Vol.2013-MUS-99 No.49
2013/5/12

指揮システム: “VirtualPhilharmony” 楽器ごとの個別タイムラインによるスケジューラ管理

馬場 隆[1,a)]　橋田光代[2]　片寄 晴弘[1]

概要：指揮システム “VirtualPhilharmony” は，実際にオーケストラを指揮する感覚に焦点を当てた指揮システムである．ヒューリスティックに構築されたオーケストラの演奏モデルを基に設計されたコンサートマスター機能や，本番前の練習期間をシミュレートしたリハーサルモードを実装することによって，オーケストラとプレイヤ (指揮者) とのインタラクションを実現し，これによりリアルな指揮感覚をプレイヤに提供する．従来の，単一のタイムラインによるスケジューラ管理を見直し，楽器ごと，声部ごとの複数タイムラインを導入する．また，指揮における左手の役割とシミュレートの方法を議論する．

キーワード：インタラクション, モーションキャプチャ, 指揮システム, ホモフォニー, フィードバック

Conducting System “VirtualPhilharmony”: Control of a scheduler by a separate timeline for each musical instrument

Baba Takashi[1,a)]　Hashida Mitsuyo[2]　Katayose Haruhiro[1]

Keywords: Interaction, Motion Capture, Conducting System, Homophony, Feedback

1. はじめに

オーケストラの指揮をシミュレートする指揮システムは，1980 年代後半より，計算機音楽領域の作曲家や技術者らによって開発が行われてきた [1][2][3][4][5]．また，近年のジェスチャセンサの普及に伴い，一般向け指揮ゲームも登場し始めている [6]．しかし，従来の指揮システムは主に工学的実現に焦点を当てたものが多く，音楽的立場から詳細に研究された事例は iFP[4] などごく一部に限られていたため，プレイヤ (指揮者) がオーケストラを指揮する感覚を得ることは困難であった．また，一般向けの指揮ゲーム [6] では，誰でも平易に扱える反面細かい制御は行えない．

“VirtualPhilharmony” (以下 VP) は，オーケストラを指揮する感覚に焦点を当てた指揮システムである．指揮経験者である著者が有する，オーケストラ指揮に関するヒューリスティクスを導入することにより，従来のシステムでは得られなかった指揮感覚がプレイヤに提供される．オーケストラ団員各々が有する演奏モデルとプレイヤとのインタラクションにより演奏を生成するという，本物と同じ機構を再現するためのコンサートマスター機能を設計した．コンサートマスター機能は，実録音の統計的解析によって得られたヒューリスティックな演奏モデルを基に設計されており，これにより次拍のテンポの詳細な予測や，システムとプレイヤとのインタラクションなどが行われる．種々のパラメータについては，指揮の専門家にベストチューニングを依頼した．また，実演における本番前の練習期間をシミュレートしたリハーサルモードを実装することによっ

1 関西学院大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Kwansei Gakuin University
2 相愛大学音楽学部音楽マネジメント学科
Department of Music Management, Faculty of Music, Soai University
a) takashi-baba@kwansei.ac.jp

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan

て，プレイヤの意図や癖を指揮演奏に反映させることも可能となった．

本稿では，VP の新たな要素の一つとして，楽器ごとの複数タイムラインによるスケジューラ管理についての議論を行う．従来採用していた単一のタイムラインによるスケジューラの問題点を指摘し，複数タイムラインを設計する方法を考察する．また，左手を用いた指揮のシミュレーションについての議論を行う．

2. 関連研究と複数タイムラインの概念

2.1 関連研究

指揮システムは，センサにより指揮動作から拍点を抽出し，拍点より算出したテンポを基に各音のスケジューリングを行うことで，指揮動作への曲の追従を実現する．

Radio Baton (Mathews, M., 1982)[1] は，指揮システムの先駆研究の一つである．これは，両手に持ったバトンを平面センサ上で滑らしたり叩いたりすることで MIDI のコントロール信号を制御する演奏インタフェースである．プレイヤは片方のバトンで拍打を与えつつ，もう片方のバトンで音高・音色を変化させて音楽の演奏を行う．このシステム自体は音楽演奏を目的としており，指揮の模倣を目的とはしていないものの，拍打によって楽曲のテンポを制御するという行為は結果的に指揮と同義である．

