

令和 3 年 5 月 22 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K02876

研究課題名(和文) タブレット端末ベースの簡単便利なモーションキャプチャによる体育の協働学習支援

研究課題名(英文) Collaborative learning support system for physical education based on simple and convenient motion capture on tablet devices

研究代表者

田中 一基 (Tanaka, Kazumoto)

近畿大学・工学部・教授

研究者番号：60351657

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：体育実技の映像による学習を支援するため、映像観察を容易にする2つの手法を開発した。1つ目は、骨格推定のディープニューラルネットワークと競技コートのホモグラフィ変換により、映像の視点を変更する手法である。これにより、任意の視点で撮影した映像を鳥瞰視点で観察可能になった。2つ目は、敵対的生成ネットワークにより、競技者にクローズアップした映像の視点や視野を拡大し、競技場全体の映像に変換する手法である。これにより、競技者のポジショニングやフォーメーションの観察が容易になることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

敵対的生成ネットワークを用いてスポーツ映像の視点や視野を変更する手法は、様々な視点や視野で撮影した競技場の画像と鳥瞰視点の画像の組み合わせを学習させた画像変換AIの実現であり、他に類を見ない成果である。また、本研究で蓄積した骨格推定技術は、体育のオンライン授業における実技評価に展開可能であることが確認でき、コロナ禍の経験を踏まえると社会的な意義が大きい。

研究成果の概要(英文)：In order to support the physical education using sport videos, we have developed two methods to facilitate video observation. The first is a method of changing the viewpoint of the sport video images by using a deep neural network for skeleton estimation and homography transformation of the competition court. This made it possible to observe the sport scenes taken from any viewpoint from a bird's-eye view. The second method is to use a generative adversarial network to expand the field of view of the video that is close-up to the player and convert it into a video of the entire court. It was confirmed that this facilitates the observation of the player's positioning and formation.

研究分野：画像処理

キーワード：スポーツ映像 映像観察支援 視点変更 視野拡大 敵対的生成ネットワーク

## 1. 研究開始当初の背景

学校教育への ICT 導入が進み、体育では映像による動作の観察が主な取り組みである。近年ではアクティブラーニングへの関心の高まりにつれ、映像の観察が協働学習に及ぼす効果を評価する実践研究が増えており、その効果が確認されている。しかし「複数の視点からの観察が必要」といった内容の指摘もあり、撮影した映像で自由に視点を変更できれば、目標の動作のコツに気づきやすくなると期待できる。

通常、映像で動作を観察する視点は、映像を撮影したときのビデオカメラの位置である。これに対し、自由な視点からの観察を可能とするには、マルチカメラの映像処理による多視点映像の利用、モーションキャプチャによる 3 次元 CG 映像の利用、の 2 つのアプローチが考えられる。このうち多視点映像は、スポーツ番組制作で実用化されているが、体育授業にマルチカメラシステムを導入するのは運用の負担や設備コストが大きく、現実的ではない。

3 次元 CG 映像のアプローチでは、3 次元 CG モデルで動作を表現するため、自由に視点を変更できる。モーションキャプチャには機械式と光学式があるが、一般に高価で、複数のモーションセンサやマーカを学習者に装着させる必要があり、体育の授業には向かない。しかし近年、マイクロソフト社のキネクトなど、装着物不要でモーションキャプチャが可能な低コストのデバイスが出現した。しかしキネクトのようなデバイス用の赤外線センサは、屋外(太陽の下)での利用が困難、あるいはキャプチャ可能な範囲が狭いなど、体育の授業での利用には問題がある。

以上のように、授業で簡単に使えるような視点変更システムは、今のところ見当たらない。

## 2. 研究の目的

スポーツ動作の映像を視点変更して観察できる映像処理システムの体育協働学習への効果を明らかにする。このため、体育の現場で簡単に操作できるように、タブレット端末ベースで視点変更する技術を確認し、これに基づく映像処理システムを開発する。

