

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：14603

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26730091

研究課題名（和文）内部パラメータ変化特性データベースを用いた未校正カメラのカメラ位置・姿勢推定

研究課題名（英文）Uncalibrated Camera Parameter Estimation Using Intrinsic Camera Parameter Database

研究代表者

武富 貴史 (Taketomi, Takafumi)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：50610664

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：カメラの内部パラメータ変化を計測したデータセットを用いることで、カメラズームによるカメラの内部パラメータの変化を考慮したカメラ位置・姿勢推定手法の開発に取り組んだ。その結果、カメラの内部パラメータの各ズーム値における値を事前に取得しておくことで高精度にカメラの内部パラメータおよびカメラ位置・姿勢をオンラインで推定可能な手法を開発した。また、本研究課題後半では、内部パラメータのみでなく、ローリングシャッターによる画像歪にも対応したカメラ位置・姿勢推定手法の開発を行った。さらに、応用として拡張現実感アプリケーションの開発と評価を行った。

研究成果の概要（英文）：In this project, we developed the method for estimating intrinsic camera parameters and camera poses in the online process. In our method, we used pre-calibrated relationship between camera parameters and camera zoom values. By using our method, accurate intrinsic camera parameters and camera poses were estimated. In addition, we also tried to achieve accurate camera pose estimation with rolling shutter camera. In our approach, camera poses for each scan line is estimated by interpolating the first and the last scanlines' camera poses. Finally, we developed augmented reality applications and evaluated them.

研究分野：拡張現実感

キーワード：カメラ位置・姿勢推定 拡張現実感 カメラキャリブレーション

1. 研究開始当初の背景

拡張現実感において、仮想物体の合成対象となる画像を撮影したカメラの位置・姿勢を推定することは、現実環境と仮想環境との位置合わせを実現するために必須でありこれまでに数多くの研究がなされている。拡張現実感の研究が開始された当初は、情報の提示装置としてヘッドマウントディスプレイの利用を想定しており、カメラズームのような機能はユーザに違和感を与えるため利用されてこなかった。そのため、拡張現実感を実現するには、カメラの内部パラメータはカメラキャリブレーション時の状態で固定し、カメラの位置・姿勢のみをオンラインで推定することで位置合わせを実現していた。一方で、スマートフォンやタブレット端末の普及により、モバイル端末を用いた拡張現実感アプリケーションの開発が盛んに行われている。これらのモバイル端末には、光学ズームが可能なカメラを搭載しているものも存在している。しかし、現在までに提案されている手法の多くはカメラの内部パラメータを固定して利用することを想定しているため、カメラズーム利用時に位置合わせ精度が低下してしまうという問題が生じる。そこで、本研究課題では、内部パラメータの変化を考慮したカメラ位置・姿勢推定手法の開発を行う。

2. 研究の目的

拡張現実感においてカメラの内部パラメータが未知の場合においても、現実環境と仮想環境を高精度に位置合わせ可能なカメラ位置・姿勢推定手法を考案する。これまでの拡張現実感では、高精度な位置合わせの実現には、仮想物体の合成対象となる映像を撮影するカメラを事前にキャリブレーションする必要があった。これに対し本研究では、複数のカメラのキャリブレーション結果を保持したデータベースを用いることで、事前のキャリブレーションが不要な高精度カメラ位置・姿勢推定手法を考案する。カメラの位置・姿勢推定技術は、拡張現実感において必須であり、本研究は様々な拡張現実感アプリケーションへの利用可能である。また、構築するデータベースは拡張現実感以外にも画像からの三次元復元への応用も想定される。

3. 研究の方法

内部パラメータの変化を考慮したオンラインでのカメラ内部パラメータおよびカメラ位置・姿勢推定手法を実現するために、研究課題を以下の部分課題に分割し、それぞれについて取り組みを行った。

- (1) 異種のカメラ、レンズの組み合わせを用いた内部パラメータ変化特性の計測および内部パラメータ変化特性データベースの考案および構築
- (2) 内部パラメータ変化特性データベースに基づく新規カメラの内部パラメータ変化特性の推定手法の考案
- (3) 内部パラメータ変化特性データベースを用いたカメラ位置・姿勢推定手法の考案

