

音楽音響信号を対象とした指揮演奏システム： フェルマータ時における打楽器音抑制と スケジューラの検討

橋本 祐輔[†] 北原 鉄朗^{† ††} 片寄 晴弘^{† ††}

[†] 関西学院大学大学院理工学研究科

^{††} 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 CrestMuse プロジェクト

能動的な音楽鑑賞の方法の一つとして指揮演奏システムがある。本研究では、音楽音響信号を対象とした指揮演奏システム AiiM を開発した。音響信号を対象とした指揮演奏システムの課題として音響信号の伸縮に起因するノイズの低減と正確な同期によるスケジューリングの実現である。前者の問題は特に打楽器音のループに起因するノイズを打楽器音を抑制する事で解決した。後者の問題は MIDI を対象とした演奏システムである iFP で採用されている予測型スケジューリングを用いて解決した。

Musical Conducting System for Audio Signals: On Scheduler and Percussive Sound Reduction for Fermata Notes

Yusuke Hashimoto[†] Tetsuro Kitahara^{† ††} Haruhiro Katayose^{† ††}

[†] Graduate School of Science and Technology, Kwansei Gakuin University

^{††} CrestMuse Project, CREST, JST

A musical conducting system is expected to be an effective method for active music listening. We developed a musical conducting system, AiiM, for audio signals. The main issues in developing an audio-based conducting system are reduction of noise caused by time stretching of audio signals and scheduling for accurate synchronization. We resolve the former issue by reducing percussive sound because the noise is particularly caused by looping percussive sounds. We resolve the latter issue by using a predictive scheduling method adopted in iFP, a MIDI-based performance system.

1 はじめに

創作活動をしない一般消費者にとって、従来、音楽はただ聴くだけのものであったが、計算機技術の発展によりその状況は変わりつつある。例えば、音楽再生という観点から見ると、SmartMusicKIOSK¹⁾では楽曲におけるサビなどの楽曲構造を利用してサビなどの頭出しができ、ユーザの興味のない箇所をスキップすることができる。また、楽曲に対する加工という点で、Drumix²⁾は楽曲再生中にユーザがドラムパートを加工することができる。このような、楽曲の再生の仕方をリアルタイムに変化させたり、楽曲をリアルタイムに加工しながら音楽鑑賞を楽しむスタイルは「能

動的音楽鑑賞」と呼ばれ、現在様々な研究開発が行われている³⁾。

このような能動的音楽鑑賞の一つとして、指揮演奏システムがあげられる。指揮演奏システムとは、ユーザが指揮動作を模倣すると、その指揮動作と楽曲再生が同期するように、自動的に楽曲の再生速度をコントロールするシステムである。指揮演奏システムは、音楽の専門知識がない人でも楽しむことができ、「リズム」という音楽における重要な要素を自身の身振りや手振りによって直接コントロールできるため、より能動性の高い音楽鑑賞が可能である。そのため、これまで指揮者の動作にできるだけ近づけて指揮をシミュレートするもの⁴⁾や指揮動作を上下の手振りという動作に集約し

たもの⁶⁾など、様々なシステムが開発されてきた。

指揮演奏システムでは、ユーザの手振りに合わせて楽曲を伸縮させなければならないので、こういった処理のしやすいMIDIファイルを対象とする場合が多かった。MIDIファイルを対象とした場合、テンポや各楽器パートの音量などを自由自在に変化させることができるため、ユーザの動作と演奏とのマッピングの自由度が高いというメリットがある。一方、音響信号を対象とすると、一般に流通している音楽データをそのまま利用することができる。しかし、音響信号の伸縮時における音質確保、伸縮をスムーズに行うためのスケジューリングといった問題が発生する。従来にも音響信号を対象とした指揮演奏システムは存在した^{5) 7) 8)}が、これらの課題は解決されていなかった。

本研究では、音響信号を対象とした指揮演奏システムにおいて、この2つの課題の解決を目的とする。音響信号の伸縮時における音質確保の問題については、フェルマータなどによりテンポを極端に落とすときに、短時間の波形をループさせることによって発生するノイズの軽減に取り組む。この種のノイズは非周期成分に顕著に現れることから、宮本らによる調波成分と打楽器音の分離手法⁹⁾を用いて、非周期成分を抑制することで対処する。スケジューリングの問題に対しては、iFP⁶⁾で採用されている予測型のタイムスケジューリング手法を採用する。