## 3. 研究の方法

視点変更の技術開発は 3 つのアプローチを検討した。1 つは、ホモグラフィ変換技術を用いて、競技コートの視点変更を行う方法である。2 つ目は、視点変更に敵対的生成ネットワーク(GAN)を用いる方法である。3 つ目は、骨格推定のディープニューラルネットワーク(DNN)を用いて、スポーツ映像中のプレイヤーの 3 次元 CG を生成し、CG の視点変更を行う方法である。

また、開発した技術の評価については、最終年度(2020 年度)に学校現場で行う予定が COVID-19 の影響で不可能になったため、大学の空手道部部員の協力で空手競技映像を対象にして、評価実験を行った。

3 つの視点変更技術の詳細を以下に述べる。

### アプローチ 1:

競技コートで行うスポーツに限定すれば、競技コート上の図形(バスケットボールのコートラインなど)の幾何学情報を用いて、競技コートを含むプレイヤーの画像の視点変更が可能である。本研究では空手の競技コートを対象にした。コートの色を手がかりにして画像から検出するコート領域に対し、直線のハフ変換によりコートラインを抽出する(図 1 左)。ラインの交点と、競技コートの正面図(図 1 右)のライン交点を、弾性マッチングにより対応付けし、画像から正面図へのホモグラフィ変換行列を得る。あるいは、任意の視点でのコート図への変換行列を得ることができる。

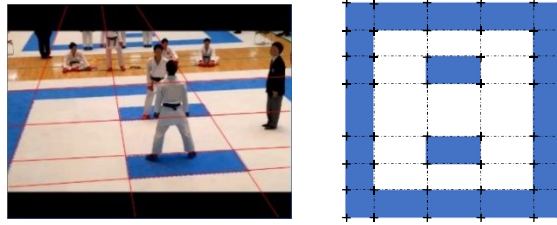


図 1

しかし、ホモグラフィ変換は対象物が平面とみなせる場合に有効であり、コートから近い位置で撮影した場合には、図 2 のようにプレイヤーの像が歪む問題が生じる。そこで、アプローチ 3 の手法と組み合わせ、選手の足部の座標のみをホモグラフィ変換し、歪みを減少させるため、その他の関節座標はアフィン変換する手法を開発した（詳細はアプローチ 3 で述べる）。

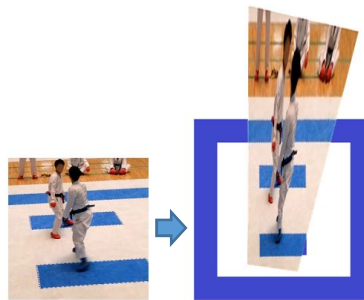


図 2

アプローチ 2：

視点変換には、対象物から視点までの距離を変更する視点変換もある。視点を近づけるのは画像拡大で可能であるが、遠ざける場合は、それまでに映っていなかった領域を画像に追加する必要がある。そこで、GAN を用いて、部分的に映っている競技コートに、映ってない部分のコートの CG をつないで、競技コート全体が見えるようにする。これにより、プレイヤーのポジショニングやフォーメーションの観察が可能となる。

開発した GAN は、様々な視点で撮影した競技コートの画像と競技コートの全体画像の組み合わせを学習させたものであり、コートの色を手がかりにして画像から検出する競技コートの画像（図 3 右）を入力とし、コート全体画像を出力する。出力画像はカラー画像に変換し、その上に原画像（図 3 左）を貼り付ける。ただし図 3 右のように、入力画像のコート領域は、プレイヤーによるオクルージョン等の影響を受けて欠落する部分があるので、この部分をインペインティングする GAN も開発した（図 4：G1 がインペインティング用の GAN、G2 はコート全体画像を出力する GAN）。



