

モーションキャプチャシステムを用いた複雑な人物動作の表現

Motion Capturing of Complicated Human Performance

仲野 陽介
Yousuke NAKANO

杉崎 英嗣
Eiji SUGISAKI

四倉 達夫
Tatsuo YOTSUKURA

森島 繁生
Shigeo MORISHIMA

成蹊大学工学部電気電子工学科
Faculty of Engineering, SEIKEI Univ.

1. はじめに

現在、コンピュータグラフィックスによる人物の画像合成は様々な分野で行われており、その中の一つに無形文化財の記録・保存・伝承を目的としたデジタルアーカイビングの分野があげられる。本研究では古典バレエのデジタルアーカイビングを目標としており、近年多くの研究者達がこの分野で様々なツールやシステムを構築している[1]。アーカイビングにとって、それによる伝承、またそこからの発展を考えた場合に必要となることは、動作を正確に記録・保存し、その動作をCGによって必要な時にリアルな映像として再現できることである。

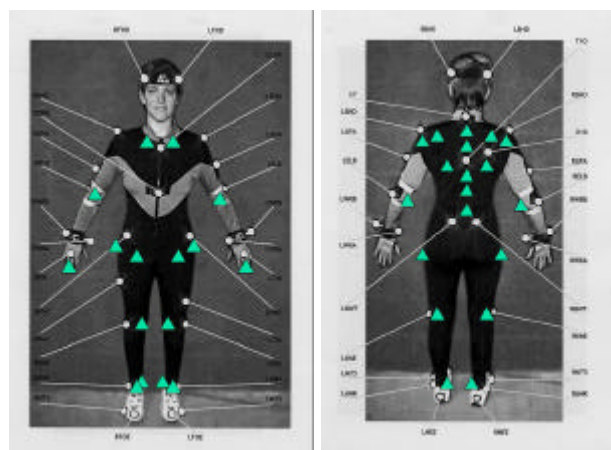
しかし、実際に人物動作を表現するために用いられているモーションキャプチャシステム[2]では、本来複雑な構造である人間の関節を簡易なモデルで表現しており、このままでは複雑な動作を表現できない可能性がある。これは、モーションキャプチャデータを取得する際に用いるマーカの配置に依存するものである。つまり、マーカの個数・配置によって構築されるスケルトンモデルは異なり、またそれによって表現することが可能な動作も異なってくると考えられる。そこで、本稿では人間の階層的な関節構造を表現するために、新たな関節構造モデル、またそれを構築するための新たなマーカ配置を提案し、Vicon社のSuperAndreセットのマーカ配置との比較を行う。このスケルトンモデルを用いて複雑な人物動作を表現し、将来的に古典バレエのデジタルアーカイブを目的とする。

2. モーションキャプチャデータの取得

2-1. マーカ配置

本研究では、東京工科大学モーションキャプチャスタジオにて、Vicon社の光学式モーションキャプチャシステム：Vicon8を用いて撮影を行った。バレエのモーションは、特徴的な動作を考慮に入れたアンシェヌマン(一連の流れを持った動き)を9種類キャプチャした。また、キャプチャするにあたりアクタに14.5mmマーカを配置し、その際2種類のマーカ配置で撮影を行った。

一つは、Vicon社の推奨する30個のマーカを用いたSuperAndreと呼ばれるマーカセット(図1: 印)であり、このセットを適用することにより、Vicon BodyBuilder[3](マーカの3次元座標データから、スケルトンモデルデータ、モーションデータに変換するソフトウェア)を使用することができる。このソフトウェアを用いることにより、撮



:SuperAndreセット

:付加した箇所

図1.マーカ配置図

影した動作をCGでアニメーションさせることが容易になるが、そのマーカ配置から僅かでもずれていると、スケルトンモデルデータ、モーションデータの精度は格段に落ちる。つまり、マーカ配置による汎用性がない。また、多関節で形成されている人間の骨格を、少数のジョイントで表現しているため、研究の目的である複雑な動作を表現するという面では不十分であると考えられる。

