

てのひらをマーカーにしたCGへのインタラクション可能な複合現実感システムの構築

畑中雅樹^{1,a)} 菅谷保之^{1,b)}

概要: 本研究では、てのひらをマーカーにしたCGへのインタラクション可能な複合現実感システムを提案する。Argyrosらは肌色領域に一つの楕円を当てはめることにより、肌色領域の追跡を実現した。本研究では、てのひらを複数の楕円の集合として定義することでArgyrosらの方法を拡張して、より柔軟なてのひら形状への対応、および追跡の安定化を実現する。そして検出したてのひら領域に対して射影変換に基づく方法により、カメラの位置姿勢を推定する。また、カメラの位置姿勢推定のための手形状とは別に、CGへのインタラクション用の手形状を定義して追跡することで、CGへのインタラクションを実現する。提案手法に基づいてシステムを構築し、システムの有用性を確認した。

Hand marker mixed reality system by robust hand tracking

MASAKI HATANAKA^{1,a)} YASUYUKI SUGAYA^{1,b)}

Abstract: We propose a new mixed reality system, which uses a human hand as a marker and can interact for a superimposed CG object. Argyros et al. proposed a skin-color tracking method by fitting an ellipse to the detected skin-colored regions. We develop the Argyros's method by defining a human hand as a combination of multiple ellipses and realize robust tracking for various human hand shapes. We compute a camera position and pose based on the homography based method by detecting four feature points on the tracked human hand. We also realize an interaction for a superimposed CG object by defining an other hand shape. We developed a mixed reality system based on our proposed method and confirmed efficiency of our proposed method.

1. はじめに

近年、複合現実感技術を用いたユーザインターフェースに関する研究が盛んに行われている。特に人の手をマーカーとした複合現実感システムは、人間の直感と親和性の高いインタラクションを実現しやすいため、HandyAR[8]をはじめとして、手をマーカーとした複合現実感システムに関する研究が多くなされている[5][7][9]。Leeらは画像から抽出した肌色領域の輪郭線から指先を検出し、その指先の位置情報をもとに手の3次元位置姿勢を推定した[8]。水地らは指先ではなく指間部位置を手の3次元位置姿勢推定に用いることで、指の曲げ伸ばしに頑健な手法を提案した[9]。加藤らは、てのひらの3次元CGデータから作成した複数のてのひら形状の見えデータと画像から抽出したてのひら領域を照合することで、手の3次元位置姿勢を推定

した[7]。また、加藤らは指を閉じた手形状を対象として、指の間に検出される線分を利用する手法を提案した[5]。

これらの手法は、マーカーに使用するてのひらに隠れが生じることを考慮していないため、なんらかの原因でてのひらに隠れが生じた場合には手の3次元位置姿勢推定（もしくはカメラの位置姿勢推定）が不安定になる。マーカーとして使用する手とは別の手を用いたインタラクション手法は人間の動作として非常に自然であるが、インタラクションを行う手によってマーカーとして利用する手領域が隠れてしまうことが考えられる。

そこで本研究では、重なり頑健な肌色追跡手法であるArgyrosら[1]の手法を拡張することで、インタラクションによる手の隠れに頑健な複合現実感システムを構築する。Argyrosらは肌色領域に対して一つの楕円を当てはめて、その楕円を利用して手領域の追跡を行った。我々は手領域に対して複数の楕円を組み合わせさせたモデルを作成し、このモデルに基づいて手領域を追跡することで、より頑健な追跡を実現する。

¹ 豊橋技術科学大学情報・知能工学系
Department of Computer Science and Engineering, Toyohashi University of Technology

a) hatanaka@iim.cs.tut.ac.jp

b) sugaya@iim.cs.tut.ac.jp

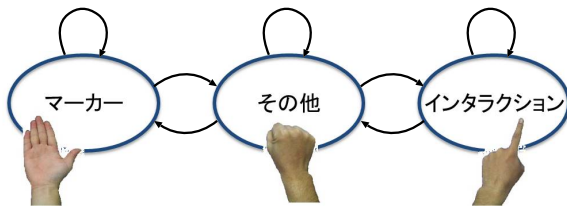


図 1 使用する手形状とシステム内での手形状の状態遷移

2. 提案システムの概要

本研究では、HMD に取り付けられたカメラを用いて空間を撮影し、片方の手をマーカー、もう片方の手をインタラクションに用いる複合現実感システムを考える。本研究で使用する手形状の判定手法は物体の 3 次元回転に弱いため、動作の安定化のために手形状の状態を図 1 に示す状態遷移モデルで管理する。これにより、一度「マーカー」もしくは「インタラクション」と認識されればその状態を維持し、それぞれもう一方の状態へ遷移させるためには「その他」の状態を経由する必要がある。

