

モーションキャプチャを用いたピアノ演奏動作のCG表現と 音楽演奏インタフェースへの応用

釘本望美 山本和樹 武田晴登
片寄晴弘 長田典子 巳波弘佳

関西学院大学 理工学部 情報科学科

あらまし 演奏動作は音楽演奏における重要なファクターの1つである。とりわけピアノ演奏動作の生成やCG表現技術の研究においては、これまでピアノ練習支援システムや演奏支援GUIなど機械的な指の動きを扱ったものが多く、動きのリアリティに着目した研究は少ない。本研究では、モーションキャプチャを用いてピアノ演奏時の手指の動きを獲得し、オフラインレンダリングによってリアルなピアノCGアニメーションを制作するとともに、リアルタイムレンダリングにより音楽インタフェースiFPと同期するGUIを構築する。

キーワード モーションキャプチャ, ピアノ演奏, インタラクション, アニメーション

Computer animation for piano fingering using motion capture and its application to a music interface

Nozomi Kugimoto Kazuki Yamamoto Haruto Takeda
Haruhiro Katayose Noriko Nagata Hiroyoshi Miwa

Kwansei Gakuin University

Abstract Playing movement is one of the important factors in music performance. Especially as for motion synthesis and CG animation in piano performance, several studies have so far been made concerning support systems for piano finger exercise and GUI for piano performance, which have been focused on the mechanical finger movements. However little attention has been paid to the reality of the finger movements. This paper proposes a method for obtaining finger and hand movements during performance by using motion capture. An animation system for off-line rendering of piano performance and an interactive system for real-time rendering of GUI for a music interface are also described.

Key words motion capture, piano performance, interactive, rendering

1 はじめに

楽器の上手下手は構えただけでわかるといわれるほど、演奏動作は音楽における重要なファクターの1つである。音楽情報処理の分野では演奏の音楽的解析は進んでいるが、弾き方の研究については必ずしも十分には行われていない。とりわけピアノ演奏動作の生成やCG表現技術については、ピアノ練習支援システムや演奏支援 GUIなどで機械的な指の動きを扱ったものが多く、動きのリアリティに着目した研究は少ない [1]。

我々はピアノ演奏動作の解析やCG表現の研究を進めている。本稿ではモーションキャプチャシステムを用いてリアルな演奏動作のCGアニメーションを出力するとともに、これを応用し音楽インタフェース iFP [2] と同期する GUI を提案する。

リアルな動きのアニメーションを生成する試みは、近年のコンピュータアニメーションの大きなトピックであり、多くの取り組みがなされている。アニメーション技術はCGでの映画やゲームなどを中心に多くのニーズがあるが、自然現象や人の動きを本物らしく、かつ効率よく表現するために現在まで様々な手法が確立されている。アニメーションの基盤技術の一つにキーフレーム法があるが、自然な人間の動きを表現するには、膨大な工数と経験が必要である。そこで、モーションキャプチャを用いて実際の人間の動きを計測しCGキャラクタに当てはめる手法がCG制作現場において主流になりつつある。

本研究では、まずモーションキャプチャを用いてピアノ演奏時の手指の動きを獲得し、CGアニメーションとして表現する手法について検討した。ピアノ演奏は他の楽器と比較して、指の動きが早くかつ動作範囲が大きいため、時間分解能と空間分解能の両方をカバーしなければならない。またリアルな指を表現するためには十分な質感を表現できる手指のモデルとレンダリング手法が必要である。さらにアニメーションを音楽と同期しインタラクティブに再生するためには、演奏時のモーションデータと音楽データと楽譜データを対応付けたり、テンポの緩急に応じてアニメーションの再生速度を適切に変化させるなどの工夫が必要となってくる。本稿ではこれらの課題を解決し、オフラインレンダリングによってピアノCGアニメーションを制作するとともに、リアルタイムレンダリングにより音楽インタフェースのGUIを構築した内容について報告する [3]。

なお最終的には、楽譜を入力すると自然な音楽演奏および演奏動作が出力される音楽映像生成システ

ムを構築することをめざしている。また演奏動作の特徴や個性、上級者と初心者の弾き方の違いといった解析や評価へ展開していくことにより、練習支援システムとしての応用も可能となる。

