

姿勢事例の獲得とその補完による手の計測形状の姿勢操作

大内田裕胤[†] 藪内 智浩[†] 船富 卓哉^{††} 飯山 将晃^{†††} 椋木 雅之^{††}
美濃 導彦^{††}

[†] 京都大学大学院情報学研究科 〒 606-8501 京都府京都市左京区吉田本町

^{††} 京都大学学術情報メディアセンター 〒 606-8501 京都府京都市左京区吉田本町

^{†††} 京都大学経済学研究科 〒 606-8501 京都府京都市左京区吉田本町

E-mail: †{ouchida,yabuuchi,funatomi,iiyama,mukunoki,minoh}@mm.media.kyoto-u.ac.jp

あらまし 本研究では、三次元形状計測で獲得した手の形状をデータグローブで姿勢操作する手法を提案する。計測形状には関節が存在しないため、データグローブの伸びデータに応じて各体節の位置・向きを求める方法を確立する。まず、ある姿勢における伸びデータと各体節の位置・向きとを対応付けた「姿勢事例」を複数獲得する。次に、獲得した姿勢事例をもとに任意の伸びデータに対して各体節の位置・向きを補完し、姿勢事例にない伸びデータに対する各体節の位置・向きを求める。伸びデータに対する体節位置・向きの生成値と実測値とを比較し、提案手法の有効性を確認した。

キーワード 手, 計測形状, 三次元モデル, 姿勢操作, データグローブ

1. はじめに

TV番組や教育用コンテンツなどで、CGで作成した仮想背景や仮想物体を、出演する演者を撮影した映像に重畳した合成映像作成を実現する手法が多く利用されている。演者と仮想背景・仮想物体の合成映像を作成する手法に、バーチャルスタジオ (VS: Virtual Studio) と呼ばれるシステムを用いる手法がある [1]。演者が仮想物体を操作できれば、映像の視聴者にとってより直観的な映像を提示できる。演者が自身の手を用いて仮想物体操作を行う場合、現実世界の演者の手の位置・姿勢を仮想空間に座標変換することで仮想物体との干渉判定を行うが、演者の手と仮想物体の間にはレジストレーション誤差が発生する [2]。これに起因する位置ずれが合成映像中に現れると、視聴者にとっては違和感のある映像となってしまう。

尾原らは、演者の手首から先をCGで作成した「仮想手」に置き換え、演者の手と仮想物体をずれなく繋ぐことで違和感の少ない合成映像を実現する手法を提案した [3]。この手法における仮想手は、人間の手の掌や指の体節を剛体体節と見立てた体節モデルの集合として表現され、データグローブで測定した伸びデータに合わせて姿勢操作することが可能である。さらに三次元手モデルと仮想物体の位置関係や操作時のモデルの姿勢が違和感のあるものとならないように、モデルの位置・姿勢はシステムによって仮想物体に合わせるように補正が加えられる。

しかしこの手法で用いるモデルは楕円体の体節集合であり、モデルの形状は人間の手の形状特徴を十分に反映しているとは言えない。従って、この手法では仮想物体操作における手の位置・姿勢が与える違和感は除去できるものの、モデルの形状そのものが違和感のあるものになってしまうという問題があった (図 1.1)。演者が装着したデータグローブに重畳する三次元手



図 1.1 楕円体集合の三次元手モデル

モデルは、演者の個人特徴を反映した、写実性の高いモデルであることが求められる。

手をカメラで三次元計測することで、個人特徴を反映した計測形状を獲得する手法が提案されている [4]。この計測形状は様々な姿勢における形状を表現できるよう、18の体節から構成されるが、関節は存在しない。データグローブで計測した手の姿勢に合うような形状の変形を実現するため、本研究ではデータグローブにより得られる伸びデータに応じて体節位置・向きを適切に設定する手法を提案する。

まずデータグローブで得られる伸びデータと、同一姿勢における三次元計測で得られる体節の位置・向きとを対応付けた「姿勢事例」を複数獲得する。本研究では、「基準物体」を導入することで、それぞれの計測で手の姿勢を再現し、伸びデータとマーカ位置との対応付けを獲得する。次に、姿勢事例にない任意の伸びデータに対応する体節位置・向きを、姿勢事例を用いた補完により生成する。

