

コンピュータビジョンの基礎技術とその応用に関する研究報告

菅谷保之 (第4工学系, 視聴覚コア)

1 はじめに

近年, 高性能なデジタルカメラやデジタルビデオカメラが安価で手に入るようになってきている。また, 携帯電話に搭載されるカメラの性能も向上し, 誰もが手軽に画像や映像を取得することが可能である。それに伴い, 一般の人でも簡単に扱えるコンピュータビジョン技術の研究やアプリケーションの開発が盛んになっている。本稿では, 本研究室におけるコンピュータビジョンの基礎技術の研究や応用例などについて報告を行う。

2 ランク拘束した基礎行列の高精度計算

画像の間の特徴点の対応から基礎行列を計算することはカメラ校正, 密な対応探索, 3次元形状復元, 新しい視点からの画像生成など多くの処理の出発点である。そのため, 誤差のあるデータから基礎行列を精度よく計算する手法がいろいろ研究されている。代表的なものにFNS法, HEIV法, くりこみ法がある。本研究ではまずFNS法, HEIV法, くりこみ法のアルゴリズムをまとめた。そして, 同等の解を計算するガウス・ニュートン法を新たに追加した。次に, 誤差を加えたシミュレーション画像を用いてこれらの反復解法の収束性を検討した [1, 2, 3]。

基礎行列は2画像間の対応点が「エピ極線方程式」を満たすことから計算されるが, ランク2という性質がある。このランク拘束を考慮しなくても, 対応点データが正しければ計算される基礎行列は自動的にランク2になる。しかし, 誤差があれば必ずしもランク2とは限らない。前述の研究ではランク拘束を考慮せずに基礎行列を計算し, これを統計的に最適にランク補正する方法を用いた。これは精度の理論限界に近い精度を持つ最適解となっている。

これに対して, 対応点データからランク2という条件のもとで基礎行列を計算するいろいろな試みがある。本研究では, 従来法よりも効率的な方法を提案し, 精度をKCR下界と比較した。これは基礎行列の最適な特異値分解を直接にレーベンバーグ・マーカート法で探索するものであり, 3次元座標やカメラ行列を未知変数に含める必要がない。そして, シミュレーションにより, 一般に前述の最適補正法よりもさらに高い精度が得られ, かつ実行時間も一般に減少することを示した [4]。

更に我々がこれまで研究してきた「事後補正法」,

「内部接近法」, 「外部接近法」と分類した三つのランク拘束した基礎行列の計算法について比較し, どれが最高精度の方法かを実験的に検証した。結論として, 事後補正法は精度がやや低下することがあるが常にノイズにロバストであり, 内部接近法は精度が高いが初期値やノイズの影響を受けて局所解に陥りやすく, 外部接近法は最も高精度でかつロバストであることがわかった。ただし, 外部接近法は一般にやや計算時間を要する。内部接近法が不利なのは, ランク制約によって変数を消去した尤度関数が多いの極小値をもつためと思われる。しかし, 事後補正法と内部接近法を組み合わせれば, 外部接近法と同等となることがわかった [5, 6]。

3 全周パノラマ生成のための射影変換の最適化

パノラマとは視野の広い画像のことであり, これを提示することによってユーザーがその場所にいるかのような現実感を体験させることができる。特に全360°方向が表示できるものは全周パノラマと呼ばれる。これを実現するには全方位カメラや複合カメラ系を用いたり, カメラを機械的に回転させたりするなど光学系を工夫する方法と, 単一のカメラで撮影した画像を張り合わせる方法とがある。後者は画像モザイク生成とも呼ばれる。

本研究では後者を対象とする。パノラマ生成は博物館等での展示を始め, 放送用の映像製作, ビデオゲーム, 環境地図による移動ロボット制御, テレビ会議, 遠隔機器操作, セキュリティ監視システムなどの広い応用があり, 高精度, 高速の専用装置が開発されている。さらにパノラマ生成を介してビデオ画像の圧縮や符号化, シーンのモデル化や移動物体検出を行なう研究もある。しかし, 本研究が目指すのはそのような産業・メディア応用ではなく, 旅行者が手持ちのデジタルカメラで周囲を撮影し, それから全周パノラマを作成して楽しんだり, 他人に見せるという応用を想定する。そのため, 撮影するカメラや撮影方法に一切制約を課さず, すべてを画像処理のみで行うソフトウェアを開発する。基本的な方法は, 画像間の対応点を指定して, それらが重なるように画像に射影変換を施して張り合わせることである。しかし, この方法では視線方向が90°変化すると無限大に発散し, カバーできる視野の変化は最大 $\pm 90^\circ$ に制限される。これを避けて360°の視野を実現するには, 視点を取り巻く仮想