2 関連研究と課題

2.1 関連研究

従来の指揮演奏システムは、前述のように楽曲形式にMIDIを用いたものが多かった。たとえば、以下のようなものがある。

マルチモーダル指揮シミュレータ⁴⁾

加速度センサと隠れマルコフモデル (HMM) を応用し、指揮法に則って指揮動作の認識を詳細に行ない、指揮のシミュレーションを目指したシステム。

Conductor's Jacket⁵⁾

表面筋電位センサや心拍計などの多数のセンサを搭載したジャケットを用いるシステムで、これを着用した指揮者の上半身の動作を指揮に反

映させることで、演奏表現の幅を広げることを目的としている。

音楽演奏インタフェース：iFP⁶⁾

MIDI キーボードの打鍵およびパソコンのキー入力による鍵盤楽器的なインタフェースと夢システム社のデジタルテルミン¹⁾を利用した指揮型インタフェースを兼ね備えた演奏システムである。

一方、近年、音響信号を対象とした指揮演奏システムも増えつつある。たとえば、以下のようなものがある。

Analysis and Performance with Expressive Conducting Gestures⁷⁾

カメラで自身を映し、リアルタイムでジェスチャの認識および楽曲のテンポや音量を制御するシステムである。

音楽音響と映像信号を対象としたジェスチャによる指揮システム⁸⁾

センサグローブを用いた指揮動作によって、オーケストラなどの演奏映像を用いて映像の再生制御と音響制御を同時に行なうことで、より臨場感の高い演奏制御の実現を目指したシステムである。

しかし、これらはいずれも次節で述べる課題は十分には検討されていない。

2.2 課題

音響信号を対象とした指揮システムの設計では、次の2つの課題を解決しなければならない。

課題1[音質の確保]

MIDI データを扱う場合と異なり、波形を伸縮する必要があり、それに伴って音質が低下する可能性がある。特に、フェルマータ時においてテンポを極端に落とす場合、切り出してきた短時間の波形をループさせることにより、ノイズが発生する。

¹⁾ 人体と2軸の電極(センサ)の静電容量を、ピッチと音量にマッピングした電子楽器であるテルミンをMIDI仕様にした演奏コントローラ

課題 2[予測型スケジューリング]

波形の伸縮率を決定するには 1 拍の長さからわからないといけない。そのため、拍打ごとに次の拍打の時刻を予測し、そこから 1 拍の計算をする必要がある。

本研究では、上述の 2 つの課題に対処する指揮演奏システム AiiM を設計する。

課題 1 に対しては、短波形のループによるノイズが主に非周期音（打楽器音）に起因していることに着目し、打楽器音を抑制することで、ノイズを低減させる。打楽器音の抑制には、宮本らの調波成分と非調波成分の分離手法⁹⁾を用いる。

課題 2 に対しては、iFP で採用されている予測型スケジューラ⁶⁾を用いる。このスケジューラでは、一定のテンポの維持とユーザ操作への追従のどちらを優先させるかを重みづけによって変えることができる。

3 AiiM の設計

本章では、フェルマータ時の打楽器音抑制機能および予測型スケジューリング機能を持つ指揮演奏システム AiiM の設計について述べる。

3.1 処理の概要

AiiM における処理の流れを図 1 に示す。まず音楽音響をバッファに読み込み、加えて音響信号のテンポ制御に必要な拍点時刻データ（テンポデータ）を読み込む。バッファに読み込まれた音響信号に対して Phase vocoder による処理を行ない、ピッチを変えずに音響信号を伸縮できるようにする。また、あらかじめ使用楽曲の打楽器音を抑制したデータを別のバッファに読み込んでおき、フェルマータ状態になった場合に通常出力と切り替えて用いる。

指揮動作の認識は Wii リモコン（任天堂株式会社）を用いて行なう。Wii リモコンから得られる加速度情報に対してノイズ除去を行ない、ユーザによる拍打の抽出と音量制御のための強度計測に用いる。抽出された拍打情報に対して iFP⁶⁾における予測型スケジューリングを適用し、予測された拍を利用してテンポ制御を行なう。

