

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19（共通）

科学研究費助成事業 研究成果報告書



平成 30 年 5 月 23 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01102

研究課題名（和文）3D点群処理に基づく対人競技の振り返り学習支援システムの開発

研究課題名（英文）Development of a support system for learning martial arts techniques by video observation based on 3D point cloud processing

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） 1,400,000 円

研究成果の概要（和文）：競技者の3D点群とテンプレートの点群のポイントマッチングにより目的のポーズを検索する手法と、2者の3D点群の分散変化率から攻防シーンを検索する手法を開発した。以上により、対人競技の振り返り学習のため、RGBDカメラで撮影した競技のビデオ映像から目的のシーンの検索が可能となった。次に、任意のアンクルからの動作観察を可能とするため、映像からヒトの関節部の三次元座標を推定することで競技者の3Dモデルを生成する基本的な手法を開発した。また、足運びの観察をターゲットとして、映像のホモグラフィ変換により床面上の足位置の鳥瞰映像を生成する手法を開発した。

研究成果の概要（英文）：We have developed a pose detection method by three dimensional (3D) point cloud matching between a player and a sample, and also have developed an offensive motion detection method based on the time rate of change of the variance of point cloud of two players. Thus, the study makes it possible to detect objective scene from video images taken with RGBD-camera for learning martial arts techniques by video observation.

Next, in order to enable motion observation from an arbitrary angle, we developed a basic method for generating a 3D model of a player by estimating the three dimensional coordinates of the player's joints from video images. We also developed a method to generate bird's-eye view images of foot positions on a floor by the homography transformation for the observation of players' footwork.

研究分野：教育工学

キーワード：スポーツ 振り返り学習 ビデオ映像 シーン検出 3D点群 ポイントマッチング ホモグラフィ変換
三次元復元

1. 研究開始当初の背景

スポーツのスキル向上には、練習者が練習や試合の映像を観察して振り返る学習が効果的である。その効果を検証する研究は数多くなされているが、本格的に実践できるのは、撮影や編集の専門スタッフの協力が得られるスポーツチームに限られるのが現状である。そのようなスタッフを持たない一般の練習現場に負担をかけずに振り返り学習を定着させるには、観察に最適なカメラアングルで人手をかけずに撮影、練習や試合の映像から目的の動作シーンを自動検索・編集して提示、の2つの課題解決が必要である。

カメラアングルについては、競技者の向きがほぼ定まっているスポーツであれば、固定ビデオカメラの映像でほとんど問題は無い。しかし、たとえば格闘技のように競技者の位置や向きが多様に変化する場合、多数の方向から撮影した映像から、観察に適した映像を選定して提示する編集作業が必要となる。

次に、動作シーンの自動検索には動作認識技術が必要である。Microsoft の Kinect など安価なデプスセンサの登場により、人の三次元情報による動作認識の研究が急速に進み、デプスセンサを用いた練習支援の研究は増加傾向である。そのほとんどが3次元の関節情報を用いて姿勢や動作の評価を行っている。しかし、デプスセンサに対して体が正面を向いていなかったり、対人競技で選手どうしの体が絡んだりすると、関節位置は正しく推定できない（図1）。このためこれまでの研究は、ほぼ正面向きの個人の動作を対象としており、位置や向きが多様に変化する対人競技での研究は無い。



関節の誤推定

図1 斜め向きの場合の誤推定

2. 研究の目的

スポーツの練習や試合を撮影した映像の観察による振り返り学習を支援するシステムを開発する。本システムにより、競技者の位置や向きが多様に変化する対人競技であっても、効果的な振り返り学習が人手をかけずに可能となることを目的とする。具体的には、対人競技を対象とし、練習者が見たい自分の動作シーンを自動検索可能とする。検索は、デプスセンサで得られる競技者の3D点群の特徴照合で実現し、さらに、3D点群の回転によって観察に最適なカメラアングルに映像を変換して提示する。

3. 研究の方法

デプスセンサのデータから推定する関節情報に頼らず3D点群自体の情報を用いて課題を解決する。競技者の3D点群の特徴照合により目的の動作シーンを検索し、ビデオカメラから得る映像のRGB値を3D点群にマッピングした3D映像を、観察しやすい向き（ベストなアングル）に回転変換して提示する。

本研究の動作シーン検索のポイントは、デプスセンサとビデオカメラで同時に練習や試合を撮影し、両データのセットを映像・3D点群データベースに時系列に保存することである（図2）。検索のための“クエリ”は見たいシーンで行われている動作の3D点群の特徴である。このため、デプスセンサの前でその動作を行って3D点群を抽出し、動作シーン検索システムに入力する。検索システムはデータベースの時系列の3D点群の特徴データと照合し、見つかった3D点群と同じタイムスタンプの映像のRGB値をその3D点群にマッピングして、3D点群をベストアングルに回転して提示する。