手領域の検出は YCrCb 色空間での肌色検出によって行い、Argyros ら [1] の手法を拡張した複数の楕円を組み合わせた手形状モデルを用いて追跡を行う。そして、マーカーとして検出した手領域から抽出した 4 点の特徴点座標を用いて、Kato ら [6] と同様の方法によりカメラの位置姿勢を推定して CG を合成する。本研究で構築するシステムの流れを以下に示す。

- (1) 撮影した画像から肌色領域を抽出し、手領域を推定する。既に手形状モデルが定義されている場合には、定義されたモデルを用いて手領域の追跡を行う。
- (2) 得られた手領域の形状を識別する。
- (3) 識別した手形状に応じて、検出した手領域に対して楕円を組み合わせた手形状モデルを定義する。
- (4) マーカーの手形状から特徴点を取得し、カメラの位置姿勢を推定する。
- (5) 推定したカメラの位置姿勢をもとに CG を合成する。
- (6) インタラクション用の手形状が検出された場合は CG にインタラクション処理を行う。

3. 肌色領域の検出

肌色領域の検出は、事前に学習画像として用意したてのひらの画像から YCrCb 色空間の Cr と Cb 値のヒストグラムを作成しておき、入力画像に対してバックプロジェクション法（逆投影法）を適用することで行う。

3.1 肌色検出ヒストグラムの作成

学習データとしててのひらの肌色領域を撮影した画像を

用意し、RGB 値を YCrCb 値に変換する^{*1}。そして、8 ビットの画素値を N クラスに分割し^{*2}、学習データについて Cr, Cb 値に対する 2 次元ヒストグラムを作成する。最後にヒストグラムの度数を最大度数が 1 になるように正規化することにより、ヒストグラムの度数をその画素が肌色である確率として扱う。

3.2 バックプロジェクションによる肌色領域の検出

まず、入力画像をガウシアンフィルタで平滑化し、画素値を YCrCb 値に変換する。そして、事前に作成した肌色検出ヒストグラムを用いてその画素の肌色確率を求める。これによって得られる肌色確率画像に対して、しきい値を用いた 2 値化を行うことで肌色領域を検出する。また、検出した肌色領域に対してモルフォロジー処理を行い、細かい領域を消去した後、ラベリング処理を行って連結領域を抽出する。さらに、設定したしきい値^{*3}以上の大きさの肌色領域のみを残し、追跡処理の対象とする。以下の説明では、この連結した肌色領域をプロブと呼ぶことにする。

3.3 肌色検出ヒストグラムのオンライン学習

肌色領域の検出精度は照明環境の変化によって変化するため、システムの動作中に得られた肌色検出結果を用いて肌色検出ヒストグラムをオンラインで修正していくことで、システムの動作中に起こる照明変化に対する肌色検出の安定化を実現する。

具体的には、手領域検出後に手領域と背景領域に対して 3.1 節と同様の方法でヒストグラムを作成する。そして背景領域のヒストグラムをしきい値判定し、背景に頻出する画素値を除外した手領域のヒストグラムを肌色検出ヒストグラムに足し合わせることでヒストグラムを更新する。

4. 肌色領域の追跡

マーカーとして使用する手領域とインタラクション用に使用する手領域が重なった場合でもそれぞれの領域を区別して処理するために、本研究では、Argyros ら [1] の手法を拡張した手法を用いて肌色領域の追跡を行う。

Argyros らは肌色領域に対して一つの楕円を当てはめて、その楕円内に検出した肌色領域のプロブが含まれているかを調べることで、肌色領域の追跡を実現した。本研究で構築するシステムでは、3 つの異なる手形状を区別して追跡するために Argyros らの方法を拡張して、異なる手形状に対してそれぞれ複数の楕円を組み合わせたモデルを定義して、このモデルを用いて肌色領域の追跡を行う。追跡するてのひら領域を複数の楕円で表現したものを以後、オブジェクトモデルと呼ぶ。

*1 本研究では Cr, Cb の値を 0 から 255 の 8 ビットの整数として変換した。

*2 実験では $N = 32$ とした。

*3 実験ではしきい値を 500 とした。

4.1 肌色領域の追跡

プロブ内の各画素とオブジェクトモデルを構成する楕円との距離を計算し、オブジェクトモデル内にプロブが含まれているかを判定することで肌色領域の追跡を行う。

プロブ内の画素 $p(p_x, p_y)$ とオブジェクトモデルを構成する楕円 $e(c_x, c_y, \alpha, \beta, \theta)$ との距離 D を計算する手法を説明する。ここで、 c_x, c_y は楕円の中心、 α, β は楕円の長軸と短軸の長さ、 θ は楕円の角度を表す。

