

### 5.3.2 システム比較

アンケートにおける質問2。「どちらのシステムが演奏しやすかったか」に対する回答の結果は図7, 8, 9のグラフのようになった。

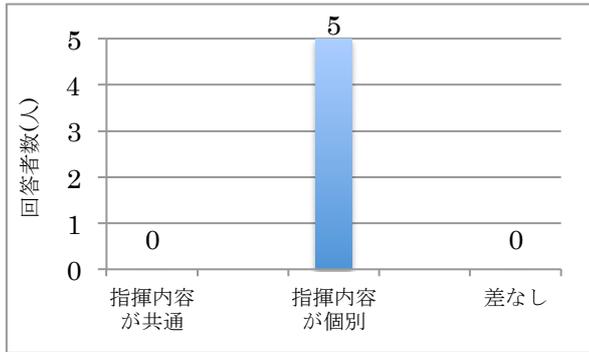


図7: 質問2に対するグループ1の回答

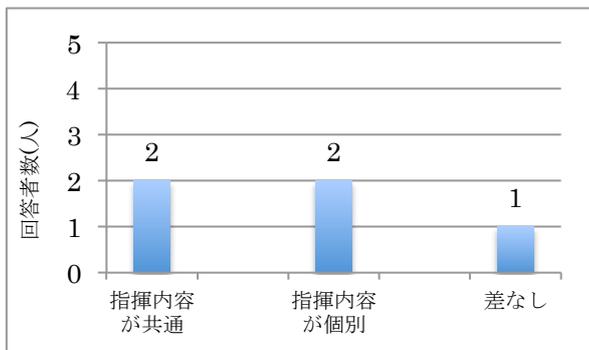


図8: 質問2に対するグループ2の回答

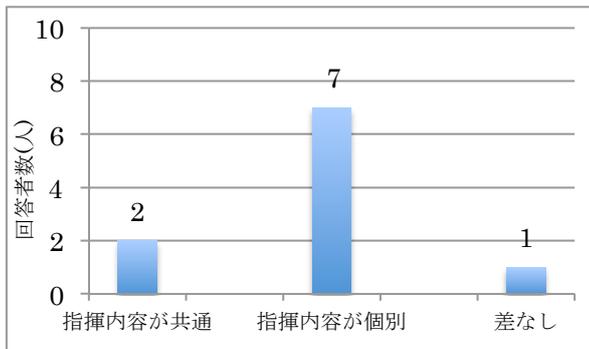


図9: 質問2に対する回答まとめ

この結果から、図9の2グループの総合で見ると指揮内容が個別である方が演奏者にとって演奏しやすい傾向にあることがわかった。グループ毎に見ると、図7のグループ1では5名全員が提案システムの方が演奏しやすいと答えているのに対し、図8のグループ2では指揮の個別・共通で差がつかなかった。

### 5.3.3 自由記述

アンケートの自由記述部分に書かれた内容から、以下のことがわかった。

<グループ1>

- 提案システムの利点
  - ・ 個別に入りのタイミングを示せる
  - ・ ロスト(今どこを演奏しているのかわからなくなる)した際の助け舟が豊富
  - ・ 曲の雰囲気や全体像が掴めなくても演奏できる

- 提案システムの欠点
  - ・ 指揮内容が共通である場合と比較して、指揮からずれてはいけないことの恐怖感が大きく、必要以上に指揮を凝視してしまう
  - ・ 周りの音が耳に入りづらくなる
  - ・ 慣れてくるにつれて比較システムとの差がなくなってくる

<グループ2>

- 提案システムの利点
  - ・ 個別に入りのタイミングが示せる
  - ・ 指揮の情報量が多い
  - ・ 慣れると自身の細かい部分まで意識できる
  - ・ パートごとのフレーズが独立している時役立つ
  - ・ 周囲の音が聴こえないときにも演奏できる
- 提案システムの欠点
  - ・ 全員が異なる指揮を見ているという不安感
  - ・ 周りの音との関係性が掴みづらい
  - ・ 他人とずれたときに合わせづらい
  - ・ 他のパートの指揮内容がわからない

## 5.4 考察

### 5.4.1 指揮内容が個別に異なることの評価

図8のアンケート結果のグラフから、被験者10名中7名が提案システムの方が演奏しやすいと答えたことになり、指揮内容が個別であることが演奏者にとって有益であることが考えられる。ただし、結果にグループ間で偏りが生じたことを考慮する必要がある。

### 5.4.2 グループ間での結果の偏りについての考察

グループ間で差が生じる原因となりうる要素は二つある。一つはグループ間における演奏者の演奏技術の差である。もう一つは実験におけるシステムの使用順序である。ここでは後者の、システムの使用順序に関して考察する。

