

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：15401  
研究種目：若手研究(B)  
研究期間：2011～2013  
課題番号：23700211  
研究課題名(和文) 学習に基づく6自由度カメラ位置姿勢推定

研究課題名(英文) Learning-based camera pose estimation

研究代表者

玉木 徹 (Tamaki, Toru)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10333494

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：「カメラの位置姿勢推定」とは、さまざまな応用場面で必要となる重要な技術であり、カメラ映像から「撮影している人は今どこにいるのか(位置)どこを向いているのか(姿勢)」を認識することである。本研究では、画像情報や復元された3次元情報からカメラ位置姿勢を高速に推定する手法の開発を目的とした。本研究の成果として、カメラ映像から2次元特徴量を抽出し、既知の3次元シーンから抽出した3次元特徴量と対応を取ることで、カメラの姿勢推定を行う方法を開発した。もう一つは、カメラ映像などから復元した3次元シーンに対して、既知の3次元シーンとの対応を取る頑健な方法を開発した。

研究成果の概要(英文)：Pose estimation of a camera is estimating the location where the picture is taken and to which direction the camera is pointing to, and it has a variety of applications. In this project we have developed methods for camera pose estimation from images as well as 3D scenes reconstructed from images: one approach matches 2D information of images with 3D information of 3D scenes to estimate camera pose, and the other approach find alignments between known and current 3D scenes even when severe changes and nonrigid deformation are involved.

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：コンピュータビジョン 姿勢推定 3次元シーン カメラ姿勢 変化検出

## 1. 研究開始当初の背景

「カメラの位置姿勢推定」とは、さまざまな応用場面で必要となる重要な技術であり、カメラ映像から「撮影している人は今どこにいるのか（位置）どこを向いているのか（姿勢）」を認識することである。これは自律移動ロボットが自己位置を把握したり、障害物を検知し回避するためにも不可欠な要素である。またデジタルカメラを用いた歩行者ナビゲーションへの応用も期待できる。したがって、カメラ位置姿勢の高速な推定は、さまざまな場面において必要不可欠で重要な基盤技術であると言える。

現在は屋外環境での位置計測には一般的にGPSや慣性センサなどの画像以外の情報が用いられている。しかし環境や条件を制限すれば、センサでは得られない詳細な位置姿勢情報を画像情報から取得できる。

このような姿勢推定機能を搭載した知的なカメラが実現すれば、これまでにない歩行者ナビゲーションカメラや自律移動ロボットビジョンなどへの応用が期待できる。例えば、カメラを構えたら、自分のいる位置やどこを向いているのかが瞬時に分かり、写っているものの位置や向きも知ることができるような応用が考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究は、そのような知的なカメラを実現する基礎を築くために、画像情報からカメラ位置姿勢を高速に推定する手法の開発と理論の構築を目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究のアプローチは大きく分けて2つある。

- (1) 1つ目は、カメラ映像から2次元特徴量を抽出し、既知の3次元シーンから抽出した3次元特徴量と対応を取ることで、カメラの姿勢推定を行う方法である。
- (2) 2つ目は、カメラ映像などから復元した3次元シーンに対して、既知の3次元シーンとの対応を取ることで、カメラの姿勢推定を行う方法である。

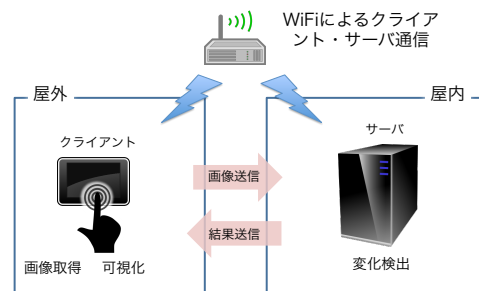
## 4. 研究成果

- (1) 2次元画像と3次元シーンとの対応を取ることで、カメラの姿勢推定を行う方法

- ① 学習済みの3次元シーンと現在のシーンが変化している場合にも、頑健にカメラ位置を推定する手法を開発した。画像を用いてカメラ姿勢を推定する場合には、学習済みのデータベースに登録されている3次元シーン（画像、特徴量）等を利用する。しかし対象となるシーン中の物体が全て制止しているとは限らないため、シーン中の変化にも頑健なカメラ姿勢の推定方法を開発した。この手法を利用して、3次元シーン中の変化を検出する手法も開発した。検出した変化の例を下図に示す。



