

令和 3 年 6 月 19 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11353

研究課題名（和文）多視点映像の幾何変換技術の発展とスポーツ教示システムへの応用

研究課題名（英文）Improvement of geometric transformation of multi-view images and its applications for sport

研究代表者

菅谷 保之（sugaya, yasuyuki）

豊橋技術科学大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：00335580

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）：カメラと注目点の位置関係が未知な場合の自由視点映像生成手法の開発では、従来3次元情報を推定しなければ実現できなかった注視画像生成を3次元情報を推定することなく実現できる技術を開発した。提案手法と既存手法を実験によって比較した結果、3次元情報を推定することなく既存手法と同等の結果が得られること、既存手法では3次元情報を推定できずに注視画像が生成できない場合でも提案手法では問題なく注視画像が生成できることを確認した。スポーツシーンを自由な視点から自由な時間軸で再現可能な教示システムの開発では、多視点画像からテニスボールの3次元軌跡を推定して、その軌跡を放物線パラメータで表現する技術を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

この研究成果を用いることで、従来であれば特別な機材や別の技術を用いるなどの補助がなければ実現できなかった自由視点映像生成が単独の技術で容易に安定して実現できるようになる。学術的には、従来3次元情報が必要だった注視画像生成技術が3次元情報を陽に用いることなく実現できることを示せたことが大きな意義である。また社会的には、注視画像生成が特別な機材などを使わなくても容易に実現できることで、誰でも注視画像が簡単に生成でき、それを利用してインターネット中に簡易的な3次元空間を構築して利用できるようになると考えられる。

研究成果の概要（英文）：We proposed a new method for generating bullet-time images without any 3-D information. In a general way, we estimate 3-D camera pose and a 3-D position of a target point, then compute a homography that moves the target point to the image center. In this work, we re-parameterize the homography without 3-D information of the camera and the target point. We also estimate the homography by using an image matching technique. We compare the proposed method with an existing method that uses 3-D information and show the effectiveness of our method.

We propose a new method for estimating 3-D trajectories of a tennis ball from multiple video sequences and parameterize the 3-D trajectories. We extract candidate positions of a ball by a frame difference technique and reconstruct 3-D positions of them by two view reconstruction for every image pairs. By analyzing a distribution of the reconstructed 3-D points, we decide the 2-D ball position for each image frame.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：自由視点映像生成 バレットタイム

## 1. 研究開始当初の背景

多視点映像をもとに自由視点映像を生成する技術の開発が近年盛んに進められている。特にスポーツ分野で利用することをテーマとしてさまざまな研究が行われている。さきがけとなった研究はカーネギーメロン大学の Eye Vision というシステムであり、このシステムでは、アメリカンフットボール会場にコンピュータ制御可能なカメラを多数台配置して、注目シーンを同時にすべてのカメラで撮影するように制御して、パレットタイム映像を生成した。その後、サッカーシーンを対象として、プレーヤーを板状の簡易的な 3 次元モデルとして表現することで自由視点映像を生成する研究が行われてきた。また、最近では野球やバレーボールなどの試合のテレビ中継中にハイライトシーンをパレットタイム映像として提示するシステムも開発されている。

これらの研究はすべてシーンや注目点の 3 次元情報を推定して、それらをもとに自由視点映像を生成するものであった。そこで、我々は既存研究である 3 次元情報を用いた自由視点映像生成を 3 次元情報を利用することなく実現するための技術開発を目指すことにした。

## 2. 研究の目的

本研究では、シーンを見まわすように配置した複数のカメラから得られる映像を幾何学的に変換して自由な視点での見え方を生成する技術を現在よりも発展させて、その技術を応用してスキル向上を目的としたスポーツシーンを自由視点で再現可能な教示システムを開発する。

具体的には、シーン中に配置した多数のカメラから撮影した映像をもとに、自由視点映像を生成するための幾何変換メカニズムを解析して、カメラと注目点との位置関係が未知の場合でも自由視点映像を生成できる独自の技術を開発する。さらに、その技術と従来の技術を組み合わせることにより、カメラの位置姿勢を正確かつ安定に求める技術を開発する。そして、この技術を応用したスポーツシーンを自由な視点から自由な時間軸で再現可能な教示システムを開発する。

