

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700231

研究課題名(和文) 三次元形状計測による姿勢操作可能な手モデルの構築

研究課題名(英文) reconstructing articulated shape of human hand and its skeletal structure from scanning

研究代表者

船富 卓哉 (Funatomi, Takuya)

京都大学・学術情報メディアセンター・助教

研究者番号：20452310

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：手が18つの指節から構成されているとみなし、さまざまな姿勢で三次元計測を行うことによって、各指節の形状を個別に獲得する技術を開発した。また、データグローブによる姿勢操作を実現するため、グローブのセンサ値に対応する各指節の配置を収集し、これを基に手の骨格を推定する技術を開発した。これらの技術を組み合わせることで、写実性が高く、データグローブによって姿勢操作が可能な手形状モデルを構築することができた。

研究成果の概要(英文)：We proposed a method of reconstructing possible human hand model by observing 3D shape of an individual hand in various postures. We assumed that a human hand consists of 18 rigid components and tried to model the residuals as non-rigid deformation of the components. Our technology recovers the 3D shape of each component from the observations. As for pose manipulation, our technology estimates a skeleton which aligns the components according to the sensor data of a data-glove. As a result, we could reconstruct a realistic human hand model and manipulate its posture via data-glove.

研究分野：三次元形状計測

科研費の分科・細目：情報学，知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：デジタルヒューマンモデル 手 姿勢操作 形状計測 三次元モデリング コンピュータビジョン

1. 研究開始当初の背景

コンピュータグラフィックス(CG)で制作した背景と実世界の映像を合成するバーチャルスタジオシステムがさまざまな映像撮影に利用されている。背景に限らず演者が直接操作する物体もCGに置き換えることができれば、より表現力豊かな映像作成が可能となると考えられる。これに対し、仮想物体と演者のインタラクションを実現するためにデータグローブを用い、映像に映ったデータグローブを手のCGモデルに置き換えることで、データグローブのセンサ誤差に起因する手と仮想物体の位置ずれの問題を解決する試みが行われた。しかし、手のCGモデルとして楕円体を組み合わせた単純なモデルを用いたため、合成映像で見た目に違和感を生じる問題が残っていた。

データグローブによる姿勢計測を基に、データグローブに重畳する手モデルの姿勢を操作する。姿勢操作可能な手の三次元モデルはCGデザイナーによって作成されることが多いが、演者を撮影した実映像と合成する用途では極めて高い写実性が要求され、手作業での作成は困難である。写実性が高いモデルの作成には、カメラやレーザなどを用いた三次元形状計測の利用が考えられる。身体の形状を計測したモデルから姿勢操作が可能なモデルを獲得する手法が国外ではいくつか提案されている。これらは身体形状の膨大なDBを必要としているが、手の詳細な3次元形状DBは存在せず、このようなアプローチを適用することはできない。

2. 研究の目的

CGデザイナーが手の三次元モデルを構築する際、モデルの姿勢を制御する骨格となるスケルトンと、姿勢に応じて表面形状を生成するスキンの2つを構築する。三次元形状計測技術を利用すればスキンに相当する形状モデルが得られるが、スケルトンが欠落しているため、関節角度による姿勢操作ができない。CGでは各指節を点で接続する単純なスケルトンが採用されることが多いが、実際の手の骨格構造は単純ではない。骨格構造の不一致は不自然な姿勢変化の原因となるため、手作業でスケルトンを付与するのは困難である。

データグローブを装着した手と同じ姿勢・形状を再現する三次元モデルを構築するため、本研究では

(1) データグローブからの関節角度に応じて、三次元形状計測で構築した手の各指節の三次元モデル(スキン)を適切に配置するスケルトンを推定し、姿勢操作を実現する手法を開発する。

さらに写実的なモデルを構築するため、

(2) 姿勢変化による各指節の非剛体変形のモデル化にも取り組む。我々は各指節が剛体で

ある(形状が変化しない)ことを前提とした手の形状計測手法を提案したが、変形が起っていた場合、原理的には実際よりやや小さい形状が獲得され、姿勢変化の過程において形状の写実性を損なう原因ともなる。実際の手の各指節では姿勢変化に伴い微小な変形が起っており、その様子も表現可能なモデルの獲得に取り組む。