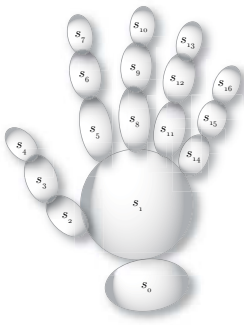


図 2.1 三次元手モデルを構成する各体節の一例

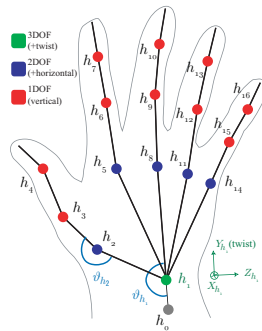


図 2.2 各体節モデルの親子関係と関節の一例

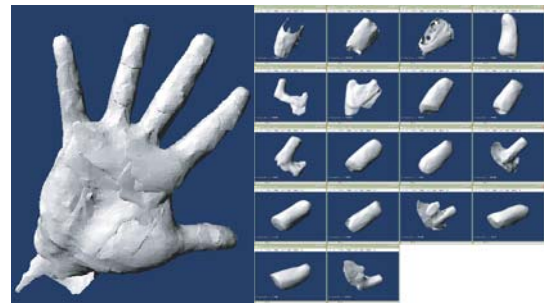


図 3.1 体節集合で表現される三次元手モデルと計測形状

2. 三次元手モデルの姿勢操作に関する従来研究

2.1 データグローブによる三次元手モデルの姿勢操作

データグローブは、グローブの各部位に設置されたセンサによって指の曲がり具合を測定する装置であり、手に装着して用いることで伸びデータを獲得することができる。三次元手モデルは一般的に掌、指などの複数の体節モデルから構成される(図 2.1)。各体節モデルは図 2.2 のように、手首を「根」、指先を「葉」とした、親子関係に基づく木構造を持つ。親子関係にある体節同士を各々自由度を持つ関節で接続する。

三次元手モデルの姿勢操作を実現するためには、演者の手の姿勢に応じて各体節の位置・向きを決定する必要がある。本研究では、演者の手の姿勢をデータグローブの伸びデータとして表現する。データグローブを用いてモデルの姿勢操作を行うには、伸びデータに応じて体節位置・向きを適切に設定する必要がある。モデルの姿勢操作を行う際に、各体節の配置が手の形から逸脱することなく体節の位置・向きを求めるために用いる制約を、本稿では「スケルトン」と呼ぶ。また、モデルの各体節の表面形状を表現するものを本稿では「スキン」と呼ぶ。以下、スケルトン・スキンの付与により姿勢操作が可能な三次元手モデルを獲得する従来手法について述べる。

2.2 姿勢操作可能な手の計測形状を獲得する従来手法

伸びデータとデータグローブのキャリブレーションにより決定した変換行列を用いることで、センサの位置に相当する関節の角度を算出できる。親体節において子体節と接続する関節の位置と回転軸が決まれば、親体節を基に子体節の位置・向きを決定することができる。従って、手首体節から順次各体節の位置・向きを求めることができる。

Yasumuro らは、一定の長さを持った体節が点関節で接続された簡易なモデルにより、姿勢操作可能な計測形状を獲得する手法を提案している [5]。この手法では、スケルトンとして点関節を用い、関節位置・回転軸を手動で決定する。この手法では単一姿勢における手を型取った石膏から計測形状を獲得し、関節角度に応じて定まる体節の位置・向きに応じてこれを變形させるため、型を取ったとき以外の姿勢においては、モデル形状が正しく生成されるとは限らない。

栗原らは、手を撮影した X 線 CT 画像を用いて、姿勢操作可能な手の計測形状を獲得する手法を提案している [6]。この手

法では 3 つの姿勢において、X 線 CT 画像から得られる骨の位置・向きの変化を基に関節位置・回転軸を推定する。さらに X 線 CT 画像からスキンを生成する。関節角度に応じて、3 つの姿勢におけるスキンから、求める姿勢におけるスキンを補間する。しかし X 線 CT 画像の獲得における所要時間や危険性の点から、多くの姿勢での画像の獲得に向かないという問題がある。

3. 事例の補完による三次元手モデルの姿勢操作

3.1 計測形状の姿勢操作に必要なスケルトンの付与

船富らは、三次元計測によって多くの姿勢における画像を獲得することで、様々な姿勢を表現可能な手の計測形状を獲得する手法を提案している [4]。この手法では、演者の手を掌・指など 18 の剛体体節からなる体節集合として定義し、さまざまな種類の姿勢において手の表面の三次元計測を行い、各体節のスキンを生成する(図 3.1)。多くの姿勢における画像を統合することで、任意の姿勢において適切な計測形状を獲得することが可能である。

しかし計測形状には関節が存在せず、体節同士も連結していない。この手法では、手の姿勢を関節角度ではなく、各体節の位置・向きとして表現している。各体節の位置・向きは、各体節に貼付した 3 つ以上のマーカの三次元位置によって指定される。データグローブで姿勢操作を行うには、伸びデータから体節位置・向きを決めるためのスケルトンを計測形状に付与する必要がある。