図 3



図 4

アプローチ 3：

骨格推定の DNN モデルとして OpenPose を利用し、プレイヤーの関節位置（二次元）を推定する。関節  $p_i$  の二次元座標を  $(u_i, v_i)$ 、三次元座標を  $(x_i, y_i, z_i)$  とすると、カメラの透視変換式より、

$$x_i = z_i u_i / f, \quad y_i = z_i v_i / f, \quad (i = 1, \dots, N), \quad (1)$$

である ( $f$  は焦点距離、 $N$  は関節数)。次に、関節  $p_i$  と  $p_j$  の距離を  $s_k$  とすると、 $\|\vec{p}_i \vec{p}_j\| = s_k$  は式(1)より未知数  $z_i$  の式(2)となる。

$$\|\vec{p}_i \vec{p}_j\| - s_k = g(z_i, z_j) = 0 \quad (2)$$

そこで、漸化式(3)により未知数  $z_i$  を求めて三次元座標を  $(x_i, y_i, z_i)$  を得ることができる（† は一般逆行列）。

$$z^{t+1} = z^t - (\nabla g(z^t))^{\dagger} g(z^t) \quad (3)$$

しかしこの方法は、誤差が大きい等の問題が克服できず、関節の二次元座標を利用する方法を、アプローチ 1 のホモグラフィ変換と組み合わせて、以下の手順による手法を開発した。

手順 1：OpenPose により画像から二次元関節座標と関節ラベルを抽出する（図 5）。

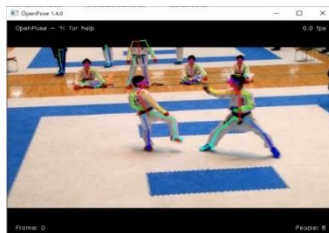


図 5

手順 2：アプローチ 1 の手法でホモグラフィ変換行列を計算する。

手順 3：関節ラベルが足部である二次元座標を、コート図上にホモグラフィ変換する。

手順 4：3 点以上の足部の、ホモグラフィ変換前の座標と変換後の座標から、これらの間のアフィン変換行列を計算する。

手順 5：足部以外の座標をコート図上にアフィン変換する。

結果の例を図 6 中央に示す。比較のため、すべての関節をホモグラフィ変換した結果を図 6 右に示す。

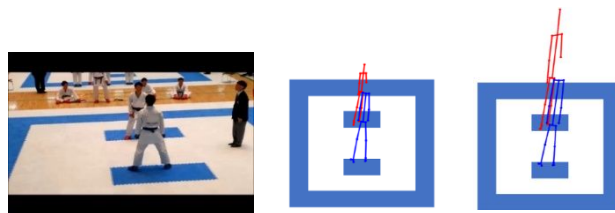


図 6

## 4. 研究成果

### 4.1 アプローチ 1 と 3 の組み合わせの成果

体育館の二階から撮影した空手競技のビデオ映像から OpenPose で検出したプレイヤーの関節座標を、ホモグラフィおよびアフィン変換により競技コート正面図にプロットして視点変更した CG ビデオを生成した(図 7(b)).指導者によるビデオ評価の結果、「真上からの視点変更により、試合の流れが読み取り易くなった」と高評価であった。

