

平成22年5月17日現在

研究種目：若手研究B  
研究期間：2008～2009  
課題番号：20700158  
研究課題名（和文）  
遮蔽や人体形状変化に頑健な非装着型モーションキャプチャ  
研究課題名（英文）  
Markerless Motion Capture System for Deformable and Articulated Objects  
研究代表者  
中澤 篤志（NAKAZAWA ATSUSHI）  
大阪大学・サイバーメディアセンター・講師  
研究者番号：20362593

## 研究成果の概要（和文）：

マーカや装置の装着が不要なビジョンベースの人体姿勢推定を開発した。複数視点の人物動画像からボリュームデータとスケルトン形状を得る。スケルトンの各曲線と体の部位の対応付けを、あらかじめ用意したスケルトンとのグラフマッチングで実現し、人体部位同士の接合等によるトポロジ変化判定に対応した。本手法の利点は、関節パラメータの初期値や時系列での誤差の伝播がない。8台のカメラを用いた動作実験によって、様々な姿勢において部位の判定が行えることが確認できた。

## 研究成果の概要（英文）：

We propose a novel example based marker free motion capture method. First, volume data of actor's body and its skeleton are obtained from multiple camera views at each frame through visual hull based method and thinning process. Then, examining the structure of the skeleton, we can acquire an attributed graph. By using a two-step graph matching algorithm with many example topological graphs, correspondences between body parts and skeleton parts are obtained. Finally, we estimate the position of the joints examining the curvature of the skeleton. The experiment result shows the validity our approach.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：コンピュータビジョン、ロボティクス

科研費の分科・細目：1006 情報学（知覚情報処理・知能ロボティクス）

キーワード：モーションキャプチャ、マーカーレス、姿勢推定、ボリュームデータ

## 1. 研究開始当初の背景

人体の姿勢・動作を計測するモーションキャプチャ手法は、コンピュータグラフィックスやVR、リハビリ医療、ロボティクス、デジタルアーカイブ等の幅広い分野において利用されている。しかし従来の手法では計測対象の人物に光学マーカや磁気センサなどを装着する必要があった。そこで近年カメラ映像を用いた、マーカやデバイスの装着が不要なモーションキャプチャ手法がコンピュータビジョンの分野において研究されている。多くの研究では関節構造をもった人体モデルを導入し、カメラ映像中の特徴とのフィッティングによる人体モデルのトラッキングを行うというアプローチを用いている。人体の各部位を表すモデルとしては円柱や楕円体などの3Dプリミティブが用いられており、カメラ映像中の特徴としてはシルエット、オプティカルフロー、輪郭線などが用いられる。関節パラメータの推定は撮影された映像とこれらのモデルから特徴量を抽出し、それらの誤差の最小化問題として定式化されている。Miki<sup>1</sup>らはこのフレームワークに円柱、球、楕円体から構成される人体モデルと、複数のカメラ映像から得られた3次元形状（ボリュームデータ）を取り入れた。関節の初期パラメータは四肢の伸ばされた状態から推定され、トラッキングは拡張カルマンフィルタによって行われる。一方Caillette<sup>2</sup>らは色付きのBlob群からなる人体モデルと、Voxel Coloringによって得られる色付きのボリュームデータを使用した。Blob群とボリュームデータのマッチングはEMアルゴリズムによって行われる。Aguiar<sup>3</sup>らはさらに一般的な手法として、人体関節構造の知識を用いない手法を提案した。この手法では多数の楕円体がボリュームデータにフィッティングされ、時系列間での楕円体のマッチングを行うことで関節構造の推定が行われる。Kehl<sup>4</sup>らの手法は人体モデルとして関節に連動して変形するメッシュモデルを用い、ボリュームデータの表面とStochastic Meta Descent Optimizationによってフィッティングされる。

以上のような3D関節モデルとのフィッティングを行うトップダウンのアプローチの問題点としては、関節パラメータの収束計算のための計算コストが高いことや、初期フレームでは適切な初期値を与えるために手動の調整を行う必要があること、途中のフレームで起こるエラーからの自動復帰が難しいといった問題があった。

## 2. 研究の目的

我々の提案する手法はボリュームデータから姿勢を直接解析して求めるボトムアップのアプローチを用いる。スケルトンの抽出には齋藤らの3次元細線化処理を用い、その時系列での曲率を解析することで関節位置を推定する。また、スケルトンに対応する体の部位を明らかにするために2段階のグラフマッチングによる事例ベースの判定法を用いる。本手法には従来手法と比較して以下のような長所がある。

1. ボトムアップなアプローチを用いて各フレームにおけるスケルトンから姿勢を推定することで、関節パラメータの初期化やトラッキングの失敗時の復帰に関する問題を回避できる。
2. 部位の判別には事例ベースの方法を用いてヒューリスティックなルールを排除したため、拡張が容易である。ノイズの含まれるデータや複数の人間、他の関節構造を持つデータに関しても本手法を適用することができる。

