

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2014～2016

課題番号：26330192

研究課題名（和文）楕円当てはめに基づく安定かつ高精度な円形物体の検出

研究課題名（英文）High accurate and stable circular object detection based on ellipse fitting

研究代表者

菅谷 保之（sugaya, yasuyuki）

豊橋技術科学大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：00335580

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、カメラで撮影したシーン中に存在する円形物体を撮影環境やシーンの複雑さに関わらず安定して検出する技術を開発した。これは、楕円弧以外の点列を含んだ入力点列から楕円弧のみを高精度に効率的に抽出する技術である。これは、入力点列に楕円を当てはめて、その楕円との交点で入力点列を分割し、その中から楕円弧を見つけ出し、再度楕円を当てはめることを繰り返すもので、これにより自動的に楕円弧とそれ以外の点列を分割して楕円弧のみを抽出できる。開発した技術を用いて実際に撮影した画像から楕円を検出する実験を行い開発した技術の有効性を確認した。またこの技術を用いて博物館を対象とした複合現実感システムを開発した。

研究成果の概要（英文）：In this research, we developed a technology that can stably detect circular objects in images. This technology effectively detects elliptic arcs from an input point sequence that includes non-elliptic arcs line a line segment.

We fit an ellipse to the input point sequence and divide it at the intersections of the fitted ellipse into several partial arcs. Then, we detect elliptic arcs from these partial arcs. By repeating these processes, we automatically elliptic arcs from the input point sequence. Using simulated data and real images, we confirmed the efficiency of our proposed method. By using this proposed technology, we also developed a mixed reality system for museums.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：楕円検出 楕円当てはめ

1. 研究開始当初の背景

(1) 3次元空間にある円形物体は透視投影によって画像中には楕円として写る。したがって、シーン中の円を解析するためには、まず画像中から楕円を検出する必要がある。楕円検出の問題は古くはハフ変換と呼ばれるパラメータ空間への投票に基づく方法が主流であったが、近年では、最小二乗法をはじめとする当てはめ技術を用いた楕円のパラメータ推定手法の高精度化が注目されており、我々も超精度最小二乗法、超精度くりこみ法を提案している。

(2) 上記の手法はパラメータを求めるための入力楕円上の点列であることを前提としたものであるが、画像から抽出する点列には楕円上の点列以外の点列も含まれることが多いため、これらを分離する必要がある。有名な方法にはRANSACがある。これはサンプリングと当てはめを繰り返す方法であり、精度よくパラメータ推定が行える一方で、繰り返し処理による処理速度の問題がある。そのため、効率的に点列から楕円弧とそれ以外の点列を分離する方法が期待される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、カメラで撮影したシーン中に存在する円形物体を撮影環境やシーンの複雑さに関わらず安定して検出する技術を開発することである。上述の技術を実現するために、以下の二つの要素技術の開発に取り組む。

(1) 一つ目は、撮影環境やシーンの複雑さによらない画像からの楕円弧抽出手法の開発である。これは、直線などの楕円弧以外の線分と楕円弧がつながった点列から、楕円弧のみを抽出する新しい手法を開発するものである。

(2) 二つ目は、抽出した楕円弧から同一楕円に属するものを判別する方法の開発である。一つの楕円弧に単独に楕円を当てはめるよりも、同一楕円に属する複数の楕円弧に楕円を当てはめることで精度のよい楕円を得る。

3. 研究の方法

(1) 平成26年度に1-1.アウトラリアを考慮した楕円当てはめと2-1.撮影環境を考慮したエッジ検出について取り組む。平成27年度には、1-1.の研究成果を進展させ、1-2.楕円制約付きの楕円当てはめ、また、2-1.に関連して、2-2.抽出した連結点列の楕円弧とそれ以外の点列の分離について取り組む。さらに、2-3.抽出した楕円弧から同一楕円上にある点列を判定して統合する方法の精度向上について取り組む。

最後に平成28年度は、上記の技術を取り入れた博物館を対象とした複合現実感システムを開発を行う。

(2) アウトラリアを考慮した楕円当てはめ(1-1)では、スパース表現を用いた楕円当てはめ手法を検討する。具体的には、求める楕円パラメータに加えてどの入力点を楕円当てはめに使用するかという重み変数を導入し、それにスパース表現で使用される変数のL1ノルムによる最小化を適用する。これにより、楕円の当てはめ誤差が大きくなると考えられるアウトラリア点を楕円当てはめから除外しつつ高精度な楕円当てはめを実現できると考えられる。