- (1) 図 2(a) から図 2(d) のように楕円 e を原点を中心とする単位円に変換する。このとき、変換後の点 p' の座標 (p'_x, p'_y) は式 (1) により求める。

$$\begin{aligned} p'_x &= \frac{(p_x - c_x) \cos \theta - (p_y - c_y) \sin \theta}{\alpha} \\ p'_y &= \frac{(p_x - c_x) \sin \theta + (p_y - c_y) \cos \theta}{\beta} \end{aligned} \quad (1)$$

- (2) 楕円 e を変換した単位円上にある、点 p' との最近傍点 $q'(q'_x, q'_y)$ を式 (2) により求める。

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{p'_y}{p'_x} \right), q'_x = \cos \phi, q'_y = \sin \phi \quad (2)$$

- (3) 点 q' の変換前の座標系における座標 $q(q_x, q_y)$ を式 (3) から求める。

$$\begin{aligned} q_x &= q'_x \alpha \cos(-\theta) - q'_y \beta \sin(-\theta) + c_x \\ q_y &= q'_x \alpha \sin(-\theta) + q'_y \beta \cos(-\theta) + c_y \end{aligned} \quad (3)$$

- (4) 楕円 e と点 p のユークリッド距離 D を式 (4) から求める。

$$D = \begin{cases} \sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2}, & \sqrt{p_x'^2 + p_y'^2} > 1 \\ 0, & \sqrt{p_x'^2 + p_y'^2} = 1 \\ -\sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2}, & \sqrt{p_x'^2 + p_y'^2} < 1 \end{cases} \quad (4)$$

求めた距離 D の値が 0 よりも大きいかどうかで点 p が楕円の内外のどちらにあるかを判定できる。またオブジェクトモデルとプロブ内の画素との距離は、オブジェクトモデルを構成するすべての楕円との距離を計算し、その最小値をオブジェクトモデルとの距離とする。

4.2 オブジェクトモデルによる肌色領域の追跡

検出したすべてのプロブに対して、プロブ内の画素とオブジェクトモデルとの距離を計算して、プロブ内の画素が一つでもオブジェクトモデルの内に存在する場合は、プロブをそのオブジェクトモデルに割り当てる。

次にオブジェクトモデルに注目し、そのオブジェクトモデルに複数のプロブが割り当てられている場合には、オブジェクトモデルに含まれるプロブ内の画素数が最大なプロブのみをそのオブジェクトモデルに割り当てる。続いてブ

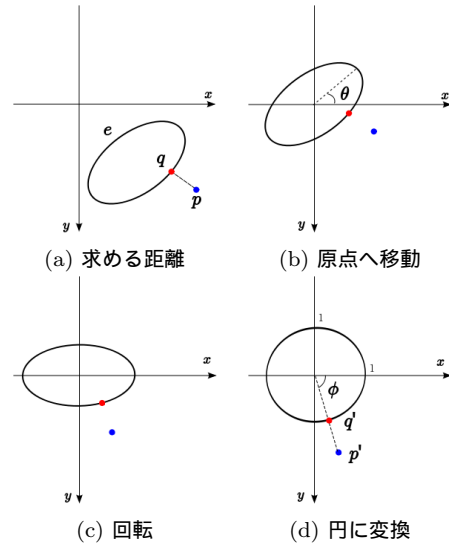


図 2 楕円と点の距離

ロブに注目し、そのプロブに割り当てられたオブジェクトモデルが複数ある場合には、以下の規則に従ってプロブを分割してそれぞれのオブジェクトモデルに割り当てる。

規則 1. オブジェクトモデルを構成する楕円に含まれる画素はそのオブジェクトモデルに割り当てる。

規則 2. どのオブジェクトモデルを構成する楕円にも含まれない画素は、オブジェクトモデルとの距離が最小となるものへ割り当てる。

なお、手領域を追跡する手がかりとするオブジェクトモデル位置は、カルマンフィルタによる線形予測を用いてフレームごとに更新する。

4.3 オブジェクトモデルの生成と削除

プロブ内にオブジェクトモデルが割り当てられていない場合は、次節で説明する手形状の識別を行った後、その手形状に対する新しいオブジェクトモデルを新規に定義する。また、オブジェクトモデルが画像領域外に移動するか、オブジェクトモデルにプロブが割り当てられていない場合は、そのオブジェクトモデルを削除する。

5. 手形状の識別

オブジェクトモデルを用いて追跡した肌色領域からのひら領域のみを抽出し、Hu 不変モーメント [4] を用いて手形状の認識を行う。

5.1 手首の分離

検出した手領域であると仮定する肌色領域をてのひらと手首から腕側の領域に分割する。まず、肌色領域の輪郭からの最大距離を手の中心とする。次に、肌色領域内の画素の分布について主成分分析を行い、第 1 主成分方向をにより手の角度を計算し、手の角度から一定角度方向にある輪郭点を手首位置として、手首点を結ぶ線分で肌色領域をてのひら領域と手首領域に分離する (図 3)。なお、手形状の

