

バーチャル3Dビュー： 3次元復元を行わない物体の全周表示システムの開発

三箇恵里歌^{1,a)} 菅谷保之^{1,b)}

概要：本研究では、3次元復元を行わない物体の全周表示システムを構築する。本システムはデータベース作成部と表示部から構成される。データベース作成部では、まず対象物体とマーカを同時に多くの視点から撮影する。次にマーカからカメラの位置姿勢を計算、射影変換を用いた背景差分を用いて物体領域を抽出し、これらの情報をデータベースに登録する。表示部では、マーカのみが写ったシーンを撮影し、マーカから計算したカメラの位置姿勢に対応した物体領域をデータベースから検索して、合成する。実画像実験により提案手法の有効性を確認し、構築したシステムによって物体の全周表示を実現した。

Virtual 3-D View: Developing a 360° object display system without 3-D reconstruction

ERIKA SANGA^{1,a)} YASUYUKI SUGAYA^{1,b)}

Abstract: We develop a 360° object display system without 3-D reconstruction. The system consists of a database creation part and a display part. In the database creation part, first, we take pictures of a target object with a marker from many view points. Next, we compute the camera position and pose from the marker and extract object regions by applying an image subtraction technique for images deformed by homographies. Then, we register the camera position and pose information and the extracted object appearance into a database. In display part, we take a picture of a marker and compute the camera position and pose. We search an object appearance associated with the computed camera position and pose from the database and display the image by superimposing it on the original image. Using real image experiments, we confirmed the effectiveness of our proposed method and realized the 360° object display system.

1. まえがき

物体を任意の視点から見たときの見え方を再現するとき、3次元復元を行い3次元モデルによって表示する手法 [2], [3] が提案されている。しかし、ぬいぐるみのような輪郭が曖昧な物体は特徴点の取得や深度センサーでの距離情報の取得が難しく3次元復元が困難になる場合がある。また、3次元復元した結果を三角網やボクセルなどで表現する場合も、ぬいぐるみのような輪郭が曖昧な物体を表現するのが困難である。そこで、本研究では3次元復元を行わずに物体の見え方をそのまま表示することで物体の全周の見え方を再現するシステムを構築する。

本システムはデータベース作成部と表示部から構成される。データベース作成部では、まず表示対象の物体をマーカと同時に多視点から撮影する。次に、撮影した画像に映るマーカからカメラの位置姿勢を計算する。また同時に、物



(a) 入力画像 (b) トリマップ (c) アルファマップ

図 1 入力画像とトリマップから作成されるアルファマップ。(b) のトリマップは白色が前景領域、黒色が背景領域、灰色が未知領域を表す。(c) のアルファマップは黒色を 0、白色を 1 として値をグレースケールに変換した画像である。

体領域を抽出して、これらをデータベースに登録する。表示部では、マーカのみが映ったシーンを撮影し、マーカから計算したカメラの位置姿勢に対応した物体領域をデータベースから検索して、撮影画像に合成して表示する。本システムではぬいぐるみのような輪郭が曖昧な物体を自然に合成するために物体領域の情報としてアルファマップを利用する。アルファマップは前景色と背景色の混合の割合を 0 から 1 までの実数値で表した画像のことを呼ぶ。図 1(a) に示す入力画像と図 1(b) に示すトリマップを入力として図 1(c) に示すアルファマップを生成できる。ここで、トリ

