

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11606

研究課題名（和文）民生用高速度カメラを用いたスポーツ動作解析と可視化に関する研究

研究課題名（英文）Analysis and visualization of sport motions by using consumer grade high speed camera

研究代表者

井尻 敬 (Ijiri, Takashi)

芝浦工業大学・工学部・准教授

研究者番号：30550347

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、普及の進む民生用高速度カメラの一般ユーザ向け利用方法の確立を目的とし、特にスポーツに分野着目し、高速度カメラを活用した計測・可視化システムに関する研究に取り組んだ。具体的には、競技者の姿勢情報を利用した反復練習動画の効率的な可視化システム、野球ボールのスピンの解析システム、および、反復練習を高速度動画により確認可能なスマートミラーシステムを実現した。開発成果は学域等に発表済みであり、成果の一部についてアプリケーションおよびソースコードを公開済みである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題の実施により、急速な普及が期待される高速度カメラを手軽にスポーツ練習に利用する複数のアプリケーションが実現された。特に本研究では、競技者の姿勢に着目することで高速度動画の視聴を効率化できることや、競技者姿勢情報により高速度動画のシャッターを自動制御出来ることを示した。さらに、コンシューマ向けの高速度カメラにより野球における変化球の回転解析を行える手法を実現した。本研究における一連の成果は、一般ユーザが高速度カメラを活用する可能性を広げると期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this project, we developed multiple applications that utilize consumer-grade high-speed cameras, which are quickly spreading, for supporting sports visualization. Specifically, we have worked on the following three sub-themes; (A) a tool for efficient visualization of high-speed videos that captures repetitive practice motions by using the posture information of players, (B) a method for estimating spin axis and speed of a pitched baseball from high-speed videos, and (C) a smart mirror system for automatically capturing repetitive practice motions with high-speed video. The results have been presented in conferences. Also, for some of these results, software and source code have been released.

研究分野：コンピュータグラフィクス、画像処理

キーワード：民生用高速度カメラ スポーツ 姿勢追跡 動画画像処理 可視化

1. 研究開始当初の背景

一般ユーザ向けの民生用カメラやスマートフォンにも高速度撮影機能が搭載され始めた。しかし、従来、高速度カメラは非常に高価なデバイスであり、専門家が製品検査・研究などの目的に利用するものであったため、一般ユーザが手軽に高速度カメラを活用するようなアプリケーションはあまり開発されていなかった。

スポーツにおいて、動作の計測や可視化は、正しいフォーム獲得・パフォーマンス向上・けが防止のために重要である。Motion Capture システムなどの特殊機材を利用すれば詳細な動作解析を行えるが、趣味としてスポーツを行う一般ユーザにとって、高価な特殊機材の利用は現実的ではない。本研究の開始時点において、スポーツ計測の重要性は広く認識されており、特定のスポーツに特化した比較的安価なセンサデバイスが開発・販売されていた。例えば、バットに取り付けるスイング計測センサ (Zepp スイングセンサ) やスピンを測定できるセンサ内蔵ボール (ミズノ MAQ) などが挙げられる。しかし、これらの単純なセンサのみでは競技者の体の動きを測定できないという課題が残る。

2. 研究の目的

本研究は、広く普及しつつある民生用高速度カメラのスポーツへの活用に着目し、スポーツの計測・可視化を手軽に行えるシステムの実現を目的とする。特に、趣味としてスポーツを楽しむアマチュアユーザが手軽に利用できるシステムの開発を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、以下3件のサブ課題を並行して実施した。

- 課題 A: 姿勢追跡法を活用したスポーツ反復練習の可視化・解析システム
- 課題 B: 高速度カメラによる変化球のスピンの解析システム
- 課題 C: 鏡を模倣したフォーム可視化用スマートミラーシステム

各課題において、システムの開発後、精度検証やユーザスタディを行いその有用性を検証した。

4. 研究成果

4.1 課題 A. 姿勢追跡法を活用したスポーツ反復練習の可視化・解析システム

スポーツ反復練習の高速度動画はインターバルも多く含むため、視聴時には関心のある動作をシークバーにより検索する作業が必要となり、その視聴には手間がかかる。そこで本課題では、スポーツ反復練習動画の効率的な視聴・解析法の実現を目的とし、深層学習による姿勢追跡法を活用することで冗長な動画から反復練習部分のみを抽出し提示できるシステムを提案した[1]。

図1左に提案システムのスクリーンショットを示す。提案システムでは、まず、視聴したい動画と、その動画内の競技者の姿勢データを入力する。姿勢データは、OpenPose や PoseNet 等の深層学習による姿勢追跡法により取得する。入力した動画は、メインウィンドウ(図 1a)に表示され、シークバーより再生フレームを指定できる。続いて、入力した動画に含まれる関心のある動作の開始・終了フレームをダイアログ(図 1d)より入力する。続いて、『Search All Clips』ボタ

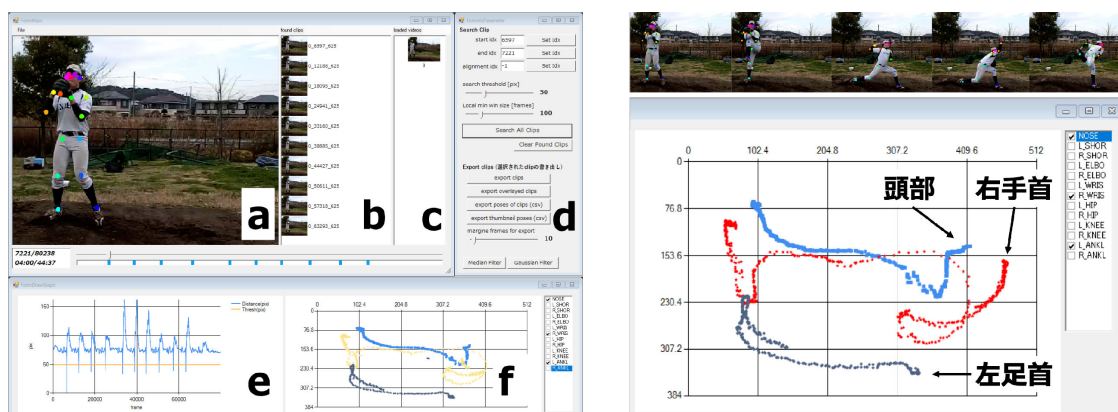


図 1. 反復練習動画の効率的な視聴・解析システム。文献[1]の図 2 および図 4 より引用。

ンを押すと、競技者の姿勢情報を利用することで、指定した動作と似た動作に関する動画クリップが検索されサブウィンドウ(図 1b)に提示される。図 1 の例では、ある投球動作の開始・終了フレームを指定することで、この動画に含まれる全ての投球動作が自動で検索されている。ユーザは、検索した動作クリップを視聴するだけでなく、頭部・手首・足首といったランドマークの軌跡の可視化(図 1 右)や、複数の動作クリップを重ね合わせた動画の出力などを行うことが可能である。

このシステムの開発目的は 120~1000fps 程度の高速度動画の効率的な解析であるが、30fps 程度の通常の動画へも適用可能である。提案システムを、野球の投球(高速度動画)・サッカーのシュート(通常の動画)・バドミントンのスマッシュ(通常の動画)の練習動画の解析に利用し、それぞれ、非常に高い精度で対象動作を検出できることを確認した。また、3 次元的姿勢追跡を行うことで、複数視点動画に対応する拡張も実施した[2]。研究成果は、国内学会で発表され[1, 2]、優秀研究発表賞などの受賞に至っている。提案システム[1]は、ソースコードを含めて、研究代表者の研究室 Web ページ[3]より公開を予定している。

4.2 課題 B: 高速度カメラによる変化球のスピンの解析システム

野球をはじめとする様々な球技では、ボールの回転のコントロールが必要となるため、ボールの正確な回転情報は練習の効率化につながる重要な情報である。この課題では、野球の変化球に着目し、民生用高速度カメラにより投球されたボールを計測し、その動画を解析することで回転軸・回転速度を推定する手法を実現した[4]。図 2 に計算過程の概要を示す。まず、投手後方より撮影された高速度動画(960fps や 480fps による撮影を仮定)が入力されると(図 2a)、背景差分法及び円 Hough 変換によりボールを追跡し、ボールのみを切り出した Ball Clip を作成する(図 2b)。続いて、Ball Clip において似た画像が現れる間隔を計算することで回転速度を推定する(図 2c)。更に、連続する 2 フレームのボール画像を最も満足する回転軸を画像位置合わせにより推定し(図 2d)、結果を提示する(図 2e)。

申請書に記載したとおり、本研究課題の構想段階からこのサブ課題に取り組んでおり、課題の重要部分は実装・発表済みであった[4]。そのためこの課題における主なタスクは、データ・ソースコードの整理および公開であった。提案システムは、C++ を利用し実装されていたが、より他の研究者が利用しやすいと考えられる Python を利用し、処理内容・ソースコードを整理し再実装を行った。このシステムは SpinTracker という名前で、他の研究者が手軽に研究目的に利用できるように、研究代表者の Web ページより公開されている[5]。

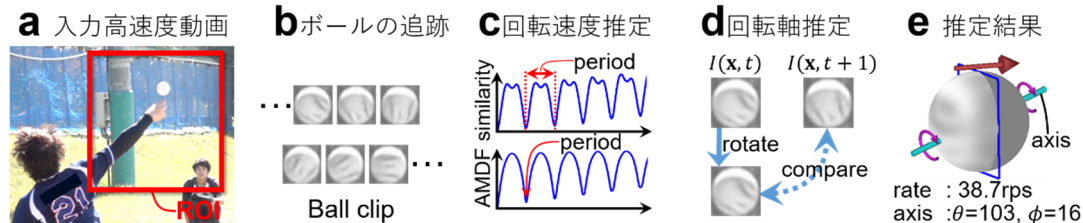


図 2. 高速度カメラによる変化球のスピンの解析システム, SpinTracker. 文献[4]の Figure 1 より引用。

4.3 課題 C: 鏡を模倣したフォーム可視化用スマートミラーシステム

4.3.1 プロジェクタを用いたスマートミラーシステム

スポーツの技術向上には反復練習が重要である。練習をコーチとともに行なう場合は、練習の様子を第三者視点から確認可能であるが、反復練習を一人で行う場合には自身の姿勢を確認するために鏡が利用されることも少なくない。また、スポーツにおける高速な動作の詳細な確認するには、高速度カメラにより得られるスローモーション動画が有用である。そこで、スポーツにおける反復練習の様子を自動で高速度撮影し、得られたスローモーション動画を観察可能なスマートミラーシステムを提案した[6]。

提案システムでは、ウェブカメラにより得られる画像をプロジェクタにより投影することでスマートミラーシステムを実現する(図 3)。提案システムは、ウェブカメラの他に、複数台の高速度カメラが設置されており、この高速度カメラにより反復動作を記録する。



一般的に、民生用高速度カメラは、その動画記録時間に限界があり(本研究で利用した SONY 図 3. 鏡を模倣したフォーム可視化用スマートミラーシステム. 文献[6], 図 1 より引用。

RX10II では 2 秒), 録画の開始時点を指定する必要がある。そのため, 一人で行う練習では高速度カメラによる記録は困難であった。そこで, 提案システムでは, 姿勢情報を利用して自動的に高速度撮影を行う仕組みを提案した。提案システムの概要を図 4 に示す。練習者は, まず, 撮影したい練習動作 (例えば素振り動作など) を登録し(a-b), その後, 反復練習を行う。システムは, PoseNet により, リアルタイムに練習者の姿勢情報 (体のランドマーク位置) を推定し, 登録された動作と似たものが現れたら, Wifi 通信により高速度カメラに録画開始の信号を送る。記録された高速度動画は, 後から確認可能であり, また重心や体軸の推移を可視化することも可能である。

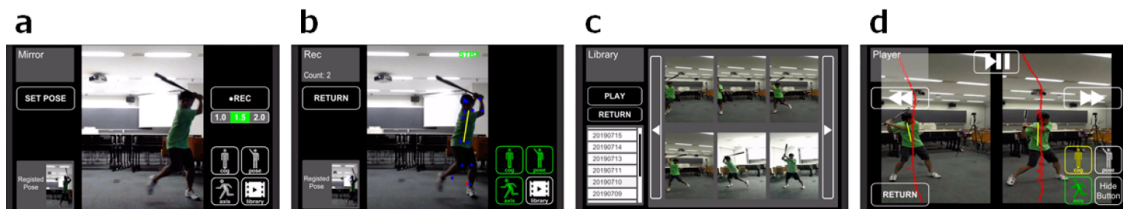


図 4. スマートミラーシステムのユーザインタフェース. 文献[6], 図 2 より引用。

4.3.2 複数高速度カメラを用いた多視点自動撮影システム

先のスマートミラーシステムは, 大画面で姿勢を確認できるという利点があるものの, プロジェクタやデスクトップ PC などの大きな機材が必要であるという課題があった。そこで, 練習現場での利用を考慮し, システム全体の小型化した新たなシステムを提案した[7]。このシステムは, 操作用タブレット PC, 姿勢撮影用ウェブカメラ, および, 複数台の高速度撮影用アクションカメラより構成される (図 5a)。特に, 小さなアクションカメラはクリップによる固定も可能であるため (図 5b), 自由度の高い配置が可能である。

このシステムでは, 先のスマートミラーシステムと同様に, 登録した動作が現れると高速度撮影が開始される。この機能に加えて, このシステムでは, 動作検出の堅固化や複数高速度カメラによる同時撮影機能を追加した。図 5(c,d)に, テニススイングの様子を, 4 台カメラから撮影した例を示す。このシステムは, 手軽に持ち運び・設置が可能な機材のみで反復練習を高速度動画で撮影しその振り返りを行える。提案法の有用性を示すため, 野球経験者を対象にユーザスタディを実施し肯定的な意見をj得ている [7]。



図 5. 複数高速度カメラを用いた多視点自動撮影システム. (c,d)は文献[7]の図 6, 7 より引用。



図 6. MR 技術を利用したスポーツ動作の等身大可視化. 文献[9], 図 1 より引用。

4.3.3 Mixed Reality 技術を利用したスポーツ動作の等身大可視化

上記の 2 システムでは, 高速な動作の振り返りのための, 姿勢情報を利用した高速度カメラ自動撮影システムを提案した。ただし, 上記 2 システムや, 既存のスポーツリプレイシステムでは, 競技者の動きがモニターやスクリーン上に提示されるため, 動きの大きさを把握しにくいという課題があった。そこで, 競技者の“動作の大きさ”を把握しやすい動きの可視化手法の実現を目的とし, Mixed Reality (MR) 技術を活用することで, 競技者の動作を等身大の連続写真として可視化する手法を提案した[8, 9]。

このシステムでは, カメラシースルー型の Head Mounted Display を装着した観察者が, 競技者の動作を手持ちのカメラで撮影する(図 6a)。すると, 撮影された一連の動作が, 等身大の連続

写真(図 6b), または, 等身大の動画(図 6c)として, MR 空間内の動作を行った場所に可視化される。観察者は, 自由に視点を動かしながら等身大の連続写真・動画を観察できるため, ジャンプの距離や高さなど, 動作の大きさを把握できる。この可視化手法の効果を確認するためユーザースタディを実施し, モニタ表示と提案法を比較した場合, 実験参加者は, より正確に動作の大きさを把握できたという結果が得られている[9]。

また, 本研究では, 上記の他にも, OpenPose による推定結果を安定させるための後処理方法[10]や, 高速度カメラによる内野手の足の運びの解析法[11], 深層学習によるバットスイングの詳細な区間分類法[12]の開発を行った。これらの成果は研究会等にて発表済みである。

< 引用文献 >

- [1] 増田 毅, 永見 智行, 井尻 敬. 姿勢追跡技術を活用したスポーツ反復練習動画の視聴システム. 情報処理学会 第 186 回 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会, 2020 年 1 月 15-16 日. (学生奨励賞受賞)
- [2] 平栗 義久, 井尻 敬. 3 次元姿勢推定を用いた反復練習動画の効率的な視聴システム. 映像表現・芸術科学フォーラム 2021, ポスター発表, 2021 年 3 月 8 日. (優秀研究発表賞)
- [3] 井尻 敬. Interactive Graphics 研究室 Web ページ. URL: www.igl.ise.shibaura-it.ac.jp.
- [4] Takashi Ijiri, Atsushi Nakamura, Akira Hirabayashi, Wataru Sakai, Takeshi Miyazaki, Ryutaro Himeno. Automatic spin measurements for pitched Baseballs via consumer-grade high-speed cameras. Springer, Signal Image and Video Processing, Vol. 11, Issue 7, pp 1197-1204, 22 February 2017.
- [5] Takashi Ijiri, SpinTracker, URL: takashijiri.com/projects/2017ProjSpinEstim/index.html.
- [6] 新野大輔, 井尻敬. 姿勢検出法を活用したスポーツ反復練習のためのスマートミラーシステム. Entertainment computing 2019, 2019 年 9 月 20-22 日.
- [7] 向井 稜, 武藤 駿嗣, 井尻 敬. 複数の高速度カメラを用いたスポーツ練習動作の多視点撮影システム. 第 192 回ヒューマンコンピュータインタラクション研究発表会, 2021 年 03 月 15-16 日.
- [8] 武藤駿嗣, 新野大輔, 井尻敬. スポーツ連続写真の等身大可視化. Entertainment computing 2019, 2019 年 9 月 20-22 日.
- [9] Shunji Muto, Takashi Ijiri. Life-size Sequential Photography in a Mixed Reality Environment. VRST '20: 26th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, posters, Vertual Event Canada 2-4 November 2020.
- [10] 新野大輔, 井尻敬. フレーム間の連続性を考慮した人物姿勢推定法の堅固化. 第 26 回 Visual Computing (VC 2018), 2018 年 6 月 27 日-29 日.
- [11] 酒井美喜雄, 新野大輔, 井尻敬. 高速度カメラを用いた内野手の守備動作解析. 映像表現・芸術科学フォーラム 2019 (Expressive Japan 2019), 2019 年 3 月 12 日.
- [12] 荒川 耀太, 永見 智行, 井尻 敬. Context Aware Loss 関数を用いた野球スイング動画の区間分類法. Visual Computing 2020, ポスター発表, 2020/12/2~4.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 永見 智行	4. 巻 59
2. 論文標題 三次元計測に基づくスポーツ研究・応用事例：野球の場合	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 計測と制御	6. 最初と最後の頁 733～738
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11499/sicejl.59.733	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 増田 毅, 永見 智行, 井尻 敬
2. 発表標題 姿勢追跡技術を活用したスポーツ反復練習動画の視聴システム
3. 学会等名 情報処理学会 第 186回 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 新野大輔, 井尻敬
2. 発表標題 姿勢検出法を活用したスポーツ反復練習のためのスマートミラーシステム
3. 学会等名 情報処理学会エンタテインメントコンピューティング研究会 Entertainment computing 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武藤駿嗣, 新野大輔, 井尻敬
2. 発表標題 スポーツ連続写真の等身大可視化
3. 学会等名 情報処理学会エンタテインメントコンピューティング研究会 Entertainment computing 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永見智行, 金沢慧, 光川真壽
2. 発表標題 ボールトラッキングデータ計測は投球練習をどう変えるか
3. 学会等名 日本野球科学研究会第7回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 酒井美喜雄, 新野大輔, 井尻敬
2. 発表標題 高速度カメラを用いた内野手の守備動作解析
3. 学会等名 映像表現・芸術科学フォーラム2019 (Expressive Japan 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永見智行
2. 発表標題 テクノロジーの活用はアマチュア野球選手の能力向上にどう生きるのか?
3. 学会等名 Sports Analytics Japan 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永見智行
2. 発表標題 スポーツ動作の繊細な制御と発揮パフォーマンスを測る
3. 学会等名 有機エレクトロニクス材料研究会第233回研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新野大輔, 井尻敬
2. 発表標題 フレーム間の連続性を考慮した人物姿勢推定法の堅固化
3. 学会等名 第26回 Visual Computing (VC 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 向井 稜, 武藤 駿嗣, 井尻 敬
2. 発表標題 複数の高速度カメラを用いたスポーツ練習動作の多視点撮影システム
3. 学会等名 第192回ヒューマンコンピュータインタラクション研究発表会. オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平栗 義久, 井尻 敬
2. 発表標題 3次元姿勢推定を用いた反復練習動画の効率的な視聴システム
3. 学会等名 映像表現・芸術科学フォーラム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荒川 耀太, 永見 智行, 井尻 敬
2. 発表標題 Context Aware Loss関数を用いた野球スイング動画の区間分類法
3. 学会等名 Visual Computing 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shunji Muto, Takashi Ijiri
2. 発表標題 Life-size Sequential Photography in a Mixed Reality Environment
3. 学会等名 VRST '20: 26th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, Posters
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	永見 智行 (Nagami Tomoyuki) (10634371)	北里大学・一般教育部・講師 (32607)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------