3. 研究の方法

(1) スケルトンの推定

CGでは、指節同士が関節点で接続されているモデルをスケルトンとして用いるのが一般的である。これをそのままスケルトン推定に当てはめると、形状計測によって獲得された各指節の形状モデルを接続する関節点を推定する問題となる。

隣接する2つの指節をそれぞれ親指節、子指節と呼ぶことにする。姿勢変化において、子指節は親指節を基準として関節点周りに回転運動をしているとみなすと、親指節を基準とした子指節の運動から回転中心を求めることで、関節点を推定できると考えられる。しかし手は、蝶番関節や顆状関節と呼ばれる自由度の低い関節が多く、回転中心の推定は非常に不安定となる。また、実際の関節では厳密な回転運動ではないため、その誤差が回転中心の推定に大きな影響を及ぼし、予期しない位置に関節点が現われたり、計算が不安定になったりすると予想される。

姿勢事例(手の各指節の配置と関節角度の組)の獲得

そこで本研究では、いくつかの姿勢で各指節の配置と関節角度の組を事例として取得し、関節角度によって事例を補間するアプローチをとる。事例を収集するため、いくつかの姿勢でデータグローブを装着して関節角度を計測し、同じ姿勢において各指節の配置を獲得する。

各指節の配置については、形状計測処理の過程で獲得する。しかし、データグローブを装着すると形状計測を行うことはできず、事例を収集できない。そこで本研究では基準物体を導入する。基準物体を介して同一の姿勢を再現させることで、姿勢計測と形状計測を別々に行い、事例の収集を実現する。

姿勢事例の補間に基づくスケルトン推定

各指節間の親子関係を既知とすれば、親指節を基準とした子指節の運動は、データグローブで得られる関節角度の関数として扱うことができる。このとき子指節の運動は、1点を中心とする回転として扱う必要はなく、6

自由度の剛体変換として扱うことができるため、回転中心の推定における計算不安定性から逃れることができる。多変量回帰などの手法によって、関節角度に応じた子指節の剛体変換を求めることで、CGとは異なる、新たなスケルトンを獲得する。

(2) 三次元形状計測に基づくスキンの獲得

非剛体的な変形までモデル化するためには、さまざまな姿勢で手の同じ部分を何度も計測し、それらを統合する必要がある。必要な計測データがこれまでよりも格段に増えるため、計測手法の自動化が欠かせない。そこで本研究では、ワンショットスキャン法を導入し、以前提案した指節形状獲得手法を拡張する。また、これにより得られた形状モデルを用いて、非剛体的な変形を獲得する手法を明らかにする。

ワンショットスキャン法の導入

以前は三次元形状計測として光切断法を基礎としたのに対し、本研究では近年提案されたワンショットスキャン法の導入による手法の拡張を行う。光切断法はスリットレーザを頼りに形状計測を行うため、一瞬で計測可能な範囲は物体のごく一部であった。これに対しワンショットスキャンは、投影パターンを工夫することで、一瞬で広範囲の3次元形状の計測を実現する手法である。この手法を用いれば、姿勢を変化させながらその詳細な形状を計測することが可能となる。

各指節の配置に基づく非剛体変形の獲得

以前提案した指節獲得の手法では、手の指節は剛体であるという仮定を設けていた。こうして得られた形状と、ワンショットスキャンで得られている各瞬間の形状を比較することにより、非剛体的な変形を獲得する。また、手の姿勢を表現するパラメータと非剛体的変形量の関係を分析することで、非剛体的変形のモデル化を検討する。

4. 研究成果

(1) スケルトンの推定

多数の姿勢事例の収集と分析

前項で述べたとおり、本研究では同一姿勢を再現するために基準物体を導入することとしたが、基準物体を介した事例収集では姿勢数をあまり多くできない一方、収集する姿勢が少ない場合には精度のよいスケルトン推定が困難となる可能性がある。これに対し、親指節を基準とした子指節の運動と、データグローブで得られるセンサ値の関係についてのモデルがあれば、少数の事例から精度よ