¹ 豊橋技術科学大学情報・知能工学系

^{a)} sanga@iim.cs.tut.ac.jp

^{b)} sugaya@iim.cs.tut.ac.jp

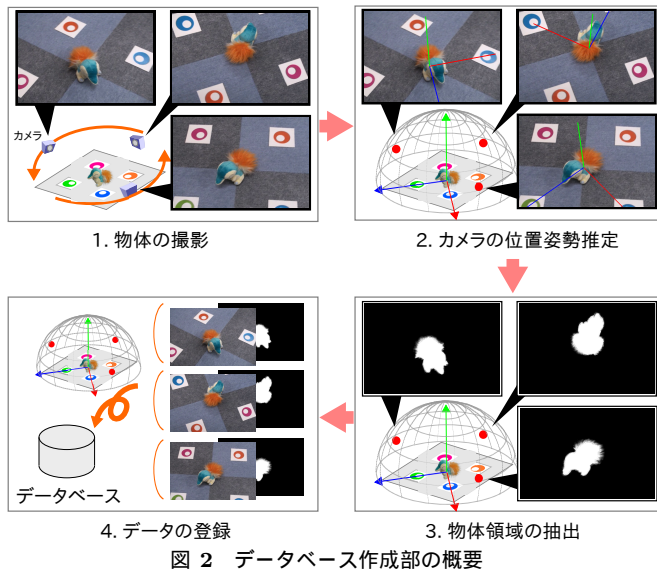


図 2 データベース作成部の概要

マップはユーザが大まかに指定した前景領域、背景領域、前景が背景が曖昧な領域である未知領域の情報を持つ画像のことを呼ぶ。

任意の視点での物体の見え方を自然に再現するために、物体を多視点から撮影しアルファマップをデータベースに登録する。しかし、アルファマップを生成するためのトリマップを手動で大量に作成するのは困難である。そのため、撮影画像から自動的にトリマップを生成する必要がある。一般的な物体領域を抽出する手法としてクロマキーがある。この手法は背景を単一色に統一した専用の撮影環境で物体を撮影し、背景色を削除することで自動的に物体領域を抽出する。それに対して本研究では、専用の撮影環境を必要としない自動的な物体領域の抽出を行う。射影変換を用いた背景差分により大まかに物体領域を抽出し、グラブカット [4] により詳細に物体領域を抽出する。多視点の画像を利用することで抽出精度の向上を図る。

2. システムの概要

本システムを構成するデータベース作成部と表示部の概要を説明する。

2.1 データベース作成部の概要

データベース作成部では、対象物体の画像やアルファマップを保持したデータベースを作成する。図 2 にデータベース作成の手順を示す。また、その説明を次に示す。

- (1) カメラの位置姿勢を推定するための 4 つ組の円形マーカの上に物体を置き、全周をビデオカメラで撮影する。このとき、背景がマーカを配置した平面のみとなるよう撮影する。
- (2) 撮影した動画の各フレームに対して今泉らの手法 [1] を用いてカメラの位置姿勢を計算する。未検出の円形マーカがある場合、カメラの位置姿勢から未検出円形

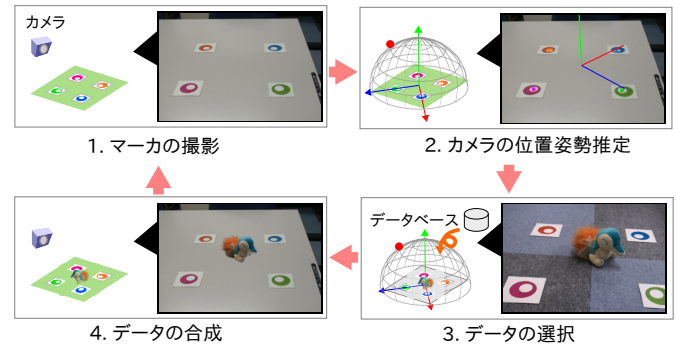


図 3 表示部の概要

マーカの中心座標を推定する。4 つ組円形マーカの中心を原点とした極座標におけるカメラの位置を計算し、偏角の組に基づき画像と円形マーカの 4 つの中心座標をデータベースに登録する。

- (3) データベースに登録した画像について、4 つ組の円形マーカの中心座標を利用し射影変換を用いた平面背景領域の推定により大まかな物体領域を抽出する。次に、グラブカット [4] を用いて詳細に物体領域を抽出し、物体領域の輪郭を膨張してトリマップを生成する。トリマップから Wang らの手法 [5] を用いてアルファマップを生成する。
- (4) 極座標におけるカメラ位置の偏角の組に基づき、生成したアルファマップをデータベースに登録する。これにより、偏角の組ごとに物体の画像、4 つ組のマーカの中心座標、アルファマップを持つデータベースが作成される。

2.2 表示部の概要

表示部では、作成したデータベースを利用して物体の全周表示を行う。図 3 に物体表示の手順を示す。また、その説明を次に示す。

- (1) カメラの位置姿勢を推定するための 4 つ組の円形マーカのみが映ったシーンを撮影する。
- (2) カメラの位置姿勢を推定する。未検出の円形マーカがある場合、その円形マーカの中心座標を推定する。
- (3) カメラの位置を極座標で表し、偏角の組を基にデータベースからデータを選択する。データベースに登録データがない場合、最も近いカメラ位置のデータを選択する。
- (4) データベースから選択した画像をマーカのみ撮影した画像に合成する。このとき、選択した画像とアルファマップを射影変換により変形することで合成する位置とサイズを合わせる。射影変換には円形マーカの 4 つの中心座標を利用する。

3. データベースの管理

物体の全周をビデオカメラで撮影すると、連続したフレームにおいてカメラ位置の移動が少ないため撮影画像が類似

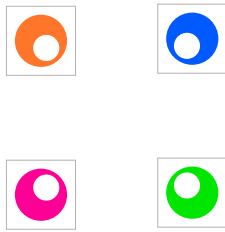


図 4 使用するマーカ

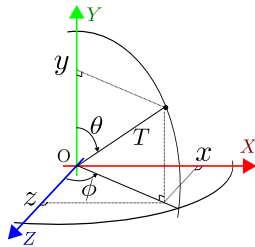


図 5 直交座標と極座標の対応.

