

NAIST-IS-MT9451045

修士論文

多視点画像からの手の三次元位置及び形状の取得

坂田 健一郎

1996年2月16日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報システム学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
修士(工学)授与の要件として提出した修士論文である。

坂田 健一郎

指導教官： 横矢 直和 教授
千原 國宏 教授
竹村 治雄 助教授

多視点画像からの手の三次元位置及び形状の取得*

坂田 健一郎

内容梗概

仮想現実の分野において、仮想空間内の物体を現実世界と同様に手を用いて操作することに対する要求が高まっているが、その実現のためには手の3次元的位置や形状を簡易に計測する手法の開発が必要である。本論文では、特殊な計測機器や装具を用いることなく、手の3次元位置および手の定性的な形状を計測する手法を提案する。手の3次元位置の計測には、複数の画像間において、1次独立な3本のベクトルと3次元位置を計測したい点の対応が得られる場合に、アフィン不変量に基づいて3次元位置を求める手法を採用する。この手法は、複数のカメラ間の位置関係を必要としないことから、手のような自己隠蔽を起こしやすい物体を複数視点から撮影するために適した手法である。この手法を用いる場合、いかに複数の画像間において手の同じ部分を対応付けるかが重要な課題となるが、提案手法では手の甲の3点と各指の先に貼った8色のマーカのカラー情報を利用することにより、対応付けの自動化を実現する。本論文では、様々な実験を通して提案手法の有効性を検証すると同時に、今後に残された課題を明らかにする。

キーワード

アフィン不変量、多視点画像

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 修士論文, NAIST-IS-MT9451045, 1996年2月16日.

Acquiring 3D Position and Shape of a Hand Using Images from Multiple View Points*

Ken'ichiro Sakata

Abstract

In the area of virtual reality, it is useful to manipulate virtual objects with hands as we do in the real world. To achieve this, three dimensional position and shape of hands should be obtained automatically. This paper describes a method of acquiring 3D information of a hand only using multiple camera. In our method, 8 markers with different colors are placed on a hand. Based on color information, each marker in different images taken from multiple view points are matched. Three dimensional position of a marker is calculated based on affine invariance theory using position of the marker in each of the image planes. Several experiments were made and the results show usefulness of our method.

Keywords:

affine invariants, multiple images

*Master's Thesis, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-MT9451045, February 16, 1996.

目次

1. はじめに	2
2. 既存の三次元情報取得方法	4
2.1 非接触の三次元情報取得方法	4
2.2 アフィン不変量を用いた三次元位置取得方法	6
3. 今回の提案	9
3.1 多視点化によるオクルージョンの回避	9
3.2 色情報を用いた対応付け	10
4. 実験	15
4.1 マーカについて	15
4.2 多視点画像を用いた三次元計測	17
5. まとめと今後の課題	23
5.1 多視点化に対する考察	23
5.2 色の情報を用いたマーカの対応付けに関する考察	23
参考文献	25

目 次

2.1	基準となるベクトルと点の投影	6
3.1	HSI 双 6 角錐カラーモデル	11
3.2	青色領域の抽出例 1	12
3.3	青色領域の抽出例 2	13
4.1	手のマーカの貼り方	15
4.2	基準直交座標	16
4.3	背景の画像	18
4.4	基準直交座標の画像	19
4.5	手の模型の画像	20
4.6	実験結果 1	21
4.7	実験結果 2	22

表 目 次

4.1	手のマーカの rgb 値	17
4.2	基準直交座標のマーカの rgb 値	17
4.3	各軸の移動量	18
5.1	基準直交座標のマーカの色相値	23
5.2	各指のマーカの色相値	23

1. はじめに

仮想現実の分野などで三次元的な入力を行う場合、手の位置、形状などの三次元情報を用いた入力が有効である。

従来、このような入力を行なう装置としてはデータグラブのようなセンサー類を手に着用し、磁気などを用いて三次元位置を計測したり、光ファイバーなどの曲がり具合から手の形状を計測するといった有線式の装具を着用するものや、発光ダイオードを用いて平行ステレオの対応付けを行い装置の三次元位置を求めるといった、計測に特化した装置を用いる方法が主流であった。しかし、これは手の運動範囲が制限されたり、特殊な環境において計測を行なわなければならないといった問題がある。

そこで、三次元計測に画像を用いることで、環境の制限を必要としない三次元計測方法を行なうことが提案されてきた。だが、従来の画像を用いる三次元計測方法では一般的には一方向からの計測を行なう方法がほとんどであり、手のようなセルフオクルージョンの起きやすい複雑な形状の物体の三次元計測を行なう時には、複数方向からの計測した結果を統合する必要がある。また、平行ステレオ視などを用いる手法などはカメラキャリブレーションといった手間のかかる処理を必要としたり [1]、単眼視のものでもあらかじめ手の三次元モデルを用意する必要がある手法 [4] がほとんどであった。

そこで本研究では、カメラパラメータやキャリブレーションを必要としない三次元位置計測方法であるアフィン不変量を用いた方法 [2] を手の三次元情報取得に適用することを提案する。この方法を用いて手の甲と各指先に貼ったマーカの三次元位置を複数視点の画像から計測することによって、手の三次元位置、方向、各指の状態を取得する。

この時、このアフィン不変量を用いた三次元位置取得方法の特徴である視点の増加に対して三次元位置算出の計算量の増加は少ないことを利用して撮影する視点の数を増やし、多視点、多方向から撮影された画像より手の各部分の三次元情報を取得する。このことによりオクルージョンによって三次元情報を求められない領域を小さくすることができた。

視点の数が増加することによる複数視点間の対応付けが複雑になるという問題

解決するため、手の三次元位置を求めたい各部分に貼ったマーカに違う色を割り当て、複数視点画像で同じ色の領域を求めることで多視点間での対応付けの問題を解決し、その対応関係より手のマーカを貼った各部分の三次元位置を求めた。

2. 既存の三次元情報取得方法

空間内の三次元情報を取得する方法には大きく分けて接触式のものと非接触式のものがある。

接触式のものは正確な三次元計測が行なえるといった利点がある反面、計測範囲が装置に大きく依存するといった欠点がある。

非接触の装置でも、磁気を用いたものや発効ダイオードを用いたものなどは機器の本体と三次元位置を計測する対象とが信号線でつながれており、三次元情報入力のインタフェースとして用いる時などは使用者の運動を妨げ、また、モニターなどの磁気ノイズや自然光の影響などの動作環境の制限が大きいといった欠点がある。

画像を用いて計測を行なう方法は密度の高い計測は行なえないが、自然光の元での計測を行なうことができ、三次元計測に特化した特殊な装置を必要としないと言ったり点がある。