2.2 節で述べたモデルと同様に、点関節を用いたモデルにおいて、マーカ位置から各関節の位置や回転軸を推定する従来手法が存在する [7]。しかし実際の関節はより複雑であり、屈曲の際に関節のすべりに起因する体節の並進が生じるため、点関節における回転成分だけでは体節の動きを表現できない。このような並進成分は、点関節を仮定したモデルでは、姿勢操作において体節の位置・向きの誤差として現れる。特に、複数の関節を介して体節の位置・向きを一意に定める指先の体節ではその誤差が蓄積され、実際の手の形状と姿勢操作によって生成される形状との間にずれが生じる。

3.2 事例に基づいたスケルトンによる姿勢操作の実現

そこで本研究では、点関節のようなモデルを用いず、事前に複数の姿勢で伸びデータや各体節の位置・向きを事例として獲得してこれを直接補完することによって、任意の伸びデータに対する各体節の位置・向きを獲得する手法を提案する(図 3.2)。

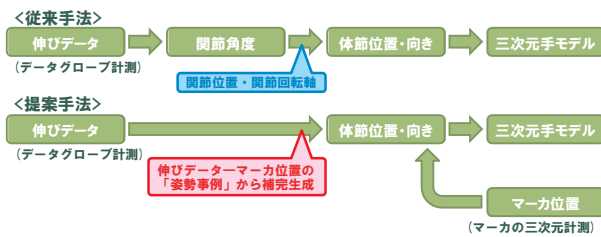


図 3.2 点関節モデルを用いた従来手法と提案手法との比較

本手法ではまず、データグローブの伸びデータと各体節の位置・向きを同一の姿勢において計測することで対応付け、複数の「姿勢事例」を獲得する。このとき、事例を獲得した手の姿勢が偏っていると、未知の伸びデータに対する体節の位置・向きを補完によって適切に獲得できることが期待できない。そのため、伸びデータの値域を考慮して多様な姿勢における事例を獲得する。

各体節の位置・向きは、手の形状を計測する際に各体節の表面に貼付したマーカの三次元位置をもとに獲得する。各体節を剛体とみなすと、各マーカの相対的な位置関係は不変である。そのため、ある姿勢で獲得した各体節のマーカの三次元位置を基準として、体節ごとに個別の剛体変換を施すことで任意の姿勢 s における各体節のマーカの三次元位置に位置合わせすることが可能となる。そこで、手を広げた「パー」の姿勢を基準姿勢 0 とし、基準となる各体節のマーカの三次元位置を獲得する。また、姿勢 s におけるマーカ位置に基準姿勢のマーカ位置を位置合わせするのに必要となる剛体変換を、姿勢 s における各体節の位置・向きとして獲得する。

本手法では、各体節のマーカの位置合わせに並進・回転を含んだ剛体変換を用いる。そのため、点関節モデルでは関節位置を中心とした回転変換しか加えられないために誤差が生じていたが、本手法ではそのような誤差にも対応することが可能である。本手法ではある体節の剛体変換を表現するとき、その親体節を基準として、その内部付近に座標系の原点、つまり回転の中心を設定して剛体変換を推定する。これは、並進成分の存在する局所的な関節を設定することに相当する。

次に、事例として獲得された伸びデータと各体節の剛体変換の集合に対して補完処理を行うことで、事例にない伸びデータに対する体節の位置・向きを獲得する。各体節の位置・向きはデータグローブに取り付けられたセンサ 1 つから得られると仮定し、その伸びデータを変数とする関数によって、姿勢事例から得られるその体節の剛体変換を表現する。この関数を求めることによって、伸びデータに対する各体節の位置・向きの補完を実現する。

4. 基準物体を用いた姿勢事例の獲得

4.1 個々の計測で同一姿勢を再現するための基準物体の導入

そこで本研究では、同一の姿勢を再現するための「基準物体」を把持させた状態で、データグローブ計測とマーカ位置の三次元計測のそれぞれを別々に行うこととする。別々に計測し