3.2 ビート時刻データの取得

本システムでは簡単のため、ビート時刻をタッピングにより人手で付与したデータをあらかじめ用意し、それを読み込んで利用する。将来的には、

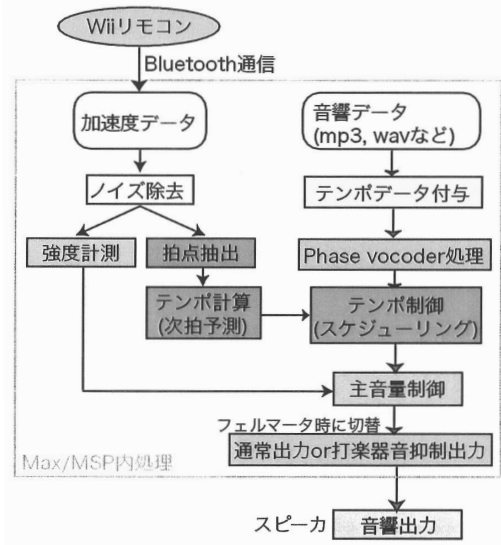


図 1 AiiM の処理の流れ

ビートトラッキング手法¹⁰⁾で、同様のデータを自動的に取得する事を想定している。

3.3 ユーザのモーションデータの取得

Wii リモコンに内蔵されている加速度センサが逐一取得する加速度データを Bluetooth 通信によって取得する。手の震えなどによる誤動作を避けるため、移動平均（過去 10 フレーム分を使用）によって平滑化を行なう。

次に、鉛直方向の加速度データから加加速度（単位時間あたりの加速度の変化率）を求め、一定以上、負の方向へ加加速度が下がったところをユーザの指揮動作による拍打が行われたとみなす。

3.4 予測型スケジューリングに基づく次拍予測とテンポ制御

音響信号の伸縮率を決めるため、拍打が検出される度に次の拍時刻を予測し、テンポを決定する。テンポの決定においては、

- (1) 直前の α 回の拍打履歴における平均テンポ、
- (2) 直前の 2 拍のテンポの変化率から予測されるテンポ、
- (3) 楽曲の本来の（3.2 節のビート時刻データから算出される）テンポに重みづけをして足し合わせて最終的なテンポが決定される。

(1)~(3) に対する重みをそれぞれ w_{Uh} , w_{Uf} , w_T とし、楽曲の本来の平均テンポを T_T とすると、 n 回めの拍打におけるテンポ BPM_n は、次式により計算される。

$$BPM_n = \left\{ w_T \cdot (T_T - T_B) + w_{Uh} \right. \\ \left. \times \left(\sum_{k=n-\alpha}^{n-1} BPM_k - T_B \right) \right\} \\ \times \frac{1}{w_T + w_{Uh}} \cdot \left(\frac{BPM_{n-1}}{BPM_{n-2}} \right)^{w_{Uf}}$$

3.5 Phase vocoder を用いた音響信号の伸縮

音響信号を指揮演奏システムで用いるにあたって、テンポの変化などによる楽曲の伸縮を再現する必要がある。音響信号を時間軸で引き伸ばしたり縮めたりすると、ピッチも変化する。この問題を回避するために Phase vocoder¹¹⁾ を用いることによってピッチを変化させずに音響信号の伸縮を行っている。

3.6 楽曲の音量制御

楽曲の音量は、再生速度制御における拍点抽出位置前後のしきい値を用いて、Wii リモコンの鉛直方向加速度での拍点前後でのしきい値間の積分によって求められる面積によって決定する。また、再生速度制御と同様に、過去 4 回分の音量履歴の平均と過去 2 回の音量変化率を求め、次拍における音量を予測する。

3.7 フェルマータ検出および打楽器音抑制

テンポが限りなくゼロに近づいたとき（現在の実装では再生速度の 60% を下回ったとき）、宮本らの手法⁹⁾ を用いて打楽器音を抑制する。現在の実装では、宮本らの手法を適用して打楽器音を抑制した音響信号をあらかじめ別で作成しておき、フェルマータ検出時に音響信号を切り替えることで実現している。

3.7.1 楽曲の再生速度制御

音響信号を用いた楽曲の再生速度を Wii リモコンを用いた指揮動作によって制御するためには、楽曲に対応した拍点の時刻データとユーザが Wii リモコンを使って入力する拍打情報が必要である。

4 AiiM の実装と動作確認

4.1 実装

実装したシステムのインタフェースを図 2 に示す。システムの実装には、Max/MSP・Jitter(Cycling'74)を使用した。本システムで Wii リモコンを使うにあたって、Max/MSP 上で Wii リモコンから送信されるデータを受信するため、Max/MSP の external object である aka.wiiremote¹²⁾ を用いて加速度データの受信を行なった。フェルマータ時における打楽器音の抑制はリアルタイムに処理するのではなく、あらかじめ処理したものをバッファに取り込む。それをフェルマータ状態と非フェルマータ状態とで通常出力用のバッファと切り替えて用いている。