## 3. 研究の方法

「カメラと注目点の位置関係が未知な場合の自由視点映像生成手法の開発」については、まず既存手法である注目点の 3 次元位置を基にした手法によってどのような 3 次元計算によって自由視点映像を生成するかを解析して、3 次元情報を用いないでそれと等価な画像生成が実現できる計算アルゴリズムを導き、理論構築を行う。

次に、そのアルゴリズムを用いて実画像から自由視点映像を作成し、既存手法で作成した結果と比較して、3 次元情報を一切用いない提案手法でも既存手法と同等の自由視点映像が生成できることを示す。また、既存手法では 3 次元情報を推定することが困難な画像に対しても、提案手法を用いることで、自然な自由視点映像が生成できることを示す。

「カメラの位置姿勢を正確かつ安定に求める技術の開発」については、まず、自由視点映像を生成するための幾何変換パラメータを分解することでカメラと注目点の位置関係を計算する理論解析を行う。そして、シミュレーション実験により理論検証を行う。次に、実画像を用いた実験を行い、実際のシーンに適用したときの精度検証を行う。その際、どの程度の誤差でカメラと注目点との位置関係が推定可能であるかをまとめる。

次に、推定した幾何変換パラメータを初期値として、カメラと注目点の位置関係を高精度に推定する最適化手法を定式化する。そして、定式化した方法を実際にも実装して、実画像を対象とした実験を行い、精度検証を行う。このとき、カメラと注目点との位置関係の推定精度を従来手法と比較して、従来手法でも推定可能なシーンに対しては 5 % 以上の精度向上、従来手法では安定した推定が行えないシーンに対しては推定可能率 80 % の達成度を目指す。

「スポーツシーンを自由な視点から自由な時間軸で再現可能な教示システムの開発」については、まず、テニスコートの周りに 16 台のカメラを配置してテニスシーンを撮影する。そして、シーン中の注目点をユーザーが指定すると、その点が画像中心に映るように変換した自由視点映像を生成して提示するシステムを構築する。構築したシステムをテニスのインストラクターに使用してもらい、改善点をまとめる。

また、テニスボールの 3 次元軌跡を精度よく推定し、放物線軌跡としてパラメータ化して、任意視点任意時間でのボール位置を再現できるようにする。開発した技術によってボールが地面にバウンドする位置を推定する実験を行い、提案手法の有効性を確認する。

## 4. 研究成果

( 1 ) カメラと注目点の位置関係が未知な場合の自由視点映像生成手法の開発

まず、既存手法で自由視点映像を生成する際に必要となる 3 次元情報 ( 1 . 注目点の 3 次元位置、 2 . カメラの地面に対する回転角度、 3 . カメラ位置に応じたスケールパラメータ ) とそれらを用いた自由視点映像生成アルゴリズムを整理して、これらの 3 つの 3 次元情報を 2 次元の幾何変換のパラメータに組み込む定式化を提案した。図 1 が自由視点映像を生成するために必要な 3 次元情報を図したものである。