そこで、この問題を解決するために考案したのが72個のマーカを用いたマーカ配置である。このマーカ配置では、SuperAndreセットに付加する形で各関節の近傍に対しマーカを重点的に配置しているのが特徴である(図1: 印)。このことにより、スケルトンモデルを構築する際、解剖学的な数値を考慮することなく単純な計算で関節の中心を定義することができる。膝の関節を例に取ってみると、本研究では膝の両脇に配置してあるマーカの中点を取り、その点と膝の正面にあるマーカとの中点を更に取りることにより膝の関節中心を定義している。またマーカを多く配置することによりスケルトンモデルのジョイントをより多く定義することができ、またそれらの各ジョイントの姿勢を表すローカルな座標系も定義することが可能となる。

結果として得られたスケルトンモデルを用いることにより、人間の複雑な身体動作をより忠実に再現できると考えられる。また、SuperAndreセットに付加する形でマーカを配置しているため、Vicon BodyBuilderによって形成されるスケルトンモデルデータとモーションデータを再現する

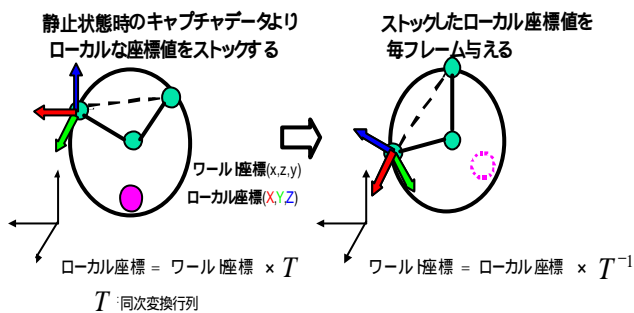


図2. マーカ復元のイメージ

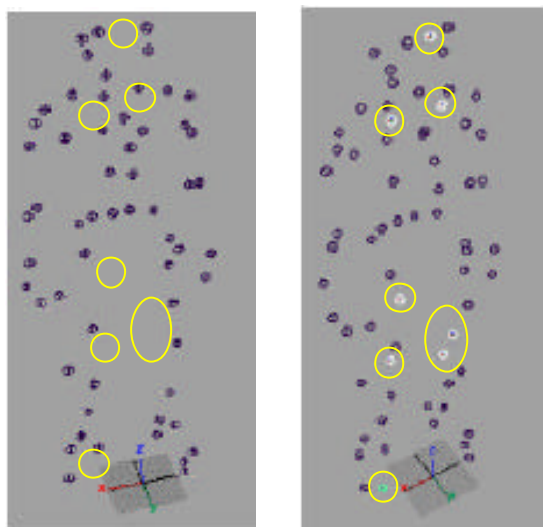


図3. マーカの復元

ことが可能となり、本研究で形成するアニメーションと比較することにより、新マーカ配置の有用性を示すことができると考えられる。また、付加することによるもう一つのメリットとしては、両方のマーカセットによるキャプチャデータを一度の撮影のみで得ることができるため、マーカ付け替えなどによって複数回撮影を行え、アクターに踊りの再現性を要求せずすむ。

2-2. マーカデータの復元

モーションキャプチャシステムの問題の一つとして、マーカが動作中に取れたり、またキャプチャ用のカメラの死角に入ることにより、マーカの3次元座標データを正確に取得できない場合がある。本研究で用いるスケルトンモデルは、マーカの3次元座標データに大きく依存しており、消失しているマーカデータによってはスケルトンモデルの構築やその運動の表現ができなくなる恐れがある。そこで、解決策として dummy marker を設ける手法を取っている。これにはまず、静止状態でキャプチャしたマーカデータを用いる。消失しているマーカデータの近傍にあり、かつ相互間の関係を持つようなマーカを3つ任意に選択し、ローカル座標系を構築する。同次変換行列を用いて、消失しているマーカの座標を、構築したローカル座標系の座標値とし

てストックし、逆同次変換を用いてそのパラメータを動作時のキャプチャデータに毎フレーム与えフレーム間を補間することにより、消失しているマーカデータの復元を行った。マーカ復元のイメージ図を図2に示す。

ただし、この手法は消失しているマーカデータの近傍に3つマーカがない場合は適用することができない。なぜなら、ローカル座標系を構築するには最低3つのマーカが必要になるからである。よって、消失している部位によっては、復元したデータは不完全なものになる場合があり、完全に復元をすることはできない。しかしながら、新たに提案している本稿のマーカ配置はマーカ数が多いため、復元するために必要なこのローカル座標系を構築しやすいという利点もある。図3に復元図を示す。

