

モーションキャプチャーシステム

岡本浩幸† 鈴木尊人†
黒毛利学† 市原秀貢†

†(株) 応用計測研究所

モーションキャプチャーシステムは、映画、ゲームおよびバーチャルシステムを製作するためになくてはならないツールとなっている。また、舞台の上でのCGキャラクターとの共演やロボットの操作系のようにリアルタイムシステムとして使用されることもある。ただし、人間の動作をキャプチャーした場合でも多くの計測点が必要となり得られた計測データの処理時間も長時間となることが多かった。現在、得られた計測データは、3Dアプリケーションなどの動画システムに送るのが主な目的となっており、使い捨ての感もあるが、データベースシステムとの結合によりより有効に計測データを活用する必要もある。ここでは、モーションキャプチャーシステムの各方式と我々が取り組んでいるリアルタイム計測技術を用いたシステムの紹介を行う。

The motion capture system

HIROYUKI OKAMOTO,† TAKAHITO SUZUKI,† MANABU KUROMORI†
and HIDETSUGU ICHIHARA †

†OKK-INC.

This paper presents the motion capture system. In recent years, the motion capture systems are used to produce the game(s), movie(s) and virtual studio(s). The system of motion capture is mostly optical system and magnetic system and mechanical system. We developed real-time motion capture system with real-time image processing equipment and applications. The real-time image processing equipment can be used for analyzing the motions of man, machines and robots. Obtained data is send to a host computer real-time over network interface. We show that the motion capture system with database is effective the preserve of motion-data.

1. はじめに

近年、モーションキャプチャーシステムは、映画、ゲーム、およびバーチャルシステム等でもおもに人間の動きをキャプチャーしてCGキャラクターを動かす目的で用いられることが多い。人間工学の分野でも作業空間での操作性や居住性などのシミュレーションに用いられている。また、データを取得する対象は、人間の動きだけでなく、ロボットなど動く物全てが計測対象となるシステムである。

現在のシステムは、動きを計測する方式としてCCDカメラ等を使用した光学式、磁気センサーを使用した磁気式、および、計測対象に直接センサーを取り付ける機械式などがあり、このほかにも超音波式などがある。これらの方式は、データ収録場所、計測対象、お

よび計測する動作などにより決定される。どの方式にも利点、欠点があるが、計測精度、計測速度、および動作の制約等から光学式が多く使われている。ただし、光学式のシステムは、他の方式に比べて高価なシステムが多い。そのため研究機関などでは人間などの縮小モデルの関節にセンサーを内蔵して直接手で動作させることにより比較的簡単にリアルタイムに人間の動きをコンピュータに取り込むシステムを構成している。

モーションキャプチャーシステムにより計測されたデータ(計測データ)は、CGキャラクター生成のように3Dアプリケーションへの動作データ供給として使われることが多い。我々は、計測データをデータベースシステムに登録して各種アプリケーションでの使用およびデータの再利用の検討も行っている。

ここでは、モーションキャプチャーシステムの現状を紹介し、我々が取り組んでいるリアルタイム計測技術を用いたシステムの紹介を行う。

†(株) 応用計測研究所
OKK INC

2. 現状の方式

現在のモーションキャプチャーシステムは、一般的にマーカーをビデオカメラ等で撮影して計測する光学式、磁気センサーにより計測を行う磁気式、および計測部にポテンシオメータなどを直接取り付ける機械式が使用されている。表 1 に各計測方式の概要を示す。

2.1 光学式

光学式モーションキャプチャーシステムは、複数のビデオカメラ等により計測対象を撮影して、各計測部分に取り付けられたマーカーを検出して 3 次元位置データを計測する。

マーカーの検出は、反射率の高いマーカーに光をあててその反射光だけをとらえて輝度情報による検出と、カラーマーカーまたは、高輝度 LED により構成されるカラーマーカーの色を検出する方式が多く用いられている。