Conducting Simulator (宇佐ら, 1998)[2] では，隠れマルコフモデル (HMM) を用いることで，指揮動作の詳細な認知を実現している．拍点抽出の他，拍子や staccato(音を短く切る) や espressivo(表情豊かに) などのアーティキュレーション，ダイナミクス (強弱やアクセント) などを HMM により検出する他，指揮者の目線や呼吸にも言及している．

Personal Orchestra (Borchers ら, 1998)[3] は音響信号を対象とした指揮システムである．フェーズボコーダの技術を用いることで，ピッチの変化を抑えた音響信号の時間伸縮を実現している．演奏と同期して実写映像も伸縮するため，臨場感は非常に高い．

iFP (奥平ら, 2004)[4] は，ピアノの名演奏をデータ化した演奏表情テンプレート (以下テンプレート) を用い，打鍵や手振りなどの単純動作によって，ピアノ演奏を自在に表現しようという拍打型演奏インタフェースである．テンプレートには各音符の，楽譜に対する逸脱情報 (音長・音量・テンポが楽譜からどれだけずれているか) が含まれており，これが音楽の表情を表している．このテンプレートを使用することにより，iFP では，実演のリアルな表現が演奏に加味することができた．また，テンポ・拍音量・拍内表情の 3 つに対して，テンプレート側・プレイヤ側双方の重みを設定することで，プレイヤの意図がどの程度演奏に反映されるかを決定することができ，これにより，テンプレート (名演奏) とプレイヤとの演奏上の駆け引きを行うことが可能となった．

Wii Music (任天堂, 2008)[6] は，家庭用ゲーム機 Wii 用ソフトウェアである．リモコン内蔵の加速度センサにより拍点検出と音量制御が行われ，さらに CG アニメ映像が指揮動作に連動する．簡単に操作できる一方，微細な音楽表現はできない．

VP(著者ら, 2012)[7] は，オーケストラの演奏モデルと指揮者 (プレイヤ) とのインタラクションに言及した指揮システムである．iFP と同じくテンプレート (MIDI) を音楽データとして用いる．テンポ [ms] は拍単位の離散値とし，指揮者側はセンサにより右手の動作から拍点を検出し，オーケストラ側はテンプレートより抽出された拍単位のテンポを用意する．コンサートマスター機能により，次拍のテンポ予測，連続的テンポカーブを擬似再現するための線形近似，演奏モデルとプレイヤとのインタラクションなどが行われ，最終的に単一のタイムライン (テンポカーブ) に従って各音がスケジューリングされる (図 1-1 参照)．音量についても同様に，センサより得た音量 (振り幅や加速度より算出) と，テンプレートの音量とのインタラクションにより制御される．これらのインタラクションにより，従来なかったリアルな指揮感覚をプレイヤに提供することを実現している．

2.2 複数タイムラインの概念

前節で挙げた従来の諸システムは，VP も含め，すべて単一のタイムラインに従ってスケジューラが管理されていた (図 1-1 参照)．複数のオーケストラ団員を一つのタイムラインの下に統合・共有させるのが指揮者の役割の一つである以上，この手法は妥当であると言えるが，一方で，団員それぞれが個別に持っているタイムラインを無視してしまっている．実際の演奏においては，団員の数だけタイムラインが存在し，それらを一つにまとめ上げるのが指揮者の役割である (図 1-2 参照)．この団員ごとのタイムラインは，団員の頭の中にある演奏モデルの一部である．即ち，各団員は自らの音楽性等に基づき，ある楽曲のある瞬間における最適なタイムラインをモデルとして持っているのであり，それを指揮者の提示する共有タイムラインに合わせて適宜修正しつつ演奏を行なっているのである．ここに両者のインタラクションが成立している．ゆえに，指揮者とオーケストラのインタラクションによる指揮システムを実現するためには，奏者ごとの個別タイムラインを考慮に入れる必要がある．