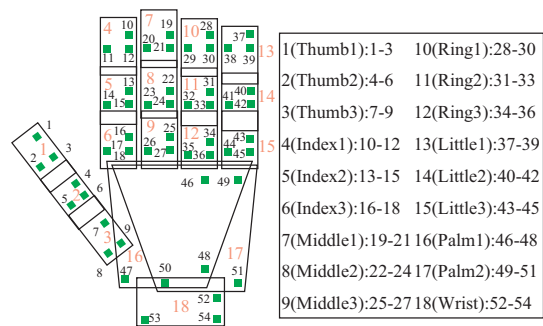


図 4.1 各体節における体節番号とマーカ番号

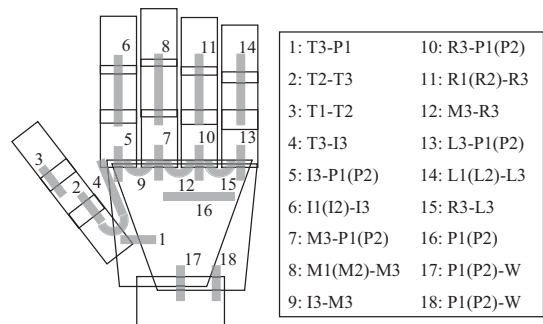


図 4.2 データグローブの伸びセンサの配置と各体節との関係

たデータグローブの伸びデータとマーカの三次元位置を、計測時に把持していた基準物体をもとに対応付ける。

基準物体が同一姿勢を再現するように、手の大部分が物体に接触して指のあそびが生じない形状の物体を基準物体として選定し、指の置く場所を指定して把持方法を一意に示した。また、物体を把持した手の姿勢がいずれも似通っていると、獲得した事例から伸びデータに対する適切な剛体変換が生成されることが期待できない。そこで大きさや把持方法が多様な基準物体を用意した。

4.2 基準物体を用いた姿勢事例の獲得

4.2.1 伸びデータと体節位置・向きの表現

本研究では、伸びデータとしてデータグローブの 18 の伸びセンサ（抵抗素子）で計測されるデータを用いる。三次元計測ではマーカ位置と計測形状を同時に獲得するため、任意の姿勢における計測形状はその姿勢におけるマーカ位置から一意に定まる。従って、各体節に 3 つ以上のマーカを貼付してそれぞれのマーカ位置を計測することで、三次元空間における各体節の位置・向きを一意に求めることができる。

本研究で用いる三次元手モデルの体節配置の模式図を図 4.1 に、抵抗素子のデータグローブ上の配置と体節との関係を図 4.2 に示す。なお体節に対して体節番号 $n \in \{1, 2, \dots, 18\}$ を付す。各体節の位置・向きを一意に求めるためには 1 体節ごとに 3 つのマーカが必要であるため、マーカ番号を $j \in \{1, 2, \dots, 54\}$ とおき、図 4.1 のようにマーカを各体節に配置する。

伸びデータは、抵抗素子の伸び具合を示すセンサ値 ϕ_i ($i \in \{1, 2, \dots, 18\}$) からなるベクトル Φ で、マーカ位置 P は各マーカの三次元位置ベクトル p_j の集合で表現する。

$$\Phi = \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_{18}\}, \quad P = (p_1, p_2, \dots, p_{54}) \quad (4.1)$$

4.2.2 伸びデータ変化と剛体変換の表現

任意の姿勢 s において、伸びデータに対応する各体節の位置・向きを姿勢事例を補完することで決定する。各体節の位置・向きは、基準姿勢 0 から姿勢 s へ姿勢変化を行う回転・並進の剛体変換として表現する。そこで姿勢 s における伸びデータに対応する各体節の位置・向きを求めるために、基準姿勢 0 から姿勢 s への伸びデータ変化に対応する剛体変換を求める。伸びデータ変化を以下のように定義する。

$$\begin{aligned}\Delta\Phi_s &= (\Delta\phi_{s,1}, \Delta\phi_{s,2}, \dots, \Delta\phi_{s,18}) \\ &= (\phi_{s,1} - \phi_{0,1}, \phi_{s,2} - \phi_{0,2}, \dots, \phi_{s,18} - \phi_{0,18})\end{aligned}\quad (4.2)$$

ただし Φ_s は姿勢 s における伸びデータ、 Φ_0 は基準姿勢 0 における伸びデータを表す。

K 種類の手の姿勢を基準物体によって再現する。伸びデータ変化 $\Delta\Phi_k$ ($k \in \{1, 2, \dots, K\}$) は、特定の体節について、その親体節に基づいた体節位置・向きの曲がり具合を表す値の集合である。そこで、ある体節 n について、その親体節に基づいた体節位置・向きの変化そのものである剛体変換 $\mathbf{R}_{kn}, \mathbf{T}_{kn}$ を求める。ここで \mathbf{R}_{kn} は基準姿勢 0 から事例中の姿勢 k への剛体変換の回転行列、 \mathbf{T}_{kn} は並進行列を表す。

物体 k を把持した姿勢における体節 n 上のマーカ位置 $p_{k,j}$ ($j \in \{3n-2, 3n-1, 3n\}$) を、基準姿勢における体節 n 上のマーカ位置 $p_{0,j}$ と位置合わせすることで剛体変換 $\mathbf{R}_{kn}, \mathbf{T}_{kn}$ を求める。本研究では体節 n の位置合わせの際の回転中心を、親体節 n_p におけるマーカ位置 $p_{0,j'}$ ($j' \in \{3n_p-2, 3n_p-1, 3n_p\}$) の重心 O_n とする。

$$O_n = (p_{0,3n_p-2} + p_{0,3n_p-1} + p_{0,3n_p})/3 \quad (4.3)$$

各マーカ j について、そのマーカが属する親体節の重心 O_n を原点とした座標系への変換を $\tilde{\mathbf{T}}_n$ 、その座標系でのマーカ位置を $\tilde{p}_{0,j}$ とおく。