(3) 楕円制約付きの楕円当てはめ(1-2)では、得られた点列にアウトラリアが含まれていなかったとしても、楕円以外の2次曲線が得られる問題を解決するために、1-1で開発した手法に対して2次曲線のパラメータが楕円となる制約条件を導入して、アウトラリア点を排除しつつ必ず楕円パラメータが得られる手法を開発する。

(4) 撮影環境を考慮したエッジ検出(2-1)では、撮影環境の明るさに依存しないエッジ検出を実現するために、まず、画像全体の平均輝度を求めて画像の明るさを正規化し、次に縦横比の異なる矩形領域を回転させた複数パターンのテンプレート領域の輝度変化を調べることで、楕円弧上のエッジ検出に有効な方法を検討する。

(5) 連結点列からの楕円弧とそれ以外の点列の分離(2-2)では、連結点列への直線当てはめや点列の曲率計算に基づいて連結点列から直線成分を分離する方法を検討する。

(6) 同一楕円上の点列の統合(2-3)では、モデル選択手法を幾何学的な当てはめ問題に適用した幾何学的モデル選択を用いた閾値を用いない判別手法を更に発展させて、統合精度の向上を目指す。具体的には、1.楕円の当てはめ誤差をもとに順序付けを行い、当てはめ誤差の小さい点列のみを用いるなどして楕円統合の精度が向上する組み合わせを優先したり、2.幾何学的モデル選択に加えて、楕円の中心位置、長軸、短軸の長さなどの形状情報を判定基準として用いることで統合精度の向上を目指す。

(7) 博物館を対象とした複合現実感システムの構築では、本課題の研究成果を利用して、円形マーカーを手掛かりとしてカメラの位置姿勢をロバストに推定して、仮想物体を対象シーンに安定して描画するシステムを構築して、実際に博物館でデモを行う。

4. 研究成果

(1) **楕円弧以外の点列を含んだ点列からの効率的な楕円弧抽出技術**：我々はまず、入力点列を、当てはめた楕円とその入力点列の交点で分割し、分割した点列から楕円弧候補を見つけ、それに対して再度楕円を当てはめることを繰り返すことで、自動的にアウトラリアを含んだ入力点列から楕円弧のみを抽出する手法を提案した。分割した点列から楕円

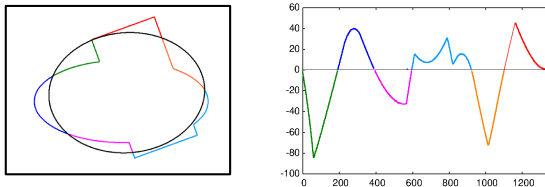


図1：楕円の交点による入力点列の分割と当てはめ誤差のグラフ

弧候補を見つける方法としてまず、入力点列に楕円当てはめを行ったときの誤差グラフの形状に注目した。具体的には、部分弧ごとにみた誤差グラフのピーク周辺で誤差変化が滑らかなものを楕円弧候補として選択するものである。図1(左)は楕円弧とそれ以外の点列が結合した入力点列とそれに当てはめた楕円である。楕円の交点で点列を分割した結果を分割した点列ごとに色分けして示している。また、図1(右)は入力点列に楕円を当てはめたときの当てはめ誤差をプロットしたグラフである。横軸は点の番号、縦軸は当てはめ誤差を表す。この例では、青色で表した点列が楕円弧であり、対応する誤差グラフの形状を見ると、誤差のピーク周辺で誤差の変化が滑らかになっていることがわかる。

しかし、誤差グラフの形状は入力点列の形状に依存して複雑に変化し、誤差グラフのピーク付近が滑らかであっても必ずしもそれが楕円弧であるとはいえないことが実験でわかった。そこで、誤差グラフの形状ではなく、分割した部分弧ごとに再度楕円を当てはめ、その当てはめ誤差が最小になる部分弧を楕円弧候補として選択するように修正した。