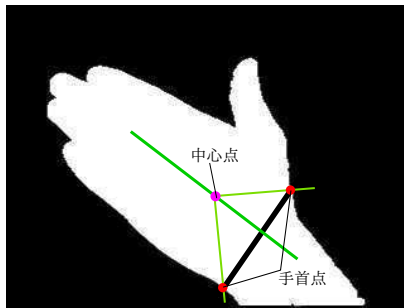


図 3 肌色領域の分離

認識は分離した手のひら領域のみを用いるが、オブジェクトモデルの定義は手のひら領域と手首領域を合わせて一つのモデルとして定義する。

5.2 Hu 不変モーメントによる手形状識別

手首領域を分離した手領域の輪郭形状から得られる Hu 不変モーメント [4] を学習画像の Hu 不変モーメントと比較し、手形状を推定する。Hu 不変モーメントとは、画像面における輪郭の平行移動、スケーリング、回転に不変なモーメントであり、得られる手形状が一定ではない本システムとの親和性が高い。しかし、Hu 不変モーメントは物体の 3 次元回転に対して不変でないため、手形状の識別を図 1 に示した状態遷移図に従って行うことでこの問題に対応する。

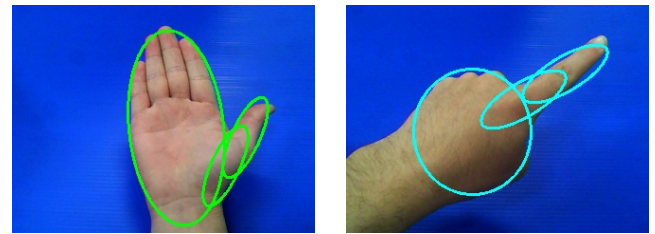
6. オブジェクトモデルの定義

識別した手形状ごとにオブジェクトモデルの定義 (図 4) を行う。

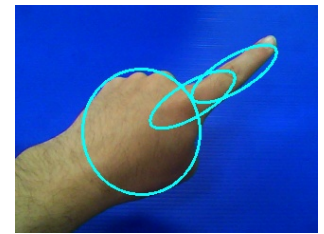
6.1 マーカー手形状

肌色領域から親指領域を分離し、それぞれの領域の輪郭線を入力として楕円当てはめる。本研究では、楕円の当てはめに Fitzgibbon ら [2] の楕円当てはめ手法を用いた。次に、親指領域に定義した楕円と同じ形状の楕円を親指領域を分離する際に用いた 2 点の中点を中心として定義する (図 4(a))。以下に親指領域の分離の手順を示す。

- (1) 入力された手領域の輪郭線を抽出し、Sklansky[10] のアルゴリズムを用いて輪郭の凸包を検出する。
- (2) 検出した凸包から Homma ら [3] の手法を用いて輪郭の凹状欠損を検出する。ここで、凹状欠損とは輪郭と凸包の間の領域を表す。
- (3) 凸包から最も離れた凹状欠損内の点を検出する (以降はこの点を凹点と呼ぶ)。
- (4) 検出した凹点 $C_\alpha, \alpha = 1, \dots, N$ について、隣接する 2 点によってなす角 ψ_α を計算する。
- (5) ψ_α に対して、凹点 C_α に隣接する 2 点との距離がしきい値以上で、かつ ψ_α がしきい値で定めた範囲内にある場合に、その凹点 C_α を親指分離点の候補とする。
- (6) 検出した親指分離の候補点の数に応じて親指分離点を



(a) マーカー



(b) インタラクション



(c) その他



(d) 手首

図 4 オブジェクトモデルの定義

決定する。

- 候補点が 0 の場合
前フレームの親指候補点が存在する場合には、その点に最も近い凹点を親指分離点とする。そうでない場合には、この肌色領域をその他の形状としてオブジェクトモデルを定義する。
- 候補点が 1 つの場合
その点を親指分離点とする。
- 候補点が 2 つ以上の場合
前フレームの親指候補点が存在する場合には、その点に最も近い凹点を親指分離点とする。そうでない場合には、隣接する凹点との距離が最大となる点を親指分離点とする。

- (7) てのひら領域を分離する際に検出した 2 点のうち、親指分離点との距離が近い点と親指分離点を結ぶ線分によって親指領域を分離する。

6.2 インタラクション手形状

肌色領域から人差し指領域を分離し、それぞれの領域の輪郭線を入力として楕円当てはめる。人差し指領域では、手が重なったときの人差し指領域の楕円の大きさを一定にするために、楕円形状を人差し指領域分離点組の中点を基準とした楕円に変換する。そしてインタラクションのために別の手との重なりが生じたときは手が重なる直前の楕円データを元に楕円を定義する。図 4(b) に定義したオブジェクトモデルを示す。