複数の声部を有する多声音楽，特に旋律・伴奏・バス等に分化しているホモフォニーの楽曲については，各声部それぞれが固有の特徴を持っており，その中には固有のタイムラインも含まれる．例えば，楽曲のリズムを支えるリズムパート，和声を支えるバス・伴奏パートはテンポの揺れが小さい (タイムラインの変動幅が小さい) のに対し，旋律のパートは相対的にテンポの揺れが大きい (タイムライン

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan

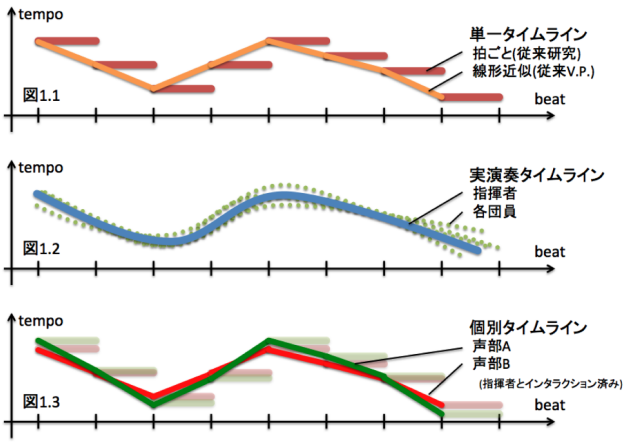

図 1 複数タイムラインの概念

の変動幅が大きい)．この時，各声部の中ではタイムラインは共有されており，例えばヴァイオリンとフルートとホルンが同じ旋律をユニゾンで奏する場合，彼らのタイムラインは事前の打ち合わせ等により共有化が図られる．オーケストラ団員は，自分が演奏するパートが楽曲中でいかなる声部に属しているのかを把握しており，異なる声部間では異なるタイムライン，同一声部内では共有タイムラインで動く，という演奏モデルを構築している．したがって，これの実現のためには，声部の分化と各声部における役割設定が必要である．その際，タイムラインは奏者の数だけ用意する必要は必ずしもなく，声部の数だけ用意すれば良い．

2.3 指揮システムへの応用

従来の VP では，単一のタイムラインによりスケジューラが管理されており，すべての楽器，すべての声部における逸脱は，単一タイムラインからの逸脱で表されていた．例えばバイオリンパートのある音はタイムラインから 0.2 拍分遅れる，といったように．しかし，実際の演奏において，バイオリン奏者は指揮者の提示するタイムラインから意図的に 0.2 拍遅らせて演奏するわけではなく，指揮者のタイムラインとは別個のタイムラインで動いた結果，当該拍において 0.2 拍分の遅れを生じさせるのである．この時バイオリン奏者の中には，拍を遅らせるというモデルはなく，指揮者のタイムラインより遅くするというモデルに従っている．結果バイオリンの拍は指揮者の拍より遅れる．図 1.2 で言えば，指揮者 (青実線) に対する各団員 (緑点線) の逸脱は，横軸単位即ち拍のズレではなく，縦軸単位即ちテンポのズレとして認識されるのである．指揮システムにおいて単一タイムラインから声部ごとの個別タイムラインに移行するということは，逸脱の定義を拍単位からテンポ単位に置き換えることであり，これは実際の演奏と同じ考え方である．

VP において，声部ごとの個別タイムラインは以下のようにして導入される．まず，テンプレートに内在している声部ごとの個別タイムラインの情報を抽出し，オーケストラ側のテンポを声部の数だけ複数用意する．次に声部ごとに個別にプレイヤとのインタラクションを図り，個別にタイムライン (テンポカーブ) を生成する．これに従い声部ごとに個別にスケジューラを管理する (図 1-3 参照)．これにより実際 (図 1-2 参照) と同じ動きをすることが可能となる．