3. スケルトンモデルの構築

前節でも記述した通り、本研究のスケルトンモデルは新たに考案したマーカデータから単純な計算で定義したジョイントから構成されている。これは、実際の関節中心とは厳密に異なるものであるが、本研究では人体構造における特徴的な動作、つまりは人間の複雑な身体動作を表現することに重点をおいているので、医療の分野などで要求される解剖学的見地は無視している。図4には、SuperAdreセットによって得られるスケルトンモデルと、新マーカセットによって構築されたスケルトンモデルの比較を示す。

3-1. セグメントの細分化

スケルトンモデルを構築する際、本来多数の関節から構成されている背骨を何個のセグメントに分けて表すかは、人間の胴体部における柔軟な動作を表現する上で大変重要になってくる。そこで、本稿で提案するスケルトンモデルのために、我々は背骨にマーカを重点的に配置し、背骨のセグメントを細分割することにより上半身の柔軟性を表現する。尚分割した背骨の個々のセグメントは、セグメント毎に動作させられるように区切られている。

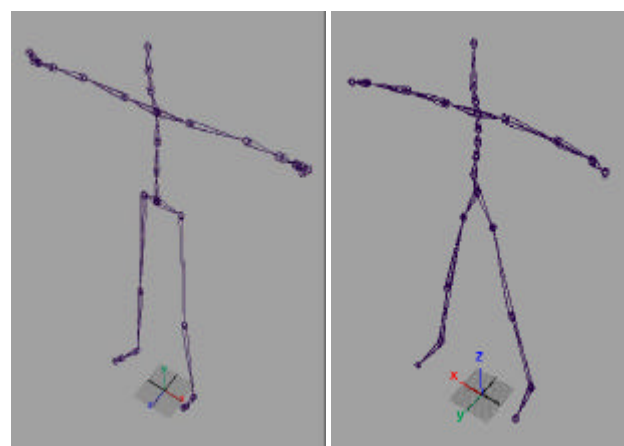


図4. スケルトンモデル

3-2. 下肢部

また、人間の股関節のような球状関節について考慮する必要があった。本研究の最終目標は古典バレエのデジタルアーカイビングであるが、古典バレエの動作には特徴的な動作が多く、特に股関節を含めた脚部の動作は、従来の手法で構築されたスケルトンモデルでは表現しづらいと考えられる。なぜなら、古典バレエの動作の一つに、直立状態から脚を180度上に持ち上げると言う動作があり、ここでは僅かではあるが股関節を通常的位置からずらすことでこの動作を成り立たせている。しかし、従来のスケルトンモデルでは、股関節の位置を経験的な値で定義し、骨盤のルートとペアレント化を図っているため、ジョイント間のセグメントの距離が一定となり、この動作を表現できない可能性があると考えられる。本来人間の股関節は、体重を支える荷重関節であり、関節包は強靱な靭帯により補強されている(図5)。これにより、股関節が不適切な稼動をしないようになっている。つまり、股関節は動作の際これら人間の内部構造からの力が常に加わっており、前述したような股関節のずれる動作の際にも、股関節を通常的位置に戻すような斥力が加わっている。しかし、本稿のデータとして取得してあるものはマーカの3次元座標データのみであり、このような人間の内部構造を表すための実測データはない。そこで本稿では、本来筋肉の伸縮・膨張、また靭帯によって変動する股関節の変位を、Inverse Kinematics: 逆運動学[4](以下IK)の理論を適用しマーカの3次元座標によって動作するスケルトンモデルの脚部の動きと、骨盤の変位相互に依存するよう制御し、股関節周辺の内部構造から受ける力を表現する。

4. 人物アニメーションの生成

構築したスケルトンモデルを用いて、人物の動作をアニメーションで表現する。本稿のスケルトンモデルの動作は、背骨・頸椎部、手先・足先にForward Kinematics: 順運動学(以下FK)、脚部・腕部にIKを適用し、各部位の制御を行っている。FKの計算に必要なオイラー角の算出は、隣接するフレームのローカル座標系の変位を回転行列Rで表し、そこから計算で求めている(式4-1)。下式で回転行列Rの中身は、XYZ軸回転を任意の順序に掛け合わせた結果とする。本稿では回転順序をXYZとし、回転の方向は左手座標系で座標軸の正の側から見て時計回りを正回転としている。

$$R = \begin{pmatrix} xx & xy & xz \\ yx & yy & yz \\ zx & zy & zz \end{pmatrix} \quad (R: \text{回転行列})$$

$$Z_{angle} = \arctan(xy / xx)$$

$$Y_{angle} = -\arcsin(xz)$$

$$X_{angle} = \arcsin(yz / \cos(Y_{angle}))$$

$$(\because \text{if}(zz < 0) \ X_{angle} = 180 - X_{angle})$$

(4-1)