まず姿勢 k の親体節 n_p のマーカ位置を、基準姿勢 0 の親体節 n_p のマーカ位置に位置合わせする (図 4.3(a))。位置合わせを行った体節 n のマーカ位置を $p'_{k,j}$ とおく。次に、姿勢 k の体節 n のマーカ位置を、基準姿勢 0 の体節 n のマーカ位置 $\tilde{p}_{0,j}$ に位置合わせする (図 4.3(b))。位置合わせを姿勢 k から基準姿勢 0 へ行うことを考えると、剛体変換と体節 n におけるマーカ位置と間には以下の関係式が成立する。

$$\tilde{p}_{0,j} = \mathbf{R}_{kn}^{-1} \mathbf{T}_{kn}^{-1} p'_{k,j} \quad (j = 3n-2, 3n-1, 3n) \quad (4.4)$$

5. 姿勢事例の補完による剛体変換の生成

5.1 剛体変換によるマーカ位置変化の算出

マーカは計測形状の表面上の点における代表点とみなすことができるため、剛体変換を加えることで得られるマーカ位置変化をもとに計測形状を生成することができる。

ある姿勢 s における、体節 n のマーカ位置を $p_{s,j}$ とおく。姿勢 0 から姿勢 s に姿勢操作を行ったときの体節 n の位置・向き

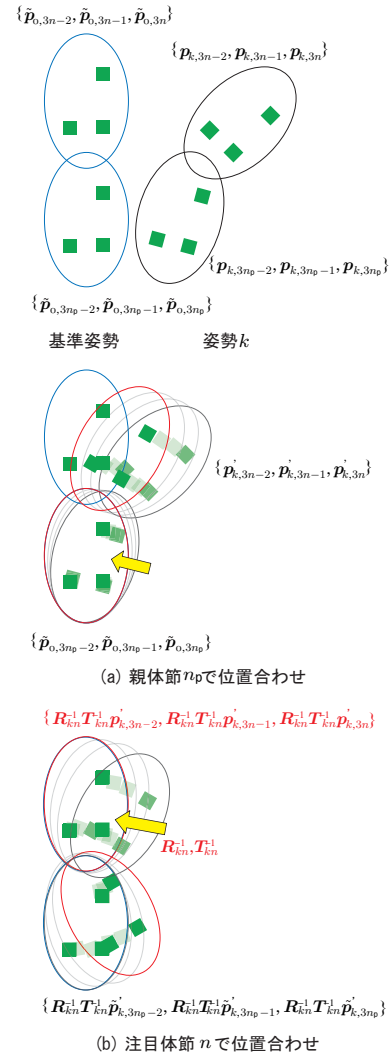


図 4.3 マーカ位置の位置合わせによる剛体変換の獲得

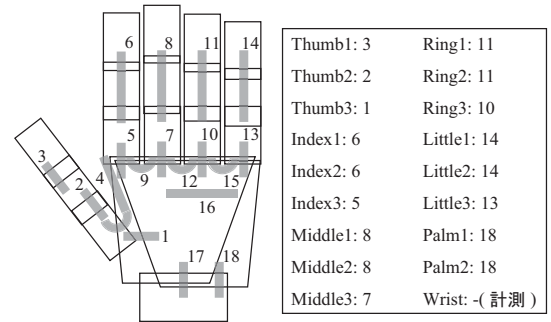


図 5.1 剛体変換の生成に用いる伸びセンサと各体節の関係

を表す剛体変換の回転行列・並進行列をそれぞれ $\mathbf{R}_{sn}, \mathbf{T}_{sn}$ とおくと、式 (4.4) より $p_{s,j}$ が以下のように表せる。

$$p_{s,j} = \tilde{\mathbf{T}}_n^{-1} \mathbf{T}_{sn} \mathbf{R}_{sn} \tilde{\mathbf{T}}_n p_{0,j} \quad (5.1)$$

提案手法では、 $\Delta\Phi_s$ における剛体変換 $\mathbf{R}_{sn}, \mathbf{T}_{sn}$ を、 $\Delta\Phi_s$ の各センサの中で体節 n の剛体変換と最も関連性のあるセンサの伸びデータ変化 $\Delta\phi_{s,i}$ ($i \in \{1, 2, \dots, 18\}$) を変数とした、一変数関数により生成する。なお、体節ごとにどの伸びセンサを変数としたかを図 5.1 に示す。