くスケルトンを推定することができると思われる。

子指節の運動とデータグローブで得られるセンサ値の関係について詳細な調査を行うため、基準物体を用いずともこの両者の組を多数獲得できるように、各指節部分にマーカを配置したデータグローブを構成し(図1)、これを多数のカメラで三次元計測しながら様々な姿勢のデータを収集した。

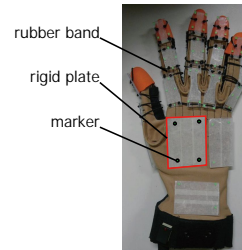


図1 指節の運動とセンサ値を同時に獲得するデータグローブ

延べ4名の被験者から多数の姿勢でデータを収集し(1800-4000フレーム/人)、センサ値と指節の運動の関係を分析した。その例として、薬指第2指節とそこに配置されているセンサ値との関係を図2左に示す。図から、両者の関係は2次曲線によって近似できることが示唆されており、実際に2次回帰を行った結果を図2右に示す。

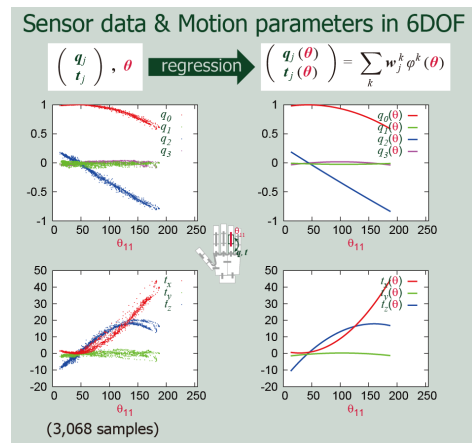


図2 センサ値と指節運動の関係

少数事例からのスケルトン推定と精度評価

上述した分析結果を基に、基準物体を用いて収集可能な程度の少数の姿勢のみを用い、スケルトンを推定した場合の精度を評価した。収集した多数の姿勢からk-meansクラスタリングによって少数を選び出し、これらを用いてスケルトンを推定した。少数の姿勢から推定されたスケルトンに基づいて、収集したセンサ値から各指節の運動を推定し、マーカ位置の観測値と推定値の誤差を用いてスケルトンの精度評価を行った。

手全体を18個の指節からなるとみなし、各

指節部分に、1 mm四方程度のマーカを4つ貼付した剛体板を取り付けた。計72点のマーカについて、スケルトンに基づいて推定された位置と、実際に観測された位置とで位置合わせを行い、平均残差を計算したものを誤差とした。すべての指節間で3DOFの点関節を仮定した場合(Ball joint)と6DOFの剛体変換を仮定した場合(Soft joint)について、2次回帰によるスケルトン推定に用いた姿勢数と誤差の関係を図3に示す。また比較として、回帰手法としてよく用いられるSupport Vector Regression(SVR)によってスケルトン推定を行った場合の結果を図4に示す。2次回帰によって推定したスケルトンでは、姿勢数の増加とともに精度が向上しているが、Soft jointの場合、15-30姿勢では平均誤差に大差がなく、4mm程度の誤差でスケルトンを推定できている。また、全姿勢を用いた場合には3mm程度の精度となっている。これに対し、SVRを用いてスケルトンを推定した場合、全姿勢を用いた場合には2.7mm程度の精度で2次回帰の場合よりも若干精度がよいものの、少数の姿勢では10mm前後の精度となっており、2次回帰に比べて精度がかなり悪い。以上のことから、センサ値と運動の関係についてのモデルを導入することにより、少数の姿勢でも高精度なスケルトンを推定できることが分かった。