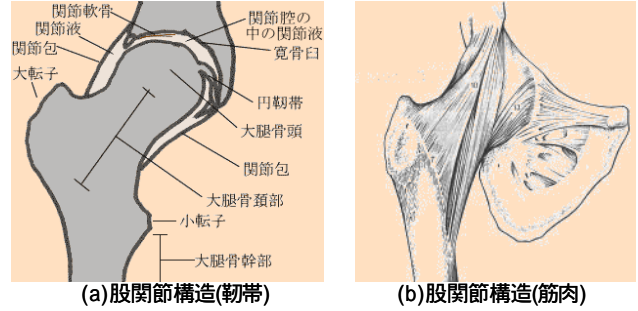


図5 股関節構造

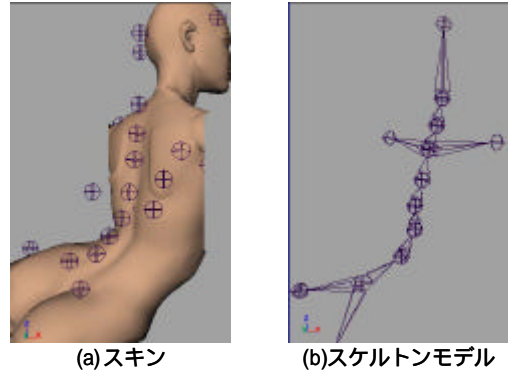


図6 背骨の動作確認

4-1. セグメントの個別動作

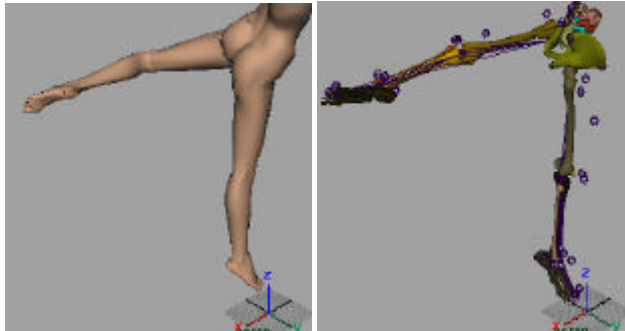
3章でも説明した通り、本稿の提案するスケルトンモデルの背骨は細かく分割され、またそれらの各セグメントは区切られているために個々に独立した動きを取ることが可能である。個々のセグメントの動作制御はFKで行っており、オイラー角の計算は各部位の周辺のマーカを用いて計算されている。スケルトンモデルの背骨の動作と、それにスキンをバインドさせたものを図6に示す。背骨を細かく分割して定義したことにより、背中中の動きが柔軟になったことが見てとれる。

4-2. 脚部の動作による股関節制御

本来股関節は、関節包、じん帯、筋肉で覆われており、人間が無理な体勢をとった際にも、股関節が脱臼しないように支えられている。しかし、本稿の人物モデルにアニメーションは、キャプチャされたマーカの3次元座標データのみであり、この力を他の手法で表現する必要がある。そこで本稿のスケルトンモデルの下肢部は、まず骨盤部と脚部を独立に考えている。

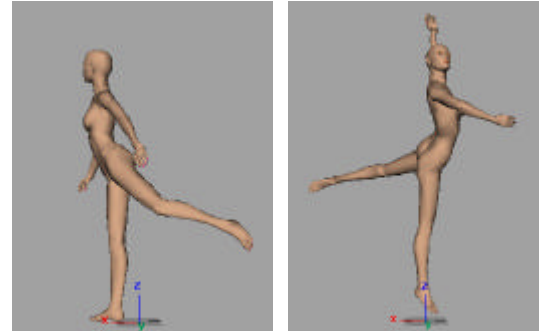
まず骨盤部の姿勢は、骨盤の中心に定義したルートの変位によって制御される。股関節の関節包の位置は、このルートの位置に依存するものなので、予め骨盤のルートとの相対距離を求め、このルートの変位によって関節包の位置を時系列毎に特定する。

