

詳細な人体モデルのための表現豊かなモーションキャプチャシステム

Expressive Motion Capture System for Detailed Human Model

○ 鈴木 一郎 (東大) 栗原 一貴 (東大) 正 中村 仁彦 (東大, CREST)

Ichiro SUZUKI

Kazutaka KURIHARA

Yoshihiko NAKAMURA

University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033 Japan

Abstract— This paper presents a motion reconstruction method for general-purpose motion capture, which can change kinematics model of subject and arrangement of measuring points(markers) attached on a subject freely according to the measurement purpose. In motion capture, the kinematic model and the arrangement of markers decide the limit of expression of captured motion, in view of the degree of freedom and the amount of information. This system has the advantageous point of not receiving restrictions about it.

Key Words: Motion Capture, Detailed Human Model, Labeling, Motion Estimation, Inverse Kinematics.

1 はじめに

モーションキャプチャ技術の応用は、スポーツ工学やバイオメカニクスにおける運動解析、ヒューノイド操縦やCGアニメーションにおける動作入力、ロボットによる人間の行動観察など多岐に渡る [1][2]。各用途において高品質の計測データが求められるが、これらは計測機器の精度・データ処理の計算精度のみならず、用いる被験者の運動学モデル・計測点の数/個所によって決まり、特に後者は自由度や情報量といった観点から計測によって取得可能な運動の表現の限界を示している。ここで、多岐に渡る用途について十分な被験者の運動学モデル、十分な計測点の数/個所を一般的に議論することは難しく、むしろ計測目的に応じてユーザが運動学モデルやマーカ配置を自由に変更し最適化可能な機能が求められる。

本研究ではその様に柔軟で適応範囲の広い表現豊かなモーションキャプチャシステムを構築する。被験者の動きに対する拘束性の低さから反射型マーカによるパッシブ光学式を採用するが、現行の技術では、被験者の運動学モデルとマーカ配置は限定され、それぞれ自由に変更することが難しい。また、CGコンテンツにおけるリアリティの追求や医療やスポーツ工学における運動解析を目的として、人間の骨格モデルに基づく運動学モデルの詳細化の需要が存在するが、そのような大自由度系においても有効なキャプチャシステムを目指す。

以上を踏まえ、本研究では具体的に以下の技術課題に取り組む。

1. マーカの配置を限定しない汎用的な運動再構成法
2. 運動学モデルを限定しない汎用的な運動再構成法
3. 運動学モデルの自由度やマーカ数が増えても計算コストが発散しない効率的なアルゴリズム

ここでいう運動再構成法とは、計測マーカ情報から被験者の姿勢情報を導く計算過程のことを示す。

2 ハードウェア構成

LED 照明付きの高解像度カメラ 10 台及び PC クラスタからなるモーションキャプチャスタジオを設計/構築した。10 台のカメラは約 100 万画素のグレースケールで、外部トリガーによって 30[fps] で映像同期をとっている。PC クラスタはカメラ画像処理マシン 10 台とマーカ 3 次元位

日本機械学会 [No.03-4] ロボティクス・メカトロニクス講演会 '03 講演論文集

置計算用マシン 1 台からなり、MPI(Message Processing Interface) を用いた並列計算により、マーカ 3 次元位置情報の取得までを実時間で行う。誤差はマーカ 3 次元位置について $\sim 6[mm]$ 程度で、およそ縦横 3[m] 高さ 2[m] の計測範囲を有する。マーカ位置情報は次章で述べる運動再構成法によって被験者の姿勢 (剛体リンク系の関節値) に変換される。また直径 9mm のマーカにマジックテープ式の台座を細工しており、計測目的に応じて被験者に取り付けるマーカの配置を変更することが容易になっている。

3 運動の再構成アルゴリズム

3.1 運動再構成処理の流れ

運動の再構成の基本的な処理の流れを Fig.1 に示す。

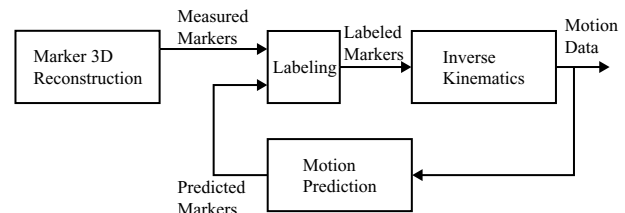


Fig.1: Data Flow of Motion Reconstruction

1. マーカ 3 次元位置再構成

複数のカメラで撮影した画像を用いてマーカの 3 次元位置を計算する。

2. 運動予測

次フレームにおける被験者の姿勢を予測し、被験者に取り付けたマーカの位置を予測する。

3. ラベリング

計測されたマーカ群に対して、被験者に取り付けたマーカとの対応付けをする。

4. 関節角計算

ラベル付けされたマーカの分布を基に、被験者の姿勢を推定する。

各処理についての方法論を順次論ずる。

3.2 マーカ 3 次元位置再構成

カメラ画像中で検出されたマーカの中心とカメラ焦点とを結ぶ直線 (マーカ推定直線) を空間中に引く。それぞれのカメラに写る全てのマーカに対してマーカ推定直線を引き、マーカ推定直線が多く交わる点にマーカを置き、これ