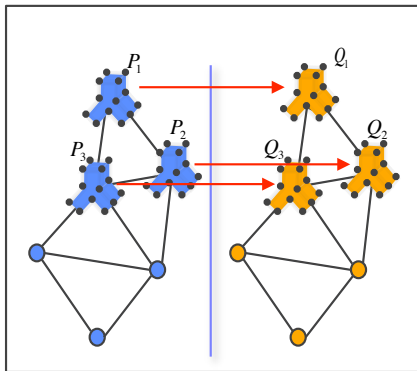
- ② 実際の状況を想定したオンライン処理のシステムを構築し、複数台のタブレット型端末で姿勢推定が行えることを確認した。システムの概要を下図に示す。このシステムはJavaで動作するサーバとAndroidタブレット端末のクライアントからなる。クライアントが撮影した画像をサーバに転送すると、サーバにおいて3次元姿勢推定処理を行い、その結果をクライアントに返送する。クライアントでは、姿勢推定結果を画像に重畳表示して、ユーザに提示する。現在はまだ処理速度に問題が残るものの、実時間処理に向けた検討を行った。



- ③ 画像に基づく姿勢推定手法の高精度化を検討した。様々な方向から撮影した物体の画像から、物体の姿勢やカメラ姿勢を推定する場合に、全ての画像を利用する

と大局的な情報を利用できるが、推定は困難になる。そこで、少数の画像を先に選択し、それらを用いて局所的な見えの変化と姿勢パラメータの変化とを関連づけ、写像の学習が容易で安定になる方法をとった。これは画像の見えを直接利用しており、より安定な局所特微量に基づく手法に拡張するための方法を検討した。

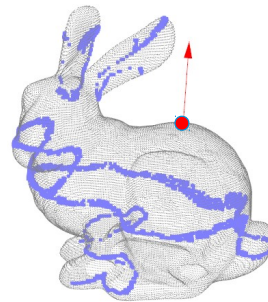
- (2) 既知の3次元シーンと現在の3次元シーンとの対応を取ることで、カメラの姿勢推定を行う方法
- ① 学習済みの3次元シーンと現在のシーンが変化している場合でも、3次元的に変化を検出し、位置合わせを行う手法を開発した。これは3次元シーン中の物体の配置関係を利用するために、3次元点群を領域に分割し、グラフを構成する。下図にグラフの例を示す。このグラフを用いて、物体同士の類似度に加え、物体ペアの配置の類似度を利用する。これにより、厳密に一致しないシーン同士の位置合わせが可能になる。またこれは従来の剛体と非剛体の位置合わせの中間に位置するものである。これにより、シーン中の変化にも頑健なカメラ姿勢の推定方法が実現できる。



- ② 異なる時刻に撮影された画像セットによって復元された3次元シーンのスケールを合わせる手法を開発した。学習済みと現在の3次元シーンのスケールが大きく異なると、ICPなどの手法を用いた位置合わせは失敗することが多い。そのため、各3次元シーンのスケールをあらかじめ推定し、スケールを合わせた後に位置合わせする方法を開発した。この手法は、spin imageなどの3次元局所特微量の近傍の大きさ（スケール）を徐々に変化させた時の累積寄与率曲線を、スケール方向の1次元のみに変化させて曲線同

士の位置合わせを行うものである。実シーンを用いた実験により、複雑な物体が存在する場合でも2つの3次元シーンのスケールを推定し、位置合わせに成功することを示した。

- ③ スケールの異なる3次元物体を位置合わせする場合に用いる新たな特微量を開発した。3次元点群に対する局所特微量はスケール固定のものがほとんどであり、物体のスケールが異なる場合には、位置合わせに用いることができない。スケール不変な特徴検出を用いる方法もあるが、3次元ボリュームやサーフェスマッシュに対するものがほとんどであり、3次元点群に直接適用できる手法は少ない。提案した特微量は、一般的な局所特微量とは異なり、物体輪郭を用いた大域的な形状を記述するものである（下図は、ある点に対する輪郭情報を示している）。本手法の精度をシミュレーション実験により評価し、パラメータ変化などに頑健であることを示した。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計4件）