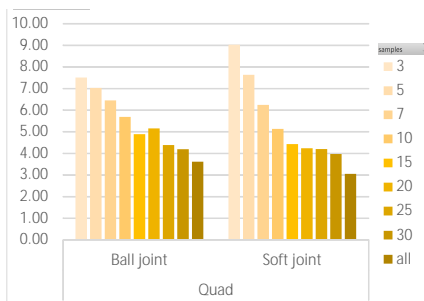


図3 2次回帰で推定したスケルトンの精度と推定に用いた姿勢数の関係

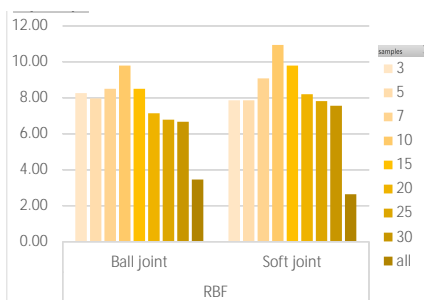


図4 RBFカーネルSVRで推定したスケルトンの精度と推定に用いた姿勢数の関係

(2) 三次元形状計測に基づくスキンの獲得

図5に示すように、ワンショットスキャン法を導入することで、手の三次元形状をより密に計測することができるようになった。

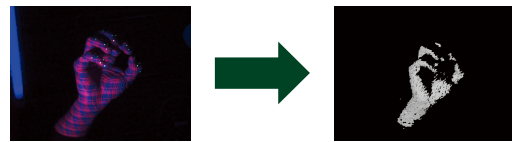


図5 ワンショットスキャン法による手の形状計測

これにより手の姿勢を変化させながらその詳細な形状を計測することが可能となり、これまで提案していた手法を拡張することで、手を構成する各指節を剛体とみなしたときの形状をより詳細に獲得することができるようになった(図6)。

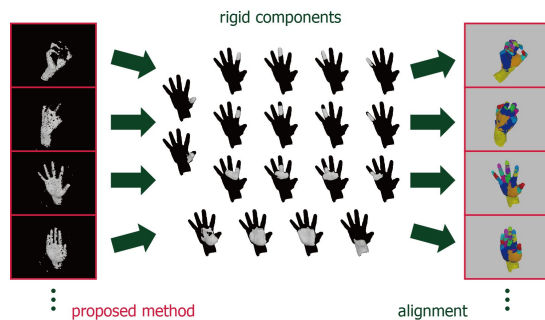


図6 手を構成する指節形状の獲得

こうして獲得した各指節形状を用い、前項で述べた手法で推定したスケルトンによって姿勢操作が可能な三次元手モデルを構築することができた。例として、データグローブで親指の根元に配置されたセンサの値を変化させた際の指節運動を反映させた手モデルの様子を図7に示す。

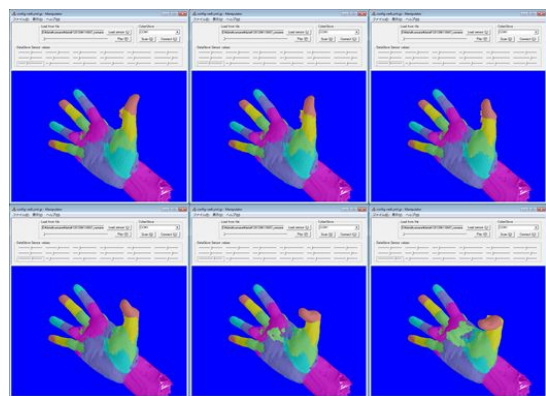


図7 スケルトンに基づいた手モデルの姿勢操作

また、この手モデルを基準として、様々な姿勢における手形状の計測結果と比較することにより、各指節で起こっている非剛体変形を解析した。図8は、いくつかの姿勢で計測された形状を基に算出した変形量を色によって示したものである。特に手のひらの部分で大きな非剛体変形が起こっており、手の姿勢に対する非剛体変形量としては、直感とも一致する結果が得られた。

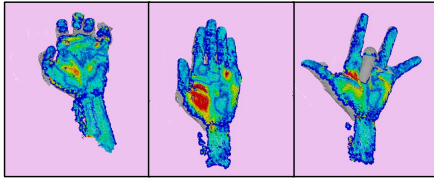


図 8 非剛体変形量の算出

今回の分析結果から、指での非剛体変形はかなり小さく、ほとんどの非剛体変形は手のひらで起こっていた。しかし、手を様々な姿勢変化させた場合、手のひらは他の指などによって容易に隠蔽される個所である。今回採用したワンショットスキャン法のようなカメラを用いた形状計測手法では、隠蔽された部分の形状獲得することは困難であり、十分に分析するだけのデータを収集することができなかった。これには他の計測原理を用いたデータ収集も考えられるが、これは今後の課題とする。