5.2 回転行列と並進行列の事例補完

2つの回転行列の補間には、四元数(クォータニオン)を用いた表現が有効であることが知られている。四元数 $Q = (q_0; q_1, q_2, q_3)$ の各要素は回転行列 $R = r_{ij}$ ($i, j \in \{1, 2, 3\}$) を用いて以下のように表されるため、姿勢 s における回転行列 R_{sn} を四元数 Q_{sn} に変換することができる。

$$q_0 = \frac{1}{2} \sqrt{r_{11} + r_{22} + r_{33} + 1} \quad (5.2)$$

$$q_1 = \frac{r_{32} - r_{23}}{|r_{32} - r_{23}|} \sqrt{r_{11} - r_{22} - r_{33} + 1}$$

$$q_2 = \frac{r_{13} - r_{31}}{|r_{13} - r_{31}|} \sqrt{-r_{11} + r_{22} - r_{33} + 1}$$

$$q_3 = \frac{r_{21} - r_{12}}{|r_{21} - r_{12}|} \sqrt{-r_{11} - r_{22} + r_{33} + 1}$$

式(5.1)より、 K 個の姿勢事例について下式を満たす R_{kn}, T_{kn} が存在する。

$$p_{k,j} = \tilde{T}_n^{-1} T_{kn} R_{kn} \tilde{T}_n p_{0,j} \quad (5.3)$$

四元数は四次元ベクトルとして表現できる。また並進行列 T_{sn} は三次元空間中の座標変化を表す行列だが、三次元ベクトルとしても表現できる。そこで四元数 Q_{sn} を四次元ベクトルで表したものを q_{sn} と、並進行列を三次元ベクトルで表したものを t_{sn} とおき、以下のように各要素ベクトルを定義する。

$$q_{sn} = (q_{sn}^0, q_{sn}^1, q_{sn}^2, q_{sn}^3) \quad (5.4)$$

$$t_{sn} = (t_{sn}^x, t_{sn}^y, t_{sn}^z) \quad (5.5)$$

q_{sn}, t_{sn} における事例の補完手法を、以下の2手法についてそれぞれ検討する。以下では姿勢事例において、体節 n の剛体変換に関連付けられた伸びデータ変化をそれぞれ $\Delta\phi_{k,i_n}$ ($k \in \{1, \dots, K\}$) とし、 $\Delta\phi_{k,i_n}$ に対応する四元数および並進ベクトルを q_{kn}, t_{kn} ($k = 1, \dots, K$) とする。

5.2.1 加重平均による補完

任意の姿勢 s における、体節 n の剛体変換に関連付けられた伸びデータ変化 $\Delta\phi_{s,i_n}$ に対して、 K 種類的事例における同じセンサの伸びデータ変化 $\Delta\phi_{k,i_n}$ との差分に応じた重みを設定する。 $\Delta\phi_{k,i_n}$ に対応する q_{kn}, t_{kn} の重み w_{kn}^s および $\Delta\phi_{s,i_n}$ に対応する q_{sn}, t_{sn} は、 $|q_{sn}| = 1$ が成立するように正規化すると下式ようになる。

$$q_{sn}^l = \sum_{k=1}^K w_{kn}^s \cdot q_{kn}^l \quad (l = 0, 1, 2, 3)$$

$$q_{sn}^l = \frac{q_{sn}^l}{|q_{sn}|} \quad (l = 0, 1, 2, 3) \quad (5.6)$$

$$t_{sn}^m = \sum_{k=1}^K w_{kn}^s \cdot t_{kn}^m \quad (m = x, y, z)$$

ここで $\Delta\phi_{s,i_n}$ と $\Delta\phi_{k,i_n}$ の差分を評価する距離関数を $d(s, k)$ とおくと、重み w_{kn}^s は以下のように表される。

$$w_{kn}^s = \frac{d(s, k)}{\sum_{k=1}^K d(s, k)} \quad (5.7)$$

なお本研究では、各伸びデータ変化との差分の絶対値による距

離関数 $d(s, k) = \frac{1}{|\Delta\phi_{s,i_n} - \Delta\phi_{k,i_n}|}$ と、差分の二乗による距離関数 $d(s, k) = \frac{1}{(\Delta\phi_{s,i_n} - \Delta\phi_{k,i_n})^2}$ の2種類を用いて補完を行う。

5.2.2 回帰直線による補完

各ベクトルごとに $\Delta\phi_{s,i_n}$ を変数とした回帰直線を求める。 $\Delta\phi_{k,i_n}$ に対する q_{kn}^l ($l = 0, 1, 2, 3$), t_{kn}^m ($m = x, y, z$) の回帰直線の傾きを a_{qn}^l, a_{tn}^m , 切片を b_{qn}^l, b_{tn}^m とおく。 $\Delta\phi_{s,i_n}$ に対応する q_{sn}, t_{sn} を回帰直線上の点として求め、 $|q_{sn}| = 1$ が成立するように正規化する。このとき、 $\Delta\phi_{s,i_n}$ に対応する q_{sn}, t_{sn} は下式ようになる。この手法は加重平均に対し、全ての事例を「等しく」利用した補完方法といえる。