一方、人体の左右の対象性が原因で本提案手法では腕や足の左右の判別がつかないという問題がある。これについては映像からの顔検出を用いるか、本手法で得られた姿勢に対して各関節の可動域を考慮して判別する処理を後処理として加えることで解決できると考えている。

## 3. 研究の方法

本手法はボリュームデータの取得、3次元細線化、モデルグラフデータベースを用いた部位の判定、曲率からの関節位置の推定から構成される（図1）。まず、対象人物の時系列のボリュームデータが8台のカメラからの映像をもとに復元される。次に、ボリュームデータの中心を通る軸（スケルトン）が3次元細線化処理によって抽出される。さらにスケルトンと各部位の対応関係を得るために、スケルトンのトポロジを表現する属性付きグラフが生成され、あらかじめ用意されたスケルトンのサンプルから生成されたモデルグラフのデータベースとの2段階のマッチングが行われる。最後に時系列におけるスケルトンの各部位の曲率を元に関節位置が推定される。

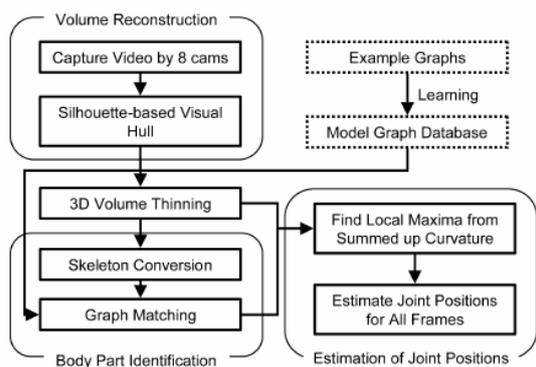


図1 本手法の流れ

#### 4. 研究成果

本提案手法を用いて実験を行い、部位判定と関節位置の推定について本手法の有用性を確認した。実験環境として、中央を周囲の天井から見下ろす形に配置された8台のカメラが撮影するブルーバックのスタジオを用いた。カメラはすべてキャリブレーション済みで、同期信号によって約33fpsで解像度XGAの映像がそれぞれに接続されたコンピュータに送られる。なお、撮影以降の処理はすべて一台のPCを用いてオフラインで行い、ボリュームデータは一辺2cmの立方体として復元した。

実験結果より、提案手法は人体形状のトポロジが変化するような姿勢に対しても正しく部位の判定が行えることがわかった。曲率の積算から得られる関節の位置についてもおおむね安定した結果が得られている。部位の判定については、肘が胴体に接触しているかどうかの区別における誤りがいくつか見られた。これは上腕の一部だけが胴体と接触しているような中間的な状態が存在することによって考えられる。クラス分けに関して、より段階的な分類を用いることを検討している。

関節位置の推定結果に関しては、体に装着したマーカと比較しておよそ40mm~140mmの距離に収まっている。本手法で推定される関節は体の部位の中心軸上に存在すると仮定しているためマーカの位置とは本来一致せず、100mm前後の誤差があることを考慮すると、比較的安定した関節位置推定が行えていると言える。より厳密な評価を行うことが今後の課題である。

処理時間に関しては、全ての処理を行うのに1フレームあたり平均6.4sを要した。そのうちの90% (5.8s)はボリュームデータの生成にかかる時間であり、これに関しては他の高速な手法が提案されている。また、細線化処理に関してもより高速な手法を検討中である。

我々のグラフベースのアプローチは人体構造に関する知識をほとんど必要とせず汎用的で、簡単に拡張できる。対応するサンプルグラフを用意し学習させることで、本来人体には存在しないヒゲを認識し除去することができた。これと同様にして人物が棒などのオブジェクトを把持している場合や、複数の人物が接触しているシーン、および人間とは異なる関節構造を持った動物なども扱うことができると考えられる。

本稿では、ボリュームデータを用いたマーカの不要な人体姿勢推定手法を提案した。ボリュームデータをボトムアップに解析するため、姿勢に関する初期パラメータが不要であり、以前のフレームの推定結果を用いずに推定を行うため誤差が時系列で伝播しないといった特徴がある。

我々は姿勢によってトポロジの変化する人体スケルトンと人体部位の対応付け問題を、グラフマッチングによるトポロジの分類と決定木を用いた認識手法を用いて解決した。また、実験より時系列でのスケルトンの曲率の解析によって関節構造位置の推定が行われ、正しく関節位置が推定されることが示された。