1. Baowei Lin, Toru Tamaki, Marcos Slomp, Bisser Raytchev, Kazufumi Kaneda, Koji Ichii: "3D Keypoints Detection from a 3D Point Cloud for Real-Time Camera Tracking", IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems, Vol. 133, No. 1, pp.84-90 (2013). [https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejieiss/133/1/133\\_84/article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejieiss/133/1/133_84/article)（査読あり）
2. Baowei Lin, Yuji Ueno, Kouhei Sakai, Toru Tamaki, Bisser Raytchev, Kazufumi Kaneda, Koji Ichii: "Image Based Detection of 3D Scene Change",

- IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems, Vol. 133, No. 1, pp.103-110 (2013). [https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieej/eiss/133/1/133\\_103/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieej/eiss/133/1/133_103/_article) (査読あり)
3. Baowei Lin, Kouhei Sakai, Toru Tamaki, Bisser Raytchev, Kazufumi Kaneda, Koji Ichii, "Semi-Rigid Registration of 3D points", Journal of Signal and Information Processing, Vol. 4, No. 3B, August 2013. ISSN: 2159-4465, DOI:10.4236/jsip.2013.43B005 [http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=38045#.U17qq16F6\\_o](http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=38045#.U17qq16F6_o) (査読なし)
  4. Haoming Wang, Baowei Lin, Toru Tamaki, Bisser Raytchev, Kazufumi Kaneda, Koji Ichii, Development of a Client-Server System for 3D Scene Change Detection, Journal of Software Engineering and Applications, Vol. 6, No. 7B, July 2013. ISSN:1945-3116, DOI:10.4236/jsea.2013.67B004 <http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=38430> (査読なし)
- 〔学会発表〕 (計18件)
1. Fangda Zhao, Baowei Lin, Toru Tamaki, Bisser Raytchev, Kazufumi Kaneda, "Scale invariant descriptor with border points of 3D point clouds," The 20th Korea-Japan Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2014), February 4-6 2014, Okinawa National College of Technology, Okinawa, Japan. (2014 02)
  2. Bisser Raytchev, Kazuya Terakado, Toru Tamaki, and Kazufumi Kaneda, "Object Pose Estimation by Locally Linearly Embedded Regression," Springer Lecture Notes in Computer Science LNCS 8228, Part III, 20th International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2013), pp. 458-468, 3-7 November, 2013. EXCO, Daegu, Korea. DOI: 10.1007/978-3-642-42051-1\_57
  3. Fangda Zhao, Baowei Lin, Toru Tamaki, Bisser Raytchev, Kazufumi Kaneda, Scale Invariant Point Feature for 3D Object Detection, 平成25年度 (第64回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会, 2013/10/19, 岡山大学, 岡山.
  4. Baowei Lin, Toru Tamaki, Bisser Raytchev, Kazufumi Kaneda, Koji Ichii, Scale ratio ICP for 3D point clouds with different scales, 2013 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP2013), September 15-18 2013, Melbourne Convention and Exhibition Centre, Melbourne, Australia.
  5. Baowei Lin, Kouhei Sakai, Toru Tamaki, Bisser Raytchev, Kazufumi Kaneda, Koji Ichii, "Semi-Rigid Registration of 3D points", International Conference on Signal and Image Processing (CSIP 2013), July 14-16, 2013, Beijing Yanshan Hotel, Beijing, China.
  6. Haoming Wang, Baowei Lin, Toru Tamaki, Bisser Raytchev, Kazufumi Kaneda, Koji Ichii, Development of a Client-Server System for 3D Scene Change Detection, The 5th International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering (CiSE 2013), July 14-16, 2013, Beijing Yanshan Hotel, Beijing, China.
  7. 境耕平, 林宝尉, 玉木徹, 金田和文, Bisser Raytchev, 一井康二, 「配置情報のエネルギー最小化に基づく3次元点群の位置合わせ」, 第19回画像センシングシンポジウム SSII2013, パシフィコ横浜, 神奈川 (2013 06 12-14).
  8. Toru Tamaki, Bingzhi Yuan, Kengo Harada, Bisser Raytchev, Kazufumi Kaneda: "Linear Discriminative Image Processing Operator Analysis", Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR2012), pp. 2526-2532, 2012. Providence Convention Center, Providence, Rhode Island, USA, June 16-21th, 2012.
  9. Toru Tamaki, Haoming Wang, Bisser Raytchev, Kazufumi Kaneda, Yukihiko Ushiyama: "Estimating the spin of a table tennis ball using inverse compositional image alignment", Proc. of ICASSP 2012 ; 2012 IEEE