2 モーションキャプチャによるピアノ演奏の計測

2.1 モーションキャプチャの概要

モーションキャプチャは、人間の物体の動きをセンサなどを用いてコンピュータに3次元位置データとして取り込む技術である。センサの種類としては、マーカの光を反射させて複数のカメラから位置を取得する光学式、カメラから隠れたマーカを検知できるがマーカ数に制限があり、機敏な動きが難しい磁気式、光学式マーカに比べて重い、無線LANを併用する機械式などがある。モーションキャプチャ技術はスポーツ工学やバイオメカニクスにおける運動解析、映画やゲームのCGアニメーション、ロボットによる人間の行動観察など多岐に渡って利用されている。

2.2 手の動きとピアノ演奏データの取得方法

本研究で用いた手の動きとピアノ演奏データを獲得するシステム構成を図1に示す。今回はピアノ演奏データとしてはMIDI(Musical Instrument Digital Interface)形式で取得した。

2.2.1 測定環境

本研究では光学式モーションキャプチャシステムを用い、アプリケーションソフトウェアとしてEVaRTを使用した。光学式マーカ(以下、マーカ)の3次元位置を取得するハードウェアのカメラとしてHawk Digital Cameraを用いる。カメラ配置としては前に7台、後ろの頭上から1台の計8台で配置する。マーカを取得するフレームレートは60fpsとする。ピアノ演奏をする手の動きを獲得するため、手の関節部位、爪、甲に片手22個、両手計44個のマーカを対応させた。

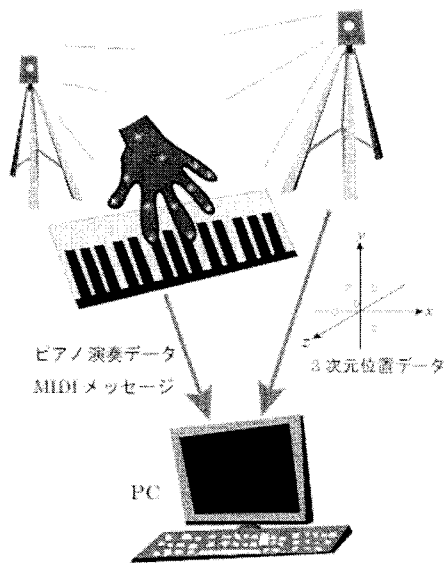


図 1: モーションキャプチャで手の動きと MIDI 演奏データを獲得するシステムの構成

2.2.2 3次元位置データ形式

EVaRT による 3次元位置データの形式は `trc` ファイルとして出力される(表 1)。縦軸は時間及びフレーム数を示し、横軸は各マーカの `xyz` の 3次元座標を示す。

| Frame | Time | RHand | | | LHand | | |
|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | x1 | y1 | z1 | x2 | y2 | z2 |
| 1 | 0 | -89.4948 | 780.3644 | -438.682 | -58.3068 | 778.7517 | -150.191 |
| 2 | 0.017 | -89.4329 | 780.3501 | -438.687 | -58.3623 | 778.5514 | -150.138 |
| 3 | 0.033 | -89.4329 | 780.3501 | -438.687 | -58.3442 | 778.5167 | -150.166 |
| 4 | 0.05 | -89.4329 | 780.3501 | -438.687 | -58.3442 | 778.5167 | -150.166 |
| 5 | 0.067 | -89.4329 | 780.3501 | -438.687 | -58.3442 | 778.5167 | -150.166 |
| 6 | 0.083 | -89.4479 | 780.363 | -438.641 | -58.2537 | 778.532 | -150.248 |
| 7 | 0.1 | -89.513 | 780.3681 | -438.85 | -58.2476 | 778.6079 | -150.277 |
| 8 | 0.117 | -89.513 | 780.3681 | -438.85 | -58.3187 | 778.6781 | -150.218 |

表 1: EVaRT による 3次元位置データの例

2.2.3 3次元位置データの編集

モーションキャプチャ撮影ではマーカの誤認識やカメラからマーカが隠れてしまい欠落が起こる場合が多々生じる。本研究でのピアノ演奏による手の動きを取得する際、手の交差によってマーカが完全に隠れてしまったり、指くぐりによって親指のマーカが正しく認識されなかったりという問題が実際に起きた。このような問題では直前の位置データや、他のマーカとの相対位置から 3次元座標の補間を行い、データを修正する。

2.3 計測実験

今回は、モーションキャプチャで取得した曲として、ショパンの「Waltz op.64 No2」の 32 小節までの演奏を用いた。Waltz は手の動きがあまり激しくなく、かつ親指が隠れてしまう指くぐりが少ない。