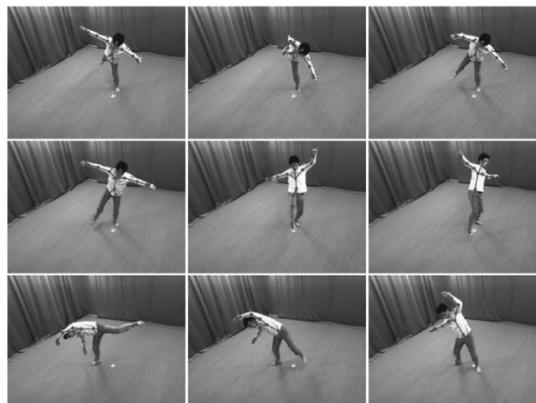


図2 本手法による姿勢推定結果

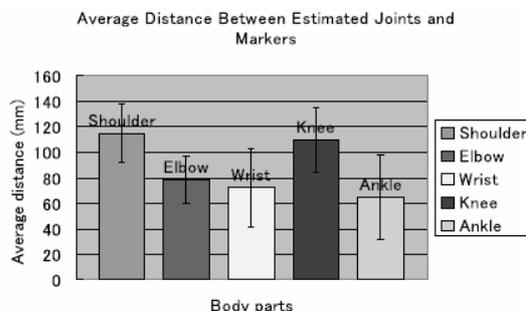


図3 体の各部位における姿勢推定精度

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕 (計 2 件)

1. 服部 雄一、中澤 篤志、竹村 治雄, "複数シーンの連結によるインタラクティブ 3 次元ビデオ", 電子情報通信学会論文誌、査読有、D Vol.J91-D No.12 pp.2800-2808, 2008.
2. 田中 秀典、中澤 篤志、竹村 治雄,"ボリュームデータの細線化とグラフマッチングを用いた事例ベース人体姿勢推定", 電子情報通信学会論文誌、査読有、Vol.J91-D2 No.6, pp.1580-1591, 2008.

### 〔学会発表〕 (計 7 件)

1. Hidenori Tanaka, Atsushi Nakazawa and Haruo Takemura: "Human Pose Estimation from Volume Data and Topological Graph Database," Asian Conf. on Computer Vision (ACCV), LNCS 4843, pp.618-627, Tokyo, Nov.11. 2007.
2. 服部 雄一、中澤 篤志、竹村 治雄: "視体積交差法復元形状への標準人体モデル当てはめによる高精度化", 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU) 講演論文集、広島、pp. 702-707、Jul. 30.2007.
3. 平 亮介、中澤 篤志、竹村 治雄: "Boosting を用いたボリュームデータからの人体姿勢推定", 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU) 講演論文集、IS-4-06、広島、Jul.30. 2007.
4. 田中 秀典、中澤 篤志、竹村 治雄: "ボリュームデータの細線化とグラフマッチングを用いた事例ベース人体姿勢推定", 画像電子学会第 229 回研究会 講演予稿、06-04-10、大阪、Nov.9. 2006.
5. 服部 雄一、中澤 篤志、竹村 治雄: "視体積交差法復元形状への標準人体モデル当てはめによる高精度化", 画像電子学会第 229 回研究会 講演予稿、06-04-12、大阪、Nov.9. 2006.
6. 田中 秀典、中澤 篤志、町田 貴史、竹村 治雄: "ボリュームデータの細線化とグラフマッチングを用いた事例ベース人体姿勢推定", 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU) 講演論文集、pp. 70-77、仙台、Jul.19. 2006.
7. 服部 雄一、中澤 篤志、町田 貴史、竹村 治雄: "3 次元Huモーメント不変量を用いた時系列ボリュームデータの圧縮", 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU) 講演論文集、pp. 873-878、仙台、Jul. 19. 2006.

### 〔図書〕 (計 3 件)

1. 中澤 篤志、服部 雄一、日本工業出版、"3 次元ビデオの連結によるインタラクティブ 3 次元VRシステム", 画像ラボ、pp.12-17、2009 年 9 月.
2. 中澤 篤志、映像情報メディア学会、"モーションキャプチャ", 映像情報メディア学会学会誌 Vol.63, No.9、pp.1224-1228、2009 年 9 月
3. 松原 仁 (編集)、松野 文俊 (編集)、稲見 昌彦 (編集)、野田 五十樹 (編集)、大須賀 公一 (編集)、(分担執筆者 中澤 篤志)、ナノオプトニクスエナジー、ロボット情報学ハンドブック「人物の姿勢推定」(エヌ・ティー・エヌ)、不明、2010 年 3 月

### 〔産業財産権〕

#### ○出願状況 (計 1 件)

名称: 人体姿勢復元装置、方法およびプログラム

発明者: 中澤 篤志、田中 秀典、  
竹村 治雄

権利者: 大阪大学

種類: 特許

番号: 特願 2006-060783

出願年月日: 2006 年 11 月

国内外の別: 国内

#### ○取得状況 (計 0 件)

### 〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ime.cmc.osaka-u.ac.jp/~nakazawa/wiki/index.php?KAKEN2008>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中澤 篤志 (NAKAZAWA ATSUSHI)

大阪大学・サイバーメディアセンター・  
講師

研究者番号: 20362593

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし