

複数カメラによる実投球ボールの画像解析

Image Analysis of Pitched Ball Using Multiple Cameras

子安 大士[†]
Hiroshi Koyasu

沼田 洋行[†]
Hiroyuki Numata

前川 仁[†]
Hitoshi Maekawa

永見 智行[‡]
Tomoyuki Nagami

彼末 一之[‡]
Kazuyuki Kanosue

1 はじめに

野球において投手の投げたボールを解析したいという要求がある。そこで、我々は高速度カメラにより撮影した実投球ボールの軌道と回転を解析する研究を行ってきた [1]。しかし、単眼の固定カメラでは投球全体を十分な大きさで撮影することが難しい。そこで、本論文では投手後方と捕手後方の2ヶ所から高速度カメラで撮影した情報から、実投球ボールの軌道と回転を解析する。

2 関連研究

Shum ら [2] は高速度カメラを用い、シーン中から検出したボール上のテクスチャを比較することで、その回転と軌道を求めた。Theobalt ら [3] は、室内環境で複数台のカメラやストロボ照明等を用いてボールの回転と軌道、及び投球時の投手の手の動きを解析した。井上ら [4] は、高速度カメラで得たデータに対して陰影を考慮したボール検出とパラメトリック固有空間法を用いて回転情報を得ている。しかし、これらの研究においては、特殊な環境を必要としたり、投球シーンを区切って解析をしたり、または投球シーンに対して非常に短い範囲での解析であったりしている。

3 投球ボールの軌道推定

3.1 カメラ行列の導出

カメラの関係を導くために、まず、両方のカメラで共に写っている共通特徴点を取得する。図1のような事前に取得しやすい特徴を捉えた画像を複数枚撮影し、これらの特徴点を元に [5] によりF行列 F を求める。求めたF行列に対し、カメラの内部パラメータ行列 A を与えることで、 $E = A^T F A$ によりE行列 E を得る。この E を特異値分解することで、片方のカメラ行列を P_1 に固定したときの他方のカメラ行列 P_2 を得る。

3.2 軌道の推定

それぞれのカメラの画像において、ボール輪郭がなす円をLMedSを用いて推定することでボールの中心と半



図1: 共通特徴点の取得画像例。左: 投手後方, 右: 捕手後方。図中の白丸の中が共通特徴としての重り。

径を求めることができる [1]。ボール中心の3次元座標を $X = (x, y, z)^T$ とし、それぞれのカメラで観測されたボールの中心位置を $c_1 = (u_1, v_1)^T$, $c_2 = (u_2, v_2)^T$ とすると、 $c_1 = P_1 X$, $c_2 = P_2 X$ となり、この連立方程式を解くことで X を求めることができる。ただし、この式は未知変数3に対して4つの式があるので、最小二乗により推定を行う。

4 投球ボールの回転解析

4.1 各カメラにおける回転解析

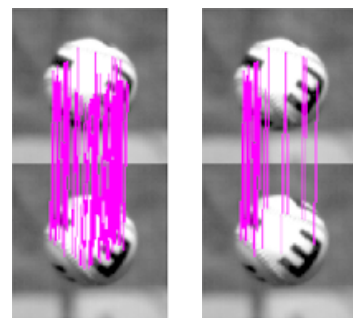


図2: ASIFTを用いた特徴点追跡。(左):除去前の結果。(右):距離が閾値以上の対応付けを除去した結果。

それぞれのカメラにおける回転の解析は、ボール画像上での特徴点を追跡することで行う。特徴点を得やすいように、ボールにはマーカが塗布されているものとする。追跡する特徴点には、画像の見えの変化に頑健な特徴記述子であるASIFT [6] を用いる。また、連続したフレームでは大きな特徴点位置の変化はないとして、ある閾値以上の対応点を除去する。得られた追跡結果の例を図2

[†]埼玉大学大学院理工学研究科

[‡]早稲田大学スポーツ科学部

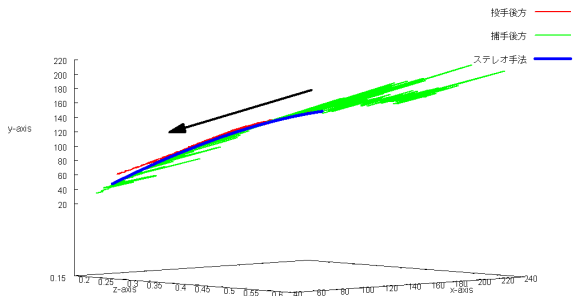


図 3: 単眼による手法 [1] と提案手法によるボール軌道の推定結果．図中の矢印はボール進行方向を表す．

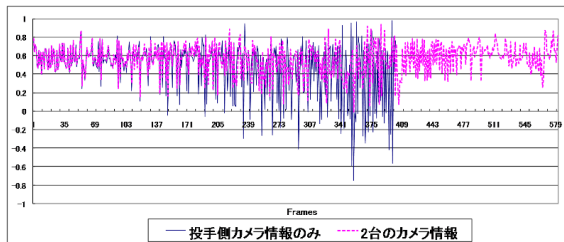


図 4: 回転軸ベクトルの x 方向成分．紫色の破線が 2 つのカメラの結果を統合した推定結果．紺色の実線が投手後方のカメラのみでの推定結果．

に示す．このとき除去前 (図 2 左) における対応点数は 66 個であり，除去後 (図 2 右) では 24 個であった．

特徴点追跡により連続したフレームでの点の移動が得られるので，そこから直接線形変換により回転のパラメータを求める．

4.2 それぞれのカメラにおける結果の統合

それぞれのカメラで得られた回転の解析結果を統合し，より精度の高い結果を得る．カメラは投手側と捕手側に配置されているため，投球の始めでは投手側のカメラで特徴点が大きく写るので信頼性が高く，捕手側では十分な大きさの特徴点が写らないので情報を取得できない．逆に投球の終わりでは捕手側の信頼性が高い．そこで，3.1 節で得たカメラ行列により，カメラ 2 での情報をカメラ 1 へと変換し，両方で情報を得られた共通フレームにおいてフレームに応じた重みを線形に設定し，重み付きの和をとることで最終的な推定とする．

5 実験

本手法の有効性を確認するために，実際の投球シーンに提案手法を適用し軌道と回転の情報を取得した．投球シーンは早稲田大学所沢キャンパスの実験用規格マウンドにて撮影を行った．投手は野球経験のある大学院生で，撮影には 1000 [fps] の高速度カメラを使用した．

図 3 に軌道を推定した結果を示す．図中の青い線が提案手法による推定結果であり，赤，緑の線がそれぞれ投手後方，捕手後方のカメラで得られた情報に対して [1] の

単眼カメラからのボールの軌道推定手法を独立に適用した結果である．従来手法では連続したフレームでの軌道が大きく振動してしまっているところが，提案手法ではそのようなことがなく，スムーズな軌道を推定できている．しかし，提案手法では両方のカメラで共通してボールが検出できているフレームのみ適用可能であるため，推定されたフレーム数が従来手法より短いという欠点がある．

図 4 に回転の推定結果の一例として回転ベクトルの x 方向成分の推定結果を示す．図中紫色の破線が 2 つのカメラの結果を統合した推定結果で，紺色の実線が投手後方のカメラのみでの推定結果である．統合することにより，捕手後方のカメラでのみ得られている情報を反映させることができ，また，推定結果がより安定していることがわかる．

6 まとめと今後の課題

投手後方と捕手後方の 2 つのカメラを用いることで，投球全体に渡って軌道と回転の情報を解析することができ，また，精度も高くなった．今後の課題としては，マークなしのボールへの対応や，照明条件への頑健性を高めることが挙げられる．

参考文献

- [1] 沼田, 氏原, 子安, 前川, 永見, 彼末, “実投球ボールの軌道推定と回転の解析”, FIT2009, pp.193-194, 2009.
- [2] H. Shum, T. Komura, “Tracking The Translational and Rotation Movement of The Ball Using High-Speed Camera Movies”, ICIP, Vol.3, III-1084-7, 2005.
- [3] C. Theobalt, I. Albrecht, J. Harber, M. Magnor, H. Seidel, “Pitching a Baseball-Tracking High-Speed Motion with Multi-Exposure Images”, ACM SIGGRAPH 2004 Papers, pp.540-547, 2004.
- [4] 井上卓也, 植松裕子, 斎藤英雄, “高速度カメラを用いた野球ボールの回転速度推定システム”, SSII2010, IS2-22, pp.1-7, 2010.
- [5] Z. Zhang, R. Deriche, O. Faugeras, Q. T. Luong, “A robust technique for matching two uncalibrated images through the recovery of the unknown epipolar geometry”, Artificial Intelligence Journal, 78, pp.87-119, 1994.
- [6] J.M. Morel, G.Yu, “ASIFT: A New Framework for Fully Affine Invariant Image Comparison”, SIAM Journal on Imaging Sciences, vol. 2, issue 2, pp. 438-469, 2009.