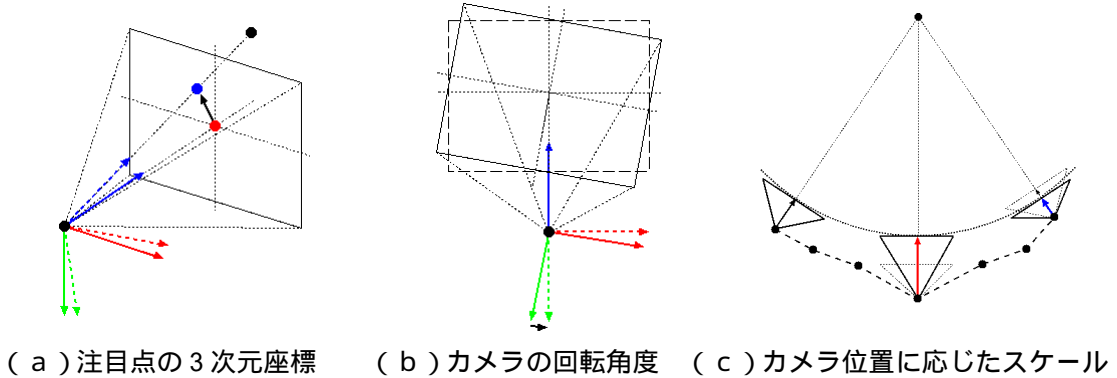


図 1 : 自由視点映像を生成するために必要な 3 次元情報

定式化した手法は、画像の 2 次元変換の一つである射影変換によって自由視点映像を生成するものであり、基準とする画像の注目点付近の領域と変換対象画像の対応する領域の見え方が一致するような射影変換のパラメータをガウス・ニュートン法を用いた反復解法によって推定するものである。そして、図 2 に示すフローのように で作成した基準画像を用いて、次のフレームの自由視点画像を生成して、それを新しい基準画像として次の自由視点画像を生成することを繰り返すことで、全体として注目点がすべてのフレームで画像中心に映る自由視点映像を生成する。

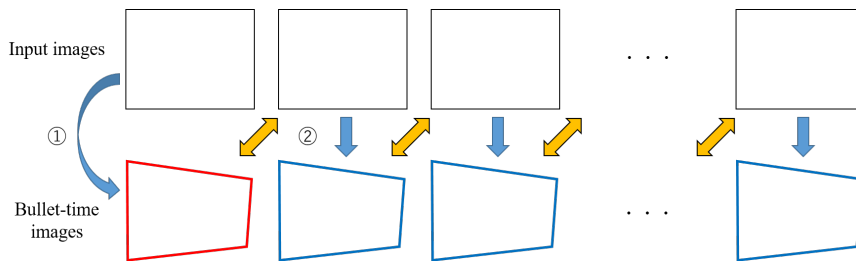


図 2 : 注目点が画像中心に映る自由視点映像を生成する流れ

実画像を用いて、3 次元情報を用いた方法で生成した自由視点映像と提案手法を用いて生成した自由視点映像の比較を行い、提案手法の有効性を確認した。図 3 にその結果を示す。

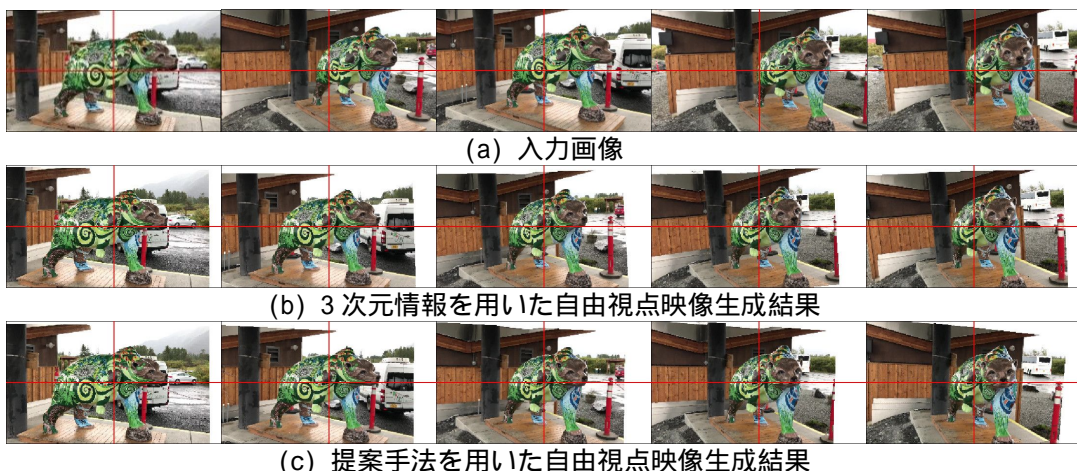


図 3 : 自由視点画像の生成結果の比較 ( 既存手法と提案手法で同様な結果が得られた例 )

図 3 の例では、提案手法の結果は 3 次元情報を用いて自由視点映像を生成した結果とほぼ同等

の結果となった。また、提案手法が既存手法よりも有効であった実験例を図4に示す。図4の結果では、注目点の3次元位置を画像から正しく推定することができず、一部のフレームで自由視点画像を生成できなかった。これに対して提案手法では、注目点の3次元位置を推定する必要がないため、すべてのフレームで自由視点画像を生成することができた。

