

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500146

研究課題名（和文） 視体積交差を介した物体シルエット抽出とカメラ位置姿勢推定

研究課題名（英文） Extraction of Silhouettes and Estimation of Extrinsic Camera Parameters Through Volume Intersection

研究代表者

東海林 健二 (SHOJI KENJI)

宇都宮大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：70143188

研究成果の概要（和文）：本研究は、対象物体や人物を手持ちのカメラで同時に撮影したスナップ写真群から少ない手間に対象物体形状を得ることを目指し、視体積交差と投影を繰り返すことにより、カメラ撮影画像から物体のシルエットを矛盾の少ない形で取り出す方法と、視体積交差のためのカメラ姿勢を最適化する方法を提案した。また、視体積交差のためのよいカメラ配置とは、各カメラから得たシルエット形状が相互に異なり、なるべく複雑であるようなカメラ配置であることを実験的に示した。

研究成果の概要（英文）：The main objective of this research is to obtain a target object shape from a set of snapshots simultaneously taken by handheld cameras with little effort. Based on a technique iterating volume intersection and projection, we proposed a method to extract silhouettes from photographs with minimal conflict and a method to optimize camera poses for volume intersection. And experimental results show that the camera placements are good when the shapes of silhouettes taken by the cameras are distinct each other and each shape is preferably complex.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

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：視体積交差、画像処理、最適化

1. 研究開始当初の背景

本研究は、物体シルエット抽出とカメラ位置姿勢推定を同時に行うことを目指したものである。このうち、カメラ位置姿勢推定については、チェス盤のように平板上に特別な模様のある参照物体を対象空間に置き、これを撮影してカメラ外部パラメータを計測する方法が一般的である。スタジオ等での固定カメラに適する方法であるが、屋外や手持ちのカメラでは利用が難しい。多視点や移動視

点の画像群を用いることができる場合、対象空間中の複数の特徴点に着目し、カメラ相互の位置関係を推定する自己校正の計算手法も確立されている。しかしながら、複数画像中の特徴点の対応付けが必要である。提案手法は、大まかに推定したカメラの位置と向きを初期位置姿勢として視体積交差を行い、シルエットの無効領域を最小化するように位置姿勢を更新していくものである。提案手法では大まかな初期値を必要とする一方、特徴点間の対応問題はない。カメラの姿勢の推定

に関して、我々はすでに文献[1]で視体積交差結果の体積最小化手法を提案し、文献 [2]と [3]で無効領域最小化手法を提案している。Boyer[4]は、申請者と同様にシルエットからカメラキャリブレーションを行う試みを発表しているが、シルエットの無効領域という考え方は用いていない。

シルエット（物体領域）抽出については、背景差分を基本とした手法と、物体部分と背景部分のシードを対話的に与えてグラフカットにより物体領域を抽出する方法が一般的である。提案手法では、手持ちカメラでの撮影という状況を考慮し、対話的にシードを与えてグラフカットで初期シルエットを抽出する。そして、シルエットの無効領域を最小化するようにシードを修正していくものである。同様の考え方に基づく方法が提案されているが、適用可能な背景、物体の範囲についての報告は含まれていない。

文献

[1] 坂本さやか, 東海林健二, 外山史, 宮道壽一, "視体積交差におけるカメラパラメータの最適化", 電気学会論文誌 C, vol.125, no.7, pp.1024-1029, 2005.

[2] H. Iwase, K. Shoji, F. Toyama, and S. Sakamoto, "Optimization of Camera Parameters in Volume Intersection", The 12th International Display Workshops in conjunction with Asia Display 2005 (IDW/AD'05), pp.1747-1750, 2005.

[3] S. Sakamoto, K. Shoji, H. Iwase, and F. Toyama, "Volume Intersection with Imprecise Camera Parameters", Electronic Imaging 2006, Three-Dimensional Image Capture and Applications VI, Proceedings of SPIE vol.6056, pp.60560U-1~12, 2006.

[4] Edmond Boyer, "On Using Silhouettes for Camera Calibration", ACCV 2006, LNCS vol.3851, pp1-10, 2006.