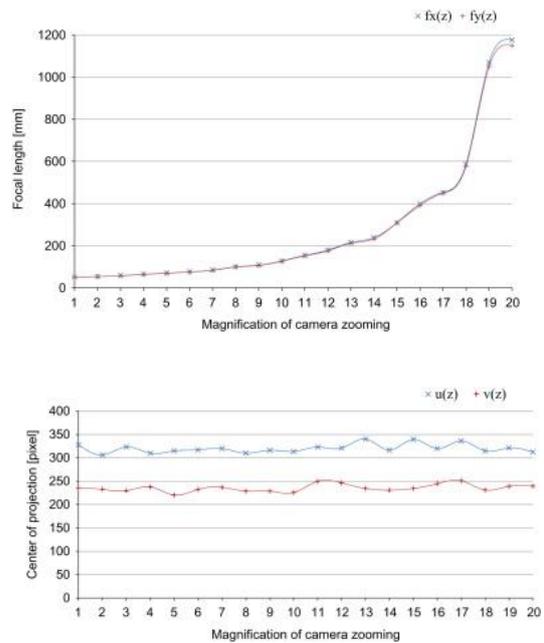


図1 ズーム値と内部パラメータの関係

(4) 内部パラメータ変化特性の推定精度の定量評価

(5) カメラ位置・姿勢推定手法の定量評価手法の考案および推定精度の定量評価

4. 研究成果

研究成果を以下の項目に分類し、それぞれについて説明する。

(1) 内部パラメータ変化の計測と計測結果を用いたカメラ位置・姿勢推定手法の開発
 本研究課題では、まず、カメラズームによるカメラの内部パラメータ変化を事前に計測し、計測結果を利用することでカメラの内部パラメータおよびカメラ位置・姿勢を推定する手法の開発に取り組んだ。提案手法では、まず、図1に示すような、各ズーム値におけるカメラの内部パラメータの計測を行う。オンラインでのカメラ位置・姿勢推定処理では、取得されたズーム値とカメラパラメータの関係を用いて、ズーム値とカメラ位置・姿勢のパラメータを推定することで、カメラの内部パラメータおよびカメラの位置・姿勢の推定を実現する。実験により、提案手法を用いることで、従来提案されているカメラの内部パラメータおよびカメラ位置・姿勢の同時推定手法よりも高精度かつ安定な推定処理が実現可能なことを確認した。図2に提案手法を用いてCGを重畳表示した結果と従来手法を用いてCGを重畳した結果を示す。提案手法を用いた場合には重畳対象のルービックキューブに赤いCGのキューブが精度良く重畳されていることが確認できる。その後、いくつかのカメラのズーム値と内部パラメータ変化の特性の計測を行い、未知のカメラに対してカメラの内部パラメータとカメラ位置・姿勢の推定処理を実現するための手法の開発に取り組んだが、高精度な推定処理を実現するには至らなかった。そのため、次項で

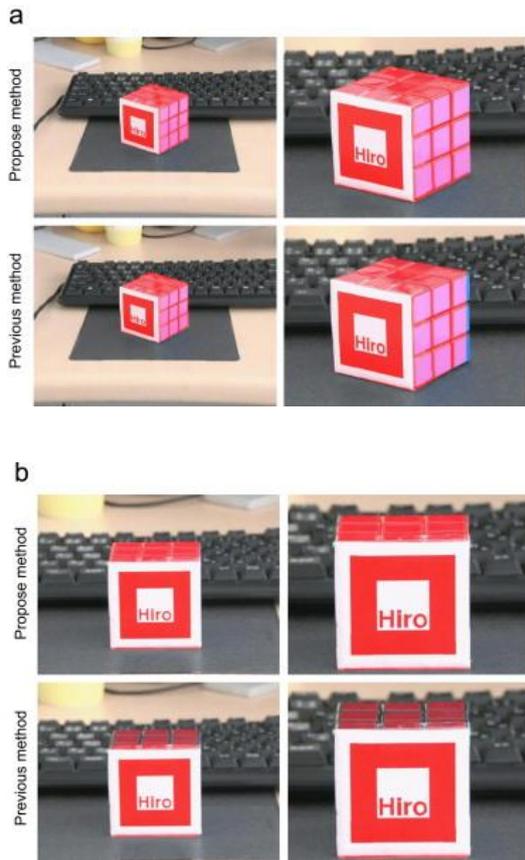


図2 重畳結果の比較

述べる，内部パラメータ変化をオンラインで計測する手法の開発を行った．

(2) 内部パラメータ変化のオンライン計測項目 (a) で開発した手法では，各ズーム値におけるカメラの内部パラメータの値を計測するために，複数回のカメラキャリブレーションを1組のカメラおよびレンズについて実施することが必要であった．これに対して，本項目では，各ズーム値におけるカメラの内部パラメータをオンラインで計測する手法について取り組んだ．提案手法では，ある特定のズーム値で一度カメラキャリブレーションを実施するのみで，その他のズーム値における焦点距離の値をオンラインで算出することが可能となっている．具体的には，図3に示すように，カメラズームによる焦点距離の変化は，画像座標を拡大または縮小することによって補正することができる．そこで，オンラインでこの拡大率を推定し，入力画像からカメラズームによる焦点距離の変化を補正することによって，カメラの内部パラメータ変化による精度低下を抑制することが実現できる．