こうして得られた手モデルをデータグローブによって操作し、操作者を観察したビデオの手の部分にモデルを重畳する実験を行った。その結果例を図 9 に示す。映像に映ったデータグローブを手の CG モデルに置き換えることで、仮想物体を掴んでいる様子を違和感なく描写できていることが分かる。ここでは、データグローブで計測された手の姿勢をそのまま手モデルに反映させて重畳するのではなく、仮想物体をうまく掴むように姿勢を調整し、手と仮想物体の位置ずれを解決している。

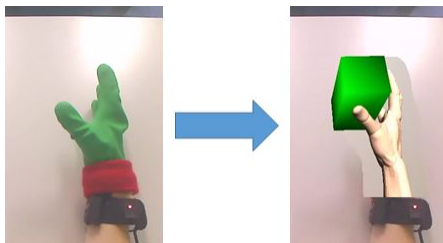


図 9 データグローブによって姿勢を操作した手モデルの重畳

本研究課題で目的としていた、実際の手からのスケルトン・スキンの獲得により、楕円体を組み合わせた単純なモデルを用いたときと違って、品質はかなり向上したと言える。一方、本研究の成果として得られた手モデルではテクスチャが取得できていないため、まだ品質改善の余地があると考えられる。これは今後の課題である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

船富卓哉, 飯山将晃, 美濃導彦, 豊浦正広, 角所考, 動物体三次元形状計測システム,

光アライアンス, 査読無, Vol. 24, No. 12, P.19-23, 2013.

[学会発表](計 8 件)

梅澤孝太郎, 船富卓哉, 飯山将晃, 美濃導彦, 距離画像から復元した様々な姿勢の手形状モデルにおける非剛体変形量の評価, 情報処理学会グラフィクスと CAD 研究会, Vol. 2014-CG-154, No. 14, 2014.2.21, (独)理化学研究所 和光本所

山本拓人, 船富卓哉, 飯山将晃, 美濃導彦, 少数の制御点により直観的操作が可能な 3 次元顔形状変化モデルの構築, 情報処理学会 グラフィクスと CAD 研究会, Vol. 2014-CG-154, No. 16, 2014.2.21, (独)理化学研究所 和光本所

Akihiro Ono, Koh Kakusho, Takuya Funatomi, Masaaki Iiyama, Replacing a Human Hand by a Virtual Hand and Adjusting its Posture to a Virtual Object for its Manipulation in an AR Environment, CyberWorlds 2013, 2013.10.21, 慶應義塾大学 日吉キャンパス

Takuya Funatomi, Takuya Yamane, Hirothane Ouchida, Masaaki Iiyama, Michihiko Minoh, Deriving Motion Constraints in Finger Joints of Individualized Hand Model for Manipulation by Data Glove, International Conference on 3D Vision (3DV2013), 2013.6.29, University of Washington, Seattle, USA

小野晃弘, 角所考, 船富卓哉, 飯山将晃, 拡張現実感における手による仮想物体操作の位置ずれ補正, 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会, Vol. 112 No. 483 PP.45-50, 2013.3.13, 沖縄産業支援センター

Takuya Funatomi, Haruna Akuzawa, Masaaki Iiyama, Michihiko Minoh, Pinhole-to-projection pyramid subtraction for reconstructing non-rigid objects from range images, 2012 Second Joint 3DIM/3DPVT Conference: 3D Imaging, Modeling, Processing, Visualization & Transmission, 2012.10.13, ETH Zurich, スイス

阿久澤陽菜, 船富卓哉, 飯山将晃, 美濃導彦, ワンショットスキャン法による獲得形状を利用した様々な姿勢を表現

可能な手形状モデルの構築，第 15 回画像の認識・理解シンポジウム，OS12-01，2012.8.8，福岡国際会議場

山根卓也，船富卓哉，飯山将晃，美濃導彦，データグローブのセンサデータに基づく各指節の位置・向き の推定手法の検討，電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会，Vol.111，No.353，PP.77-82，2011.12.16，静岡大学浜松キャンパス

6 . 研究組織

(1)研究代表者

船富 卓哉 (FUNATOMI, Takuya)
京都大学・学術情報メディアセンター・助教
研究者番号：20452310