全員が指揮内容は個別である方が良いと答えたグループ1では、共通の指揮を使用してから個別の指揮を使用している。これに対しグループ2は、先に個別の指揮を使用してから共通の指揮を使用し、個別の指揮の方が良いと答えた被験者は少なかった。

このことから提案システムは、先に全員共通の指揮により、曲の全体像及び他パートとの関係性を把握してから使用することで最大限効果を発揮することが考察される。システムの使用順序はA曲、B曲で環境の差をなくしているが、システムの印象としては先に演奏するA曲での印象が大きいと考えられる。これを考慮すると、A曲においてこの流れでシステムを使用したグループ1において提案システムが高い評価を得たことも使用順序によるところが大きいと考えられる。

### 5.4.3 評価実験まとめ

アンケート結果より、指揮内容が個別である場合と共通である場合を比較すると指揮内容が個別である方が演奏者

にとって演奏しやすいと考えられる。また、指揮内容が個別であることで、個別に音の入りやブレスを示せること、指揮内容を充実させられることなどの利点があるが、曲の全体像や他パートとの関係性が掴みづらくなるという欠点があることがわかった。

これらのことから、合奏の初期の段階では全員共通の指揮を使用し、曲の全体像や他パートとの関係性が掴めてから個別の指揮内容に切り替えることで、提案システムが効果的に機能するということが予想される。

## 6. 今後の展望

### 6.1 提案システムの課題

評価実験により、提案システムの欠点としては曲の全体像や他パートとの関係性が掴みづらいことが主であることがわかった。欠点を補う手法はいくつか考えられるが、例として指揮内容が個別である仮想指揮者と共に画面の端に指揮内容が共通である仮想指揮者を表示することで、個別指揮の欠点を補うことが期待できる。しかしこの手法では、演奏者は同時に2つの仮想指揮者を見る必要性が出てしまう。今後実験や検討を繰り返すことで現システムを向上させる。

### 6.2 第三者の聴き比べによる評価実験

今回の評価実験で、仮想指揮者の指揮内容が共通である場合と、指揮内容が個別である場合それぞれの演奏の録音を得た。これを第三者に聴き比べてもらうことで、提案システムによって第三者から聴いた際に演奏が良くなっているかを評価する。

### 6.3 実力の違いによる提案システムの有用性の変化

加えて、評価実験においてグループ間での評価の差の原因に関して順序の差についてしか吟味しておらず、グループ間の実力差に関しては吟味していない。実力によって提案システムの有用性に違いがあるかどうかについても検討する必要がある。

### 6.4 仮想指揮者の同期再生

また、今回の評価実験では演奏者の掛け声により仮想指揮の再生開始の同期をとったが、練習の際にシステムの同期がうまくいかず、演奏を中断せざるを得ないケースが見受けられた。そのためシステムは全端末間で同期再生を行えるようにする必要性があり、今後実装する予定である。大人数による演奏の場で利用するためにはシステムにより同期再生を行う必要がある。使用する全端末で同時に仮想指揮が再生されるように実装を行う。

## 7. 結論

オーケストラをはじめとした大人数の演奏形態は身近な存在となり、アマチュアを中心としたオーケストラも多数見られるようになった。大人数による音楽演奏の場において、指揮者の存在は演奏をまとめる上で重要である。指揮

者に求められる専門知識の敷居は高く、アマチュアオーケストラにおいては指揮者不足が問題として挙げられている。その状況に焦点を当てた、指揮者不在でも演奏を成立させるための仮想指揮者の研究が存在する。しかし、それらの仮想指揮者は人間の指揮ほど多種多様な表現を行えないため、演奏内容を豊かにするだけの指揮能力を持たせることは困難である。そこで我々は、演奏者一人一人に指揮を行う環境を提案した。本システムでは、演奏者全員の面前にタブレット端末を配置し、これに演奏者の役割に応じた個別の仮想指揮者を表示する。それぞれの仮想指揮者のタイミングは同期を取った。

評価実験の結果から、指揮内容が個別に異なることが演奏者にとって有益であると考えられる。また、合奏の初期段階では全員共通の指揮を使用し、曲の全体像や他パートとの関係性が掴めてから指揮内容を個別に切り替えることで、提案システムがより効果的に機能することが予想される。今後は、評価実験で得た演奏の録音を、第三者に聴き比べてもらい、アンケート統計を取る予定である。