ここで問題は，各声部の役割や声部に属する楽器が楽曲中で随時変化していくという状況をどう捉えるか，各タイムライン同士の整合性をどう合わせるか，の 2 点である．前者については，例えばチェロパートは，時にオーボエとともに旋律を奏で，時にコントラバスとユニゾンでバスを担当する，といった状況を想定している．これを実現するためには，楽曲中におけるあるパートの声部の遷移状況を見ていく必要がある．後者については，声部同士のタイムラインが乖離し過ぎた時には，それを補正するような機構を追加する必要がある．こちらは次拍のテンポ予測に関わる事柄であるので，コンサートマスター機能に追加する．

2.4 左手を使った指揮

実際の指揮における左手の役割は，非常に多岐に渡る．右手と同じ動作で拍を提示する場合，全体の音量の加減を指示する場合，各楽器への指示 (出の合図や音量の増減など) を行う場合などが挙げられるが，曲全体の何らかの音楽表情を表す，といった非常に曖昧なものも多い．また，指揮者各人によって動作も用法も異なる．これらすべてをセンサから読み取るのは不可能である．なお，指揮動作の曖昧さや個性は，右手にも現れるものの，右手には拍の提示という要素が必ず入るため，右手指揮動作における各極小点が拍点となるという特徴上，鉛直成分の極小点さえセンサで検出できれば，必ず拍点の情報を取得できる．それ故，従来の指揮システムにおいては，右手からの拍点検出に主眼が置かれ，左手に関しては用途を限って再現されてきた．森田らは，カメラを用いて左手の位置を認識させることにより各楽器への指示を実現した [5]．左手以外では，宇佐らが，目線検出による各楽器への指示や呼気検出によるブレス制御などを実現している [2]．

VP においては，これまで左手を使った指揮は行ってこなかったが，声部の分化により，声部ごとの制御が可能になったので，これを左手で行うこととした．実際の指揮においては，左手で音量を指示する場合は特定の声部に対してのみ行うことが多いので，全体の音量制御は右手で行いつつ，特定声部の音量制御は左手も使用することとした．