(3) その他

本研究課題では，主としてカメラズームによる内部パラメータ変化に着目し，研究を遂行してきた．一方で，カメラの位置・姿勢の推定精度を低下させる要因として，カメラのシャッター方式に依存した画像歪の問題があ

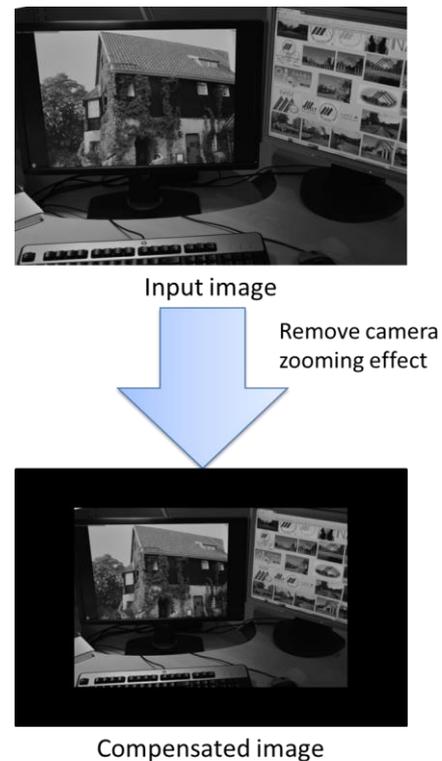


図3 カメラズームに影響の除去

る．これは，多くのカメラで採用されているローリングシャッターを用いた場合，スキャンライン毎に取得時間が異なることに起因している．そこで，ローリングシャッターによるカメラの歪を考慮したカメラ位置・姿勢推定手法の開発についても取り組んだ．さらに，カメラ位置・姿勢推定手法の応用として，拡張現実感システムの構築や本研究課題でも取り組んだ Visual-SLAM によるカメラ位置・姿勢推定を用いた拡張現実感アプリケーションのためのインタフェースの開発についても取り組みを行った．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 3 件)

- ① J. Polvi, T. Taketomi, G. Yamamoto, A. Dey, C. Sandor, and H. Kato: "SlidAR: A 3D Positioning Method for SLAM-Based Handheld Augmented Reality", *Computers and Graphics*, Vol. 55, pp. 33-43, Apr. 2016. DOI: 10.1016/j.cag.2015.10.013
- ② T. Kanatani, H. Kume, T. Taketomi, T. Sato, and N. Yokoya: "Removal of Moving Objects from Point Cloud Data for 3D Modeling of Outdoor Environments", *IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing*, Vol. 3, No. 1, pp. 54-62, Jun. 2015. http://www.iieej.org/eng/trans/IIEEJ-T_Vol3-No1.pdf
- ③ T. Taketomi, K. Okada, G. Yamamoto, J.

Miyazaki, and H. Kato: "Camera Pose Estimation under Dynamic Intrinsic Parameter Change for Augmented Reality", *Computers and Graphics*, Vol. 44, pp. 11-19, Jul. 2014. DOI: 10.1016/j.cag.2014.07.003

[学会発表] (計 16 件)