人差し指の分離は、まず肌色領域の画素の主成分分析を用いて手の方向を正規化した後、水平方向に肌色画素のヒストグラムを作成して、その度数が急激に変化する位置で行う。

6.3 その他手形状

肌色領域に対して楕円当てはめ手法により 1 つの楕円を

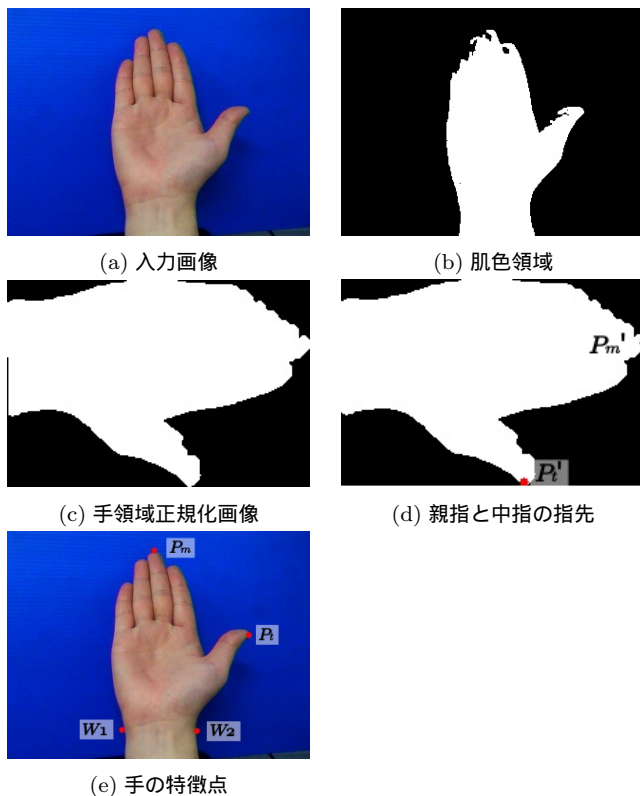


図 5 特徴点の取得

当てはめる (図 4(c)).

6.4 手首領域のモデル定義

まず、手首領域の輪廓に対して1つの楕円を当てはめる。次に手首の関節に、てのひら領域を分離する際に用いた2点の中心を中心、2点間の距離を直径とする円を定義する。図 4(d) に手首に対して定義したオブジェクトモデルを示す。ただし、手首領域のモデルは単独では利用せずにマーカー、インタラクション、その他の手形状モデルと合わせてそれぞれのオブジェクトモデルとして扱う。

7. カメラ位置姿勢の推定

7.1 カメラの位置姿勢推定に用いる点の取得

カメラの位置姿勢推定は Kato ら [6] の射影変換に基づいた方法を用いる。そのための特徴点として、てのひらの分離に使用した2点、親指の指先点、中指の指先点を用いる。親指の指先点と中指の指先点を検出する手順を以下に示す。

- (1) 入力画像 (図 5(a)) からマーカー手形状の肌色領域 (図 5(b)) を取得し、手の中心を原点として主成分分析により求めた角度 ϕ を元に肌色領域を回転し、肌色領域部分を抜き出すことで手領域正規化画像 (図 5(c)) を作成する。
- (2) 手領域正規化画像の下端の画素を左右の画面端から走査し、肌色領域となる初めの点をそれぞれ取得する。これらの点の中心を手領域正規化画像上の親指の指先点



図 6 肌色領域の補間

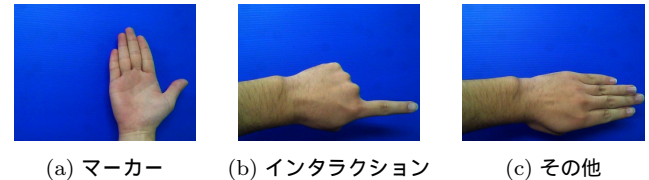


図 7 実験に使用する手形状

P'_t とする。図 5(d) に検出した P'_t 親指の指先点の位置を示す。

- (3) 手領域正規化画像の右端の画素を上下の画面端から走査し、肌色領域となる初めの点をそれぞれ取得する。これらの点の中心を手領域正規化画像上の中指の指先点 P'_m とする。図 5(d) に検出した P'_m の位置を示す。
- (4) 求めた点 P'_t, P'_m を図 5(c) 上の手の中心を原点として角度 $-\phi$ で回転し、入力画像上の手の中心座標に移動させることで、入力画像における親指の指先点 P_t と中指の指先点 P_m を求める。図 5(e) に求めた P_t と P_m の位置を示す。