3. VP の実装

VP の概要を図 2 に示す．VP は Cycling’74 社の Max/MSP/Jitter 上で実装されている．

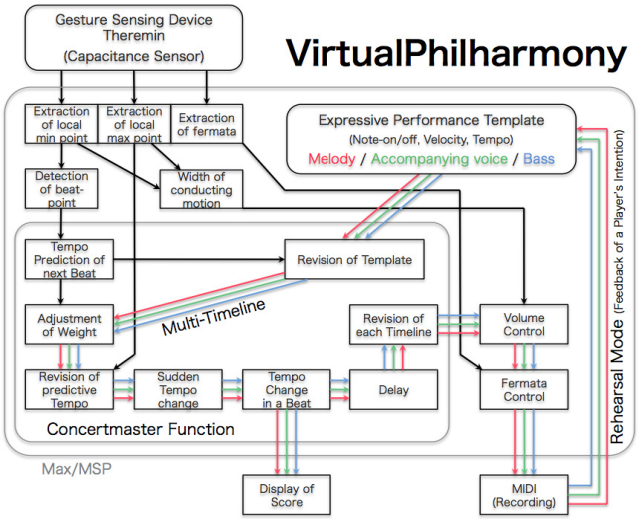

図 2 VirtualPhilharmony の概要

3.1 複数タイムラインに対応した演奏表情テンプレート

テンプレートについては，楽譜に記述された各音符の演奏の際の逸脱度が，楽譜情報を表す MusicXML と，楽譜からの逸脱を表す DeviationInstanceXML によって記述されている．逸脱情報は，各音における発音時刻・消音時刻のずれとダイナミクス，拍単位でのテンポ変化の 4 種であり，各々聴取作業によって既存の生演奏の録音データから抽出される．このうち拍単位のテンポ変化は 1 楽曲につき 1 つしかなく，従来はこれをもってテンプレートのテンポとしていたが，これに，楽器 (MIDI パート) ごとの音符の発音時刻の逸脱情報を加味することで，楽器ごとの拍単位のテンポを求め，さらに同一声部に含まれるすべての楽器の拍単位のテンポの平均を算出することで，声部ごとの拍単位のテンポを算出する．各パートがどの瞬間にどの声部に属しているか，といった情報は，今回は手入力により与えておく．声部の情報は，楽譜上に色分けして明示されるため，楽譜の読めないプレイヤであっても視覚的に各声部を認知することができる (図 4 参照)．また，各声部が指揮者の提示するテンポがどれくらい逸脱しているかも楽譜上に明示される．

3.2 ジェスチャセンサデバイス

3.2.1 右手

右手用のセンサにはテルミン (moog 社製 Etherwave Theremin) を用いる．テルミンは腕とアンテナの間の静電容量の変化によって，出力正弦波の周波数 (音高) や振幅 (音量) を制御する電子楽器である．VP ではこれを測距センサとして利用し，指揮動作の極小極大点を検出，それらから拍点検出 (極小点)，予測拍補正 (極大点)，音量制御 (振り幅)，フェルマータ検知 (一定時間静止) を行う．

テルミンをセンサとして用いた理由は，時間分解能，空間分解能における優位性に拠るものである．正確な拍点の認識等には細かな分解能が欠かせないのであるが，テルミンはアナログの正弦波を出力するのみであるから，時間分解能をセンサ側に依存せず PC 側で自由に決めることができるという特徴がある．Wii リモコンの場合は分解能は 10[ms] 固定であるが，VP では 5[ms] である．また，加速度センサを用いた場合，回転情報に対する誤反応により，拍の誤検知や検知ミスが多くなるという欠点があり，この点で測距センサの方が優位である．測距センサの欠点として場所の制約があるが，VP で使用しているテルミンは計測範囲が広く (アンテナの上下 70[cm])，ストレスは少ない．

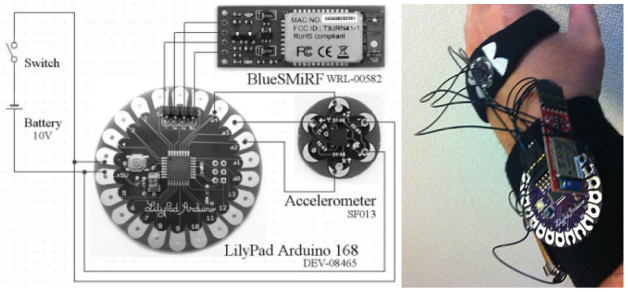

図 3 左手用デバイスの回路図 (左) と装着したところ (右)

3.2.2 左手

左手用のセンサには，加速度センサを取り付けた独自デバイスを用いる．Arduino 社製の 3 軸加速度センサ及びマイコンにて 3 軸加速度データをサンプリング精度 10ms で取得し，Bluetooth 通信により PC に送信する．図 3 に左手用デバイスの回路図 (左) と装着したところ (右) を示す．手の平を開いて上に向けた状態で一定時間保持した場合は「piu forte (もっと大きく)」，手のひらを開いて下に向けた状態で一定時間保持した場合は「piu piano(もっと小さく)」として，この 2 種の動作を検出し，これらを基に旋律声部のベロシティ値を補正する．

左手による各声部への音量指示を再現する場合，どの声部に対する指示なのかを特定する必要があり，このためにはカメラなどを用いた左手の位置認識が必要になるが，今回はそれを行わず，旋律声部に対する指示に限定した．これは，指揮者が左手で声部の音量を指示する場合，旋律声部に対して行う場合が多いからである．