計測した結果、ピアノ演奏時にマーカの距離が近くなったり、指が隠れてしまったりするときに起こるマーカの欠落や誤認識、ゴーストマーカと呼ばれる雑音などが前 3282 フレーム (58.017 秒) の約 1 割ほど発生した。正確に計測できなかったフレームは補間をして 3次元位置データを修正した。

原因としては、第一にカメラ配置が考えられる。8 台のカメラで出来るだけ全 44 個のマーカを映す配置を模索する必要がある。第二として考えられるのは、マーカを認識しやすくするためカメラの閾値を高くすると、ピアノの白鍵が反射してしまうことがある。白鍵の動きはカメラで認識せず、マーカだけを取得できる閾値を 8 台のカメラ全てで調整する必要があると思われる。

3 モーションキャプチャを用いたピアノ CG

ピアノ演奏による指の動きは、個別に動くことはなくすべての指と連動して動いている。この指の動きを計算から求めるのは非常に複雑であり、CG 制作における汎用性もなくなる。モーションキャプチャを用いることで、複雑な計算をせず、実演奏の自然な指の動きを取得できる。

3.1 ピアノ CG アニメーション作成における全体構成

ピアノ CG アニメーションの作成手順を図 2 に示す。今回用いたソフトウェアとして、手とピアノの CG オブジェクトは LightWave3D で制作した。これらの CG オブジェクトをプラグインを介し、マーカの 3次元位置データと MIDI データを用いて作成した。CG アニメーション制作には MotionBuilder を用いた。

3.1.1 ピアノ鍵盤の動き

ピアノ鍵盤の動きは MIDI 演奏データから作成する。予めモーションキャプチャ撮影前に MIDI のノート・ナンバと各鍵盤のボーンの動きを関連付

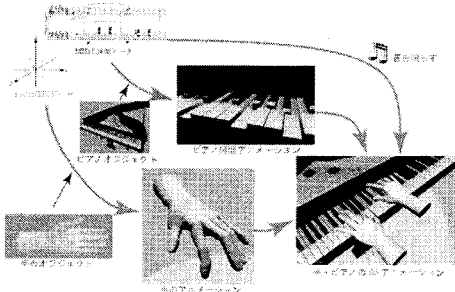


図 2: モーションキャプチャで取得した 3 次元位置データ (trc 形式) と MIDI 演奏データからピアノ CG アニメーションができる流れ

けておく。撮影時にピアノ演奏による MIDI 情報 (ノート・オン/オフ, ノートナンバ) を PC にリアルタイムで送出し, ピアノ CG モデルの鍵盤の押下運動を可能とした。

3.1.2 手と鍵盤の動きの合成

手の動作とピアノ鍵盤の動作を合成することによりピアノ演奏アニメーションを表現できる。また音については, MIDI データをピアノ演奏アニメーションと同期させて再生させる。

3.2 ピアノ CG アニメーションの実装

今回は対象曲としてショパンの「Waltz op.64 No2」の 32 小節目までの演奏を用いた。図 3 にピアノ CG アニメーションの 1 シーンを示す。



図 3: ピアノ CG アニメーションのシーン例

今回はピアノ演奏時の指の動きをモーションキャプチャを用いて, 複雑な計算を行うことなく CG アニメーションとして出力することができた。また CG アニメーションを見て, この部分の指はこの指

番号でいいのかなど, 運指についての議論も展開できた。運指だけでなく, 個々のピアノ弾き方や癖など, どのような特徴があるのか視点を移動させて観察できることも確かめられた。

4 リアルタイムピアノ CG アニメーションと演奏インタフェース GUI への展開

本章では, 音楽演奏インタフェース iFP の GUI として同期するピアノ CG を提案する。iFP は指一本の打鍵といった簡単な拍打で, テンポと音量をインタラクティブに付与するシステムである。

テンポをインタラクティブに取得し, 演奏動作のリアルタイムレンダリングを行うことで, 音楽と同期したピアノ演奏 CG アニメーションを出力するシステムを構築することができる。またリアルタイムレンダリングを用いることにより, フレームレートを変化させずに滑らかに描画することが可能である。

モーションキャプチャで取得した 3 次元位置座標データと MIDI 演奏データを用いて, 外部入力のスケジュールされたテンポ速度に追従したピアノ CG アニメーションを出力する。