$$q_{sn}^l = a_{qn}^l \cdot \Delta\phi_{s,i_n} + b_{qn}^l \quad (l = 0, 1, 2, 3)$$

$$q_{sn}^l = \frac{q_{sn}^l}{|q_{sn}|} \quad (l = 0, 1, 2, 3) \quad (5.8)$$

$$t_{sn}^m = a_{tn}^m \cdot \Delta\phi_{s,i_n} + b_{tn}^m \quad (m = x, y, z)$$

6. 実験と評価

6.1 実験環境

各指の根元、先端の位置を指定するシールを貼付した物体8個と評価用の姿勢を獲得する物体1個の計9個を基準物体として用意した。事例用物体に対しては互いに異なる2種類の把持方法を、評価用物体に対しては1種類の姿勢を教示し、9つの物体で17姿勢を再現した。事例用物体および評価用物体を演者に把持させてデータグローブ計測を行い、17姿勢の伸びデータ変化を獲得した。

三次元計測は、約30cm立方を観測空間として設定された空間において30台のCCDカメラを用いて行った。演者の手の各体節に3つのマーカを貼付し、事例用物体と評価用物体を把持させて三次元計測を行い、17姿勢のマーカ位置を獲得した。

6.2 体節位置・向き生成値と実測値の誤差評価

提案手法により体節の位置・向きが適切に生成されることを示すため、同一の伸びデータに対して剛体変換の生成値と実際に獲得した実測値とを比較した。8つの事例用物体を用いて再現した16姿勢のうち、体節ごとに(a)ランダムに選んだ8姿勢を事例に用いた場合、(b)不適切な事例(負事例)を手動で除去した8姿勢を事例に用いた場合、(c)16姿勢全てを事例に用いた場合、の3通りの事例でそれぞれ比較を行った。

5.2.1節で述べた、近傍の事例を重み付けして q_{sn}, t_{sn} を加重平均で補完した手法を手法1、5.2.2節で述べた、全ての事例を均等に用いて q_{sn}, t_{sn} を回帰直線で補完した手法を手法2として生成値を獲得する。各手法について q_{sn}, t_{sn} の各ベクトルおよびマーカ位置の実測値と生成値との平均誤差をとった結果を評価用物体で再現した姿勢 s について示す(表1)。なお手法1のうち、重みを差分の絶対値で取ったものを手法1a、差分の二乗で取ったものを手法1bとする。横軸を伸びデータ、縦軸を四元数ベクトルの1要素(q_0)とし、それぞれの事例補完手法ごとに求めた q_0 の生成関数と実際の事例における q_0 の値を表したグラフを図6.1に示す。

表1より、8姿勢を事例として用いるときには、ランダムの場合よりも負事例を除去した場合の方が、マーカ位置の誤差が

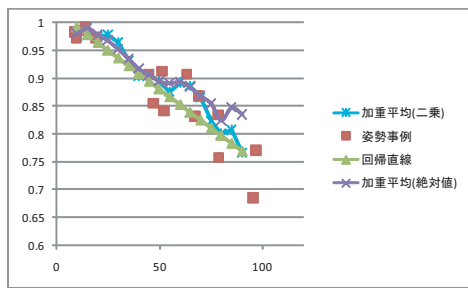


図 6.1 Middle2 における q_0 の生成関数と事例

表 1 マーカ位置の実測値と生成値の平均誤差

誤差 (mm)		手法 1a	手法 1b	手法 2
(a)8 事例 (ランダム)	平均値	8.87	7.71	18.2
	中央値	8.40	6.91	15.4
	最大値	28.3	21.8	38.9
(b)8 事例 (負事例除去)	平均値	8.88	7.15	6.69
	中央値	8.00	6.68	5.87
	最大値	22.2	15.1	15.1
(c)16 事例	平均値	8.88	7.90	7.03
	中央値	8.05	6.94	5.98
	最大値	30.0	20.2	18.1

小さいという結果が得られた一方、依然として平均で 10mm 未満の誤差が生じた。これは、事例を獲得する際の計測誤差により不適切な事例が含まれたことで、外れ値を含みうる特定の事例に補完が影響を受けたことが原因と考えられる。従って、姿勢によっては基準物体を用いても同一姿勢を厳密には再現できなかったといえる。

ランダムに選んだ 8 事例を用いた場合と 16 事例全てを用いた場合を比較すると、手法 2 では誤差が減少したものの、手法 1 では a, b ともにあまり誤差の変化が見受けられなかった。これも先述と同様に、事例を増やした際にその中に負事例が含まれたことで、近傍事例に重みを付す手法 1 の補完が影響を受けたことが原因として考えられる。

6.3 生成値における体節位置・向きを視覚的評価

提案手法により体節の位置・向きが適切に生成されていることを視覚的に評価するため、パーからグーへの姿勢変化でデータグループ計測を行い、提案手法を用いて各体節の位置・向きを求めた。実際の姿勢を撮影した画像と生成した体節の位置・向きを示すマーカ位置を示す。図 6.2 より、マーカ位置が適切に生成されていることが示された。