3.3 コンサートマスター機能

コンサートマスター機能は，オーケストラ指揮に関するヒューリスティクスを基に，以下の 8 つの機能より構成される．

3.3.1 次拍テンポ予測

次拍のテンポ予測には線形予測を用いる．その際，従来固定であった予測次数や予測係数を，曲種や拍子によって可変とすることで，より詳細な予測を行う．実録音のテンポデータを用意しておき，予測テンポと観測テンポの二乗平均誤差平方根が最小となるような最適予測次数 (何拍前

まで参照するか= LPC 次数) と最適予測係数 (各参照テンポの重み=LPC 係数) を，曲種ごと拍子ごとに導出する．予測は，プレイヤが与えるテンポに対して行われる．

3.3.2 演奏表情テンプレートの補正

iFP[4] ではテンプレートは静的 (固定) であったが，プレイヤのテンポに応じてテンプレートが逐次補正されるような動的テンプレートを実装する．拍単位でのテンポ補正の他，特定のリズムパターンの演奏法等，音符単位の補正も併せて行う．補正には実録音の分析を基に求められた補正式が使用される．

拍単位でのテンプレートテンポの補正 各小節の最終拍に至った時点で，次拍 (次の小節の 1 拍目) の予測テンポ (指揮者側) と，同じく次拍のテンプレートテンポとを見比べ，以降のテンプレートテンポを予測テンポに応じてすべて補正する．補正は各声部ごとに個別に行われる．

特定のリズムパターンの補正 付点のリズムやウィンナワルツなど，特定のリズムパターンを奏する際には，全体のテンポを受けてリズムパターンの演奏法を変化させる．実録音の分析に基づいて補正式を導出し，これを用いて予測テンポに応じてテンプレートの特定リズムパターンをリアルタイムに補正する．補正は各声部ごとに個別に行われる．

3.3.3 重み付け

iFP 同様，VP においても指揮者とオーケストラのインタラクション (駆け引き) の度合いの調整を行う．重み付けは以下の式 1 を用いて行う．

$$\begin{aligned} P_{n+1} &= \alpha^{cond} A_{n+1}^{cond} + \beta B_{n+1} \quad \text{(player)} \\ &+ \alpha^{temp} A_{n+1}^{temp} + \gamma C_{n+1} \quad \text{(template)} \end{aligned} \tag{1}$$

A_{n+1}^{cond} はユーザのテンポに基いて予測された次拍のテンポ，B_{n+1} は直近の過去のテンポ，A_{n+1}^{temp} はテンプレートのテンポに基いて予測された次拍のテンポ，C_{n+1} は補正済みのテンプレートのテンポ，α^{cond}, α^{temp}, β, γ はそれぞれの重み係数である．

プレイヤ側の重みを上げればオーケストラは指揮者に追従し，逆にすればオーケストラは指揮者を無視し始める．指揮者とオーケストラの相性が，ここで決定される．重み付けは各声部に対し均等に行われる．

3.3.4 指揮動作の極大点を利用した予測拍補正

指揮動作の基本は放物線運動であり，指揮動作の極大点は前後の拍点の時間的中間点に位置しているため，指揮動作における極大点をセンサ (右手用) を用いて検出し，次拍のテンポ予測の補正に使用する．

3.3.5 急激なテンポ変化への対応

プレイヤが急激にテンポを変えた場合には，曲想が変化 (例.Adagio(遅く) から Allegro(速く) へ移行) している可能性が高く，そのような時に過去のテンポ履歴を基に次拍のテンポ予測を行ったのでは，テンポ変化前の値に引きずられる恐れがあるから，この場合は過去のテンポ履歴を抹消し，予測に過去の影響が入らないようにする．

3.3.6 拍内テンポ変化への対応

テンポの推移は実際には拍単位の離散的変化ではなく連続的に変化するので，積分型のスケジューラを構築し，拍単位の離散テンポの一次近似により連続変化を擬似的に再現する．各声部ごとに個別の処理が行われる (図 1-3 参照)．