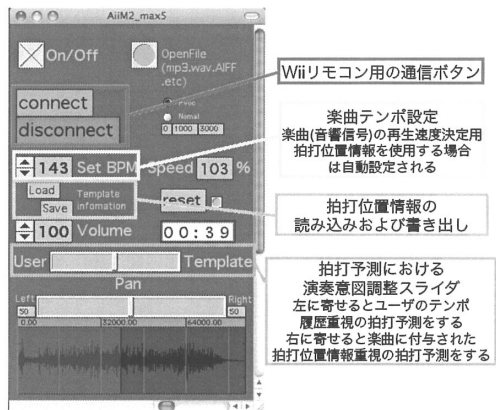


図 2 AiiM のインタフェース

4.2 動作確認

AiiM の動作確認は、Mac OSX 10.5.2 Leopard, Intel Core Duo 2GHz, 2GB RAM および ATI Radeon X1600 256MB のグラフィックボードを搭載した計算機を用いて行なった。

Wii リモコンとの通信、楽曲の再生などすべての機能をアクティブにした状態で指揮動作による拍打の認識における遅延はさほど見られなかった。

5 まとめ

本稿では、ユーザの好みの楽曲を用いて指揮演奏を行なうために、音楽音響に着目した指揮演奏システムの実装を行なった。音楽音響を対象とした指揮システムに拍打の予測によるスケジューリングを行なうことによって、MIDI を用いた指揮シ

システムと同じ感覚で使用できるようにすることを
目指した。加えて、音楽音響信号の極端な時間伸
縮において問題となるノイズの低減についての検
討も行った。

今後はこれらの機能の有効性を示すための評価
実験について検討する必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたって、打楽器音抑制に関
する素材を提供して頂いた、角尾 衣未留氏、嵯峨
山 茂樹教授 (東京大) に感謝する。

参考文献

- 1) 後藤 真孝, “SmartMusicKIOSK: サビ出し機能
付き音楽試聴機”, 情報処理学会論文誌, Vol.44,
No.11, pp.2737-2747, (2003).
- 2) Yoshii, K., Goto, M., Komatani, K., Ogata,
T. and Okuno, H. G.: “Drumix: An Audio
Player with Real-time Drum-part Rearrange-
ment Functions for Active Music Listening”,
情報処理学会論文誌, Vol.48, No.3, pp.1229-
1239, (2007).
- 3) 後藤 真孝, “音楽音響信号理解に基づく能動的
音楽鑑賞インタフェース”, 情報処理学会研究報
告. [音楽情報科学] Vol.2007, No.37, pp. 59-66,
(2007).
- 4) 宇佐 聡史, 持田 康典, “マルチモーダル指揮シ
ミュレータ”, 日本ファジィ学会誌 Vol.10, No.4,
pp.707-716 (1998).
- 5) Teresa Marrin Nakra. Synthesizing expressive
music through the language of conducting.
Journal of New Music Research, Vol. 31,
No. 1, pp. 11-26, (2002).
- 6) 奥平 啓太, 片寄 晴弘, 橋田 光代, “音楽演奏イ
ンタフェース iFP: 演奏表情のリアルタイム操
作とビジュアライゼーション”, 情報処理学会
研究報告. [音楽情報科学] Vol.2003, No.82, pp.
13-18, (2003).
- 7) Kolesnik, P. and Wanderley, M. Recognition,
”Analysis and Performance with Expressive
Conducting Gestures”. In *Proceedings of
the 2004 International Computer Music*
Conference (ICMC2004), Miami, FL,
(2004).
- 8) 鈴木 健嗣, 金 尚泰, 小尾 正和, 橋本 周司, “音楽
音響と映像信号を対象としたジェスチャによる
指揮システム”, インタラクション2007, (2007).
- 9) 宮本 賢一, 亀岡 弘和, 小野 順貴, 嵯峨山 茂
樹, “スペクトログラムの滑らかさの異方性に
基づく調波音・打楽器音の分離”, 日本音響学会
春季研究発表会講演論文集, 2-5-8, Mar. 2008,
(2008).
- 10) M. Goto, “An audio-based real-time beat
tracking system for music with or with-
out drum-sounds”, *Journal of New Music
Research*, vol. 30, no. 2, pp. 159-171, (2001).
- 11) Mark Dolson, “The Phase Vocoder: A Tu-
torial”, *Computer Music Journal*, Vol.10,
No.4, pp.14-27, (1986).
- 12) <http://www.iamas.ac.jp/aka/max/>