4.1 手法

4.1.1 演奏における拍時間の獲得

モーションキャプチャ撮影時に出力した MIDI 演奏データについて, 何拍目を弾いているかという情報が必要となる。そこで楽譜と MIDI 演奏データの時刻とを対応させることで, その音が何拍目であるかという情報を付与する (図 4)。

4.1.2 テンポのスケジューリング

リアルタイムピアノ CG アニメーションの拍時間を計算するアルゴリズムについて記述する。テンポスケジューリングのアルゴリズム iFP と同じものを採用する。モーションキャプチャ時に取り込んだ MIDI 演奏データの i 拍目の拍時間 pbt_i と, ユーザの拍打履歴と変化量から求められる拍時間 ubt_i の 2 つの混合比率 r によって, CG を描画する最終的な i 拍目の拍時間 bt_i を決める。

ここで, ユーザの拍打履歴と, $i-1$ 拍目からの変化量によって求められる ubt_i は以下の式で与え

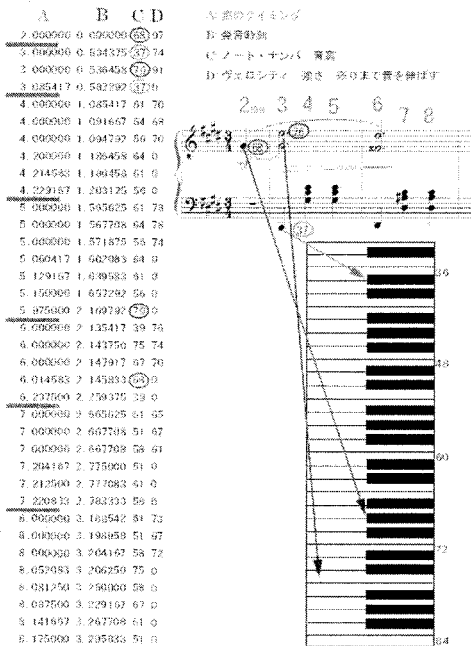


図 4: MIDI 演奏データ (B,C,D) と楽譜とを対応させ、拍のタイミング (A) を付加する様子

られる (式 (1))(図 5).

$$ubt_i = \frac{1}{4}(t_{i-3} + t_{i-2} + t_{i-1} + t_i) \left(\frac{t_i}{t_{i-1}}\right)^{0.1} \quad (1)$$

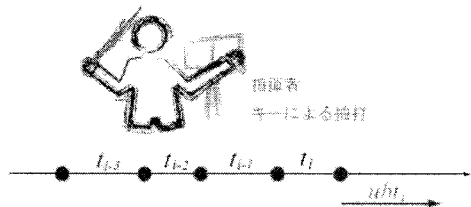


図 5: ユーザーが決めた拍時間から i 拍目の拍時間 ubt_i を決定

演奏の i 拍目の拍時間 bt_i は以下の式で与えられる (式 (2)). 混合比率 $r (0 \leq r \leq 1)$ は予め任意に設定できる.

$$bt_i = pbt_i \times r + ubt_i \times (1 - r) \quad (2)$$

例えば, $r = 1$ の場合, 拍内速度は MIDI 演奏データと同じ速度 pbt で演奏し, $r = 0$ の場合は, 拍内速度がユーザーの拍打で求められる速度 ubt により演奏する.

4.1.3 フレームへの割り振りとリアルタイムレンダリング

i 拍目が拍打され, 拍時間 bt_i が決定した時点で, i 拍から $i + 1$ 拍までに含まれる MIDI 演奏のノート・オン/オフ情報とマーカの 3 次元位置データを, どの時刻に描画するか予測制御して計算する.

i 拍目のスタート時間を st_i とし, ノート・オン/オフのイベント発生時間 et から, bt_i によって更新された新たなイベント発生時間 et' を求める (式 (3)). 同様に 3 次元位置座標の描画発生時間も式 (3) から求めることができる.

$$et' = (et - st_i) \times \frac{bt_i}{pbt_i} + st_i \quad (3)$$

また $i + 1$ 拍目の新たなスタート時間 st'_{i+1} は, 式 (4) から i 拍目の拍打時点で計算できる.

$$st'_{i+1} = bt_i + st'_i \quad (4)$$

$bt_i > pbt_i$ の場合の一例を図 6 に示す. 注意点として, bt_i を変更しても CG 描画のフレームレートは変わらず一定である.