3.3.7 演奏の指揮動作に対する遅延の調整

実際の演奏において，音楽はしばしば指揮動作の拍点よりも遅れ，その遅れの幅はテンポによって変動する．これを踏まえ，遅延パラメータをヒューリスティックに設定する．遅れは各声部に対して均等に与えられる．

3.3.8 タイムライン同士の乖離が激しくなった場合の補正

タイムラインの乖離が激しくなった場合に備え，声部間でそれぞれ別個の閾値を設定し，これを超えた際には予測テンポを補正する．旋律声部-他声部間における閾値を，他に対して相対的に高くした．これは 2.2 で述べたように，旋律声部のタイムラインの逸脱が，他声部に比して相対的に大きいためである．

3.4 リハーサルモード

実演奏における本番までの過程，即ち練習期間やリハーサルをシミュレートしたものがリハーサルモードである．練習の前段階におけるプレイヤによる楽譜への書き込み，練習段階におけるプレイヤの演奏意図の反映の 2 つからなる．

3.4.1 楽譜への書き込み

指揮者がオーケストラに演奏意図を伝える手段は口頭や身振りなどが主であるが，それらの前段階として楽譜への書き込みがある．例えば ritardando(速度漸減) などを行う場合，指揮者は途中から拍を分割し，倍拍で振ることがある．一方，場所によっては，通常振るべき部分を振らずに省略してしまうこともある．これらは事前に指揮者によって楽譜に書き込まれることも多く，練習の際オーケストラに口頭で伝えられる．

VP では，拍の分割や省略を事前にプレイヤが楽譜に書きこむことができる．画面上に表示された楽譜に，プレイヤはペンを使って分割したい拍に赤色の印を付ける．分割は 2 拍子系ならばデフォルトで 2 分割，3 拍子系なら 3 分割であるが，さらに細かく指定することもできる．これにより指定箇所のみ拍の分割を行う．また，省略したい拍に青色の印を付けることにより指定箇所のみ拍の省略を行う．

3.4.2 プレイヤの演奏意図の反映

実際の演奏では，本番の前にリハーサルがあり，そこで何度か通し練習を行う中で，指揮者の演奏意図がオーケストラへと伝わる．口頭による指示も行われるが，通し練習

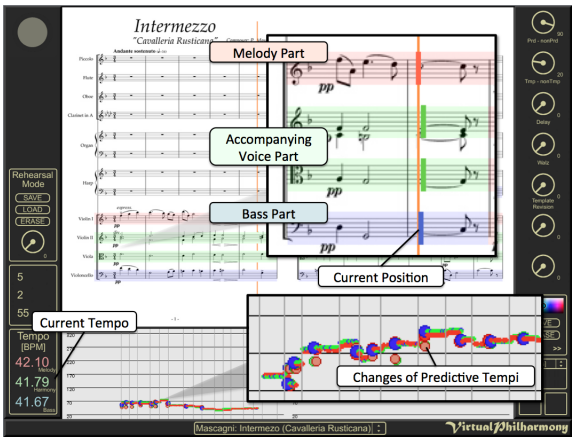

図 4 Visualization

による意思の疎通がリハーサルにおける最重要要素である．VP では，演奏を何度も繰り返すことにより，徐々にプレイヤの演奏意図や癖をテンプレートに反映させる．演奏が終わるたびに，演奏結果における各音符の逸脱情報を取得し，既存のテンプレートの逸脱情報との加重平均値を新たなテンプレートの逸脱情報として更新する．この時，楽譜からの逸脱の度合いが大きい所が，プレイヤの強い演奏意図が表出している箇所であると解釈し，逸脱の大きさに応じて重みを変化させる．更新は各声部ごとに個別に行われる．これにより，演奏を繰り返すごとに，テンプレートはプレイヤの意図するものへと近づく．