今回は非接触の三次元計測方法として画像を用いた方法を採用する、

2.1 非接触の三次元情報取得方法

以下に、画像を用いた三次元情報取得方法について簡単に述べ、その後に今回採用したアフィン不変量を用いた三次元位置を求める方法について詳しく述べる。

- レンジファインダ

レンジファインダは三角測量の原理を用いた装置で、物体に投影した光の反射を別の角度から撮影して物体の三次元情報を取得するという三次元計測装置である。この装置は高精度で高密度な三次元計測が行なえる反面、外部の光の影響を受けやすくまた測定に時間がかかるため動物体の三次元計測には適しないという欠点がある。

- 単眼視

単眼からカメラパラメータや計測の対象の物体に関する知識から物体の三次元計測を行う方法も提案されている。この方法は一度の撮影で計測が終

り、カメラが一台あれば計測が行なえるのでカメラパラメータや計測する物体の形状などを測定するだけで良いという利点がある。

しかし、三次元形状の算出に時間がかかり、カメラ一台で計測しているので奥行き方向の運動の検出が他の方向の運動の検出に比べて難しいという欠点がある。

- ステレオ視

平行ステレオ視やモーションステレオなどは複数の視点から撮影し視点間の三次元的な位置関係から三角測量の原理などを用いて物体の三次元位置を測定する方法である。これらの方法は視点間での対応付けができてしまえば比較的簡単にカメラ中心の三次元位置を求めることができる、平行ステレオ視は一度の撮影で計測が行なえるので動物体の運動解析にも用いることができる、といった利点があるが、カメラパラメータの測定や平行ステレオはカメラキャリブレーションに手間がかかる、モーションステレオは画像間の対応付けに手間がかかり計測に時間がかかると言った欠点がある。

- アフィン不変量を用いた手法

アフィン不変量を用いて三次元位置を求める方法はカメラの投影方法が平行投影に近いものと見なして複数の投影像から3本の独立なベクトルに対する相対的な三次元位置を求める方法である。この方法は三次元位置の算出にカメラパラメータや投影像の視点間の位置関係を用いないので装置の構造が単純にできる。また計測される三次元位置はカメラ中心の座標系ではなく基準のベクトルに対する相対的な座標系での座標値である。しかし視点間の位置関係を求めないので対応点の間には拘束関係が存在せず、複数の投影図の間の対応付けが困難である。

上述したいくつかの三次元情報を取得をする方法で、手の三次元位置及び形状を取得する場合を考える。手は形状が複雑なため一方向からの三次元計測ではその形状を理解することは難しい。

レンジファインダや平行ステレオ視を用いて多方向から三次元計測を行ない、取得した三次元情報を統合すれば精細な三次元情報を得ることができるが、処理

に時間がかかるため動物体をリアルタイムに処理することには適せず、また装置が大がかりになるという欠点がある。

カメラ一台で撮影された画像から手の三次元情報を取得する場合には、手のモデルをあらかじめ用意しておいて、トップダウンにモデルの投影を生成して投影図とのマッチングをとる方法がある [3][4]。これらの方法を用いれば手の形状を精度良く取得することは可能であるが、手の三次元位置の計測に適用した場合には、手が比較的大きく写っている必要があるため計測できる範囲が限られ、さらに光軸に水平な方向の三次元位置計測に比べて奥行き方向の三次元位置の計測の精度が低いという欠点がある。

そこで、今回はアフィン不変量を用いた方法で手の三次元位置及び形状を取得することにより、特殊な装置を必要とせずに、空間の三次元位置を求められる。

2.2 アフィン不変量を用いた三次元位置取得方法

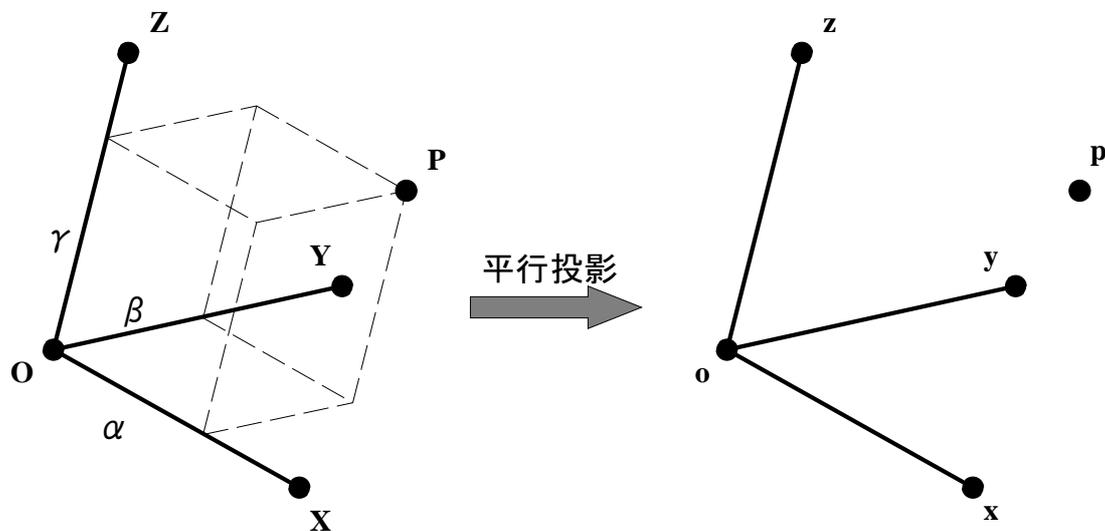


図 2.1 基準となるベクトルと点の投影

本節では、複数視点の投影像間で対応付けされた点の三次元位置を、アフィン不変量を用いて求める方法について述べる。

互いに一次独立な3つのベクトルを用いると、三次元空間内の任意の位置を表すことができる。図 2.1 のように空間内に5つの点 $\mathbf{O}, \mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z}, \mathbf{P}$ が存在し、ベクトル $\mathbf{E}_1 = \mathbf{X} - \mathbf{O}, \mathbf{E}_2 = \mathbf{Y} - \mathbf{O}, \mathbf{E}_3 = \mathbf{Z} - \mathbf{O}$ が互いに一次独立である時、点 \mathbf{P} は α, β, γ を用いて次のように表すことができる。

$$\mathbf{P} - \mathbf{O} = \alpha \mathbf{E}_1 + \beta \mathbf{E}_2 + \gamma \mathbf{E}_3$$

この空間の点 $\mathbf{O}, \mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{P}$ 及びベクトル $\mathbf{E}_i, i \in \{1, 2, 3\}$ が各々ある平面上の $\mathbf{o}, \mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{p}$ 及び $\mathbf{e}_j, j \in \{1, 2, 3\}$ に平行投影されたとすると一般的に次の関係が成り立つ。

$$\mathbf{p} - \mathbf{o} = \alpha \mathbf{e}_1 + \beta \mathbf{e}_2 + \gamma \mathbf{e}_3 \quad (1)$$