することが多くなる. そのような画像を全てデータベースに登録するとデータベースが冗長になり, 必要な記憶容量の増加やデータ検索時間の増加を招く. マーカから推定したカメラの位置を 3 次元極座標で表し, 偏角の組を索引としてデータ登録とデータ参照を行うことで改善を図る.

3.1 カメラ位置姿勢推定

カメラの位置姿勢は, マーカによって定義する基準の座標系 (世界座標系) からの回転行列と並進ベクトルによって表す. この回転行列と並進ベクトルをカメラの外部パラメータと呼ぶ.

今泉らの手法 [1] ではカメラの外部パラメータを図 4 のような大小 2 つの円で構成された 4 つ組のマーカを用いて推定する. この 4 つ組円形マーカは 1 つでもマーカが検出できれば世界座標系が求まるため, 物体の全周を撮影するときに物体によってマーカが隠れたり, マーカが画像内に入らなかった場合においても推定できる.

3.2 極座標におけるカメラの位置

カメラのレンズ中心位置は, カメラの外部パラメータである並進ベクトルで表される. ベクトルの成分は直交座標である. この座標を世界座標系の原点を中心とした 3 次元極座標で表す. ここで, 3 次元極座標は世界座標系の原点からの距離 T , Y 軸からの角度 θ , Z 軸からの角度 ϕ で表す. 直交座標の点 (x, y, z) と極座標の点 (T, θ, ϕ) の対応を図 5 に示す. また, 変換式を式 (1) に示す.

$$\begin{cases} T = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \theta = \tan^{-1} \frac{\sqrt{x^2 + z^2}}{y} \\ \phi = \tan^{-1} \frac{x}{z} \end{cases} \quad (1)$$

カメラの並進ベクトルが表すカメラの位置を 3 次元極座標で表したときの偏角の組 θ, ϕ によりデータベースの管理

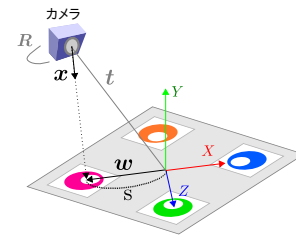


図 6 4 つのマーカの位置関係

を行う. 物体の撮影を行うとき, カメラは物体を注視しているとみなすことでカメラの向きを表す回転行列を無視する. 偏角の組が同じであるとき, 原点からの距離 T の変化は画像の拡大・縮小と同等であるとみなすことで登録データ数を削減する. これにより, 類似した画像の過剰なデータ登録を防ぐ.

3.3 未検出マーカの中心座標推定

大まかな物体領域抽出や全周表示における画像の合成では射影変換により画像を変形する. そのときの射影変換行列を円形マーカの 4 つの中心座標を対応点として利用し求める. 対応点は 4 点以上必要であるため, 未検出の円形マーカがあるとき中心座標を推定する必要がある. 検出したマーカから推定したカメラの位置姿勢と 4 つのマーカの位置が既知であることから未検出マーカの中心座標を推定する.

未検出のマーカについて円の中心座標を推定する手順を次に示す. このときの 4 つのマーカとカメラの位置関係を図 6 に示す.

- (1) 世界座標系の原点から未検出のマーカに向かうベクトル w をマーカの色に応じて式 (2) で求める. ここで, s は世界座標系の原点から未検出のマーカの中心までの距離である.

$$w = \begin{cases} (0, 0, -s)^T & \text{オレンジ色マーカの場合} \\ (s, 0, 0)^T & \text{青色マーカの場合} \\ (-s, 0, 0)^T & \text{ピンク色マーカの場合} \\ (0, 0, s)^T & \text{緑色マーカの場合} \end{cases} \quad (2)$$

- (2) 画像中の未検出マーカの中心方向を指すベクトル x を式 (3) により求める. ここで, R, t はカメラの回転行列と並進ベクトルであり, $Z[a]$ はベクトル a の Z 成分を 1 に正規化する正規化作用素である.

$$x = Z[Rw + t] \quad (3)$$

- (3) 未検出マーカの画像上の座標 (x_f, y_f) を式 (4) により求める. ここで, x_c, y_c はベクトル x の x 成分, y 成分であり, f はカメラの焦点距離である.

$$x_f = x_c f, \quad y_f = y_c f \quad (4)$$

- (4) 求めた画像上の座標 (x_f, y_f) は画像の中心を原点とす

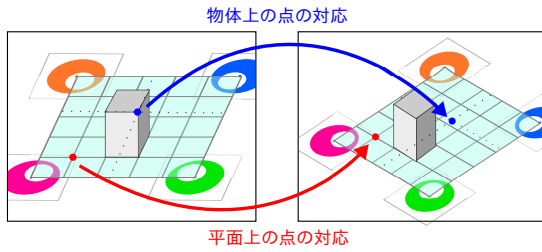


図 7 射影変換による対応点のずれ。図中の平面上の赤色の点は平面上の正しい位置に変換され、物体上の青色の点は物体上の正しい位置には変換されない。

る座標系であるため、式 (5) により画像の左上を原点とする座標系に変換する。ここで、 w, h はそれぞれ画像の x 方向の大きさと y 方向の大きさを表す。

$$x = \frac{w}{2} - x_f, \quad y = \frac{h}{2} + y_f \quad (5)$$

4. 物体領域の抽出

アルファマップの生成に必要なトリマップを自動的に生成するために、グラブカットを用いて物体領域の抽出を行う。グラブカットにはユーザが大まかに指定した前景領域と背景領域の情報が必要である。この情報を射影変換を用いた平面背景領域の推定により自動的に与える。射影変換を用いた平面背景の推定により大まかな前景領域と背景領域を抽出する手法について述べる。

4.1 2 画像間の射影変換を用いた平面背景推定

射影変換を用いた平面背景領域の推定は、2 画像間の射影変換による対応点を利用する。射影変換は平面と平面の間の変換であるため、同一平面上の点のみ正しく変換され、同一平面上にない点は誤った位置に変換される。図 7 は平面上の点の対応と物体上の点の対応を示す。推定を行う対象画像上の点と射影変換により対応する比較画像上の点における色情報 (画素値) により正しい位置に変換されるかを判定する。2 画像間の射影変換により差分画像を作成する手順を次に示す。また、作成される差分画像の例を図 8 に示す。ここで差分画像は、平面背景領域を推定する対象画像上の点と射影変換により対応する比較画像上の点における画素値の差を画素値とする画像を呼ぶ。また、画素値の差分については 4.2 節で述べる。

- (1) 平面背景領域の推定を行う対象の画像と同じ大きさの差分画像の出力フレームを生成する。
- (2) 対象画像の対応点と比較画像の対応点を用いて比較画像から対象画像への射影変換行列を求める。ここで、対応点は同一平面上にある円形マーカの 4 つの中心座標とする。
- (3) 比較画像上の点 p を変換した点 q が対象画像上にある場合、比較画像上の点 p と対象画像上の点 q における画素値の差を求める。求めた結果を出力フレームの点 q に書き込む。

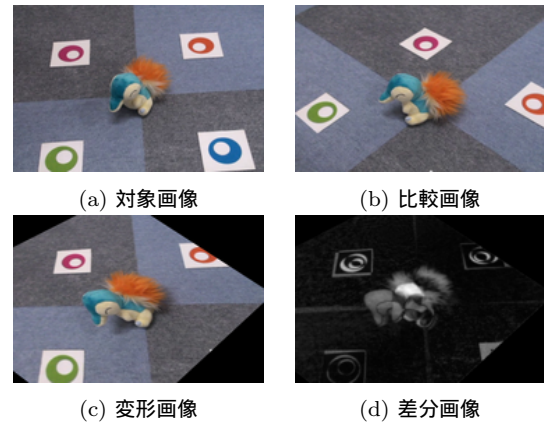


図 8 2 画像間の射影変換を用いた平面背景推定の例。(c) は (b) の平面背景の座標が (a) の平面背景の座標に合うよう変形したものである。(d) は画素値の差を 0 から 1 の値に正規化し黒色を 0、白色を 1 としグレースケールに変換した画像である。

- (4) 手順 3 を比較画像の全画素に対して行う。

4.2 CIE $L^*a^*b^*$ 色空間による差分

画素値の差を求めるとき、CIE $L^*a^*b^*$ 色空間による値を用いて差分値を計算する。CIE $L^*a^*b^*$ 色空間は L^* が色の明度、 a^* が赤色と緑色の間の位置、 b^* が黄色と青色の間の位置を表す色空間であり、色空間上での距離が知覚的な色の距離と同じになるよう設計されている。色空間上のある点 p_1 と点 p_2 の画素値の差分は $L^*a^*b^*$ 値を用いて式 (6) で表す。

$$d = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (6)$$

ただし、 L_1^*, a_1^*, b_1^* は点 p_1 の $L^*a^*b^*$ 値、 L_2^*, a_2^*, b_2^* は点 p_2 の $L^*a^*b^*$ 値を表す。

4.3 多視点の画像による平面背景推定

2 画像間の平面背景領域の推定では、色が均一である物体内部の領域も背景領域として推定される。また、推定対象画像上の点が平面上にあり、その点が比較画像の物体上に対応したとき背景領域ではないと推定される。これらの誤りを減らすために 1 つの対象画像に対して複数の画像と比較し複数の差分画像を生成する。複数の差分画像について画素値の平均を求めることで 1 つの差分画像とする。ここで、複数の画像は物体の周り (世界座標系の Y 軸周り) 360 度分の画像とする (図 9)。

多視点の画像から差分画像を生成する手順を次に示す。差分画像を生成する対象画像のカメラ位置は、世界座標系の Y 軸からの偏角 θ 、 Z 軸からの偏角 ϕ とする。また、多視点の画像を利用した平面背景推定による物体領域の推定の例を図 10 に示す。

- (1) 対象画像について、同じ θ を持つ 360 度分の画像との差分画像 $D_i, i = 0, 1, \dots, 359$ を作成する。ただし、画像が存在しない場合は最もカメラ位置に近いデータを

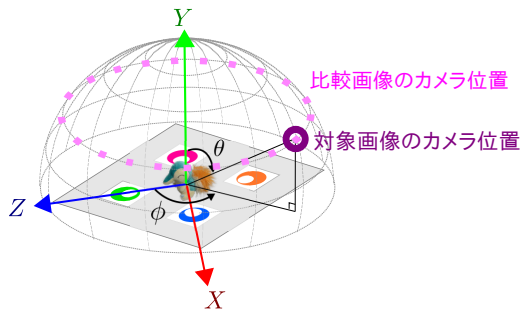


図 9 推定対象画像と比較画像のカメラ位置

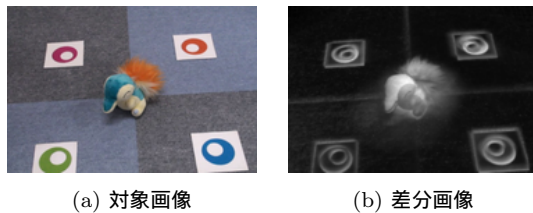


図 10 多視点の画像を利用した平面背景推定による物体領域の推定の例

参照する。

- (2) 差分画像上の点 p における差の平均値 $\bar{d}(p)$ を式 (7) で求める。

$$\bar{d}(p) = \frac{1}{N_p} \sum_{i=0}^{359} D_i(p) \quad (7)$$

ここで、 N_p は点 p において差分が存在する画像の数であり、 $D_i(p)$ は差分画像 D_i の点 p における画素値である。

- (3) 手順 2 を全画素に対して行い平均の差分画像を作成する。

生成した差分画像から大まかな物体領域を抽出する。差分画像の画素値が小さい領域が背景領域、大きい領域が物体領域であると推定し、しきい値により 2 値化する。このとき、2 値化によるノイズを減らすためにあらかじめ平滑化を行う。また、物体内部で背景領域とみなされる領域を物体領域として変更する。大まかな物体領域抽出の手順を次に示す。

- (1) 差分画像をガウシアンフィルタで平滑化する。
- (2) 平滑化した画像をしきい値により 2 値化し、背景領域と前景領域の 2 値画像を作成する。しきい値は大津の方法により自動的に決定する。
- (3) 2 値画像の縦方向、横方向、斜め方向の 8 方向が全て前景領域で囲まれている背景領域の画素を前景領域の画素とする。これにより物体内部の背景領域と推定した領域も前景領域とする。

4.4 トリマップ、アルファマップの作成

抽出した大まかな物体領域を用いてトリマップを生成する。大まかな物体領域を入力としてグラブカット [4] により詳細に物体領域を抽出する (図 11)。グラブカットは画像の各画素を頂点とした有向グラフの切断によって領域を分割

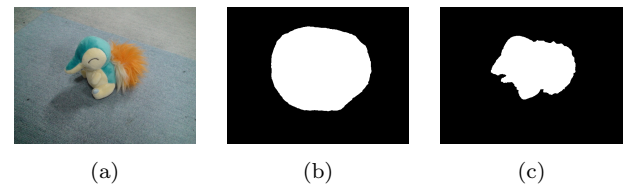


図 11 グラブカットによる物体領域の抽出。(a) の入力画像と (b) の大まかな物体領域から (c) の物体領域が抽出される。

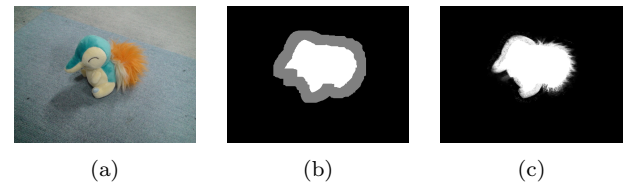


図 12 Wang らの手法によるアルファマップの生成。(a) の入力画像と (b) のトリマップから (c) のアルファマップが生成される。

する手法である。グラフの有向辺には、各画素の色に対する前景・背景領域の色分布を表す GMM (Gaussian Mixture Model) の確率による重みと、隣接する画素の色の差により重みをつける。

グラブカットにより抽出した前景領域のうち、最大の面積を持つ領域を詳細な物体領域として抽出する。抽出した詳細な物体領域の輪郭を膨張し、膨張した領域を未知領域として定義することでトリマップを生成する。

生成したトリマップを用いてアルファマップを生成する。アルファマップを生成するために Wang らの手法 [5] を用いる。Wang らの手法は入力画像とトリマップから精度良くアルファマップを推定できる (図 12)。

5. 実験

ビデオカメラで動画を撮影し、効率的にデータベースに画像を登録した結果および、登録した画像に対して自動的に物体領域を抽出した結果を示す。また、その結果を用いて物体の全周を表示した結果を示す。なお、実験の環境は OS が Ubuntu 12.04, CPU は Intel Core i3-3220 3.30GHz×4, メモリは 2GB の計算機で実験を行った。

5.1 撮影画像のデータ登録

物体を 4 つ組の円形マーカとともに撮影し、マーカからカメラの位置姿勢を推定した。また、極座標で表したカメラの位置に基づき画像をデータベースに登録した。動画の撮影は Sony Hundy CAM, 画像サイズは 720×480 で行った。カメラの焦点距離は OpenCV に実装されている Zhang の方法により求めた $f = 2211.81567$ とした。円形マーカの半径は外側の円が 30.0mm, 内側の円が 15.0mm, マーカ間の距離は 30.0cm (世界座標系原点からマーカ中心までの距離は $15\sqrt{2}$ cm) とした。

5.1.1 物体の撮影およびカメラ位置姿勢の推定

撮影した画像の一例を図 13 に示す。撮影した動画の全



図 13 物体の撮影の画像．上段左から順に 1 フレーム目, 1001 フレーム目, 2001 フレーム目, 下段左から順に 3001 フレーム目, 4001 フレーム目, 5001 フレーム目の撮影画像である．

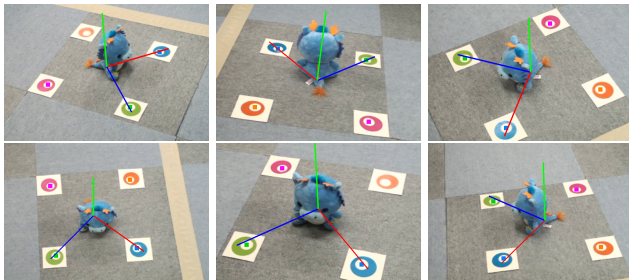


図 14 カメラ位置姿勢推定．上段左から順に 1 フレーム目, 1001 フレーム目, 2001 フレーム目, 下段左から順に 3001 フレーム目, 4001 フレーム目, 5001 フレーム目の推定結果である．

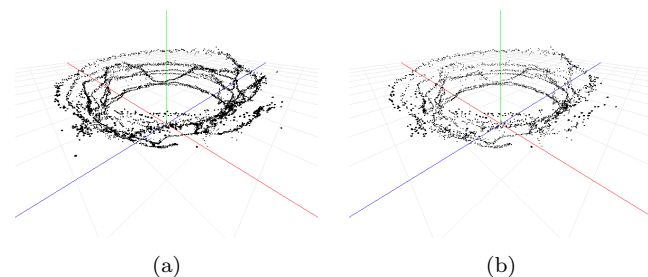


図 15 カメラの位置．(a) は推定した全カメラの位置 (データ数 7946) であり, (b) は登録したカメラの位置 (データ数 3227) である．

フレーム数は 8024 であった．

物体を撮影した画像のカメラ位置姿勢を推定した結果の一例を図 14 に示す．また, 図 14 中に検出したマーカ中心を各色の点で示す．

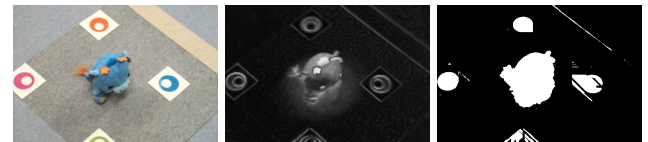
5.1.2 構築したデータベース

撮影した全フレーム数 8024 の内, カメラの位置姿勢を推定できたフレーム数は 7946 であった．提案手法により登録するデータを削減した結果, データベースに登録したデータ数は 3227 であった．推定した全てのカメラ位置を図 15(a), 提案手法によりデータベースに登録したカメラ位置の結果を図 15(b) に示す．