7.2 フレームアウトによる隠れへの対応

本システムでは特徴点が指先にあるため、手領域がフレームアウトした場合特徴点の位置がずれる。そこで図 6(a) のように手領域がフレームアウトしている場合、図 6(c) のようにオブジェクトモデルの楕円を用いて肌色領域を補間することで特徴点位置を安定化させる。

8. 手の隠れや重なりに対するシステムの安定性の評価

図 7 に示すサイズが 320×240 の静止画像により手の隠れや重なりを再現し、カメラの位置姿勢を推定するための4つの特徴点位置の推定精度を調べた。

8.1 フレームアウトによる隠れ

図 8 のように図 7(a) の画像の上部を塗りつぶし、その境界を画面端とすることで隠れを再現する。境界が指先と接触する位置を開始位置として、毎フレームに4ピクセルずつ下方向に境界を移動させ、認識に失敗するまで各フレームでの4つの特徴点位置の RMS 誤差を調べた。RMS 誤差を図 9 に示す。

フレームアウトした部分の肌色領域をオブジェクトモデルの楕円で補間することである程度手形状を維持できているが、指先部分が最も楕円形状に近いので、この部分が隠



図 8 フレームアウトによる手の隠れの再現

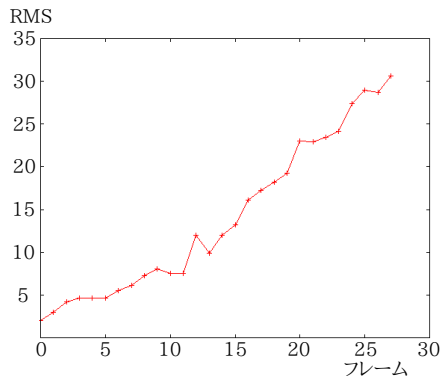


図 9 フレームアウトによる隠れに対する RMS 誤差

れてしまうと楕円近似による手形状推定の精度が落ちて RMS 誤差が大きくなっている。また、人差し指と親指間点が隠れるとマーカー手形状とは識別できなくなる。

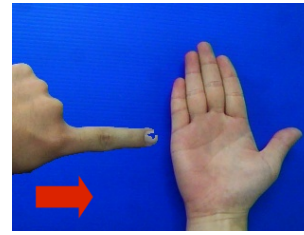
8.2 インタラクション手形状との重なり

図 10 のように図 7(a) に図 7(b) の手形状を合成することでマーカー手形状とインタラクション手形状との重なりを再現する。それぞれの手が接触していない状態を開始位置として、毎フレームに 4 ピクセルずつ左手を右に移動させて接触させた場合と、毎フレームに 4 ピクセルずつ左手を下に移動させて接触させた場合の 2 種類の動作において、手を画面端まで移動するまたは認識に失敗するまで各フレームでの 4 つの特徴点位置の RMS 誤差を調べた。

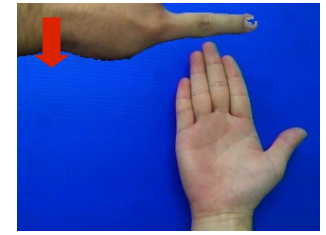
左手を右に移動して手形状の重なりを生じさせた場合の RMS 誤差を図 11(a)、人差し指の指先位置の誤差を図 11(b) に示す。また、左手を下に移動して手形状の重なりを生じさせた場合の RMS 誤差を図 12(a)、人差し指の指先位置の誤差を図 12(b) に示す。

図 11(a)、図 12(a) より、カメラの位置姿勢推定のための 4 つの特徴点座標の推定は概ね安定していると判断できる。しかし、指先が手首位置に近い場合、右手の肌色領域に左手の肌色領域の一部が含まれたことで、手首領域分離点の検出位置がずれ精度が低下した。

人差し指位置推定では、徐々に推定位置の誤差が大きくなっているが、システム内でのインタラクション処理には許容範囲内の誤差だと考えられる。人差し指領域では重なっている部分の情報は予測でしか得られず、誤差が積み重なったことが原因と思われる。