そこで、 (α, β, γ) の値を求めることができれば、点 \mathbf{P} の点 $\mathbf{O}, \mathbf{X}, \mathbf{Y}$ に対する相対的な三次元位置が求められる。これらの一次結合の係数 (α, β, γ) をアフィン不変量と呼ぶ。

この方法を実際のカメラで撮影された画像に適用するためには、実空間から画像への変換が平行投影である必要があるが、カメラと被写体の距離に対し、被写体の奥行きが十分に小さければ、投影のモデルは被写体の周りでは部分的に平行投影であると見なすことができ、この方法を用いて三次元位置を求めることができるとする。

以下に、2枚の画像から実際に相対的な三次元位置を求める手順を説明する。

三次元空間内の点 $\mathbf{O}, \mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z}, \mathbf{P}$ およびベクトル $\mathbf{E}_i, i \in \{1, 2, 3\}$ がそれぞれ2枚の二次元 uv 平面画像 a, b 内の点 $\mathbf{o}_a, \mathbf{x}_a, \mathbf{y}_a, \mathbf{z}_a, \mathbf{p}_a, \mathbf{o}_b, \mathbf{x}_b, \mathbf{y}_b, \mathbf{z}_b, \mathbf{p}_b$ とベクトル $\mathbf{e}_{ai}, \mathbf{e}_{bi}, i \in \{1, 2, 3\}$ に投影される場合を考えると、誤差 ϵ_a, ϵ_b を含む以下の等式が成り立つ。

$$\mathbf{p}_a - \mathbf{o}_a = \alpha \mathbf{e}_{a1} + \beta \mathbf{e}_{a2} + \gamma \mathbf{e}_{a3} + \epsilon_a$$

$$\mathbf{p}_b - \mathbf{o}_b = \alpha \mathbf{e}_{b1} + \beta \mathbf{e}_{b2} + \gamma \mathbf{e}_{b3} + \epsilon_b$$

これら2つの式を画像の2方向 uv 成分に分けた4つの式をまとめて、

$$\begin{bmatrix} e_{a1u} & e_{a2u} & e_{a3u} \\ e_{a1v} & e_{a2v} & e_{a3v} \\ e_{b1u} & e_{b2u} & e_{b3u} \\ e_{b1v} & e_{b2v} & e_{b3v} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon_{au} \\ \epsilon_{av} \\ \epsilon_{bu} \\ \epsilon_{bv} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{au} - o_{au} \\ p_{av} - o_{av} \\ p_{bu} - o_{bu} \\ p_{bv} - o_{bv} \end{bmatrix} \quad (2)$$

という式が求まる。この式を

$$\mathbf{A}\boldsymbol{\alpha} + \boldsymbol{\epsilon} = \mathbf{p} \quad (3)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} e_{a1u} & e_{a2u} & e_{a3u} \\ e_{a1v} & e_{a2v} & e_{a3v} \\ e_{b1u} & e_{b2u} & e_{b3u} \\ e_{b1v} & e_{b2v} & e_{b3v} \end{bmatrix},$$

$$\boldsymbol{\alpha} = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix},$$

$$\boldsymbol{\epsilon} = \begin{bmatrix} \epsilon_{au} \\ \epsilon_{av} \\ \epsilon_{bu} \\ \epsilon_{bv} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} p_{au} - o_{au} \\ p_{av} - o_{av} \\ p_{bu} - o_{bu} \\ p_{bv} - o_{bv} \end{bmatrix}$$

という行列式として考えた場合、

$$(\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{p} \quad (4)$$

という計算を行なうことにより、 α, β, γ を誤差 $\boldsymbol{\epsilon}_a, \boldsymbol{\epsilon}_b$ を最小にするように最小二乗推定することができる。

これにより三次元のベクトル $\mathbf{E}_i, i \in \{1, 2, 3\}$ に対する三次元空間中の点 \mathbf{P} の相対座標を求めることができる。

この方法では、画像内での点の位置のみから三次元位置を算出しているので、複数の視点間の位置関係やカメラパラメータに依存しない三次元計測を行なうことができる。

3. 今回の提案

人間の手のような複雑な形状の物体の三次元情報を1方向から取得する時には、物体の一部が物体自身に隠れてしまい、隠れた部分の三次元情報が得られないといったセルフオクルージョンの問題が多く発生する。

本研究では複雑な形状の物体を、セルフオクルージョンの影響が少なくなるような三次元形状取得を行なうことを目的とする。そのために、カメラを設置する視点の数を増やしてオクルージョンが起こる領域を小さくしてやることを考える。また、カメラの台数を増やすことによって、三次元空間中のある1点が複数の画像内でどこに写っているか求める対応付けがより困難になるので、色の情報を用いて対応付けを行なうことにより、単純で照明条件や撮影方向、部分的なオクルージョンにロバストな対応付けを行うことを提案する。

3.1 多視点化によるオクルージョンの回避

手のような複雑な形状の物体を三次元的に計測する場合には、計測を行なう部分が物体の他の部分によって隠されてしまうセルフオクルージョンの問題が無視できない。1方向からの計測を行なう限り正確な物体全体の三次元的な形状を取得することは不可能である。

セルフオクルージョンの問題を回避するために、平行ステレオ視などの1方向からの計測方法で複数方向からの計測を行い、それによって得られた計測結果を統合して物体全体の三次元形状を取得する場合には、ほとんどの三次元計測方法は計測結果が計測機器中心の座標系で求まるため、計測結果の統合には複数の計測点の間の位置関係を求める必要がある。また、動物体の三次元形状を求めるためには複数方向から同時に計測を行なわなければならないので、各方向に一組ずつの計測機器を配置しなければならず、装置が大がかりになるといった欠点がある。装置の数が増えた時の計算量の増化が激しく、動物体の三次元的な動きを計測する目的には適さない。

しかし、アフィン不変量を用いた方法を用いて三次元計測を行なった場合、カメラを設置する位置、方向にかかわらず基準となる3本のベクトルに対する相対

座標として計測結果が得られ、また複数方向に配置した2台以上の任意の数のカメラで撮影した画像があれば、三次元計測を行なうことが可能であるので、複数方向からの計測結果を統合する必要がない。カメラの台数の増化に対して式(4)の計算量の増化は少ないため、高速に三次元位置を求めることができ、動物体の三次元的な動きの計測にも対応できる。

これらの性質から動物体に対して複雑な形状のセルフオクルージョンの影響が少ない三次元情報入力を行いたい場合には、アフィン不変量を用いた方法を用いてカメラの台数を増やす方が簡単な装置で高速に計測を行なえるものと考えられる。