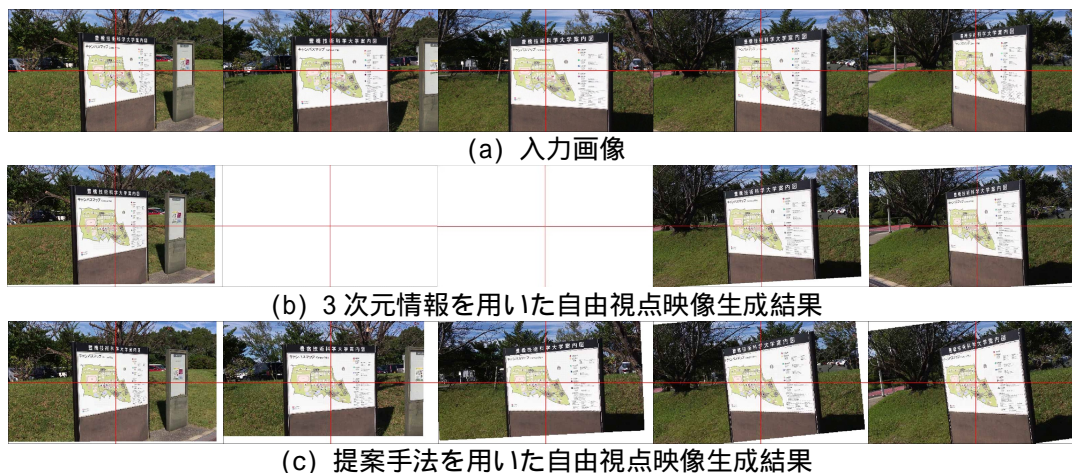


図4：自由視点画像の生成結果の比較（提案手法の有効性が示せた例）

## (2) スポーツシーンを自由な視点から自由な時間軸で再現可能な教示システムの開発

この研究テーマでは、多視点映像からテニスボールの3次元軌跡を推定して、それをもとにボールの軌跡をパラメータ表現することで、任意視点任意時間でのボールの位置を再現する技術を開発した。開発したシステムの処理の流れを図5に示す。

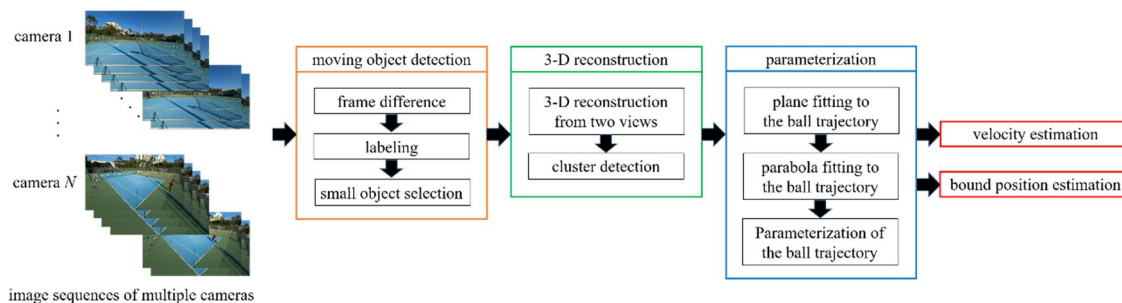


図5：開発したシステムの処理の流れ

システムでは、多視点カメラで撮影した映像を入力として、まずそれぞれの画像からボール位置の検出を目的としてシーン中の運動領域を検出する。次に検出した運動領域の重心点の3次元位置を2画像の組から計算して、その結果得られる3次元の分布の中からクラスタを形成している位置を見つけて、そのクラスタ重心をボールの3次元位置として決定する。最後に、そのボール軌跡に放物線を当てはめて、ボールの軌跡を放物線パラメータとして表現する。