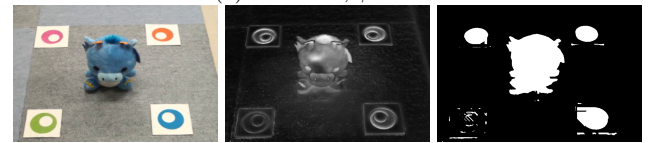
提案手法によりカメラの位置に近いデータのみ削減し, 登録データ数を半分以下にすることができた．

5.2 物体の領域抽出

データベースに登録した画像について, 提案手法により自動的に物体領域を抽出した結果を示す．



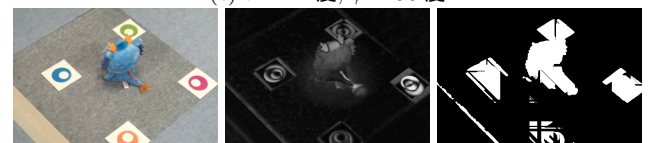
(a) $\theta = 35$ 度, $\phi = 0$ 度



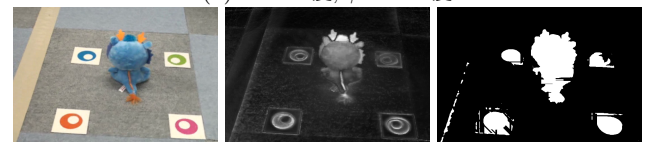
(b) $\theta = 45$ 度, $\phi = 45$ 度



(c) $\theta = 41$ 度, $\phi = 90$ 度



(d) $\theta = 37$ 度, $\phi = 180$ 度



(e) $\theta = 50$ 度, $\phi = 225$ 度

図 16 平面背景領域の推定による物体領域の抽出．左から順に入力画像, 差分画像, 大まかな物体領域である．大まかな領域は黒色が背景領域, 白色が前景領域を表す．

5.2.1 射影変換を用いた平面背景領域の推定

データベースに登録した画像について, 射影変換を用いた平面背景領域の推定および大まかな物体領域の抽出を行った．その結果を図 16 に示す．

提案手法により, 背景色を統一していない画像から大まかに物体領域を抽出することができた．しかし, 平面背景であるマーカや背景の色の境界部分が前景として抽出されている．これは, カメラの位置姿勢を推定する際のずれが影響していると考えられる．

5.2.2 トリマップ, アルファマップの生成

大まかな物体領域からグラブカットにより詳細に物体領域を抽出し, 物体領域の輪郭を膨張することでトリマップを生成した．トリマップからアルファマップ生成した．その結果を図 17 に示す．トリマップ生成における輪郭の膨張回数は 10 回とした．

5.3 物体の全周表示

提案手法により作成したデータベースを用いて全周表示を確認した．入力にはマーカのみを撮影した動画を用いた．全周表示の結果を図 18, 図 19 に示す．

ほとんどの画像に対して物体の見え方が再現できた．図 18 のような物体の周りの再現だけ出なく, 図 19 のように

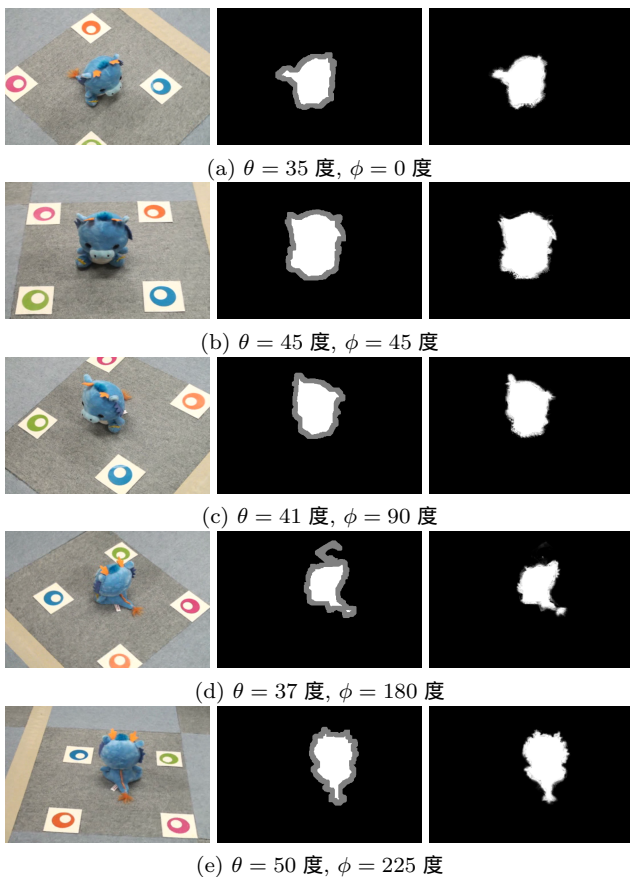


図 17 アルファマップの生成. 左から順に入力画像, トリマップ, アルファマップである.