7. 結 論

本研究では、三次元計測により獲得した計測形状をデータグループで姿勢操作するために、姿勢事例を補完することで伸びデータに対応する体節の位置・向きを生成する手法を提案した。まず、伸びデータとマーカの三次元計測により求まる体節位置・向きとを対応付けた姿勢事例を、「基準物体」を導入して複数獲得した。次に、姿勢事例にない伸びデータに対する剛体変換の回転成分・並進成分をそれぞれ事例の補完により生成した。剛体変換の実測値と生成値の比較、および生成値の視覚的評価に

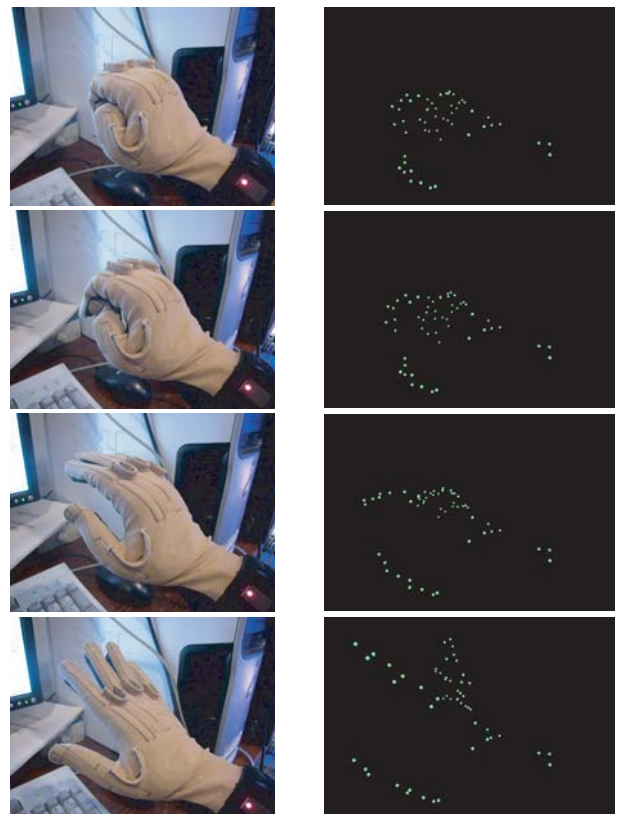


図 6.2 実際の手の姿勢と提案手法で生成したマーカ位置

より提案手法の有効性を示した。

今後の課題として、今回対応付けに失敗した負事例があったことを踏まえ、姿勢事例を獲得するために姿勢を再現する手法について、更なる検討が必要であると考えられる。また、事例を獲得する際に、最も基準物体の個数が少なく、かつ効率良く多様な姿勢の事例を獲得するためにどのような形状の基準物体をいくつ用いるか、ということにも更なる検討が必要であると考えられる。さらに、体節との関係性に応じて複数のセンサの伸びデータを用いることで、より高精度な体節位置・向きの生成を実現することも課題として挙げられる。

文 献

- [1] S. Gibbs, C. Arapis, C. Breiteneder, V. Lalioti, S. Mostafawy, J. Speier, "Virtual studios: an overview", IEEE Multimedia, Vol.5, Issue 1, pp.18-35, 1998.
- [2] 角所考, 萩原 史郎, 美濃 導彦, "仮想現実感による仮想物体操作仮定を利用した適応的レジストレーション", 電子情報通信学会論文誌 Vol.J85-D No.11 pp.1701-1713 2002.
- [3] 尾原 秀登, 角所 考, 美濃 導彦, "バーチャルスタジオにおける演者の手を用いた仮想物体の直接操作の実現", 信学技法. MVE, vol.106, no.91, pp.103-109, MVE2006-21, 2006.
- [4] 船富 卓哉, 飯山 将晃, 角所 考, 美濃 導彦, "光切断法による複数運動剛体の形状計測", 電子情報通信学会論文誌 Vol.J90-D No.8, pp.1858-67, 2007.
- [5] Yoshihiro Yasumuro, Qian Chen, Kunihiro Chihara, "Three-dimensional modeling of the human hand with motion constraints", Image and Vision Computing Vol.17, Issue 2, pp.149-156, February 1999.
- [6] 栗原 恒弥, 宮田なつき, "医用画像を用いた変形可能な手の CG モデル", 画像電子学会論文誌 Vol.33 4-B, pp.539-546, 2004.
- [7] Adam G. Kirk, James F. O'Brien, David A. Forsyth, "Skeletal Parameter Estimation from Optical Motion Capture Data" IEEE CVPR, Vol.2, pp.782-788, 2005.