光学式は、1 つのマーカーを最低 2 台のカメラで撮影することにより三角測量の方式から 3 次元位置データが計測可能となる。そのため、1 台のカメラ映像だけでは、マーカーの 3 次元位置データが計測できないので、マーカーの取り付け位置やマーカーが隠れてしまうような姿勢がとれない。しかし、最近は、マーカーが隠れてもアプリケーションが取得した計測データから隠れている間の位置データを補間する機能などが徐々に整備されてきている。

光学式で計測されるデータは、各測定部分の 3 次元位置データが計測され回転データは含まない。通常、人間の動作を取得する場合は、手首などの回転データも含めて計測するので計測部分に取り付けるマーカー数を増やして計測する必要がある。つまり、計測を点としてではなく面として計測できるようにマーカーの取り付けを行う必要がある。

光学式は、マーカーを付けた計測対象が動作する最大範囲内で撮影可能となるようにカメラの画角(ズー

ム) および取り付け位置を十分検討して設置する。それは、計測対象が、動作中に撮影範囲外に移動した場合は、マーカーの検出ができないので 3 次元位置データの計測ができないためである。また、光学式では、複数カメラからの情報を用いて 3 次元位置データの生成を行うため計測前に検出したマーカー位置から 3 次元位置データへの変換係数を求めるためのキャリブレーション(校正)を行う必要がある。計測データの精度は、キャリブレーションの精度に依存するため、キャリブレーション方式も DLT 法などを用いて高精度にかつ時間をかけて行われている。キャリブレーションを行った後に、カメラの画角(ズーム)、取り付け位置の変更を行った場合は、再度キャリブレーションをやり直す必要があるためきちんと撮影範囲を設定し、カメラへの接触等ないようにする。

光学式のメリットは、被写体の移動範囲が他の方式にくらべて広範囲にとれるのと被写体の速い動作にも対応できる。そのためスポーツや格闘系ゲーム、人間の歩行解析などで広く使われている。また、デメリットとしては、マーカーのロストなどによる計測データの連続性が保証されない。また、自然光などの周辺環境に計測精度が影響されるため専用の計測ルームが必要となることが多く、屋外の計測は、困難な場合が多い、しかし、マーカーの色検出による計測装置のなかには色温度を補償することにより計測を行えるものもある。これは、例えば、サッカーなどの屋外競技屋間にしか色の登録ができず、計測(試合)がナイターの場合などの場合に有効である。また、他の方式と比べてシステムが高価な場合が多い。

光学式モーションキャプチャーシステムは、モーションアナリシス(モーションアナリシス)、VICON(ナック)および QuivkMag(応用計測研究所)などがある。

一般的な、光学式モーションキャプチャーシステムの構成を図 1 に示す。

2.2 磁気式

磁気式モーションキャプチャーシステムは、人間など計測対象へ磁気センサーを取りつけて各部分の位置を計測情報する。1 つの磁気センサーで 3 次元位置データと姿勢角度を取得することが可能である。

人間の動作などをリアルタイムで計測するには、通常、11 から 20 個程度のセンサーを取り付ける。磁気センサー自体は、どれも同じ仕様なので複数のセンサーを取り付ける場合に組合せ等の制限がなく、計測内容により場所を容易に設定できる。

磁気式の最大のメリットは、光学式と比べて安価にリアルタイムなシステムが構築できる。光学式は、現

表 1 各方式の比較

Table 1 The comparison of measurement system

方式	利点	欠点
光学系	高速動作も計測可能 動作の制約が少ない 計測範囲が広い 計測点数の増設が容易	データの欠落 高価 設置が面倒
磁気式	リアルタイム性 安価 動作の制約が少ない	周辺環境に精度が影響される
機械式	専用スタジオが必要ない リアルタイム性 データ処理時間が短い	動作の制約が多い 計測点が限定される

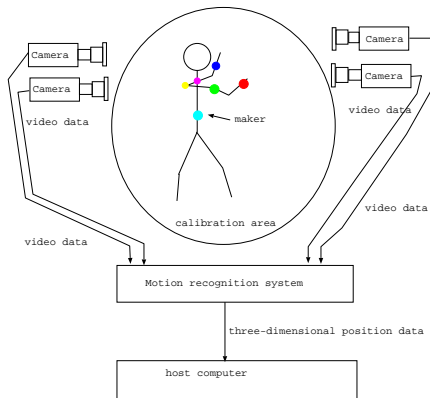


図 1 光学式モーション
キャプチャーシステムの構成

Fig.1 Configuration of
the optical motion capture system

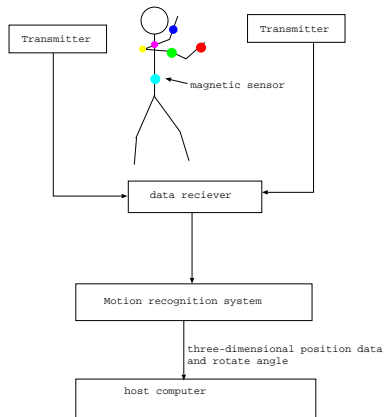


図 2 磁気式モーション
キャプチャーシステムの構成

Fig.2 Configuration of
the magnetic motion capture system

状で最大 240Hz で計測可能となるがシステムが高価となる場合が多い。ただし、磁気式は、計測精度が金属など周囲の環境に影響を受けやすいというデメリットがある。

磁気式モーションキャプチャーシステムは、6D-MotionMonitor(ジャパンテックサービス)などがある。

一般的な、磁気式モーションキャプチャーシステムの構成を図 2 に示す。

2.3 機械式

機械式モーションキャプチャーシステムは、人間の各部分の位置を検出器(ポテンショメータなど)を実際に装着して計測を行うシステムである。

実際に装着するために周辺環境の影響を受けないメリットがあり、専用スタジオなどが必要ない。そのた

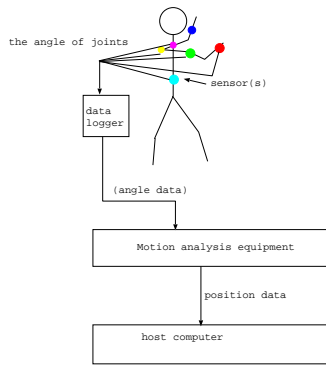


図 3 機械式モーション
キャプチャーシステムの構成

Fig.3 Configuration of
the mechanical motion capture system

め一時的なイベント会場や会社の片隅で他のシステムとの併用が可能となる。ただし、デメリットとしては、装着機器の関係で計測できる人間の各部分の位置が限定されてしまうのと、装着した装置を破壊するような動作はできないの。

機械式モーションキャプチャーシステムは、Full-Body Tracker(モーション・グラフィックス)などがある。

一般的な、機械式モーションキャプチャーシステムの構成を図 3 に示す。

2.4 その他

モーションキャプチャーシステムは、光学式、磁気式および機械式の 3 つの方式が主に使用されている。その他にも、超音波センサーなどを使用した IS-600MK2(InterSense)などがある。

モーションキャプチャーシステムは、センシング技術の向上により光学式の検出方法も背景差分、レンジファインダー等による研究が進んでいる。しかし、計測精度や計測サンプリングなどの問題から実用化されたものは少ない。

光学式は、通常マーカ単体を検出対象として検出する。しかし、例えば色抽出によりマーカ検出を行っている場合、同じ色のマーカが交差すると区別がつかずロストするなど問題があった。これに対しては、マーカのグループ化や基準マーカにより回避する手法も検討されている。

2.5 応用例

モーションキャプチャーシステムは、一般的に人間の動作計測に多く使われている。TV などでの番組出演者と CG キャラクターの合成映像、格闘系ゲームなどのキャラクターの激しい動きや映画などの特殊効果

撮影に使用されている。

日本の民族芸能の分野でも、民族芸能の記録手法として活用¹⁾されている。これは、実際に踊るときの人間の動作を計測したデータから踊り方の記録、および、創作に必要な情報を生成している。

3. リアルタイム・モーションキャプチャシステム

通常、モーションキャプチャーシステムは、ゲームなどでCGキャラクターの動きデータとして人間の動作を多点数、長時間にわたり計測するために使用されることが多く、取得したデータが膨大となり処理時間も長くなる。しかし、バーチャルスタジオでのCGキャラクターとの共演、人間の作業空間における運動解析などリアルタイムによる進行が必要な場合がある。ただし、リアルタイムによる3次元座標計測処理は、色抽出処理や重心演算処理など演算量が多いため計測点数が少ないのが欠点となっている。

3.1 構成

リアルタイムモーションキャプチャーシステムは、リアルタイム3次元座標計測装置、センサーカメラ、および変換装置から構成されている。

リアルタイム3次元座標計測装置は、複数のセンサーカメラ情報から被写体に取り付けられたカラーマーカーの色を抽出して検出を行い3次元位置データを1/60秒毎に計測、および、外部機器への出力が可能である。ここで、3次元座標計測装置が出力する計測データを使用するシステムを処理システムとし、主にCGアプリケーションやロボット制御システムなど計測データを利用するシステムである。

変換装置は、計測データを処理システムが利用できるように加工し、通信媒体の変換を行う。通信媒体の変換は、リアルタイム3次元座標計測装置が計測データをデジタル出力により行うため、処理システムが受信可能のようにシリアルやイーサネットなどに変換して出力する。

システムの構成を図4に示す。

3.2 リアルタイム3次元座標計測装置

リアルタイム3次元座標計測装置は、複数カメラにより撮影されるカラーマーカーの色を抽出してマーカーの3次元座標位置を計測する。

計測データは、3次元位置データ、ステータスおよびフィールドカウンターから構成されている。

3次元位置データは、キャリブレーションにもよるが、通常、通信負荷も考慮して1/10mm単位となる。

ステータスは、チャンネル番号や計測データの有効

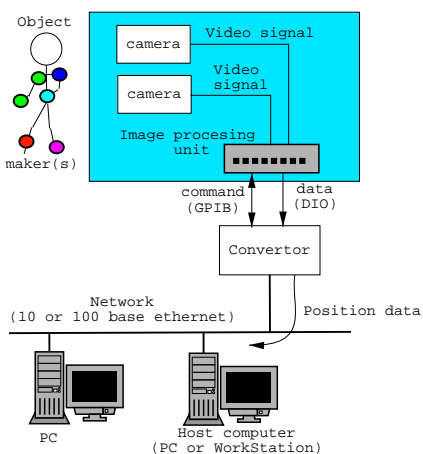


図4 リアルタイム・モーションキャプチャシステムの構成
Fig.4 Configuration of the real-time motion capture system

か無効かの情報も含まれており、マーカーのロスト等により計測データが無効になる場合も判定が可能となっている。

フィールドカウンターは、電源投入時から更新され続ける整数カウンターであり、受信した計測データの更新判定や装置の動作状態の把握に使用できる。

計測データは、1/60秒間隔での計測、出力が可能である。

3.3 ヒューマン・シミュレーションソフトウェアとの接続

リアルタイムモーションキャプチャーシステムをヒューマン・シミュレーションソフトウェアに接続した例を示す。

ヒューマン・シミュレーションソフトウェアは、"Jack"(EAI社製)を使用した。通常、Jackは、磁気式モーションキャプチャーシステムを使用して最低11点の計測ポイントが必要となる。しかし、本システムは、光学式のため磁気式と同じ計測ポイントをとるには22点以上が必要となるが、最大16点の計測までのため計測点数を省略した。

これは、磁気式センサーは、マーカー1点で3次元位置データと回転データを計測できるが光学式は、3次元位置データしか計測できないためである。しかし、磁気式の場合は、周辺環境に金属があると計測精度が影響を受けるため、仮想空間体験システムCAVE_{TM}²⁾のようなシステムには適応できない。ただし、計測点数の不足は、計測チャンネルの増設により対応可能となる。

リアルタイム・モーションキャプチャーシステムとヒューマン・シミュレーションソフトウェア(Jack)と

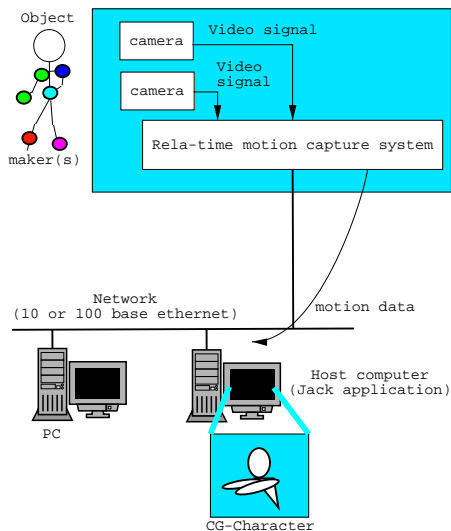


図 5 リアルタイム・モーションキャプチャシステム例
Fig. 5 Example of the real-time motion capture system

は、ネットワークにより接続されており、計測データは、ネットワーク上に出力される。また、マーカーは、暗い環境化での高輝度 LED マーカーを使用して安定した色抽出による計測が可能となっている。

システムの構成を図 5 に示す。

3.4 リアルタイムの人物動作認識実験への使用例
リアルタイム・モーションキャプチャーシステムは、*CAVE_{TM}* を用いたリアルタイム人物動作認識の研究³⁾にも使用されている。

計測対象である人間は、*CAVE_{TM}* 内 (暗所) を各計測部分に 16 個の高輝度 LED マーカーを取り付けて計測を行った。通常、計測時にマーカーのオクルージョンが発生した場合は、計測窓がマーカーを見失うことが多く計測ができなく、予測条件を用いることにより計測窓の位置を予測して計測を継続するアルゴリズムを提案して実験により検証している。また、*CAVE_{TM}* 内でのモーションキャプチャー各方式による比較検討が行われており、動作の制限が少ないなどから光学式が有効としている。ただし、光学式を用いる場合の留意点についての検討もされており、それに対する対応方法の提案もされている。

4. 大空間モーションキャプチャシステム

現在の光学式モーションキャプチャーシステムは、固定カメラにより計測対象を撮影して各部分の 3 次元位置データを計測しているが、撮影範囲にあわせて画面全体における計測対象の撮影サイズが小さくなり計測精度が悪くなる。このために計測精度を十分確保で

きるだけの大きさで計測対象を写すようにカメラの台数を増やしている。

これに対して大空間モーションキャプチャーシステムは、パン、チルト、ズームが稼働なロボットカメラをセンサーとしてカメラ台数を減らして計測精度を維持するようなシステムである。ただし、3 次元計測を行う点から同様に 2 台以上のロボットカメラが必要となる。ロボットカメラは、指定したマーカーを画角 (ズーム) を一定に保ちながら自動追尾して計測を行う。

大空間モーションキャプチャーシステムは、自動追尾機能つきロボットカメラ、ロボットカメラから映像を解析する画像解析装置、および、各装置の制御およびデータ管理を行う Host コンピュータから構成されている。

ロボットカメラは、パン、チルト、フォーカス、およびズーム軸が制御可能であり指定したカラーマーカーによる自動追尾が可能となっている。

画像処理装置は、複数のロボットカメラからの映像信号により被写体の 3 次元位置データを演算し、各ロボットカメラの制御を行う。

5. データベースシステム

モーションキャプチャーシステムは、各種センサーにより人間などの動作をデジタルデータとして計測可能なシステムである。そのため、人間の動作をコンピューター上に保存が可能な形式に変換するシステムであるともいえる。

人間に限らず動作情報は、時間軸と位置、速度などの物理量として表されるため保存するシステムも時間軸と物理量の関係が表現可能でなければならない。同時に計測データの収録日時や収録環境などの属性も登録、保存する必要がある。また、計測データは、ネットワーク上のユーザーから容易に読みだし、書き込みができなければならない。

データベースへのアクセスのセキュリティも重要な問題となる。しかし、セキュリティを厳しくしすぎると使い勝手の悪いシステムとなるため注意が必要である。

モーションキャプチャーシステムの計測データを使用してのデータベース構築は、“ムービングオブジェクトデータベース”として研究されている。これは、得られた計測データを多次元分析するムービングオブジェクトデータベース構築⁴⁾とムービングオブジェクトデータベースを使用した動作の類似検索機能⁵⁾についての研究が行われている。

システムの構成を図 6 に示す。

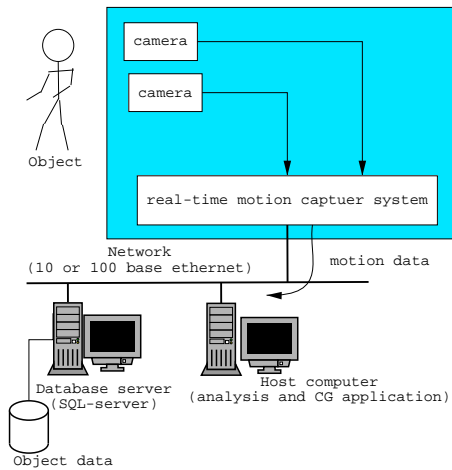


図 6 データベースを併用した
モーションキャプチャーシステムの構成

Fig. 6 Configuration of
the motion capture system with database

6. おわりに

本報告では、モーションキャプチャーシステムの紹介と我々が取り組んでいるシステムの報告を行った。

リアルタイム・モーションキャプチャーシステムでは、実際にヒューマン・シミュレーション用アプリケーションとの接続を行った。

モーションキャプチャーシステムは、人間の動作をデジタル化可能なため今後は、ゲーム、映画等に限らず、バーチャル技術を応用した各種試作システムの開発、伝統工芸の記録、およびスポーツでの分析などの広い分野での活用が考えられる。

今後は、ロボットカメラによる大空間モーションキャプチャーシステムの開発や、背景差分などによる計測技術の向上を行い、計測データの有効利用としてデータベースシステムの活用を検討する。

最後に本報告をまとめるにあたり資料提供をしていただいた (株) 応用計測研究所三宅技術主任、藤原営業部員に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) わらび座: <http://www.warabi.or.jp/>.

- 2) C.Cruz-Neira, et al., "Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE," Proc. of SIGGRAPH'93, 1993.
- 3) 井原、他: "没入型仮想空間体験システム CAVE におけるリアルタイム人物動作認識", パターン認識・メディア理解研究会, 1999
- 4) 増永、大塚、他: "OLAP技術を用いたムービングオブジェクトデータベースシステムの構築", 情報処理学会, 3-21, 2001
- 5) 増永、水崎、他: "ムービングオブジェクトデータベースシステムへの類似検索機能の導入", 情報処理学会, 3-23, 2001

岡本 浩幸

昭和 37 年生. 昭和 60 年岩手大学機械工学科卒業. 平成 8 年 (株) 応用計測研究所入社. 自動撮影システム、画像計測システムの研究開発に従事. SICE、日本ロボット学会、各会員.

鈴木 尊人

昭和 32 年生. 昭和 54 年東京工業大学制御工学科中退. 昭和 58 年 (株) 応用計測研究所入社. リアルタイム画像計測システムの研究開発に従事.

黒毛利 学

昭和 47 年生. 平成 8 年東京電機大学電気工学科卒業. 平成 11 年 (株) 応用計測研究所入社. リアルタイム画像計測システムの研究開発に従事.

市原 秀貢

昭和 46 年生. 平成 4 年東京スクールオブビジネス卒業. 平成 5 年 (株) 応用計測研究所入社. リアルタイム画像計測システムのマーケティングに従事.