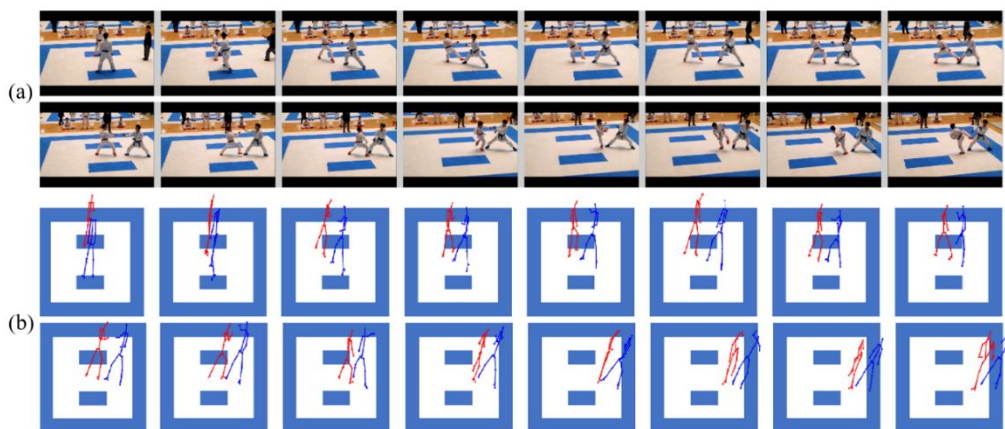


図 7

#### 4.2 アプローチ 2 の成果

開発した GAN により空手競技のビデオ映像を視野拡大する実験を行い、図 8 下示すように競技コート全体のビデオが生成された。空手道部員 4 名によるビデオ評価の結果、「プレイヤーのポジショニングと試合の流れを学習できる」「競技コート全体が見えるので実際に見ている感覚になる」などの肯定的な意見が出る一方、「追加された CG のズレが気になる」といった意見が出た。CG のズレは GAN の出力誤差に起因するものであり、精度向上が課題の一つである。



図 8

#### 4.3 アプローチ 2 の副次的成果

本研究により画像変換を可能とする GAN の開発技術を蓄積したため、その応用研究にも取り組み、湾曲した QR コードの画像を GAN で修正し、読み取り可能とする技術を開発した。



図 9 湾曲 QR コード (左), 修正 (中央), Ground truth (右)

#### 4.4 アプローチ 3 の副次的成果

関節推定 DNN 技術の応用により、体育トレーニングの遠隔指導で実技の自動評価が可能であることを明らかにした。具体的には、遠隔指導をビデオ会議システムで行うとき、会議システムのディスプレイ上の映像から、学習者の腕立て伏せやスクワットの関節位置の動きを追跡し(図 10)、自動カウントが可能であることを確認した。現状はシンプルな実技に限定されるが、体育実技の遠隔化の可能性を示す成果である。

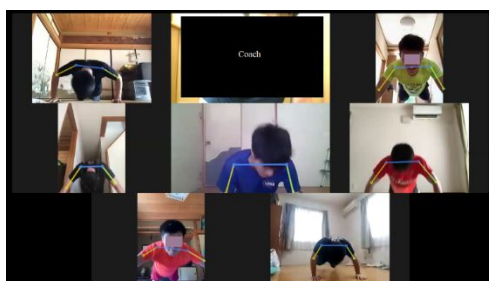


図 10

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Kazumoto Tanaka	4. 巻 21(3)
2. 論文標題 Automatic Evaluation System for Online Physical Education	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Higher Education Theory and Practice	6. 最初と最後の頁 44-48
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
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 該当する

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件／うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Kazumoto Tanaka
2. 発表標題 Bent QR Code Image Rectification Method Based on Image-to-Image Translation Network
3. 学会等名 6th International Congress on Information and Communication Technology, (virtual conference) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazumoto Tanaka
2. 発表標題 An Automatic Evaluation System for Students' Exercise on E-learning for Physical Education
3. 学会等名 13th Annual International Conference of Education, Research and Innovation, (virtual conference) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazumoto Tanaka
2. 発表標題 Video Augmentation Method for the Facilitation of Skill Learning in Karate
3. 学会等名 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering, (virtual conference) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazumoto Tanaka
2. 発表標題 Lightweight Method for Two-Dimensional Object Registration for Augmented Reality
3. 学会等名 The 16th International Conference on Technology, Knowledge, and Society (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazumoto Tanaka
2. 発表標題 Animation Generation Method for Facilitating Observation of the Flow of Game and Players' Motion in Karate
3. 学会等名 The 30th International Conference of Society for Information Technology and Teacher Education (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