的な円筒面を考え、これに各画像を写像し、その円筒面を展開して表示すればよい。しかし、このようにしてもさまざまな問題がある。

第1の問題点は、各画像の撮影方向データが存在しないことである。これは隣接する画像の対応点から射影変換を計算しておき、「有向射影幾何学」の定式化を用いて各画像を円筒面上に写像することによって解決した。第2の問題点は、誤差の蓄積によって視線の360°の移動に対して矛盾が生じることである。これは計算したすべての射影変換を同時に最適化することによってこれを解消した。そして、そのためのリー代数による回転の表現に基づくガウス・ニュートン法、および変数を分割する交互法を述べた。そして、実画像例によってその効果を確認した。図1は提案手法を用いて作成した全周パノラマ画像の例である。

4 物体の全周3次元復元のための特徴点追跡の延長

ビデオ画像上で追跡した特徴点から物体の3次元形状を復元する手法としてTomasi・Kanadeの「因子分解法」がよく知られている。このためにはまずビデオ画像上で特徴点を追跡する必要がある。特徴点追跡では、カメラの移動とともに追跡点が他の物体に隠れたりフレーム外に出たりして、同一点を最終フレームまで追跡できないことが多い。これは物体の全周を撮影する場合には避けられない問題である。我々は先行研究として、ビデオ画像上で追跡が途切れた特徴点の軌跡を延長する手法を研究している。本研究では物体の全周を撮影したビデオ画像をいくつかの部分フレームに分割して前述の手法を適用する方法を検討した。現在は、この研究で明らかになった物体の全周追跡で生じる独自の問題の解決方法や全周復元した物体の表現方法などを検討している。

5 まとめ

本稿では、本研究室におけるコンピュータビジョンの基礎技術の研究や応用例などについて報告を行った。2画像間の特徴点の対応から基礎行列を計算することは、多くのコンピュータビジョン応用の出発点となる技術であり、本研究結果がさまざまな分野で応用されることが期待される。また、一般の人が手軽に全

周パノラマを作成できる手法や、ビデオカメラで撮影した物体の全周を3次元復元するための取り組みを紹介した。

発表論文

- [1] K. Kanatani, Y. Sugaya, “High accuracy fundamental matrix computation and its performance evaluation”, IEICE Transaction on Information and Systems, Vol. E90-D, No. 2, pp. 579–585, 2007.
- [2] K. Kanatani, Y. Sugaya, “High accuracy fundamental matrix computation and its performance evaluation”, Proceedings of the 17th British Machine Vision Conference (BMVC2006), pp. 217–226, 2006.
- [3] 菅谷保之, 金谷健一, 基礎行列の高精度計算法とその性能比較, 情報処理学会研究報告, 2006-CVIM-153-32, pp. 35–42, 2006.
- [4] 菅谷保之, 金谷健一, 効率的探索によるランク拘束した基礎行列の高精度計算, 情報処理学会研究報告, 2007-CVIM-158-3, pp. 17–24, 2007.
- [5] 金谷健一, 菅谷保之, 制約付きパラメータ推定のための拡張FNS法, 情報処理学会研究報告, 2007-CVIM-158-4, pp. 25–32, 2007.
- [6] 菅谷保之, 金谷健一, 最高精度の基礎行列計算法, 情報処理学会研究報告, 2007-CVIM-159-3, pp. 225–232, 2007.
- [7] M. Sakamoto, Y. Sugaya, K. Kanatani, “Homography optimization for consistent circular panorama generation”, Proceedings of the IEEE Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology (PSIVT2006), pp. 1195–1205, 2006.
- [8] 坂本雅俊, 金谷健一, 菅谷保之, 自由に撮影した画像による全周パノラマ生成のための射影変換の最適化, 情報処理学会研究報告, 2006-CVIM-155-28, pp. 219–226, 2006.



Fig. 1 射影変換を最適化した全周パノラマ画像