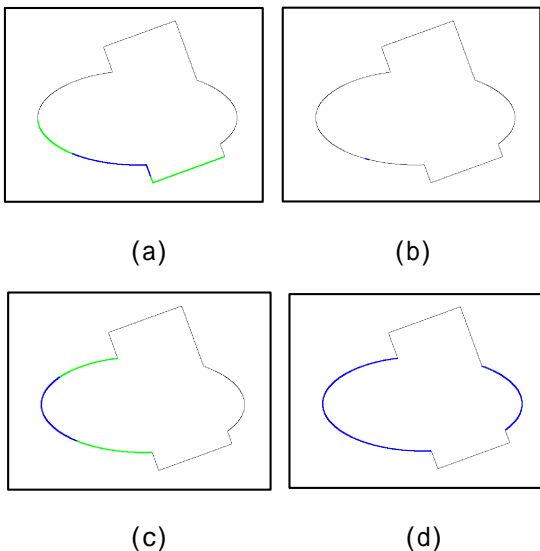


図2：楕円弧選択手法による選択される楕円弧の比較。(a) 誤差グラフの形状に基づく手法により選択した楕円弧候補 (b) 最終的に得られた楕円弧 (c) 楕円の当てはめ誤差に基づく手法により選択した楕円弧候補 (d) 最終的に得られた楕円弧。

(2) 同一楕円上の点列の統合技術：点列が同一楕円上の点列かどうかを判断する素朴な考え方は、二つの点列に別々の楕円を当てはめたときの誤差と一つの楕円を当てはめたときの誤差を比較することである。しかし、このようにすると必ず自由度の高い二つの楕円を別々に当てはめた方が誤差が小さくなることが知られており、これにより判断することができない。そこで、モデルの自由度を考慮したモデル選択の技術を幾何的当てはめに適用した幾何学的モデル選択を導入し、閾値を用いることなく、同一楕円上の点列を判別する方法を提案した。

しかし、ここでは、抽出した楕円弧すべてに対して同一楕円上の点列であるかを判定していたため、非常に効率が悪かった。そこで、この点列に当てはめた楕円の中心位置や長軸および短軸の方向、その楕円に対する点列の配置に注目して、1. 統合しなくても正しい楕円が得られる可能性が高い点列を選択したり、2. 楕円の属性に基づいて同一楕円上の点列かを判定すべき点列の組み合わせを抽出することで、不必要な処理を削減し、計算コストの削減を行った。

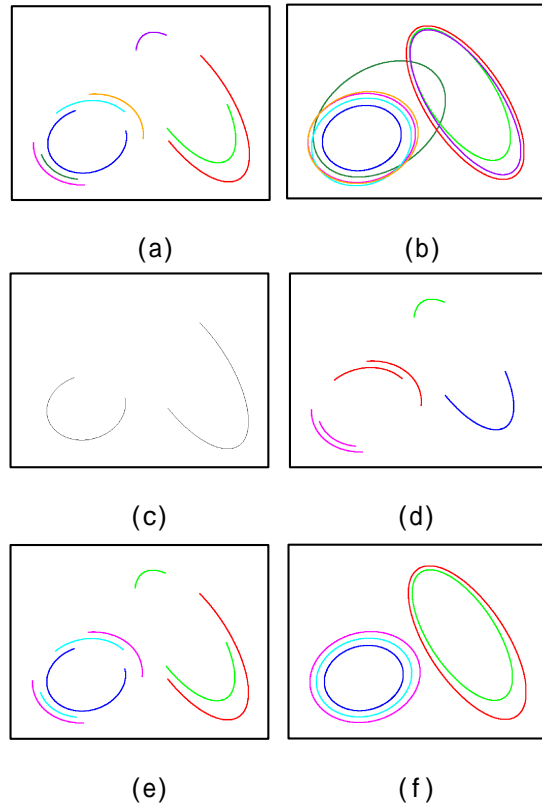


図3：統合判定する点列の選択。(a) 抽出した楕円弧点列 (b) (a)の点列にそれぞれ独立に楕円を当てはめた結果 (c) 統合する必要のない楕円弧の選択結果 (d) 楕円弧のグルーピングの結果。同一グループを同じ色で描画 (e) 楕円弧の統合結果。統合した楕円弧を同じ色で描画 (f) 最終的に得られた楕円形状

そして、アウトラシアを含んだ点列からの楕円弧選択技術と組み合わせて、実画像から楕円を検出する実験を行って、既存の楕円検出手法と比較して、正しい楕円形状が得られることを確認した。