図6はあるフレームでの運動領域の3次元位置を計算した結果である。

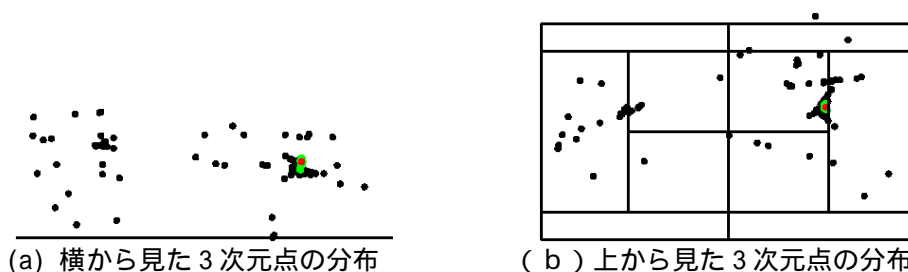


図6：ボールの3次元位置の決定

黒い点が運動領域を3次元復元したもので、緑色の点がその中でクラスタと思われる点である。そして、赤い点はそのクラスタの重心を表しており、ボールの3次元位置となる。

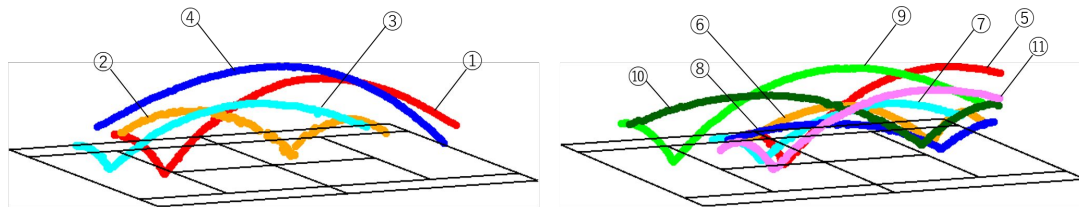


図7：復元したテニスボールの3次元軌跡。軌跡ごとに番号付けしている。

提案手法によってテニスボールの3次元軌跡を復元した結果を図7に示す。ボールの放物線軌跡が自然に復元されていることがわかる。次にこの3次元軌跡に放物線を当てはめてパラメータ表現を行う。ボール軌跡をパラメータ表現することで、実際には観測できなかったボール位置を推定することができる。図8に示すのは、パラメータ化したボール軌跡と地面との交点を計算して、ボールのバウンド位置を推定した結果である。

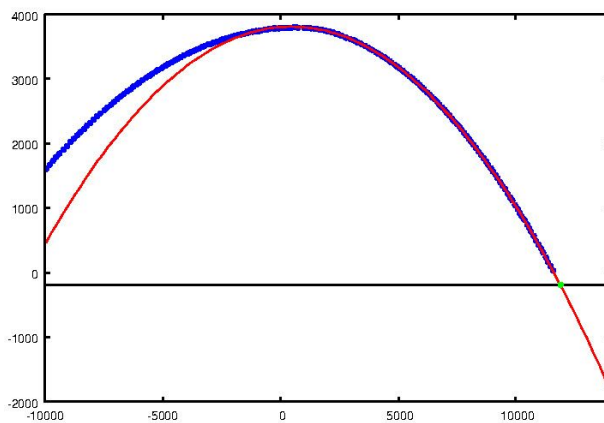


図8：テニスボールのバウンド位置の推定

図8中の青い点は復元したボールの位置を表している。そして、赤い線がボール軌跡の後半データに対して当てはめた放物線である。この放物線と黒い線で表した地面との交点を計算したものが緑色の点である。推定したバウンド点を画像中に描画した結果が図9である。図9中の赤い点は復元したボール位置をサンプリングして描画したものである。また、青い点は図8で推定したバウンド位置を表しており、ボールが地面に落ちた位置が正しく推定できていることがわかる。緑色の点は赤い点と青い点の間のボール位置を推定した結果でボールの連続した動きが自然に再現できていることがわかる。



図9：推定したバウンド位置を画像中に描画した結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yasuyuki Sugaya and Keita Oseki
2. 発表標題 Bullet-time image generation without 3-D
3. 学会等名 International Conference on Machine Vision and Applications (国際学会)
4. 発表年 2019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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------