2. 研究の目的

対象物体の3次元形状を多数のカメラで取得した画像情報から得る手法として、視体積交差がある。視体積交差を考える上での三要素は、A：3次元物体、B：シルエット、C：カメラ外部パラメータ（カメラ位置姿勢）である。B + C → Aが視体積交差、A + C → Bが投影である。本研究では、視体積交差（B + C → A）と投影（A + C → B）を繰り返すことにより、カメラ撮影画像から物体のシルエットBを矛盾の少ない形で取り出す方法と、カメラ位置姿勢Cを推定する方法を提案し、対象物体や人物を手持ちのカメラで同時に撮影したスナップ写真群から少ない手間で対象物体形状を得ることを目指す。

3. 研究の方法

(1) 視体積交差を利用したシルエット抽出のSAによる最適化

カメラ撮影画像から物体のシルエットを矛盾の少ない形で取り出す方法として、入力画像を小領域（セグメント）に分割し、セグメントの組み合わせでシルエットを表現する。このとき、視体積交差で矛盾が少なくなるようにセグメントの組み合わせを焼きなまし法（SA）を用いて最適化する方法を提案する。

視体積交差で矛盾があるかどうかの観点からシルエットを評価する方法として、シルエットの無効領域を用いる。シルエットの無効領域とは、図1に示すように、復元された3次元形状を画像平面へ再び投影して得られる再投影シルエットと元のシルエットの差分領域のことである。元のシルエットと復元される形状が近い程、シルエットの無効領域は小さくなるため、これをシルエットの評価に用いる。

画像の領域分割を行なうと、図2に示すようなセグメントに分割される。我々は、適切にセグメントを組み合わせることで物体領域を表現できると考え、セグメントの組み合わせをSAによって最適化する。

提案手法全体の処理の流れを図3に示す。提案手法は大きく分けてシルエットの評価と新たなシルエットの更新・生成の処理から成り、シルエットの評価をシルエットの無効領域と復元形状の滑らかさから行ない、シルエットの作成と更新をSAに従って行なう。

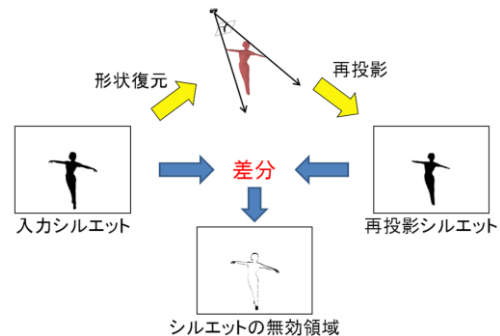


図1. シルエット評価に用いる無効領域

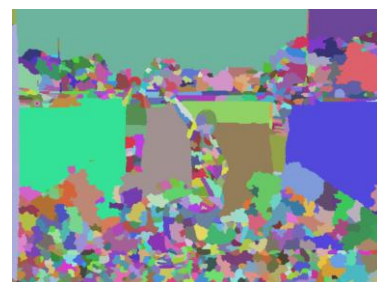


図2. 画像の領域分割の例

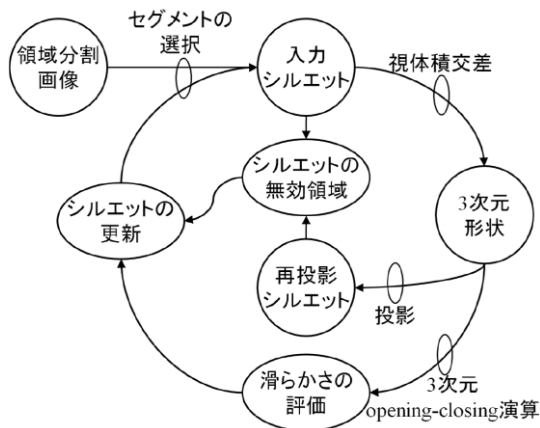


図 3. シルエット抽出法の処理の流れ

提案手法のアルゴリズムは以下の通り。

- step1) セグメントを選択して初期シルエットを作成し、視体積交差により復元した形状から評価値 E を計算する。
- step2) 新たなシルエットをセグメントの選択によって作成し、評価値 E を計算する。
- step3) 現在シルエットと新たなシルエットの評価値の差 $\Delta E = E' - E$ を計算する。
- step4) $\Delta E < 0$ ならば新たなシルエットへ移行。それ以外ならば確率に従って移行する。
- step5) その温度で十分な探索を行なったら、温度を下げる。それ以外は 2 へ戻る。
- step6) 終了条件が満たされるまで step2~5 を繰り返す。