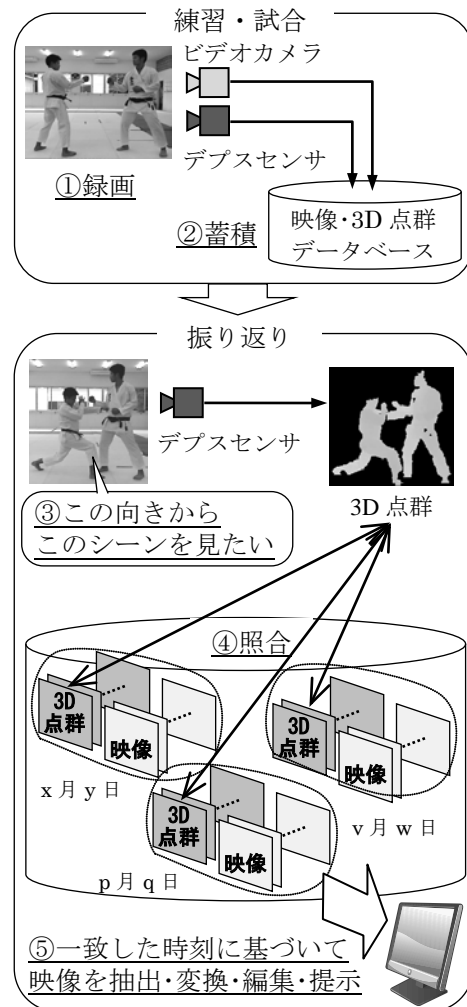


図2 振り返り学習の流れ

4. 研究成果

- (1) 3D点群の照合による検索手法
空手道の型競技を対象として目的のシーン

を検索する手法を開発した。型競技は仮想の相手に対して攻撃や防御の技を仕掛ける競技であり、「技の実行中の動作状態」と「技の開始時／完了時の静止状態」が交互に繰り返される。動作状態では3D点群がシャドウ（デプスセンサの赤外線が当たらない箇所）の影響を大きく受けるため（図3）静止状態の点群に着目し、また検索精度を高めるため、検索したい動作状態の前後の静止状態の2つの点群の組を検索クエリとした。開発した検索手法は以下である。

手順1：型競技の時系列の各点群からフレーム間差分により静止状態の点群を抽出する。

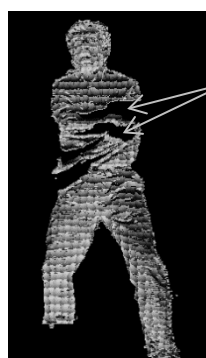
手順2：抽出した各点群と検索クエリの点群の向きを合わせる。型競技は床面上で行うため、鉛直方向の軸（y軸とする）の周りで点群を回転して合わせる。このため3D点群をxz平面に射影した2D点群についてPrincipal component analysis (PCA)により求めた主軸方向が一致するよう、一方の3D点群を回転する。ただしオクルージョンの問題がある場合は2D ICP (Iterative closest point) により向きを合わせる。

手順3：3D点群間の類似度により照合する。類似度はアウトライヤの影響を除くためmodified Hausdorff distance (MHD)を用いて測る。点群AとBのMHDは以下で定義される。

$$mhd(A, B) := \max(dmhd(A, B), dmhd(B, A))$$

$$dmhd(A, B) := \frac{1}{|A|} \sum_{A \ni a} \min_{B \ni b} \|a - b\|$$

本手法は平安初段と呼ばれる型（21の動作状態がある）を用いて実験評価した。実験は、2名の練習者（C,D）がそれぞれ型を10回ずつ行って時系列3D点群を収集し、次に検索クエリとして、練習者Cによる21組の静止状態の3D点群を取得した。検索の結果は、Cの時系列3D点群については21の動作状態のうち20の動作状態の検出率が100%、Dの時系列3D点群については12の動作状態の検出率が100%であった。100%でなかった動作状態の検出率は60~90%であった。検索失敗の理由として、デプスセンサの計測可能範囲の境界付近で3D点群を取得したことによる3点群の劣化、Dの時系列3D点群についてはCとDの体形の違い、が考えられる。本手法により自己の型のシーン検索は可能と言える。



手の動きの影響でシャドウが2重に生じている

図3 3D点群のシャドウ

(2) 3D点群の分散変化率による検索手法

空手道の組手競技を対象として攻防シーンを検索する手法を開発した。組手は「互いに見合う状態」と「攻防状態」の繰り返しである。映像観察で有用なシーンは攻防状態であるが、素早い動きのために3D点群はシャドウの影響を大きく受けるため、目的の攻防シーンの検索に問題が生じる。そこで、互いに見合う状態から攻防状態に変化するタイミングを検索することとした。すべての攻防状態の開始位置が検出されるため、これらを練習者に提示して選択させる。開発した検索手法は以下である。