マーカからの距離に応じた再現もできた. しかし, 図 18 の表示された物体を詳しく見ると, 物体の影の有無の整合性がとれていない, 物体の一部が欠けているといった問題がある. 物体の影の有無は, グラブカットにより詳細に物体領域を抽出する際, 物体の影の色が背景の色とも前景の色とも判定しにくい曖昧な色であるため, 画像ごとに判定が異なるからであると考え. 物体の一部が欠けるのは, トリマップを作成する際, その一部の領域のすべてが未知領域として定義されるためであると考え.

6. まとめ

本研究では, 3次元復元を行わない物体の全周表示システムを構築した. カメラ位置を3次元極座標で表すことで効率的にデータベースを管理した. システムのデータベースを自動的に作成するために, 物体の全周を撮影した画像から自動的に物体領域を抽出する手法を提案した. 提案手法の有効性を確認するため, ビデオカメラで物体の全周を撮影し自動的にデータベースを作成した. また, 作成したデータベースを用いて全周表示を確認した.

提案手法を用いて自動的に大まかな物体領域を抽出することができた. しかし, 物体の全周を表示すると影の有無や物体が一部欠けるといった問題があった. 今後は, カメラの位置に近いデータ間で結果を比較し整合性がとれるよ

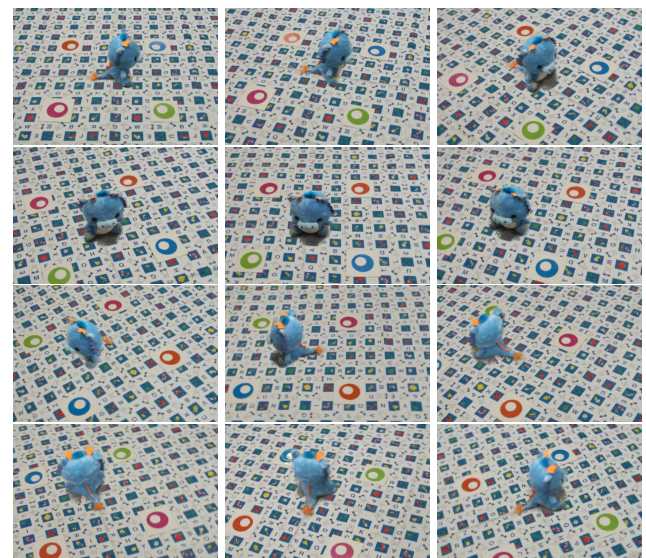


図 18 全周表示結果 1

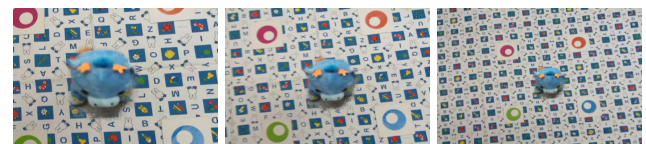


図 19 全周表示結果 2

うに補正することで, より違和感の少ない表示が行えるようにする必要がある. また, 今回の手法では背景領域を平面に制限したため平面と平行に近い角度でのデータを作成することができない. そのため, 平面背景による物体領域の抽出結果を利用し, 背景が平面でないときの物体領域を抽出する手法を検討する必要がある.

謝辞: 本研究の一部は日本学術振興会科学研究費(若手研究 B 23700202)の助成による。

参考文献

- [1] 今泉一崇, 小林大起, 菅谷保之, 複数の円形マーカーを用いた複合現実感システムの構築, 第16回画像センシングシンポジウム(SSII10)講演論文集, pp. IS2-19, 2010.
- [2] S. Izadi, D. Kim, O. Hilliges, D. Molyneaux, R. Newcombe, P. Kohli, J. Shotton, S. Hodges, D. Freeman, A. Davison, and A. Fitzgibbon, KinectFusion: real-time 3D reconstruction and interaction using a moving depth camera, Proc. of the 24th ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST), pp. 559-568, 2011.
- [3] 村田正和, 中辻敦忠, 菅谷保之, 金谷健一, 画像からの形状復元に適合した三角網の生成, 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア(CVIM), 2004-CVIM-145, pp. 9-16, 2004.
- [4] C. Rother, V. Kolmogorov, A. Blake, GrabCut: interactive foreground extraction using iterated graph cuts, ACM Transactions on Graphics (TOG), vol. 23, pp. 309-314, 2004.
- [5] J. Wang, Michael F. Cohen, Optimized color sampling for robust matting, Proc. of Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR2007), pp. 1-8, 2007.