3.5 Visualization

画面上には，演奏楽曲の楽譜と，現在のユーザのテンポ，テンプレートのテンポと予測テンポ (演奏テンポ) の 3 つのテンポを可視化したグラフが表示される (4)．楽譜には，旋律・内声・バスの 3 つの声部の色分け，現在の演奏位置を示すバーなどが表示され，ユーザ自身がさらに拍の分割・省略等の指示を楽譜上に書き込むことができる．

4. 評価・考察と今後の展望

4.1 VP の評価と考察

VP の評価については，これまでに，コンサートマスター機能の定量的評価，指揮の専門家による主観的評価，及び諸学会並びにイベントにおけるデモ展示の際のユーザ評価の 3 通りの手法で行なってきた [7]．また，VP を用いたピアノやギターとの協奏曲のセッションも何度か行なっており，協奏者や観客より好評を得ている．

本稿では，著者が実際に複数タイムラインによる指揮を行った際の使用感を述べ，それを基に考察を行う．使用した楽曲は，P. Mascagni 作曲の歌劇「カヴァレリア=ルスティカーナ」間奏曲である．単一の旋律声部，伴奏声部，バス声部より成るホモフォニーであるこの楽曲を用いて，遅めのテンポの中で旋律を独立して歌わせることができるか，検証した．

各声部，とりわけ旋律声部が他の声部から独立して動くこと，それが実際の指揮演奏における動きに似ていることを確認した．また，従来の右手のみによる音量制御では，全体の音量を小さくした時に旋律も同じように小さくなっていたのが不自然であったのだが，左手で旋律声部のみ音量を上げることにより，全体の音量を小さくしたときにも旋律線がしっかり浮き出るようになった．これは実際の演奏と同様である．

4.2 今後の展望

指揮の専門家との連携を密にし，今まで以上に指揮のヒューリスティクスを導入する．また，VP を用いてのコンサート活動や初等音楽教育，音楽療法における活用など，社会応用についても模索していく予定である．

5. まとめ

本稿では，指揮システム VirtualPhilharmony の開発に関する報告を行った．オーケストラを指揮する感覚をユーザに提供するために，指揮に関するヒューリスティクスを盛り込んだ．特に，指揮システムにおける声部ごとの複数タイムラインの必要性について議論し，その実装を行った．また左手を使った指揮をいかに実現するか，練習から本番に至るオーケストラと指揮者の関係をいかに再現するかについて述べ，自作デバイスの制作やリハーサル機能の実装等を行った．

今後は，VP を外部に持ち出しての社会応用を行なっていくとともに，さらなる機能充実を目指す予定である，

参考文献

[1] Mathews, M.: The Conductor Program and Mechanical Baton, proc. Intl. Computer Music Conf. (ICMC), pp.58–70 (1989)
[2] Usa, S. and Mochida, Y.: A Multi-modal Conducting Simulator, In Proc. Int. Computer Music Conf. (1998)
[3] Borchers, J. and Lee, E. and Samminger, W. and Muehlhaeuser, M.: Personal orchestra: a real-time audio/video system for interactive conducting, Multimedia Systems, vol.9, pp.458–465 (2004)
[4] Okudaira, K. and Katayose, H.: iFP: A Music Interface Using an Expressive Performance Template, Entertainment Computing 2004, Lecture Notes of Computer Science, vol.3166, pp.529–540 (2004)
[5] Morita, H. and Hashimoto, S. and Ohteru, S.: A Computer Music System that follows a Human Conductor, Computer - Special Issue: Computer-generated Music Archive, vol.24, pp.44–53 (1991)
[6] Wii Music: http://www.nintendo.co.jp/wii/r64j/
[7] Baba, T., Hashida, M., Katayose, H.: A multi-timeline scheduler and a rehearsal function for improving users' sensation of orchestral conducting with a conducting system, Proc. Sound and Music Computing Conference 2012, pp.290–295 (2012)

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan