

## CGアニメーションのための手の動きのモデリング

安室 喜弘\* 陳 謙\*\* 千原 國宏\*

\*奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科

\*\*和歌山大学システム工学部 デザイン工学科

〒 630-01 奈良県生駒市高山町 8916-5

奈良先端科学技術大学院大学 像情報処理学講座

Tel: 0743-72-5272 E-mail: yosihi-y@is.aist-nara.ac.jp

我々は、これまでヒトの手の形状と運動を自然に再現できる手の3次元モデルを試みてきた。このモデルは指などの関節の角度の設定によって手の基本的な姿勢を作り、手の骨格の形状と関節間の角度の情報を用いて皮膚表面の形状を決定するものである。しかしながら、手の姿勢を記述するための骨格モデル自由度に関しては、経験的なデザインに頼る部分が多い。解剖学的見地からも十分連続的な運動学的データを用いた解析例はない。そこで、実際の手の指の3次元運動軌跡を得るために光学的なモーションキャプチャ技術を採用する。接触型デバイスとは異なり、手の動きに対して運動学的な仮定をおくことなく、骨格モデルの自由度や運動をデザインするための手の運動データの獲得を試みた。

キーワード コンピュータグラフィクス, 手, CGモデル, モーションキャプチャ

## Motion Modeling of the Hand for CG Animations

Yoshihiro Yasumuro\* Qian Chen\*\* Kunihiro Chihara\*

\* Graduated School of Information Science,  
Nara Institute of Science and Technology

\*\* Department of Design and Information Sciences  
Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

Graduated School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology,

Takayama 8916-5 Ikoma Nara 630-0101, Japan

Tel: 0743-72-5274 E-mail: yosihi-y@is.aist-nara.ac.jp

Many articulated skeletal models for the hand have been proposed to create CG images. We also modeled a system that can generate natural hand postures automatically. But such skeletal models are described by a very simple way using just connections of rigid sticks and rotation joints. We introduce an optical motion capture technique to obtain motions of a real hand to model the basic skeletal model. We can design the degrees of freedom of the articulated structure of the hand and analyze the lifelike hand motion if we can obtain free motions of the hand without any kinematical constraints.

key words Computer Graphics, Human Hand, Optical Motion Capture, CG Model

# 1 はじめに

手は人の体の中でもっとも器用な部分であり、その形状や動作による表現が非常に豊富で複雑である。従って、人間像の合成や人の動作の認識の中で手は極めて重要な部分である。そのため、人体のCGアニメーションモデルにおいて、手や顔はその他の体の部位とは別に扱われることが多い。[1, 2, 3]

しかしながら、動作や姿勢を記述するための骨格モデルは非常に単純な機構であったり、関節の自由度や動きに必要な回転軸のデザインの際にはデザイナーによるチューニングに依る部分が多い。また、我々は人の手の各関節の動きが完全な独立ではないことに注目し、手の姿勢の人間らしさを関節角を変数とする評価関数として記述し、自然な手の動きを生成するシステムを提案した[4]。このなかで、手の姿勢の自然らしさの評価関数に含まれるパラメータを決定するためには実際の手の多様な姿勢データが必要である。しかし、計測機器のセンサ数の制約などにより、十分なデータに基づいているとはいえない。

そこで、ここでは光学式のモーションキャプチャシステムによる手の動きの計測を行い、関節の自由度のデザインはもとより、人の手に特化した動きのモデリングに利用可能なデータ取得を試みる。

## 2 手の姿勢・運動記述に関する課題

我々は既に、少ない入力パラメータを用いてリアルな動きをCGで生成する手のモデルを提案している。このシステムを構築する上での課題を次に述べる。

### 2.1 自由度の設定—手の骨格モデル

剛体スティックと回転ジョイントとの組み合わせによる手の骨格モデルは多くのモデルで採用されており[1, 2, 3]、我々も Fig.1 に示すような多くの回転自由度を有する骨格モデルを用いている。しかし、その自由度数が、どの程度実際の手の姿勢表現を網羅しているかは検証されていない。また、なるべく少ない次元のパラメータで様々な動きが実現されることが望まれる。そして、各関節における回転軸の位置、方向ともに経験的な決定

方法しかないといえる。特に親指の動きに関する運動学は複雑であり[7, 8]、剛体リンクと回転ジョイントとの組み合わせのモデルによる近似の妥当性の評価も含め、そのデザイン方法は課題である。

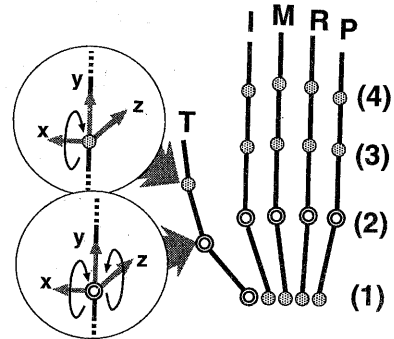


Fig.1 骨格モデル

### 2.2 人の手に特化した動き—関節の動きの相関

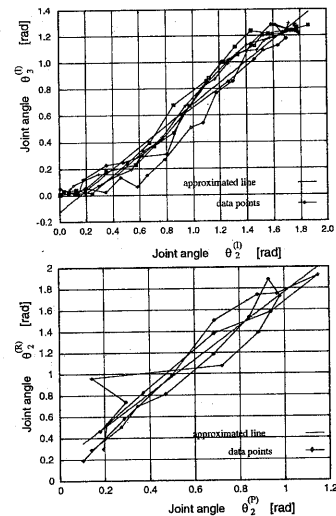


Fig.2 単一カメラによる関節角のサンプリングデータ

各軸は関節角 $\theta$ [rad]、添字は指のインデックス、関節番号を示す。(Fig.1 参照)

我々のシステムに用いている、手の姿勢の人間らしさの評価関数は以下のように表現されている。

$$J = \frac{1}{2} \Theta^T W \Theta, \quad (1)$$

ここで、 $\Theta = A\theta + b$ は状態変数である関節角 $\theta$ の線形結合によって関節角変位間の制約を表してい

る。この制約条件からの自乗誤差が姿勢の不自然さを表すものとしている。 $W$  は各制約の強さを表すパラメータを要素にもつ行列である。我々は、マーカーを付けた指の屈曲の動きを単一のビデオカメラで撮影し、Fig.2に示すような計測データを得た。このデータから直線の最小自乗近似を行うことにより、関節角の相関を表す線形結合の係数  $A$  を決定した。また最小自乗近似の際の誤差分布により、制約の強さ  $W$  の要素  $w_k$  を決定した。しかし、単眼カメラによる運動計測であるため、限られた関節の動きしか制約に取り込まれていない。関節角変位間の制約をもっと解析する上でも、3次元空間でのなるべく拘束の少ない手の運動計測が不可欠である。

### 3 手の姿勢計測

#### 3.1 モーションキャプチャによる手の姿勢計測

手の骨格系の有する自由度や関節運動の解析に関する研究は、解剖学的見地から数多く行われている [5, 6, 7, 8]。X線などを用いた計測からは骨格そのものの姿勢が推定できる。しかし、これらの計測手段からは主に静的な状況での姿勢情報が得られるのみである。手の自由を拘束すること無く、十分連続的に骨格の運動として手の姿勢を計測・解析を行った例はない。

現在、CG製作において、手の姿勢形状を計測するシステムとしては手袋型のセンサが普及し手形状の入力デバイスとして広く使われている。これは先述の解剖学的見地に基づいて自由度のデザインを行ったモデルに基づいたデバイスである。従って、計測値の精度は、モデルと手袋を装着した状態とのギャップは勿論、モデルそのもののデザインが如何に実際の手の機構を運動学的に反映しているかに依存している。モデルそのものの定量的な評価はなされていないと言える。

本研究では、最終的に手のCGアニメーションのリアリティを得ることに目的をおき、手の姿勢や運動を記述するためのモデリングを、計測ベースで行うことを試みる。我々は光学式モーションキャプチャの手法を用いて、関節部など手の表面に貼付したマーカーの3次元空間位置を計測し、マーカーの軌跡を手の動きのデータとして獲得する。計

測時に、計測対象に対して運動学的な仮定や制約をおくことなく、滑らかな時系列データとして手の運動を得ることができる。

## 4 実験

### 4.1 機材およびセッティング

計測に使用したシステムは応用計測研究所製 QuickMAG である。撮像系は、3CCD カラーカメラ (プログレッシブスキャン (VGA) 方式, 撮像素子: 1/2 インチ CCD × 3) の4台構成で、各々電動ズームレンズ (焦点距離: 7.5~105mm, ズーム比: 14倍, F値: F1.4(7.5~75mm), F1.8(105mm)) を装着している。

同時に8種類のカラーマーカーを使用することができ、60Hzの周期でサンプリングが可能である。計測中にオクルージョンが無い場合は同一色のマーカーでも、各々をトラッキングすることができる。

指の屈曲の方向を考慮し、手の甲側と掌側とをそれぞれ最低2台のカメラから観測できるようにカメラを配置した (Fig.3)。

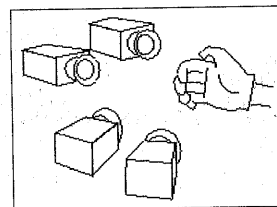


Fig.3 カメラ配置

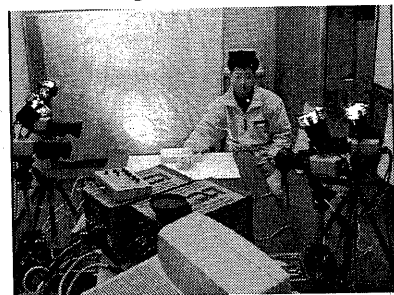


Fig.4 計測機器および計測環境

### 4.2 マーカーの配置

肌の色が幾つかのマーカーの色と色空間における距離が近い場合、薄手の白色の手袋を装着し、その上にマーカーを貼付した。用いた実験環境下におい

てシステムが識別しやすい色を、予め実験によって確認し、光沢の少ない紙に色を付けてカラーマーカを作成した。

マーカは常に、4台のカメラのうち最低2台で捕捉される必要がある。従って、掌側は指の屈曲によって表面が隠蔽されてしまうので、甲側の関節に貼付した。マーカは計測システムにおいて取得画像画中の登録色の画素群の重心によって処理される。従って、手の関節部を少しまたぐようにマーカを貼付することにより、カメラからの捕捉状況も安定し、マーカの観測面積の変化にもある程度対応できるものと考えられる。

手が、常に4台のカメラで全てのマーカが細くできる計測対象ではなく、マーカの色数も限られているため、同時に計測できるマーカ数は最大8である。従って、今回の計測では、拇指の自由度、拇指以外の隣接する指同士の動きの相関を解析するためのデータ収集を試みた。

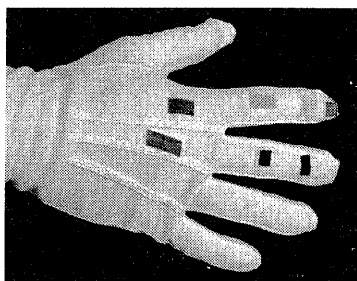


Fig.5 マーカのセッティング例  
(人指し指と中指の計測時)

## 5 計測結果

60Hzのサンプリング周期で20秒間の計測を行い、1200フレームのデータを得た。まず、拇指を可動範囲全体に渡って動かし続けた結果を Fig.6 に示す。いずれも、関節角(観測点を結ぶ線分のなす角度)を示している。

## 6 まとめと今後の展開

光学式モーションキャプチャによる手の指の関節の位置計測を行い、指の動きのデータを獲得した。4台のカメラの配置によりオクルージョンの問題も回避し、計測対象に運動学的な仮定や拘束を付加すること無く、3次元空間における点の滑らかな軌跡を得ることができた。今後はデータの

解析方法も含めて、手の動きを記述するモデリングを検討する予定である。

## 参考文献

- [1] Magnenat Thalmann N., D. Thalmann, "Human Body Deformation Using Joint-dependent Local Operations and Finite-Element Theory." in "Making Them Move(N.badler, B a Barskey, D.Zeltzer eds)", Moergan Kanfmann, San Maeto Acalifornia, a990, pp.243-262.
- [2] Mocozet L., Magnenat Thalmann N., "Multilevel Deformation Model Applied to Hand Simulation for Virtual Actors". VSMM97, Geneva, Switzerland, 1997
- [3] Mocozet L., Magnenat Thalmann N., "Dirichlet Free-Form Deformations and their Application to Hand Simulation", Proceedings ComputerAnimation 97, IEEE Computer Society, pp.93-102.
- [4] Yoshihiro Yasumuro, Qian Chen, Kunihiro Chihara, "Three-dimensional modeling of the human hand with motion constraints", Image And Vision Computing (17)2 (1999) pp. 149-156. Grasping System for Synthetic Actors", Proc. Eurographics '94, Oslo, September 1994
- [5] 柳原 泰: "ヒトの手指関節運動の基礎的研究", 日整会誌 vol.57, No.3, pp.293-308 (1983).
- [6] J. Agee, A. Hollister: "The longitudinal axis of rotation of the finger MP joint", Journal of Hand Surgery vol.11A, No.5, p.767, 1986.
- [7] J. Agee, P. Brand, D. Thompson: "The moment arms of the carpometacarpal joint of the thumb: Their laboratory determination and clinical application", Journal of Hand Surgery vol.7, No.4, pp.412-413, 1982.
- [8] W. Cooney, M. Luca, E.chao, R. Linsheid: "The kinesology of the thumb trapezio metacarpal joint", The journal of Bone and Joint Surgery, vol.63-A, pp.1371-1381, December, 1981.

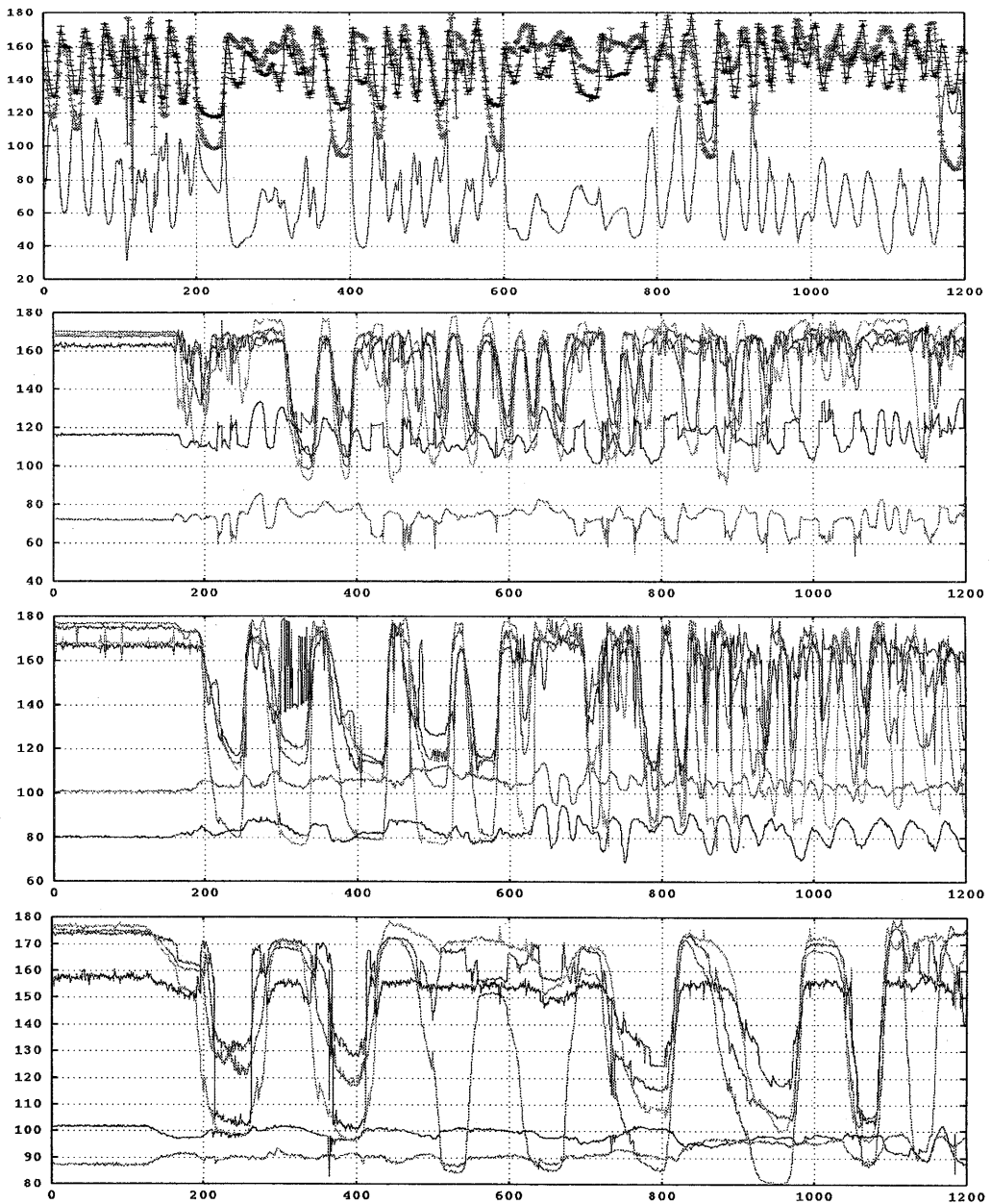


Fig.6 計測結果

最上段は親指の1~3関節の角度,  
 2段目より順にそれぞれ、人指し指と中指、  
 中指と薬指、薬指と小指の2~4関節の同時計測結果  
 いずれも縦軸は角度[deg], 横軸は計測フレーム  
 (関節番号は Fig.1 を参照)