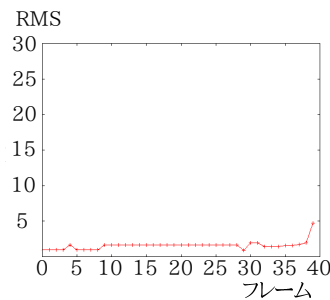


(a) 右移動

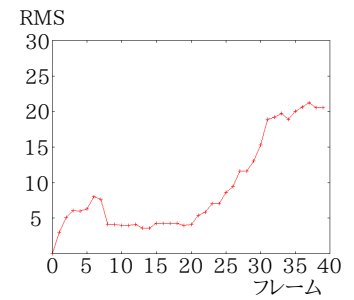


(b) 下移動

図 10 マーカー形状とインタラクション形状による重なり再現

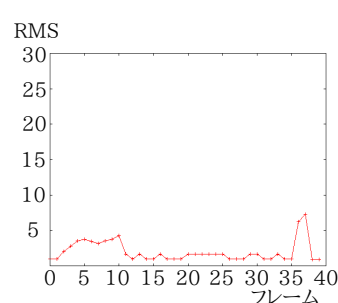


(a) 4 つの特徴点座標の RMS 誤差

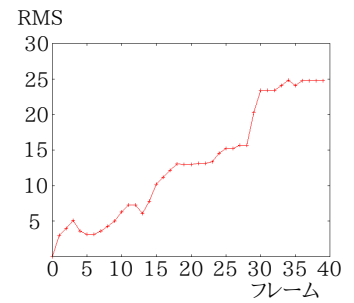


(b) 指先座標の RMS 誤差

図 11 インタラクション形状による重なり (図 10(a)) に対する RMS 誤差



(a) 4 つの特徴点座標の RMS 誤差



(b) 指先座標の RMS 誤差

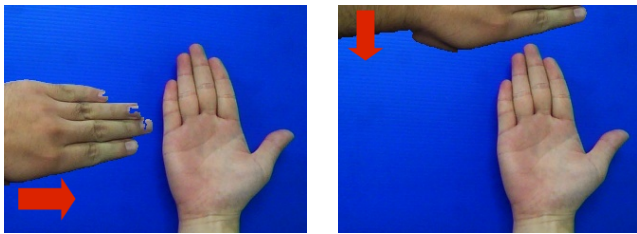
図 12 インタラクション形状による重なり (図 10(b)) に対する RMS 誤差

8.3 その他手形状との重なり

図 13 のように図 7(a) に図 7(c) の手形状を合成することでマーカー手形状とその他手形状との重なりを再現する。それぞれの手が接触していない状態を開始位置として、毎フレームに 4 ピクセルずつ左手を右に移動させて接触させた場合と、毎フレームに 4 ピクセルずつ左手を下に移動させて接触させた場合の 2 種類の動作において、手を画面端まで移動するまたは認識に失敗するまで各フレームでの 4 つの特徴点位置の RMS 誤差を調べた。

左手を右に移動し、その他形状による重なりが生じた場合の RMS 誤差を図 14(a) に示す。左手を下に移動し、その他形状による重なりが生じた場合の RMS 誤差を図 14(b) に示す。

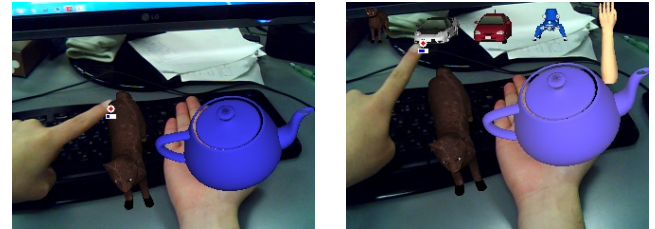
その他形状による重なりの場合も、インタラクション形状による重なりの場合と同様の結果が得られた。しかし、重なる部分が大いいため、こちらの方が誤差が大きくなった。特に、右手の指先が重なっているときに誤差が大



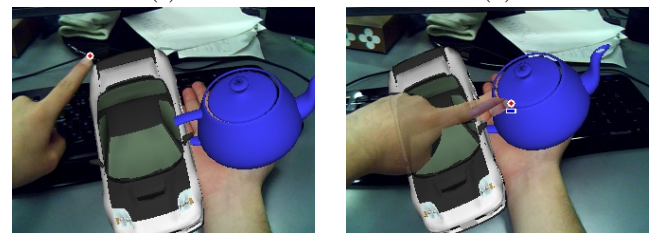
(a) 右移動 (b) 下移動
図 13 マーカー形状とその他形状による重なり再現



(a) (b)



(c) (d)

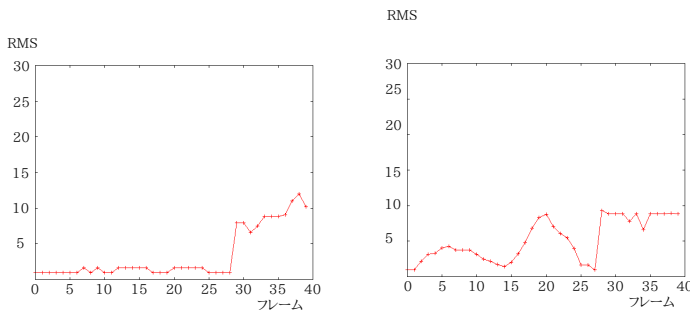


(e) (f)