3.2 色情報を用いた対応付け

三次元空間中に存在するある1点が複数の位置、方向から撮影して得られた画像内でどこに写っているかを求める対応付けの問題は、視点の数や対応付けを行なう点の数が増加するにつれて、難しさが増してくる。

複数視点画像間で対応付けを行なう場合は、平行ステレオ視やモーションステレオのように視点間の位置関係やカメラパラメータから対応する点の存在する位置を制限し探索する方法や、マーカを貼ってマーカの特徴から対応付けを行なう方法などが考えられるが、今回は、設置したカメラ間の位置関係やカメラパラメータを求めないで三次元計測を行なう方法を採用したので、設置したカメラ間の位置関係からの対応付けは不可能であり、さらに対応付けを行なう画像の枚数や点の数が多いため対応付けに莫大な手間がかかる。そこで、三次元計測で三次元位置を求めたい部分にマーカを貼り、複数の画像内で同じマーカの写っている領域を求めることによりマーカ同士の対応付けを行うことを考える。

マーカを用いた対応付けには、マーカの形や大きさなどを用いて対応付けを行なう方法もあるが、これら方法はカメラで撮影する角度によるマーカの写り方の違いや、マーカの一部が他の物体によって隠されてしまうオクルージョンによる影響が大きいため、本研究では色のついたマーカを用いてその色の情報から複数視点間の対応付けを行なうことで画像内での形の違いやオクルージョンの影響を受けにくい対応付けを行うことができると考えられる。

実際の処理では、複数の視点から得られた画像において同じ色を持つ領域の座標を求めることで、対応付けを行う。この時の色の判別には後述する HSI 表色系の色相値を用いる。

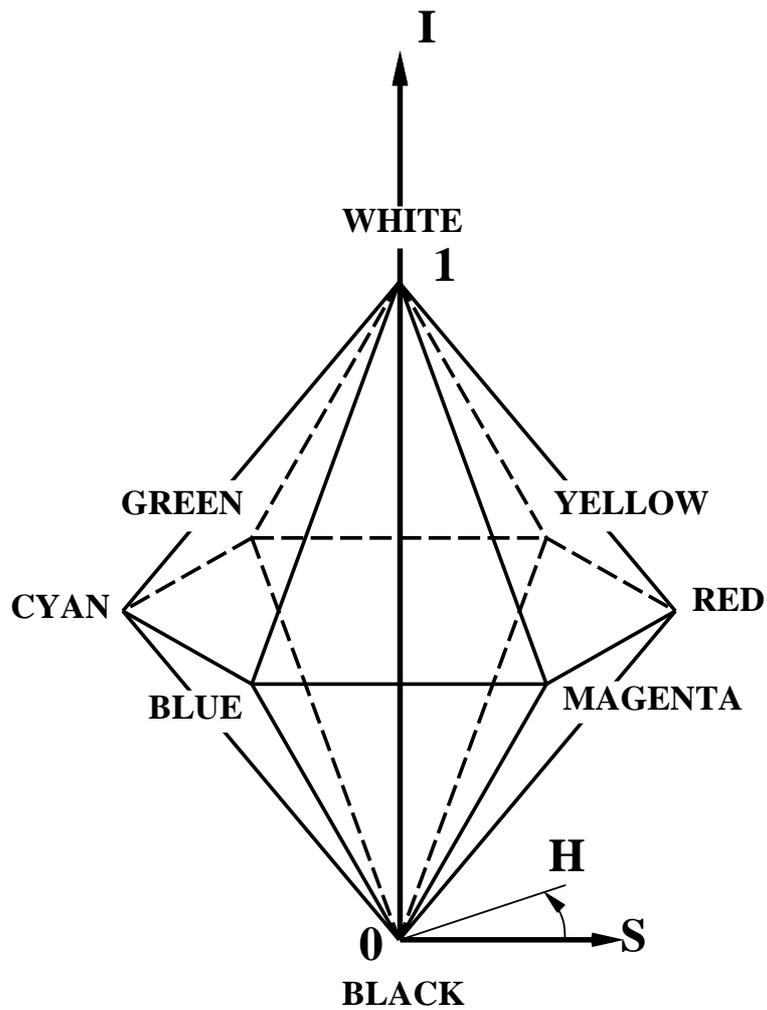
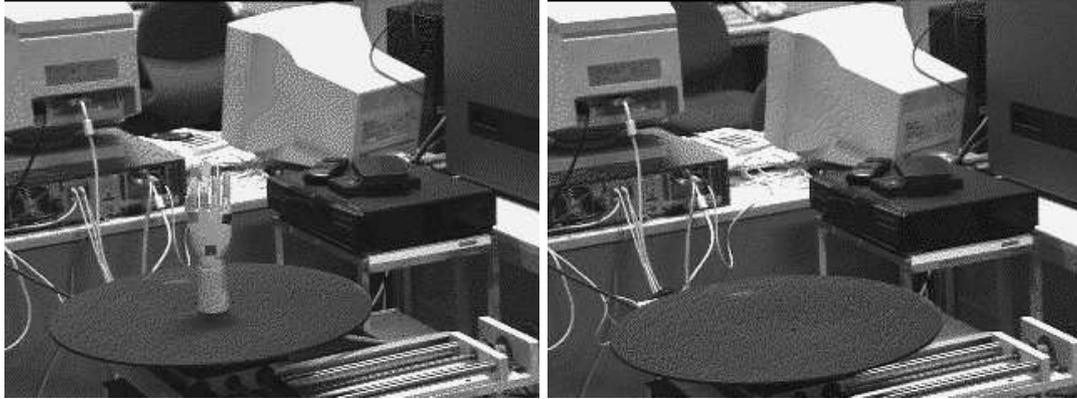
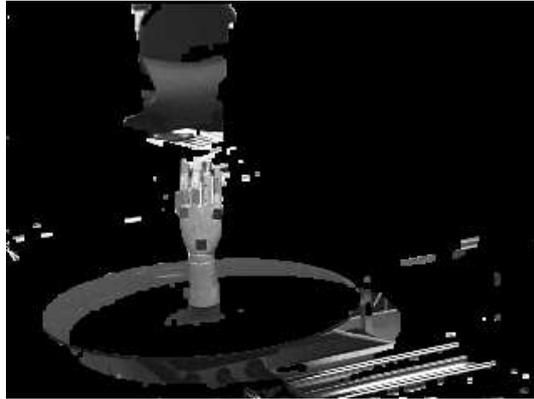