次に脚部の動作としては、本来筋肉の伸縮・膨張によって動作する脚部の動作を、動作の基準が足先にあると仮定し、ルートを足首に取ることにより表現する。つまり、本来はエンドエフェクタとして足先を定義するが、本稿では



(a) スキン (b) 骨格モデル

図7. 下半身動作確認



(a) 480f frame (b) 530f frame

図8. 再現アニメーション

足首を脚部の動作の基準、股関節をエンドエフェクタとしてIKを適用することにより、股関節の動作を脚部の動作と、骨盤の姿勢によって表現する。IKでは、エンドエフェクタを指定することにより、エンドエフェクタはルートとの中間層の姿勢を決定しながら、指定した位置に向かって移動する。この理論を利用し、足首の関節中心を足首のマーカによって決定し、エンドエフェクタである股関節の位置を、骨盤の姿勢によって変位する関節包の位置に指定する。脚部の骨の長さは不変なものなので、もし関節がずれるような動作が起きた場合、エンドエフェクタである股関節は関節包の位置には到達せず少しずれた位置に算出されることになる。つまり、常にエンドエフェクタの位置を関節包の位置に指定することにより、股関節が脚部の動作によって本来の位置に戻ろうとする力を表現できると考えられる。

以上により、脚部の動作を表現するとともに股関節の位置を決定する。図7にスケルトンモデルの下半身にスキンをバインドさせたものと、人間の実際の骨格をモデル化したものによって生成したアニメーションの一部を示す。図より、本稿の手法によって足の動作を表現できたと考えられる。骨格をモデル化したアニメーションを見ると、骨盤と股関節の位置が大きくずれる箇所はなく、骨盤と脚部(股関節)の相対位置関係も維持しているといえる。

5. おわりに

本稿では、階層的な関節構造を表現したスケルトンモデル、またそれによる人間の複雑な身体動作を再現する手法を提案した。これにより、モーションキャプチャデータのみから人物の動作をより正確に再現することが可能となった。図8に生成したアニメーションのサンプルフレームを示す。部位の境界上におけるスキンのずれは、本稿ではスケルトンモデルの動作を表現することに重点をおき、まだ境界上の補間について考慮していないためである。

本稿の手法により、簡易に人物の複雑な動作を表現することが可能となった。しかし、前述した通り人間の身体は骨のみではなく、骨をその周りの靭帯、筋肉、皮膚などの内部構造から構成されており、人間の動作はこれらの内部構造すべてによって引き起こされる。よって、これら内部

構造の仕組みを理解し、モーションキャプチャデータに付加させることができたのであれば、より複雑な動作を表現することが可能になると考えられる。また、今回のスキンはアクタをもとに構築されたものではないので、実際の動作からは多少異なっていると考えられる。よって、アクタの体系にあった皮膚のモデリングも今後検討を行う必要がある。そして最後に、データの解析が間に合わなかったため、今回SuperAndreセットとの比較を行うことができなかったが、解析が終了しだい比較・検討を行いたいと考えている。

謝辞

最後に本研究を行うにあたり、撮影の場を提供して頂きました東京工科大学片柳研究室の金子満教授、クリエイティブ・ラボの三上浩司氏、またモーションキャプチャシステムによる撮影に協力して頂きました植木隆文氏をはじめスタッフのみなさまに厚く御礼を申し上げます。そして、数々のご助言、援助をして頂きました譲原晶子教授、榎沢順助教授、岩澤昭一郎氏に謝意を表します。また、長時間の撮影にアクタとしてご協力頂いたダンサーのみなさまに感謝いたします。

参考文献

- [1] 湯川崇, 海賀孝明, 長瀬一男, 玉本英夫: 「舞踊符による身体動作記述システム」、情報処理学会論文誌、Vol. 41, No. 10, pp. 2873-2880, 2000. 10
- [2] 佐藤大, 杉崎英嗣, 佐野和成, 森島繁生, 「人物モデルの構築と歩行動作のルール化によるアニメーション生成」, 電子情報通信学会総合大会2002, pp170
- [3] "Kinematic Modelling of the Human Foot with Vicon BodyBuilder" J. Simon, W. Accles, D. Metaxiotis, A. Pappas, A. Siebel L. Doderlein, Gaitlab, Department of the Orthopaedic Surgery, University of Heidelberg
- [4] 滝沢龍一: 「マニピュレータの逆運動学に関する計算例」, 長野県情報処理試験場研究報告, No. 15, 1999