## 8. 参考文献

- 1) Freude. <http://www2s.biglobe.ne.jp/~jim/freude/>
- 2) 前橋男性合唱団ニュース 1997年6月号.  
<http://www2s.biglobe.ne.jp/~Tetsu/9706-02.html>
- 3) Pieter Bos, Dennis Reidsma, Zsafia Ruttkay, and Anton Nijholt "Interacting with a Virtual Conductor" Entertainment Computing – ICEC 2006, Lecture Notes in Computer Science Volume 4161, 2006, pp25-30.
- 4) 指揮者の仕事. <http://careergarden.jp/shikisha/work/>
- 5) We love classic. <http://tuhan-shop.net/classic/index.html>
- 6) Mark ter Maat, Rob M. Ebbers, Dennis Reidsma, Anton Nijholt "Beyond the beat: modeling intensions in a virtual conductor" INTETAIN '08, 2nd international conference on INtelligent TEchnologies for interactive enterTAINment, Article No. 12.
- 7) Dennis Reidsma, Mustafa Radha and Anton Nijholt "Mediated Interactions and Musical Expression - A Survey" Digital Da Vinci, 2014, pp79-98.
- 8) Ryan Raffa "RhythmSynthesis" C&C '11 8th ACM conference on Creativity and cognition, New York, USA, pp415-416.
- 9) Sylvain Le Groux, Jonatas Manzioli and Paul F.M.J Verschure "Disembodied and Collaborative Musical Interaction in the Multimodal Brain Orchestra" 2010 Conference on New Interface for Musical Expression (NIME 2010), Sydney, Australia, pp309-314.
- 10) Gil Weinberg and Scott Driscoll "Robot-human interaction with an anthropomorphic Percussionist" CHI '06 the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, New York, USA, pp1229-1232.
- 11) Guy Hoffman and Gil Weinberg "Shimon: an interactive improvisational robotic marimba player" CHI EA '10 CHI '10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, New York, USA, pp3097-3102.
- 12) Hideyuki Morita, Shuji Hashimoto, and Sadamu Ohteru "A Computer Music System that Follows a Human Conductor" IEEE 1991 Computer (Volume:24, Issue:7), pp44-53.
- 13) Sarah Cosentino, Yoshihisa Sugita, Massimiliano Zecca, Salvatore Sessa, Zhuohua Lin, Klaus Petersen, Hiroyuki Ishii, and Atsuo Takanishi "Music conductor gesture recognition by using inertial measurement system for human-robot musical interaction" Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2012 IEEE International Conference on,

Guanzhou, China, pp30-35.

- 14) Yang Kyu Lim, Woon Seung Yeo, “Smartphone-based Music Conducting” International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME’14), Goldsmiths, University of London, UK, pp573-576.
- 15) Teresa Marrin Nakra, Yuri Ivanov, Paris Smaragdis, Chris Ault “The UBS Virtual Maestro: an Interactive Conducting System” NIME’2009, Pittsburgh, PA, pp250-255.
- 16) Bernd Bruegge, Christoph Teschner, Peter Lachenmaier, Eva Fenzl, Dominik Schmidt, and Simon Bierbaum “Pinocchio: Conducting a Virtual Symphony Orchestra” ACE’07 international conference on Advances in computer entertainment technology, pp294-295.
- 17) Ekaterina Ivanova, Yihe Fu, Lulu Wang, and Jeffrey Gadzara “MAES:TRO: A Practice System to Track, Record, and Observe for Novice Orchestral Conductors” CHI EA ’14 CHI ’14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp203-208.
- 18) Denis Reidsma, Anton Nijholt, and Peter Bos “Temporal interaction between an artificial orchestra conductor and human musician” Computers in Entertainment (CIE) – SPECIAL ISSUE: Media Arts (Part II), Volume6 Issue 4, 2008, Article No. 53.
- 19) e-frontier. <http://www.e-frontier.co.jp/products/top.html>
- 20) 指揮法講座. <http://www.animato-jp.net/~se/siki.html>
- 21) 指揮図形法一覧. <http://www.animato-jp.net/~se/siki2.html>

## 正誤表

本書に下記の通り間違いがありましたので、お詫びして訂正致します。

### p1 左下 所属欄†3

誤 「筑波大学大学院図書館情報メディア研究科」

正 「筑波大学図書館情報メディア系」

### p3 2.2.3 仮想指揮者の問題点 2~5 行目

誤

「しかし現状では、演奏者とのアイコンタクトや感情的な表現など  
仮想指揮者が人間の指揮者と同程度の指揮能力ことは非常に難しい。」

正

「しかし現状では、仮想指揮者により演奏者とのアイコンタクトや感情的な表現などの指揮を行うことは困難であり、人間の指揮者と同程度の指揮能力を持たせることは非常に難しい。」