手順1：組手競技の二者の点群（図4）を時系列のフレームごとに一つの点群とし、それぞれ床面（xz平面）に射影する。

手順2：射影した2D点群は攻防時に急速に収縮するため、2D点群の主軸方向の分散のフレーム間差分が極大となるフレームを検出し、攻防状態の開始位置とする。

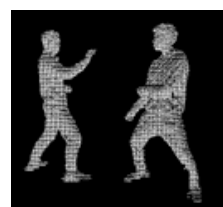


図4 見合いの状態における二者の3D点群

(3) カラー3D点群の観察支援手法の開発

カラーカメラで取得するRGB値を3D点群にマッピングして練習者に提示する手法を開発した（図5）。しかし、速い動きではRGBデータと3D点群データの位置ズレが大きくなりマッピングが困難になる問題が生じ、(4)以降で述べる代替手法の基礎研究および開発に取り組んだ。

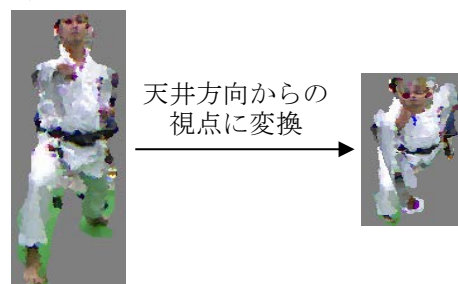


図5 RGBマップド3D点群

(4) カラー画像からの3Dモデル生成技術

練習者の3Dモデル（スティックモデル）を用いて自由視点から観察する手法の開発を目標として取り組んだ。3Dスティックモデルの生成には関節の3次元位置が必要であるが、デプスセンサを用いた関節推定には精度の問題（図1）や、計測可能範囲の制約などの問題がある。一方、一般的なカラーカメラの画像からの3Dモデル生成はチャレンジングであるが、可能になれば極めて有用で便利である。そこで、カラー画像から練習者の3Dモデルを生成する技術の基礎研究に取り組んだ。

画像上のヒトの関節位置（二次元）が分かれば三次元の再構成は以下のように可能である．ここでは図6の人体関節モデルを用いる．関節 i ($i=1\sim 18$) の点 p_i の三次元座標を (x_i, y_i, z_i) ，画像上の二次元座標を (u_i, v_i) ，カメラの焦点距離を f とすると，関係式は①である．

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

練習者が正面を向いた画像などを用いて隣接する関節間 (p_i, p_j) の長さ s_k ($k=1\sim 17$) が取得できるとすると②式より， z 座標を得る漸化式③が得られる．

$$g(z_i, z_j) = \|\vec{p_i p_j}\| - s_k = 0 \quad (2)$$

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

ここで z_0 は適当な値を持つ定数，“ \dagger ” は一般逆行列を表す．

以上の手法において，画像から得られる関節の二次元座標に誤差があれば②式は不能となり解けない場合がある．この問題に対し，二次元座標を最適に修正する手法を開発した．本手法を以下に示す．

点 p_i の三次元座標が既知の場合，点 p_j の z 座標は②式による二次方程式の解であるが，不能の場合は以下の判別式が負となる．

$$D = (x_i u_j + y_i v_j + z_i)^2 - (u_j^2 + v_j^2 + 1)(x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 - d_{ij}^2)$$

二次元座標 (u_j, v_j) の適切な修正とは， D が負でなくなるまでの最小限の修正と考える．そこで修正量 $\Delta = (\Delta_u, \Delta_v)$ は④式を満たす．

$$\begin{aligned} & (x_i(u_j + \Delta_u) + y_i(v_j + \Delta_v) + z_i)^2 \\ & - ((u_j + \Delta_u)^2 + (v_j + \Delta_v)^2 + 1) \\ & (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 - d_{ij}^2) = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

ラグランジュの未定乗数法を導入して⑤式を得る．

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial D}{\partial \Delta_u} \right) + \lambda \left(\frac{\partial}{\partial \Delta_u} \left((y_i^2 + z_i^2 - d_{ij}^2) \Delta_u \right) - \lambda \left(x_i y_i \Delta_v \right) \right. \\ & \left. - \lambda \left(x_i y_i v_j + x_i z_i - (y_i^2 + z_i^2 - d_{ij}^2) u_j \right) \right) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