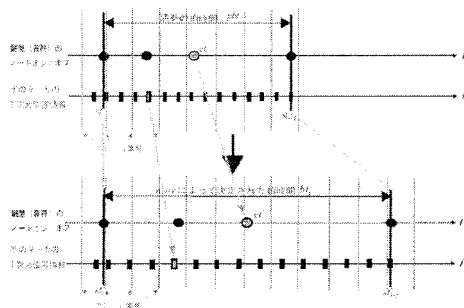


図 6: $bt_i > pbt_i$ の場合のスケジューリング

式 (3) より i 拍目のノート情報とマーカの 3 次元位置情報の新たな発生時刻をどのフレームで描画するかは, i 拍目の拍打時点でフレームにリアルタイムで割り振って求める (図 7). また CG のフレームレートは一定であり, フレームレートの値の時間後に CG 描画を更新する.

4.2 実装

リアルタイムピアノ CG で利用した手の 3 次元位置データと MIDI 演奏データは 3 章で使用したデータと同じものを使用した. また OpenGL (Open Graphics Library) を用いて CG アニメーション描画を行った. 手とピアノのオブジェクトはシンプルなものを採用した (図 8).

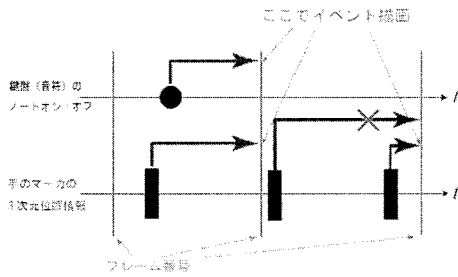


図 7: ノート情報と 3 次元位置座標を描画する時間をフレームに割り振る仕組み

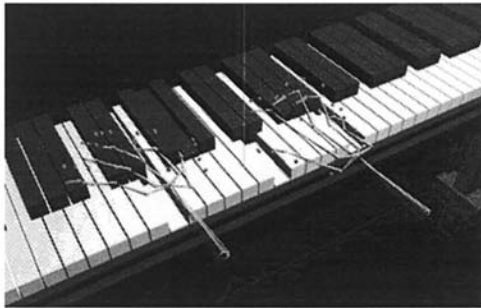


図 8: リアルタイムレンダリングによるピアノ CG アニメーションのシーン例

今回、モーションキャプチャで取得したピアノ演奏のモーションデータと MIDI 演奏データを用い、インタラクティブに拍ごとの速度変化が可能な CG アニメーション描画システムを提案した。拍ごとに速度を変化させながらリアルな指の動きを再現することができた。

5 まとめ

本研究では、まずモーションキャプチャを用いて、ピアノ演奏時の手指の動きを CG アニメーションで表現し、インタラクティブに速度変更できるリアルタイムピアノ CG について提案した。

モーションキャプチャによるピアノ演奏の計測では、指の関節部位に光学式マーカを貼って、3次元位置情報を取得した。全フレーム数に対し、1割ほど誤認識が発生したが、直前の位置データや、他のマーカの相対位置などから補間して修正した。その結果、ピアノ演奏時の滑らかでリアルな手指の動きを取得することができた。

次に、手とピアノの 3 次元モデルを CG アプリケーションで作成し、それらにモーションデータを

当てはめることによって、ピアノ演奏による手とピアノ鍵盤の動きを演奏どおりに CG で出力する実演奏ピアノ CG アニメーションを出力した。その結果、CG でピアノ演奏をする手の動きを滑らかにかつ人間味のある動きを確認できた。これから様々な音楽インタフェースと同期する GUI システムとして応用可能だと考えられる。

さらに、リアルタイムピアノ CG アニメーションでは、モーションキャプチャで獲得したデータを用いて、拍ごとのテンポをユーザがインタラクティブに決定できる GUI システムを OpenGL によって構築した。テンポを決定するスケジューリングは iFP のアルゴリズムを使用して拍ごとの速度を求めた。拍ごとのテンポを変化させてもリアルな指の動きを表現することが確認できた。

参考文献

- [1] 関口 博之, 英保 茂, “計算機によるピアノ演奏動作の生成と表示,” 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.6, pp. 2827-2837, 1999.
- [2] H. Katayose and K. Okudaira, “iFP A Music Interface Using an Expressive Performance Template,” EC 2004, LNCS, Vol. 3166, pp.529-540 Springer (2004)
- [3] 山本和樹, 武田晴登, 片寄晴弘, 長田典子, “モーションキャプチャを用いたピアノ演奏動作の CG 表現と演奏との同期処理,” 第 69 回情報処理学会全国大会, 2007.