(g) (h)

図 15 アプリケーション実行例



(a) 右移動の RMS 誤差 (b) 下移動の RMS 誤差

図 14 その他手形状による重なりに対する RMS 誤差

きくなった。これは、掌領域に楕円を当てはめるときに指先が最も楕円形状を特徴的に表していることが原因であると考えられる。

9. アプリケーションの構築

提案手法の有用性を調べるため、アプリケーションを作成した。このアプリケーションでは、初めは図 15(a) のように、マーカー上に猫の 3D モデルとティーポットの 3D モデルが表示される。また、左手がインタラクション手形状として識別されると、図 15(b) のように指先に赤い円が描画される。この円をポインタと呼ぶ。ポインタを 3D モデルに重ねることでインタラクションが可能となる。図 15(c) のように猫の 3D モデルにポインタを数フレームを重ねると、図 15(d) のように他の 3D モデルの候補が現れる。現れた 3D モデルの候補にポインタを数フレームを重ねると、図 15(e) のようにそのモデルをマーカー上に表示することができる。同様に、図 15(f) のようにティーポットの 3D モデルにポインタを数フレームを重ねると、図 15(g) のように他の色のティーポットの候補が現れる。このとき、インタラクション手形状のオブジェクト仮説の楕円モデルと 3D モデルが重なった部分を半透明にすることで、容易に操作をできるようにする。他の色のティーポットの候補の 3D モデルにポインタを数フレームを重ねると、マーカー上のティーポットの色を変更することができる。これらの処理を 10fps で実行することができた。

10. まとめ

本研究ではフレームアウトやインタラクションによる手の隠れや重なりが生じて安定して手領域を追跡し、追跡

した手形状からカメラの位置姿勢を推定する方法を提案した。提案手法は、Argyros ら [1] の手法である肌色領域に楕円を当てはめて追跡する手法をもとに手形状に合わせた複数の楕円の組み合わせモデルを定義して、そのモデルを利用した手領域を追跡することで、手に隠れや重なりが生じて安定した追跡を実現した。これにより手の上に合成した CG に対してもう一方の手でインタラクションを行う際に手に重なりが生じて安定して手領域を追跡し、追跡した手領域からカメラの位置姿勢を推定することが可能となった。

実験では、フレームアウトによる隠れ、マーカー形状とインタラクション形状やその他形状との重なりが生じた場合の手領域追跡の安定性を調査し、隠れや手の重なりに対して提案手法が頑健であることを確認した。また、本手法を用いてアプリケーションを構築、毎秒 10 フレームで動作することを確認した。

謝辞: 本研究の一部は日本学術振興会科学研究費 (研究研究 B No. 23700202) の助成によった。

参考文献

- [1] A. A. Argyros and M. I. A. Lourakis, Real Time Tracking of Multiple Skin Colored Objects with a Possibly Moving Camera, Proceedings of ECCV'04, pp. 368–379, 2004.
- [2] A. Fitzgibbon, M. Pilu, and R. B. Fisher, Direct least squares fitting of ellipses, IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell., 21-5, pp. 476–480, 1999.
- [3] K. Homma, E. Takenaka, An image processing method for feature extraction of space-occupying lesions, Journal of Nuclear Medicine Vol. 26, pp. 1472–1477, 1985.
- [4] M. Hu, Visual pattern recognition by moment invariants, IRE Trans. on Information Theory, Vol. 8, pp. 179–187, 1962.
- [5] 加藤晴久, 米山暁夫, てのひらの線分検出による携帯端末向け拡張現実感システム, 映像情報メディア学会年次大会講演予稿集, 24-6, 2012.
- [6] H. Kato and M. Billinghurst, Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System, Proc. of the 2nd International Workshop on Augmented Reality(IWAR99), pp. 85–94, 1999.
- [7] 加藤喬, 近藤裕介, 甲藤二郎, 手をインターフェースとした拡張現実感システム HandyAR の開発, 電子情報通信学会研究技術報告 HIP, ヒューマン情報処理 105(533), pp. 13–18, 2006.
- [8] T. Lee and T. Hollerer, Handy AR: Markerless Inspection of Augmented Reality Objects Using Fingertip Tracking, Proc. of IEEE International Symposium on Wearable Computers(ISWC), pp. 83–90, 2007.
- [9] 水地良明, 川井秀樹, 萩原良信, 今村弘樹, 伊与田健敏, 指間部に基づく指の曲げや開閉に頑健な単眼 WEB カメラによる手の 3 次元位置および姿勢の推定, 第 42 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会, pp. 109–110, 2010.
- [10] J. Sklansky, Finding the Convex Hull of a Simple Polygon, Pattern Recognition Letters, Vol. 1, Issue 2, pp. 79–83, 1982.