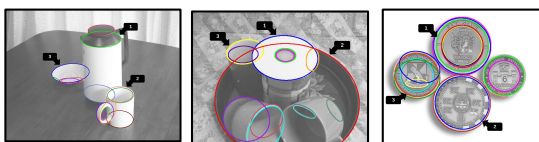


図4：実画像に対する提案手法による楕円検出結果

(3) 円形マーカーによるカメラの位置姿勢

推定の安定化：我々が以前提案した円形マーカーは、検出した二つの円の3次元情報を解析することで、カメラの位置と姿勢を推定するものである。しかし、マーカーを撮影する角度により、その推定精度が低下する問題があり、それを解決するために既存の円形マーカーにさらに円を一つ追加した三組み円形マーカーを設計した。これは、二つの円の3次元解析から推定可能なカメラの位置姿勢情報を、三つの円の3次元解析から得られる冗長な情報を利用して、カメラの位置姿勢の推定を安定化するものである。

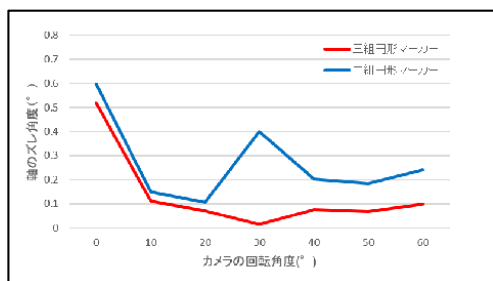


図5：二つのマーカーでのカメラの回転軸(X軸)の推定精度比較

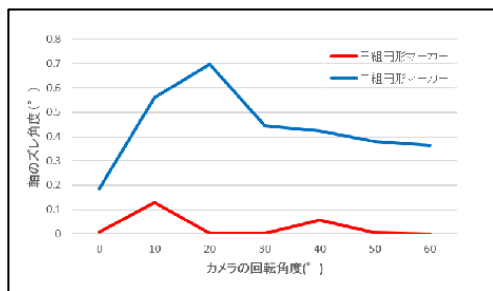


図6：二つのマーカーでのカメラの回転軸(Z軸)の推定精度比較

図5, 6は従来の円形マーカーと新しく設計した三組み円形マーカーによるカメラの姿勢推定結果の比較である。この結果からも新しいマーカーの方がカメラの位置姿勢推定がマーカーを観察する角度によらず(角度0度で問題が残るが)に安定していることが確認できる。

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)

[雑誌論文](計 2件)

Y. Sako and Y. Sugaya, Multibody motion segmentation for an arbitrary number of independent motions, IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, Vol. 8, Issue 1, 2016, pp. 1-5.

T. Masuzaki and Y. Sugaya, Effective elliptic arc selection from connected edge points, IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, Vol. 8, Issue 1, 2016, pp. 1-11.

[学会発表](計 5件)

Y. Sako and Y. Sugaya, Multibody Motion Segmentation for an Arbitrary Number of Independent Motions, 19th Meeting on Image Recognition and Understanding (MIRU2016), July 2016, Hamamatsu, Japan, PS1-03.

T. Masuzaki, Y. Sugaya, and K. Kanatani, Floor-wall boundary estimation by ellipse fitting, Proc. of IEEE 7th International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) and Robotics, Automation and Mechatronics (RAM), Angkor Wat, Cambodia, July 2015, pp. 30-35.

T. Masuzaki and Y. Sugaya, Connectivity-based error evaluation for ellipse fitting, Proc. of IAPR International Conference on Machine Vision Applications (MVA2015), May 2015, Tokyo Japan, pp. 118-121.

関 正貴, 菅谷 保之, 楕円の投影像を用いた床と壁の境界検出によるロボットの走行制御, 第22回画像センシングシンポジウム, 6月, 2016, 神奈川, IS1-25.
塩住 晃平, 菅谷 保之, 三組み円形マーカーによるカメラの位置姿勢推定の安定化, 第22回画像センシングシンポジウム, 6月, 2016, 神奈川, IS2-26.

[その他]

ホームページ等

<http://www.iim.cs.tut.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菅谷 保之 (SUGAYA, Yasuyuki)

豊橋技術科学大学工学研究科・准教授

研究者番号：00335580