図 3.1 HSI 双六角錐カラーモデル



[i] 入力画像

[ii] 背景画像



[iii] 背景との差分画像

図 3.2 青色領域の抽出例 1

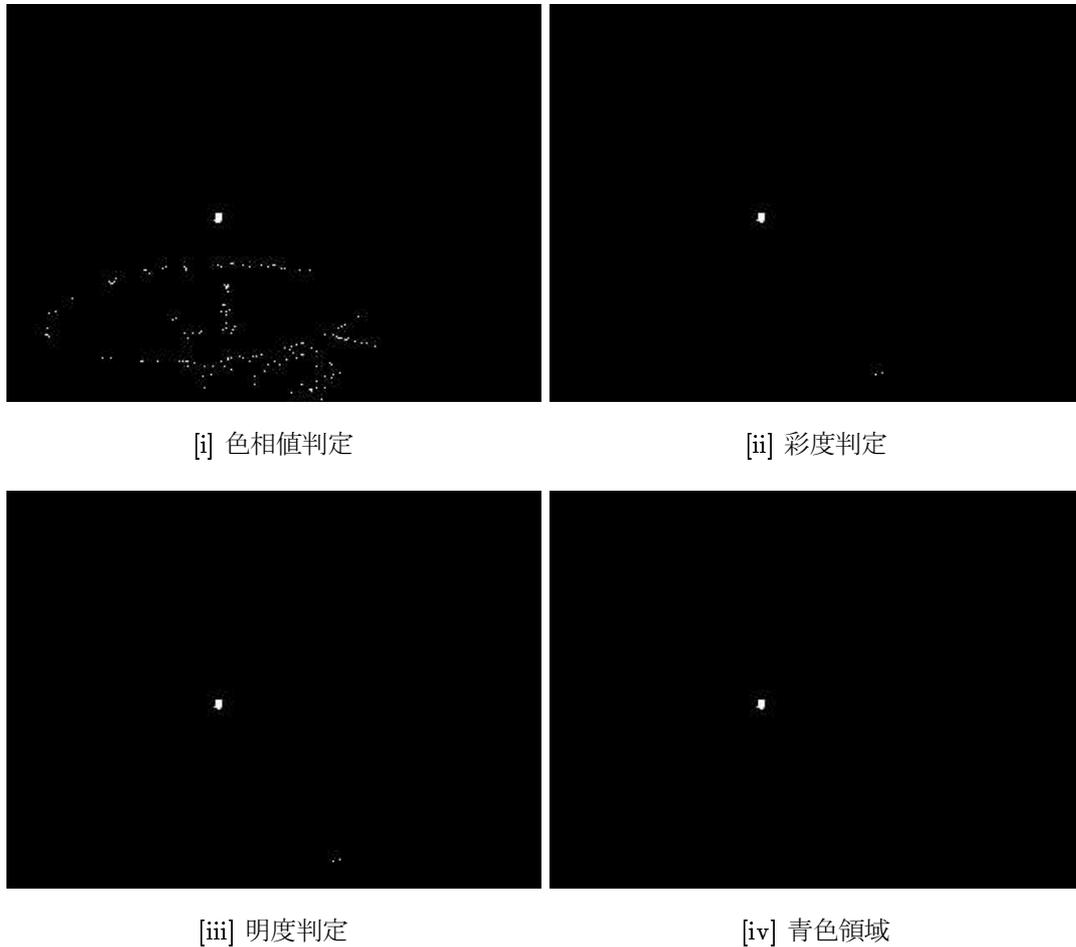


図 3.3 青色領域の抽出例 2

HSI 表色系を用いることで、各画素を色合い、色の鮮やかさ、明るさに分けて理解することが可能となる。

HSI 表色系は色相値 H 、彩度 S 、明度 I で表され、図 (3.1) の様な 6 角錐を 2 つ合わせたような範囲の値を持ち、色相値、彩度、明度は円筒座標系の円周方向、半径方向、垂直方向の値に当てはめることができ、彩度が 0 で明度が最大値の時に白色、0 の時に黒色、彩度が最大値を持つ時に色相値の値を 0 から 2π まで増加させていくと $\frac{1}{3}\pi$ 毎に色が赤、黄色、緑、シアン、青、マゼンタと変化して行く。

同色の物体を撮影した画像をこの表色系を用いて表すと、照明条件が異なっても同じ物体は同じ色相値を持っているはずである。

上記の性質を利用して以下の手順でマーカの領域の抽出を行う。

1. (背景領域の除去)

入力画像と背景画像の差分を用いて背景である領域の除去を行う。これによって、背景部分にマーカと間違えやすい色の領域が存在したとしても、動物体でない限り誤抽出されることはない。

2. (色相値による判定)

抽出しようとする色の色相値と画像での各画素の色相値とを比べ、その距離が、ある値 th_H より大きい領域は違う色の領域であるので抽出対象から除去する。

3. (彩度と明度による判定)

彩度と明度がある閾値 th_S, th_I より小さい値を持つ領域では、ノイズの影響が大きいため同じ色の物体を撮影した領域であっても色相値がさまざまな値をとるため、誤抽出の原因となる。よって抽出の対象から除去する。

4. (収縮膨張処理)

マーカが写っている領域は微小な領域ではなく、また1つの固まった領域であるはずなので、上記の処理で抽出された領域に対し収縮膨張処理を行なうことで、微小領域を除去し、分割された領域を統合する処理を行う。

5. 以上の処理をマーカの色相値を抽出対象の閾値として、マーカの色種類の回数だけ繰り返すことにより、マーカ全色の領域を求める。

図(3.2,3.3)にこの手順を用いて画像内から青色の領域を抽出する処理を示す。

4. 実験

今回は基準となる3本のベクトルは、3本のベクトルが互いに直交し、各ベクトルの長さが等しい基準直交座標を構成する様な4つのマーカから求めることで、三次元座標の算出が簡単に行なえるようにする。この時各軸の長さをあらかじめ計っておくことで、計測された相対座標から実際の座標を求めることができる。

