

ビヘイビアキャプチャシステムにおける リアルタイムモーションキャプチャ

東京大学 ○岡本 庄司 山根 克 中村 仁彦

Real-Time Motion Capture System for Behavior Capture

○Shoji Okamoto, Katsu Yamane and Yoshihiko Nakamura: Univ. of Tokyo

ABSTRACT: In this paper, we propose our real-time optical motion capture system developed as a part of the behavior capture system. Position of markers are detected by 6 high speed(262fps) cameras controlled by 7 computers which communicate by message-passing interface(MPI). The system would be used as an input device for controlling figures in both virtual and real world.

Key Words: MMotion Capture, Human Figure, CG, Humanoid, High-Speed Camera

1. はじめに

モーションキャプチャ・システムには、光学式・磁気式・機械式などがありスポーツ医学や人間工学、CGキャラクターの動作入力などの分野で利用されている [1].

これらのモーションキャプチャ・システムは高精度化、高機能化、簡便化、干渉の低減、リアルタイム化の5つの方向で技術開発が進められており [2, 3], 「人間の動作」の計測技術として完成に近付いているが、今後は高精度な計測が可能な光学式が主流になると思われる。光学式システムは人間に取り付けたマーカを複数台のカメラで計測し、ソフトウェア的に、3次元再構成するものである。

本研究では、人間の行動 (behavior) を計測するビヘイビア・キャプチャシステムにおいて人間の全身運動をインタフェース装置として計測することを目的としたリアルタイム性を持った光学式のモーションキャプチャシステムを開発する。

2. インタフェースとしてのモーションキャプチャ

CG上のキャラクター、ヒューマノイドなど人間に近い形をしたヒューマンフィギュアをコントロールするのに最良のインタフェースは、人間の全身の動きによるインタラクティブなコントロールである。多自由度を有するヒューマンフィギュアをジョイスティックやキーボードで操作するためには、複雑な入力が必要とするか、あるいはいくつかの自由度を連結することにより、入力自由度を間引くなどの工夫が必要になる。

人間の全身によって操作すれば、ヒューマンフィギュアと同等な自由度を持つ入力装置を用いることになり、操作者の思い通りに簡単に操作することができる。つまり、ヒューマンフィギュアの運動軌道生成やコントロールでの目標軌道としての役割にモーションキャプチャをインタフェースとして利用することができる。

本キャプチャシステムの特長として次の点が挙げられる。

1. 光学式であるため、身体を拘束しない。
2. オープンアーキテクチャであるため、常に最先端のカメラを使用できる。
3. ヒューマノイドの制御に必要な高周波数帯のデータが計測可能。
4. MPIで構築されているため、ロボットの動力学、制御系への統合が容易に可能。

3. システムの構成

システムの構成図をFig.1に示す。反射特性の優れた特殊なマーカを取り付け (Fig.2), そのマーカの動きを6台のカメラで検出する。カメラからの画像はマーカの特徴よりコントラストが高いため、二値画像処理の手法が利用でき、それぞれ6台の計算機でマーカを検出する。検出されたマーカ位置はネットワークを通してサーバとなる計算機に送られ、サーバ計算機において3次元位置に再構成される。計算機間の通信、同期にはクラスター型並列分散処理プロトコルのMPI(Message-Passing Interface)を用いるため、計算が並列化され、高速処理が実現される。カメラには、262fpsでの撮影が可能な高速カメラCA-D528w(DALSA社製)(Fig.2)を6台用い、スタジオ内の天井周囲に取り付けた。

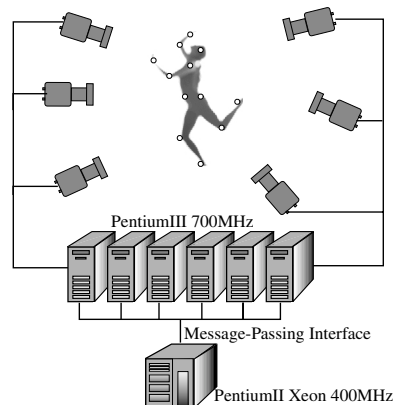


Fig. 1: Motion Capture System



Fig. 2: Camera CA-D6 528w and Man with Markers

4. カメラパラメータの同定

カメラで得られた情報をマーカの三次元情報に変換する作業で、同定する必要があるパラメータは、カメラ光学系の歪みと、カメラの焦点距離、位置、姿勢である。

カメラ-光学系の歪みについては、画像の中心から半径方向の歪みのみが存在すると仮定し、格子状の点のゆ

がみ具合を最小二乗法による2次曲線近似によって補正した。最小二乗法により求めた変換式は式(1)のようになった。

$$\mathbf{x}' = (0.39 \times 10^{-7} \mathbf{x}^2 - 0.0181 \times 10^{-5} \|\mathbf{x}\|) \mathbf{x} + \mathbf{x} \quad (1)$$