2003.5.23 ~ 25 函館市

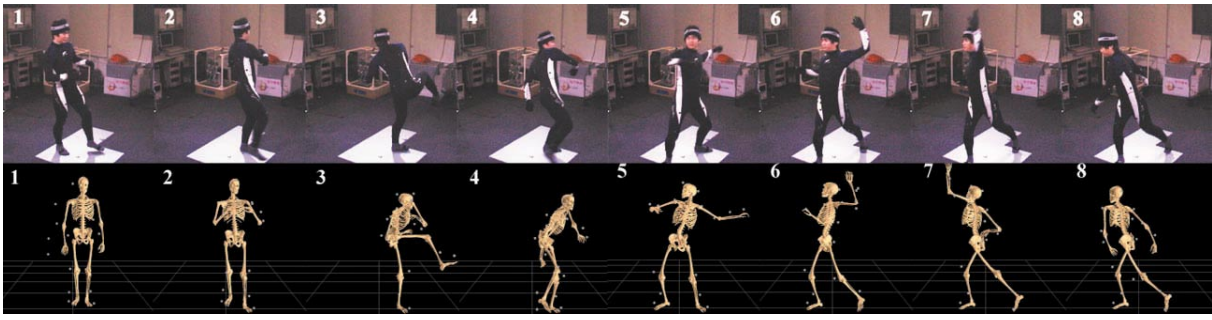


Fig.2: A Reconstructed Motion of 115DOF Model from 20 Captured Markers

を計測値とする．直線交差判定の計算回数はマーカ数×カメラ数を N とすると ${}_NC_2$ のオーダーで増加する．1 回の計算コストが比較的大きい直線同士の交差判定を極力避けるために，2 直線が交わった場合にそこに仮想的なマーカを置き，その仮想マーカと直線群との間の距離計算による事前判定を行うことで，交差判定の回数を減らし計算時間の発散を回避した．

3.3 運動予測

過去 F フレームの N 自由度を有する被験者の姿勢を， N 次元の一般化関節空間の点列としてプロットし，それらを点列を経由点とする K 次のパラメトリック曲線で運動を近似し，その曲線の延長線上として次フレームの被験者の姿勢を予測する．Fig.3 の様に，予測された姿勢において被験者に取付けたマーカの位置を計算する．

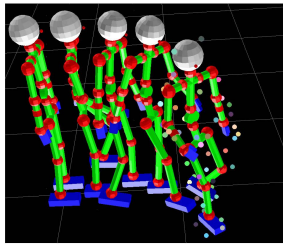


Fig.3: Motion Estimation and Prediction

3.4 ラベリング

一般的にラベリングは最適割当問題であり M 個のマーカがある場合 ${}_MP_M$ のラベリングパターンが考えられる．しかし前節の運動予測によって，マーカ識別がローカルな探索で可能となる．つまり $m \ll M$ なる小さな探索問題 ${}_mP_m$ が N/m 個ある状況に，問題を分割できる．予測したマーカ位置と対応づけられた計測マーカ位置との距離の誤差 2 乗和を評価関数として，近隣のマーカ間のラベルの交換によって高速に最適解を求めるラベリング方法を提案した．現在は初期フレームラベリングの問題があるため，被験者は所定の既知姿勢から運動を開始するものとした．

3.5 関節角計算

関節角計算は，計測されたマーカ群の軌跡を拘束条件として，それを満たすようなモデルの姿勢を逆運動学解法により求める．逆運動学解法には山根らによって開発された UT-Poser[3] の計算アルゴリズムを採用した．

3.6 アルゴリズム統合

Fig.1 はアルゴリズム統合の基本的な構成である．実際には，運動予測をパラメータを変えて複数パターン試行し，それぞれについてのラベリング結果を比較し，評価値の最も良いものを動的に選択する多重運動予測を導入した．試行において変更するパラメータは近似曲線の次数，運動推定に使用する過去の履歴フレームの数などである．

4 実験

複数のマーカ配置 (20 マーカと 40 マーカ) における計測データについて，運動学モデルを簡単なモデルから詳細なモデル (20DOF, 34DOF, 41DOF, 115DOF) まで変えて，運動再構成法の検証を行った．Fig.2 に得られた運動データの例を示す．少数 20 マーカにおける実験結果には足リンクが 180 度裏返るなどの乱れが見られたが，マーカ数の増加 (40 マーカ) および運動学モデルの詳細化によって，より質の高い運動データが得られることを確認した．

5 結論

本研究による成果は以下のとおりである．

- 運動学モデルとマーカ取付け数・位置が互いを限定することのない汎用的なモーションキャプチャシステムを構築した．
- 簡単な人体モデルあるいは詳細な人体モデルを使用し，構築したシステムによる実際の計測によって，本システムの有効性を示した．

なお本研究は科学技術振興事業団 戦略的基礎研究推進事業 (CREST) 「自律的行動単位の力学的結合による脳型情報処理機械の開発」(代表：中村仁彦) の支援を受けた．

参考文献

- [1] 戸川 達男, “運動計測技術の展望,” 計測と制御, Vol.36, No.9, pp.605-608, 1997.
- [2] 江原 義弘, “リハビリテーションにおけるモーションキャプチャ技術の応用,” システム/制御/情報, Vol.46, No.8, pp.476-483, 2002.
- [3] Katsu YAMANE and Yoshihiko NAKAMURA “Synergetic CG Choreography through Constraining and Deconstraining at Will”, Proc. of ICRA02, Vol.1, pp.855-862, 2002.
- [4] Vladimir M. Zatsiorsky(鳥居俊 監訳), “身体動作の運動学”, NAP Limited, ISBN4-931411-12-6, 1999.