4.1 マーカについて

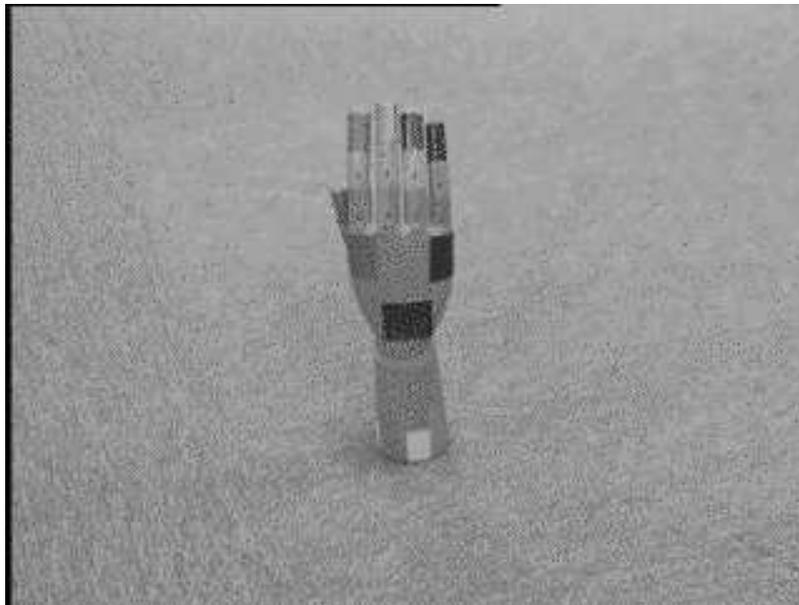


図 4.1 手のマーカの貼り方



図 4.2 基準直交座標

手のマーカは手の甲の 3 点と各指先の合計 8 点に貼る。

手のマーカの色決め方は色相値を 8 等分する赤を含む 8 色の rgb 値を計算し、その r, g, b の値の色をカラープリンタで印刷したものをマーカとして用いた。

表 4.1 に算出した r, g, b の値を示す。 r, g, b はそれぞれ $[0 \cdots 1]$ の値をもつ。

手の甲のマーカは人差し指と小指の付け根と手首の手の甲側の 3 点にマーカを貼り、各指先のマーカには撮影する方向によらずマーカの色が認識できるようにマーカを筒状にしたものを用意して、各指先に巻き付けた。マーカを手の模型に貼った状態を図 (4.1) に示す。

表 4.1 手のマーカの rgb 値

	色相値 $[0 \cdots 2\pi]$	r	g	b
赤	0	1	0	0
色 2	$\frac{1}{4}\pi$	1	0.742	0
色 3	$\frac{2}{4}\pi$	0.5	1	0
色 4	$\frac{3}{4}\pi$	0	1	0.23
色 5	$\frac{4}{4}\pi$	0	1	0.973
色 6	$\frac{5}{4}\pi$	0	0.277	1
色 7	$\frac{6}{4}\pi$	0.465	0	1
色 8	$\frac{7}{4}\pi$	1	0	0.789

また、相対座標の基準となる直交する 3 本のベクトルを構成する 4 つの点には、図(4.2) の様に色相値を 6 等分する 6 色赤、黄、緑、シアン、青、マゼンタの内、赤、緑、青、マゼンタの 4 色のマーカを貼り付けた。これらの色の r, g, b 値は次のようになる。

表 4.2 基準直交座標のマーカの rgb 値

	色相値 $[0 \cdots 2\pi]$	r	g	b
赤	0	1	0	0
緑	$\frac{2}{3}\pi$	0	1	0
青	$\frac{4}{3}\pi$	0	0	1
マゼンタ	$\frac{5}{3}\pi$	1	0	1

4.2 多視点画像を用いた三次元計測

6 つの視点から撮影した画像を用いて手に貼ったマーカの三次元位置を求める実験を行った。

表 4.3 各軸の移動量

	最大移動量	最小移動量
3 軸物体設置台 X	$\pm 250mm$	0.005mm/パルス
3 軸物体設置台 Y	$\pm 250mm$	0.005mm/パルス
3 軸物体設置台 回転	360 度	0.0025 度/パルス