ただし、 $\mathbf{x}$ は歪み補正前、 $\mathbf{x}'$ は歪み補正後の画面上の座標値である。補正前後の格子の変化をFig. 3に示す。

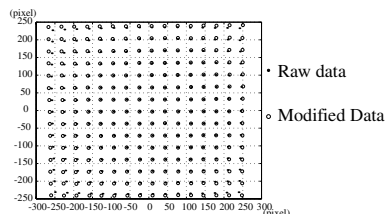


Fig. 3: Modification of Distortion

カメラの焦点距離、位置、姿勢については、 i 番目のカメラの画像上の点 $\mathbf{x}'$ と空間座標で見た3次元位置 $\mathbf{X}$ の間には(式.2)の関係がある[4]。

$$w_i \begin{pmatrix} \mathbf{x}' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} fk & 0 & 0 \\ 0 & fk & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} (\mathbf{R}_i | \mathbf{t}_i) \begin{pmatrix} \mathbf{X} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

ただし、 f は焦点距離、 k は1画素の実質的な縦横の大きさの逆数、 $\mathbf{R}_i$ はカメラ座標から見た空間座標の姿勢、 $\mathbf{t}_i$ はカメラ座標から見た空間座標の位置、 w_i は0でない定数である。測定エリアに固定した3点のマーカを用いた静的な同定と、マーカを取り付けた棒を視野空間内において振る様子を計測し、3次元再構成とパラメータ同定を同時に行う動的な同定を併用し、最急勾配法を用いることで上記のパラメータを同定した。

5. マーカ位置の計測

5.1 マーカの3次元位置の計算

一台のカメラで計測されたマーカは空間座標においては、カメラ位置からの一本の直線として現れる。そのため、マーカ位置の空間座標での3次元位置を計算する作業とは、それぞれのカメラから伸びた複数の直線の交点を検出することである。ただし、直線はカメラに写ったマーカの数だけ存在するため、カメラからの直線が交わったからといってそこにマーカがあるとは限らない。そこで、直線が3本以上交わった点にはマーカが存在すると仮定して3次元位置を求めた。

5.2 マーカのラベリング

3次元位置が計測されたマーカは体のどの部分に取り付けられたものであるか、識別しなければならない。そこで、両手を広げて直立した状態から測定を始めることにし、その姿勢の際のマーカ位置から体のどの部分に取り付けられたマーカか推定した。また、マーカがカメラから一時的に隠れたとしても計測が続けられるよう、計算機側はマーカの画面のどの位置に写っているかという推定情報を持っているため、3台のカメラに写っている限り、すべてのカメラ画面上での2次元位置を保持できる。

たとえすべてのカメラから隠れてしまったとしても、マーカ同士の幾何学的拘束や、直前までの速度を利用することで計算機側はマーカの3次元位置を推測、保持することができ、さらにカメラの画面上での2次元位置も推測できるが、これは今後の課題である。

5.3 関節角度への変換

最後に、マーカの3次元位置をヒューマンフィギュアの関節角度に変換する。リアルタイムで関節角度を出力できるよう、関節角度への変換の際の手間を考慮したマーカ配置にした(Fig.4)。また、ヒューマンフィギュアのリンク構造を15リンク、34自由度に限定することにより、繰り返し計算を必要としない方法で関節角に変換できる。実際には、腰に取り付けたマーカからフィギュアの腰のリンクの位置、姿勢を決め、四肢に向かって順次関節角度を決めていく方法である。

5.4 計測結果

全身に27個のマーカを取り付けた人間の動きを撮影することにより、運動を計測した。そのデータを用いてヒューマンフィギュアへ動作入力する一例として、15リンク、34自由度を持つCGキャラクターを操作した。その様子を(Fig.4)に示す。

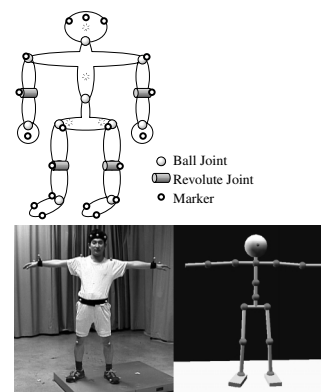


Fig. 4: Measurement and Human Figure

6. 結論

本研究の結論は以下の通りである。

1. 人間の運動をリアルタイム計測するモーションキャプチャシステムを製作した。
2. モーションキャプチャシステムを用いて、CG上のヒューマンフィギュアをコントロールした。
3. ヒューマンフィギュアのインタラクティブインタフェースとして、リアルタイム化された光学式モーションキャプチャシステムが有効であることを示した。

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の「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] ミニ特集 人間の運動計測とその応用. 計測と制御, 36(9), September 1997.
- [2] Michael J. Potel. The mystery of motion capture. IEEE Computer Graphics and Applications, 18(5), 1998.
- [3] 日経 Computer Graphics, 3, 1999.
- [4] 出口光一郎. 画像の生成過程を記述する. 情報処理, 37(6), June 1996.