ここで、領域分割によって得られるセグメントを組み合わせることで図 4 に示す黒色領域のようなシルエットが得られる。これを複数視点分について行うことで、視体積交差を利用して無効領域による評価値を得る。以上の提案手法について、不正解のシルエットを初期シルエットとして与える視点数を変化させ、シルエットを得る実験を行なった。撮影は、9 台のカメラを用いて屋外で行ない、640 × 480 画素の画像を得た。このとき、カメラは撮影対象を中心とした円周上に等間隔にカメラを配置した。



図 4. セグメントの正解組み合わせの例

(2) カメラ位置姿勢推定におけるカメラ位置ずれが復元形状に及ぼす影響

視体積交差と投影を繰り返すことによりカメラ位置姿勢を推定する方法として、比較的容易に計測できるカメラの空間位置を既知とし、シルエットの無効領域によりカメラ姿勢を評価して姿勢調整を繰り返す方法を我々は既に提案している。この提案手法で既知としたカメラの空間位置は、何らかの手段で計測する必要がある。本研究では、カメラの空間位置の計測には多少の誤差があっても、提案手法を用いると、復元形状への影響は最小限に抑えることができることをシミュレーション実験で示す。シミュレーション実験では、滑降シンプレックス法に焼きなまし法の考え方を取り入れた最適化手法（以下、DSMSA と言う。）を用いる。

シミュレーション実験では、既知として与えるカメラの空間位置に誤差を加える一方、カメラの初期姿勢は正解姿勢を与え、DSMSA でカメラ姿勢(yaw, pitch, roll)の最適化を行う。その結果、カメラの空間位置のずれをキャンセルする方向に、カメラ姿勢が初期姿勢(正解姿勢)からずれ、結果として、視体積交差結果の復元形状は元の 3 次元形状から小さなずれに収まる。

(3) 視体積交差におけるカメラ配置の最適化

視体積交差法では、一般に、カメラ台数を多くすると精度の高い復元が可能となる一方、撮影コストが増加する。それでは、復元精度をさらに高くするために 1 台のカメラを追加するとしたら、それをどこに配置すればよいのか、あるいは、撮影コストを抑えるためにカメラ 1 台を削除するとしたら、どのカメラを削除すればよいのか、今のところこれらの問題への明確な解はない。本研究では、視体積交差において適切なカメラ配置を与えることを目指し、人体形状を復元対象として、少ないカメラ台数での最適なカメラ配置を求めるシミュレーション実験の結果を報告する。

4. 研究成果

(1) 視体積交差を利用したシルエット抽出の SA による最適化

実験では、撮影画像を watershed 法によりセグメントに分割し、目視で作成した正解シルエットにセグメントの追加・削除を行い、不正解シルエットを作成した。各視点で正解シルエットあるいは不正解シルエットを初期値として提案手法でシルエット最適化を行ない、評価を行なった。評価は、正解シルエットで復元される形状と提案手法による復元形状をボクセル単位で比較し、その誤差により行う。不正解シルエットの視点数に対

する誤差の変化を図 5 に示す。実験の結果、全ての視点で不正解シルエットを初期シルエットとして最適化を行った場合、すなわち、シルエット抽出問題に提案手法を適用した場合、復元形状の誤差が 6%程度でシルエット抽出が可能であることを確認した。