- International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, pp. 1457-1460 (2012 03), Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan, March 25-30, 2012.
10. Toru Tamaki, Yuji Ueno, Shunsuke Tanigawa, Bisser Raytchev, Kazufumi Kaneda: "3D Keypoint Detection by Embedding 2D Features for 3D-2D Matching", FCV2012, 18th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision, pp. 62-65, 2012. Kawasaki International Center, Kanagawa, Japan, Feb. 2-4, 2012.
  11. Yuji Ueno, Baowei Lin, Kouhei Sakai, Toru Tamaki, Bisser Raytchev, Kazufumi Kaneda: "Camera Position Estimation for Detecting 3D Scene Change", FCV2012, 18th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision, pp. 344-350, 2012. Kawasaki International Center, Kanagawa, Japan, Feb. 2-4, 2012.
  12. H. Wang, T. Tamaki, B. Raytchev, K. Kaneda, Y. Ushiyama: "A method for measuring ball spin", The 15th SANKEN International Symposium, pp. 112-113, 2012. Osaka University, Osaka, Japan(2012/1/12-13).
  13. K. Sakai, Y. Ueno, L. Baowei, T. Tamaki, B. Raytchev, K. Kaneda: "Real-time detection of change in a 3D scene", The 15th SANKEN International Symposium, pp. 116-117, 2012. Osaka University, Osaka, Japan (2012/1/12-13).
  14. Bisser Raytchev, Kazuya, Toru Tamaki and Kazufumi Kaneda : "POSE ESTIMATION BY LOCAL PROCURSTES REGRESSION", Proc. of ICIP2011 ; The International Conference on Image Processing, pp. 3646-3649 (2011 9), the Square Brussels Meeting Center, Belguim, September 11-14, 2011.
  15. Tamaki Toru, Yukihiko Ushiyama, Bisser Raytchev, Kazufumi Kaneda: "Inverse Composite Alignment of a sphere under orthogonal projection for ball spin estimation", 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, Vol. 2011-CVIM-178, No. 13, pp. 1-5 (2011 08), 公立はこだて未来大学, 函館市, 北海道 (2011/08/29).
  16. 境耕平, 植野祐司, 林宝尉, 玉木徹, Bisser Raytchev, 金田和文: 「3次元点群における変化のリアルタイム検出」, MIRU2011 画像の認識・理解シンポジウム論文集, pp.1697-1698, 金沢市文化ホール, 石川 (2011 07 20-22).
  17. 寺門和哉, Bisser Raytchev, 玉木徹, 金田和文: 「Procrustes Analysisを用いた姿勢推定」, MIRU2011 画像の認識・理解シンポジウム論文集, pp.753-756, 金沢市文化ホール, 石川 (2011 07 20-22).
  18. 植野祐司, 玉木徹, Bisser Raytchev, 金田和文: 「2D-3Dマッチングを用いた3次元点群の時間的な剛体変化検出」, 電子情報通信学会技術報告 パターン認識・メディア理解研究会 PRMU2011-43, Vol. 111, No.76, pp.67-72, 慶應大学, 神奈川 (2011 05 30).
- 〔その他〕  
ホームページ等  
<http://home.hiroshima-u.ac.jp/tamaki/>
6. 研究組織  
(1) 研究代表者  
玉木 徹 (TAMAKI TORU)  
広島大学・大学院工学研究院・准教授  
研究者番号：10333494