④式および⑤式から λ に関する4次方程式が得られ，これを解くことで⑤式より最小修正量 Δ を得る．

以上の手法に基づいて型競技のポーズの三次元再構成を確認した（図7）．現時点では画像上の関節位置は目視確認してマウスクリックにより指定しているが，近年のディープラーニング技術の急速な発展により画像から関節位置（二次元）が推定できるようになってきており，この技術を取り入れた3Dモデルの自動生成手法の開発が今後の課題である．

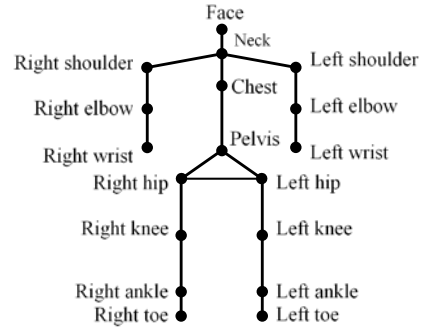


図6 人体関節モデル



↓ 三次元再構成



↙ 視点変更



図7 型競技のポーズの三次元再構成

(5) 足位置の鳥瞰映像の生成手法の開発

足運びの観察をターゲットとして，ホモグラフィ変換により床面上の足位置の鳥瞰映像を生成する以下の手法を開発した．

平面を撮影した画像でその平面上の点の座標を \mathbf{x} ，同点を別の画像で撮影したときの座標を \mathbf{x}' ，とする．これらの座標はホモグラフィ変換⑥式により関係づけられる．変換行列は平面の特徴点の対応づけから計算できる．

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} \\ H_{31} & H_{32} & H_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

空手道の競技マットには定められた大きさで色分けされた領域があり特徴点を得ることができる．通常のカメラで撮影したマット上の足位置 \mathbf{x} を，天井にセットしたと仮定したカメラの画像での座標 \mathbf{x}' に変換することで，足位置の鳥瞰映像を得ることができる．

以上の手法に基づいてバスケットボールのコートを用いて鳥瞰映像生成を確認した（図8）．変換行列は，コートラインの交点などの特徴点を用いて計算した．現時点では画像上の足位置は目視確認してマウスクリックにより指定しているが，ディープラーニングによる関節位置（二次元）推定技術を取り入れた

自動生成手法の開発が今後の課題である。



↓ 鳥瞰画像

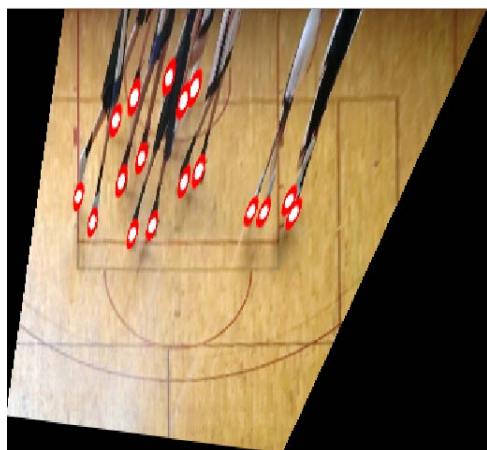


図8 バスケットボールの足位置の鳥瞰画像

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

① K. Tanaka, "Video Retrieval System Based on 3D Point Cloud Processing for Assisting Karate-kata Practice," *International Journal of Computer Technology and Applications*, 査読有, vol.6, no.5, 2015, pp.862-868.

〔学会発表〕(計6件)

① K. Tanaka, "3D Pose Reconstruction Method for CG Designers," *in proc. of ACM SE2018*, Richmond, Mar. 2018.

② K. Tanaka, "Video Feedback Viewpoint Modification Method to Enhance Formation-Strategy Learning in Physical Education," *in proc. of the 29th International Conference of Society for Information Technology and Teacher Education*, Washington, Mar. 2018.

③ K. Tanaka, "3D Pose Estimation Method for Assisting Sports Teaching," *in proc. of the 10th Annual International Conference of Education, Research and Innovation*, Seville, Nov. 2017.

④ K. Tanaka, "3D Action Reconstruction Using Virtual Player to Assist Karate Training," *in proc. of the 24th IEEE Virtual Reality Conference*, Los Angeles, Mar. 2017.

⑤ K. Tanaka, "Motion Detection Method for Video Feedback System to Assist Karate Training," *in proc. of the 28th International Conference of Society for Information Technology and Teacher Education*, Austin, Mar. 2017.

⑥ K. Tanaka, "Human Pose Recognition Based on Three Dimensional Point Matching," *in proc. of 5th International Conference on Computer Science, Information System and Communication Technologies*, Sydney, pp.35-40, Mar. 2016.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<https://www8.atwiki.jp/kazumoto/pages/11.html>

6. 研究組織

(1)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

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

越智 洋司 (OCHI, Youji)

近畿大学・理工学部・准教授

研究者番号: 80314847