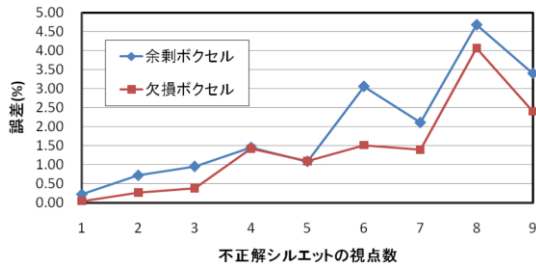


図 5. 不正解シルエット数に対する復元誤差

(2) カメラ位置姿勢推定におけるカメラ位置ずれが復元形状に及ぼす影響

実験では、全てのカメラの空間位置に正規乱数で誤差を加え、カメラの初期姿勢を空間位置誤差がないときの正解姿勢として、提案手法で最適化を行った。評価は、作成した人体形状モデルを基準形状とし、最適化前後の復元形状をボクセル単位で比較し、ずれのボクセル数により行う。カメラの空間位置ずれを与える正規乱数の標準偏差と最適化前後の復元形状のずれのボクセル数の関係の例を図 6 に示す。実験の結果、提案手法により最適化を行うと、カメラの空間位置が標準偏差で 5 程度(人体形状復元では 5cm に相当)ずれても復元形状への影響はほとんどないことを確認した。

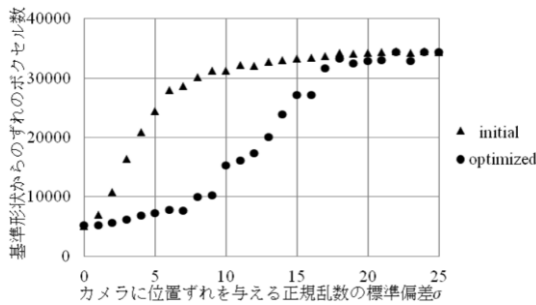


図 6. カメラ位置ずれと最適化前後の評価値

(3) 視体積交差におけるカメラ配置の最適化

実験では、3次元人体形状作成支援ソフトウェアにより異なる 13 姿勢の人体形状モデルを作成した。この人体形状モデルを用いて、各姿勢において視体積交差に用いる 7 台のカメラの最適配置を求めるシミュレーション実験を行った。画像サイズは 640×480 ピクセルである。カメラの内部および外部パラメータは全て既知である。視体積交差は、シルエットを断面としカメラ位置を頂点とする錐体の共通部分として形状を復元する手法

であるので、復元形状がモデルに近いほど復元物体の体積は減少するという性質を持つ。そこで、カメラ配置空間をモデルを中心とした半球上とし、半球面を 900 分割して、ここにカメラを 7 台配置するとき、900 か所のどこに配置すると復元物体の体積が最少となるかを粗密探索により求めた。結果の一例を図 7 に示す。最適カメラ配置は、シルエット相互に異なるシルエット形状で、しかも、シルエットがなるべく複雑になるように選択される傾向があることがわかった。このことは、視体積交差なしで、シルエット形状のみから最適カメラ配置を探索できる可能性を示すものである。

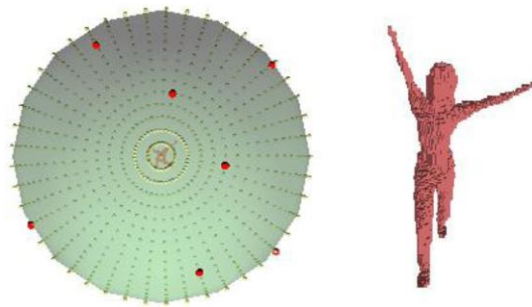


図 7. 最適カメラ配置(左)と復元モデル(右)

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)

[学会発表] (計 3 件)

- ① 海老澤一生、東海林健二、外山史、森博志、視体積交差におけるカメラ配置の最適化、第 11 回情報科学技術フォーラム、2012 年 09 月 04 日、法政大学(小金井)。
- ② 高橋 将、東海林健二、外山 史、宮道壽一、視体積交差におけるカメラ位置のずれが復元形状に及ぼす影響、第 10 回情報科学技術フォーラム、2011 年 9 月 8 日、函館大学。
- ③ 雨貝祐輔、東海林健二、外山史、宮道壽一、視体積交差を利用した物体抽出の SA による最適化、電子情報通信学会 2011 年総合大会、2011 年 3 月 14 日、東日本大震災により大会中止、発表資料配布をもって発表扱いとなる。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

東海林 健二 (SHOJI KENJI)

宇都宮大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：70143188

(2) 研究分担者

森 博志 (MORI HIROSHI)

宇都宮大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：80538447

(3) 連携研究者

なし