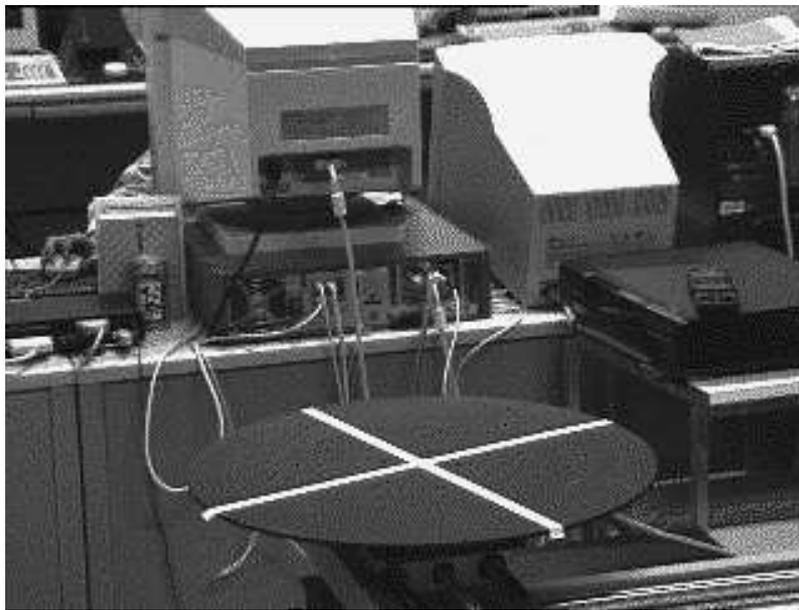


図 4.3 背景の画像

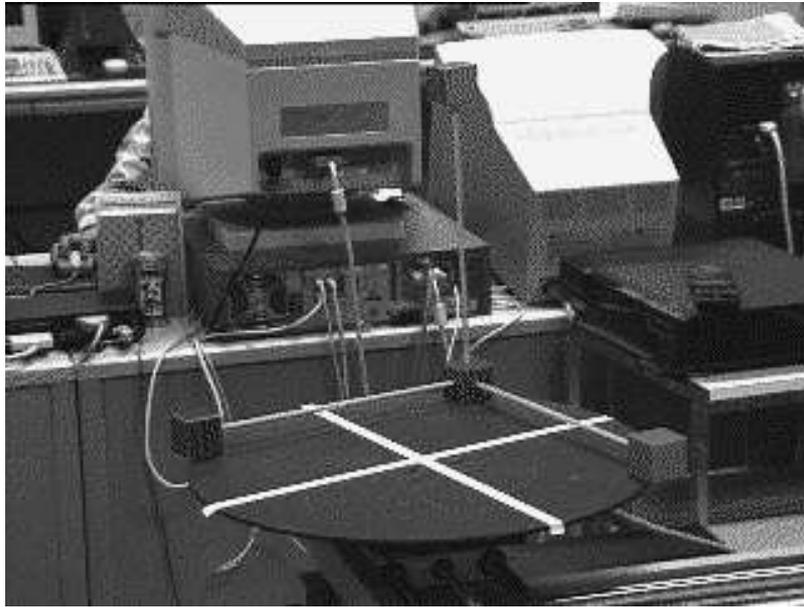


図 4.4 基準直交座標の画像

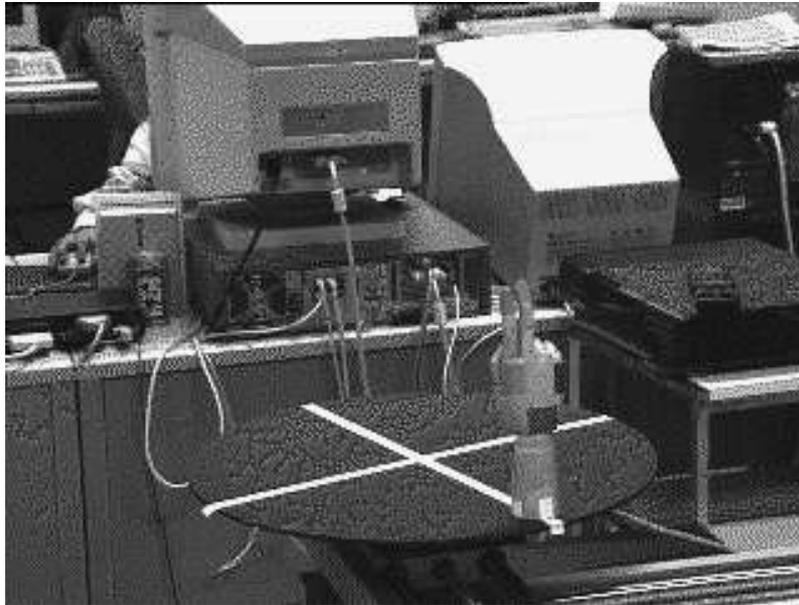


図 4.5 手の模型の画像

回転角を 0.0025 度毎に設定できるターンテーブルを 120 度ずつ回転させて、ターンテーブル上の物体を 2 台の CCD ビデオカメラを用いて撮影することによって、合計 6 視点からの画像を取得する。

まず、基準直交座標を 6 方向から撮影する。次に、基準直交座標の代わりに手の模型をターンテーブルの上に置いて、基準直交座標の場合と同じ角度で回転させて撮影することで、6 視点から撮影した画像と同じ条件の画像を取得し、これらの画像を用いて手の模型に貼った各マーカの三次元位置を計測した。図 (4.3,4.4) にこの時マーカの抽出に用いた画像の例を示す。

また、手の模型を置く位置をある方向に一定距離ずつ移動させて撮影してやることにより、計測精度の評価も行なった。図 (4.6),(4.7) は各々ある直線方向に毎回 5cm ずつ移動させて撮影しその画像より算出された三次元位置の変化を表したものである。