- ① 松井 琢朗, 張 起瑞, 武富 貴史, プロプスキ アレクサンダー, サンドア クリスチャン, 加藤 博一: "Curvelet 変換を用いた網状物体の除去による隠消現実感", 日本バーチャルリアリティ学会複合現実感研究会, MR2017-7, Jan. 2017. 京都大学 (京都府・京都市)
- ② T. Taketomi, V. Fuvattanasilp, A. Plopski, C. Sandor, and H. Kato: "3D Contents Arrangement in Handheld Augmented Reality Application Based on Gravity Vector", *Proc. of the First International Workshop on Mixed and Augmented Reality Innovations (MARI2016)*, pp. 1-2, Nov. 2016. Tasmania (Australia)
- ③ S. Ikeda, H. Uchiyama, T. Taketomi, F. Shibata, and I. Kitahara: "Tracking Competition as an Evaluation Methodology or AR-oriented Visual SLAM Systems", *ISMAR 2016 Workshop on Standards for Mixed and Augmented Reality*, Sep. 2016. Merida (Mexico)
- ④ T. Kurata, K. Makita, T. Taketomi, H. Uchiyama, S. Mori, T. Kondo, and F. Shibata: "Benchmarking of vision-based registration and tracking for MAR", *ISMAR 2016 Workshop on Standards for Mixed and Augmented Reality*, Sep. 2016. Merida (Mexico)
- ⑤ 大内 勇磨, 武富 貴史, 山本 豪志朗, 吉武 康栄, サンドア クリスチャン, 加藤 博一: "短距離走トレーニングのための三次元床反力の提示方法の検討", 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp. 2001-2002, Dec. 2016. 札幌コンベンションセンター (北海道・札幌)
- ⑥ 柴田 史久, 北原 格, 池田 聖, 内山 英昭, 武富 貴史: "トラッキングコンペティション 2016", 日本バーチャルリアリティ学会第 21 回大会論文集, 31D-01, Sep. 2016. つくば国際会議場 (茨城県・つくば市)
- ⑦ 早田 昂生, 武富 貴史, 山本 豪志朗, 吉武 康栄, サンドア クリスチャン, 加藤 博一: "短距離走トレーニング支援のための複合現実感型床反力可視化方法の検討", システム制御情報学会研究発表講演会, 325-5, May 2016. 京都テルサ (京都府・京都市)
- ⑧ 内山 英昭, 武富 貴史, 池田 聖: "Abecedary Tracking and Mapping - 初

学者向け Visual SLAM パッケージの開発", システム制御情報学会研究発表講演会, 131-6, May 2016. 京都テルサ (京都府・京都市)

- ⑨ 瀬戸 将志, 武富 貴史, 山本 豪志朗, Christian Sandor, 加藤 博一: "Inter-frame Delay を考慮したローリングシャッターカメラのトラッキング手法の検討", 日本バーチャルリアリティ学会複合現実感研究会, MR2016-2, Jan. 2016. 大阪大学 (大阪府・吹田市)
- ⑩ 内山 英昭, 武富 貴史, 池田 聖: "拡張現実感における Visual SLAM の技術動向", 電子情報通信学会 技術研究報告, PRMU2015-114, Dec. 2015. 信州大学 (長野県・松本市)
- ⑪ 松村 遥, 武富 貴史, 窪田 哲也, 山本 豪志朗, Sandor Christian, 加藤 博一: "拡張現実感のための空撮画像を用いた屋外環境における高精度かつ効率的な仮想物体の配置", 映像情報メディア学会 2015 年冬季大会講演予稿集, 22B-6, Dec. 2015. 早稲田大学 (東京都・新宿区)
- ⑫ 酒井 一樹, 張 起瑞, 武富 貴史, 山本 豪志朗, サンドア クリスチャン, 加藤 博一: "自然特徴点に基づく拘束を付加した DTAM による三次元形状復元精度の定量評価", 日本バーチャルリアリティ学会研究報告, Vol. 20, No. CS-3, MR2015-13, Oct. 2015. 小樽市観光物産プラザ (北海道・小樽市)
- ⑬ H. Uchiyama, T. Taketomi, S. Ikeda, and J. Lima: "Abecedary Tracking and Mapping: a Toolkit for Tracking Competitions", *Proc. Int. Symp. on Mixed Augmented Reality (ISMAR2015)*, pp. 198-199, Sep. 2015. 福岡国際会議場 (福岡県・福岡市)
- ⑭ T. Taketomi and J. Heikkilä: "Focal Length Change Compensation for Monocular SLAM", *Proc. Int. Conf. on Image Processing (ICIP2015)*, pp. 1-5, Sep. 2015. Quebec (Canada)
- ⑮ T. Taketomi and J. Heikkilä: "Zoom Factor Compensation for Monocular SLAM", *Proc. IEEE Virtual Reality (IEEEVR2015)*, pp. 293-294, Mar. 2015. Arles (France)
- ⑯ Q. Zhang, T. Taketomi, G. Yamamoto, C. Sandor, and H. Kato: "Exploiting Depth Information from Tracked Feature Points in Dense Reconstruction for Monocular Cameras", *研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM)*, 2015-CVIM-195(63), Jan. 2015. 奈良先端科学技術大学院大学 (奈良県・生駒市)

[図書] (計 1 件)

- ① T. Taketomi, "Image-Based Geometric Registration for Zoomable Cameras

Using Precalibrated Information”, In
W. Barfield (eds.): Fundamentals of
Wearable Computers and Augmented
Reality, Second Edition, CRC Press,
ISBN 978-1-482-24350-5, 2015.

[その他]

研究代表者ウェブページ：
<http://www.take103.org/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武富貴史 (Taketomi, Takafumi)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：50610664