本実験で使用したターンテーブルの運動の詳細を表 4.3 に示す。

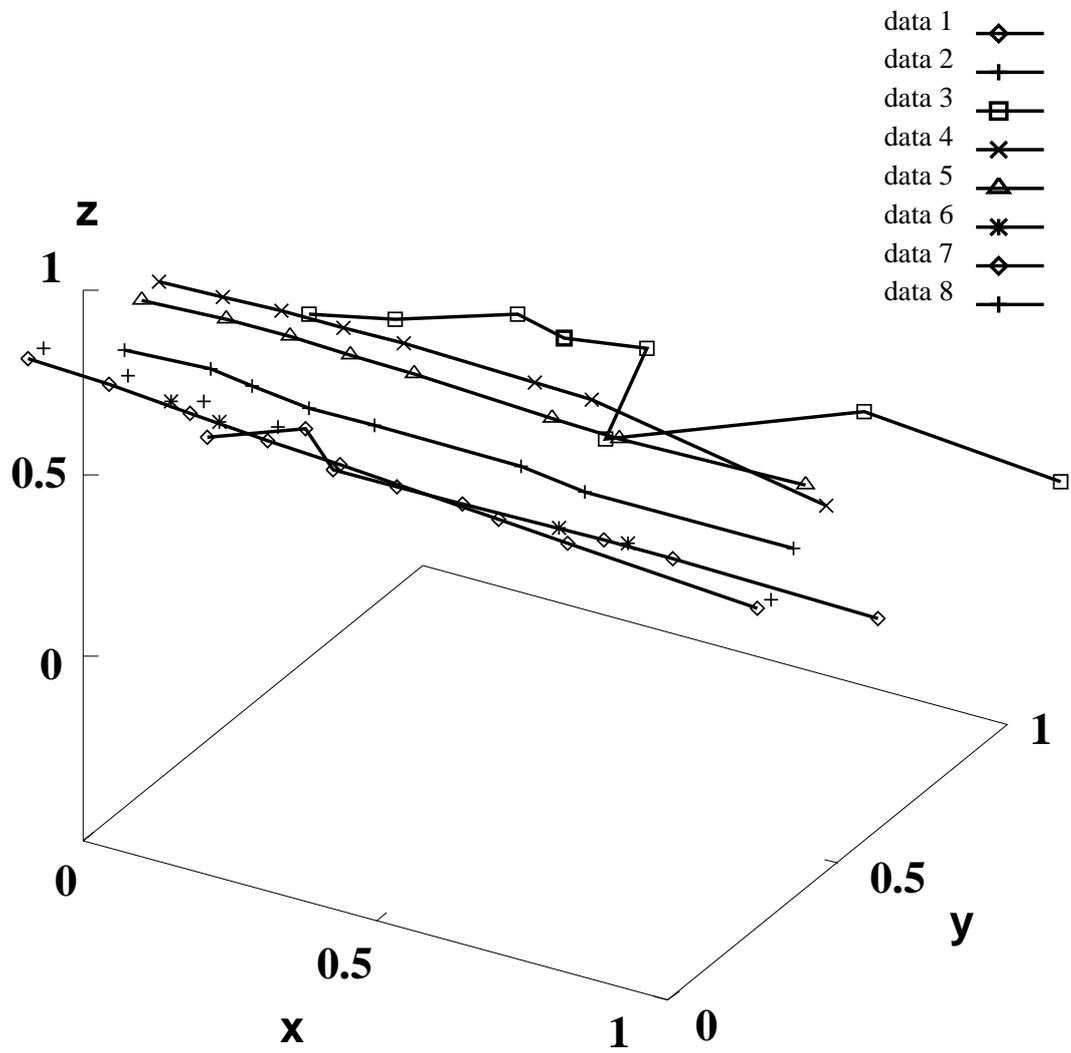


図 4.6 実験結果 1

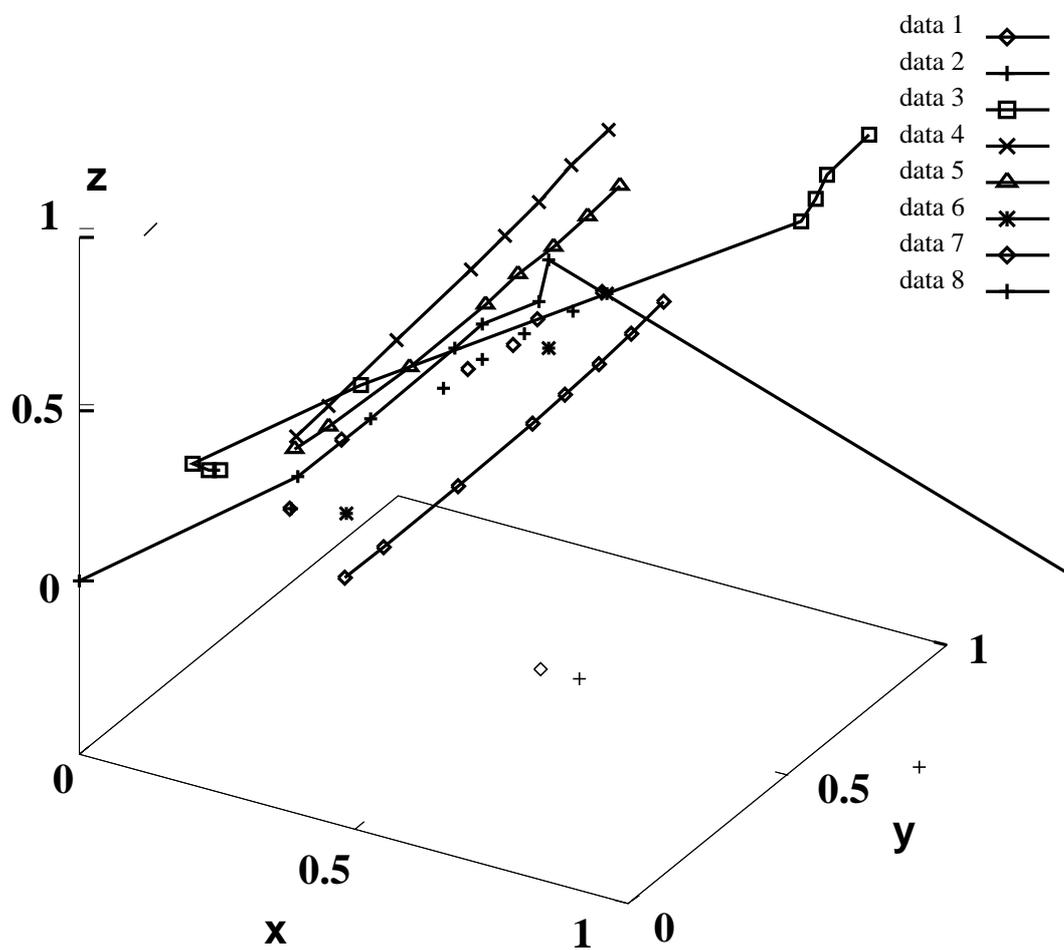


図 4.7 実験結果 2

5. まとめと今後の課題

5.1 多視点化に対する考察

今回、アフィン不変量を用いた三次元位置取得方法を用いて多数の視点の画像からマーカの三次元位置を求めた。これにより一方向からの撮影では同時に撮影できないようなセルフオクルージョンの起きている物体上に貼ったマーカの三次元位置を、三次元情報の統合を行なう事なく求めることができた。

今回は、マーカ領域の抽出に失敗したデータも三次元位置の算出の時に用いるデータに含んでしまっている。これにより、抽出に失敗したデータを含む計算結果の誤差は大変大きなものになっている。

そこで、今後は誤差を大きくするようなデータは三次元位置の算出には用いないような方法を考えていく必要がある。

5.2 色の情報を用いたマーカの対応付けに関する考察

表 5.1 基準直交座標のマーカの色相値

	赤	緑	青	マゼンタ
理論値	0	0.67π	1.33π	1.67π
カメラ 1,2	0	0.54π	1.27π	1.56π

表 5.2 各指のマーカの色相値

	赤	色 2	色 3	色 4	色 5	色 6	色 7	色 8
理論値	0	0.25π	0.5π	0.75π	π	1.25π	1.5π	1.75π
カメラ 1	0.03π	0.34π	0.51π	0.63π	π	1.23π	1.30π	1.66π
カメラ 2	0.05π	0.26π	0.53π	0.63π	1.04π	1.19π	1.27π	1.63π

また、色の情報を使うことによって多数のマーカの対応付けを一度に行うことができた。

今回、手に貼ったマーカの色は色相値を 8 等分する色に決めたが、カメラで撮影した画像に写ったマーカから求めた色相値は印刷時に決めた色相値とは違う値で得られた。ある画像から得られたマーカの色相値を同じカメラで撮影した別の画像でのマーカの抽出に適用すればマーカの抽出を行なうことができた。

手に貼ったマーカの抽出に用いた色相値をみると、表 5.2 の様に緑、青に色相値が近い色 3 と色 4、色 6 と色 7 は似通った色相値をもつ色として印刷されてしまうので、画像に写ったマーカの色判別が難しく、色相値判別のための閾値を小さくして、カメラ 1 とカメラ 2 で違う色相値を用いて抽出する必要があった。

基準直交座標に貼ったマーカは色相値判別のための閾値が比較的大きくて、カメラ 1 とカメラ 2 で同じ色相値で抽出を行なった場合でも安定した抽出が行なえたが、色相値の理論値と画像から得られる色相値とはやはり違う値であった表 5.1。

赤、緑、青に近い色における印刷時の色相値の距離は離して、現在は印刷時の色相値を等分に分けるように決めているマーカの色を等分割でない色相値を持つマーカで色の判別を行ないやすい色を求める必要がある。

参考文献

- [1] 中嶋正之, 河野哲也, ” バーチャルリアリティ世界構築のための指の動き検出法”, 情処研資, CG93-2, pp.7-12(1993)
- [2] Y. Kuno, M. Sakamoto, K. Sakata, and Y. Shirai, “Vision-based human interface with user-centered frame”, *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf on Intelligent Robots and Systems*, pp.2023-2029, 1994.
- [3] 島田 伸敬、白井 良明、久野 義徳、” 三次元モデルを用いた二次元動画像からの手指姿勢の推定” 信学技法, PRU94-4, pp.25-32 (1994)
- [4] 中嶋 正之, 柴 広有, ” 仮想現実世界構築のための指の動きの検出法” , 信学論 (D-II), Vol.J77-D-II, No.8, pp.1562-1570(1994-8)
- [5] 吉野 和芳、川嶋 稔夫、青木 由直、” カラー手袋を用いた手話認識手法” 、コンピュータビジョン, 95-8, pp.51-58
- [6] 渡辺 賢、岩井 儀雄、八木 康史、谷内田 正彦、” カラーグローブを用いた指文字の認識” 信学技法 PRU95-134 (1995-09), pp.79-84