**Abstract**

**C-3　　選手の3次元位置を追跡するバレーボール分析支援システム**

19番　佐野　裕馬 （制御工学研究室／外山）

本研究室ではバレーボール競技に対する定量的な分析を支援するシステムに関して研究を行ってきた。先行研究では1台のカメラを用いて選手の2次元位置を追跡したが，選手の跳躍時に誤った位置を推定する課題があった。そこで，本研究では複数のカメラを用いて3次元座標を追跡し，その課題を解決することを目的とする。

**1　はじめに**

現在，スポーツトレーニングの分野では定量的に選手の動きを分析し，改善につなげる科学的な指導が求められている。例えばバレーボール競技では，データバレーという分析ソフトが活用されている。しかし，データバレーではアナリストの主観に基づいたデータを手入力する必要があるため，ソフト操作性とそれに起因する入力ミス，データ精度等が問題である。  
 このような背景から先行研究では，1台のカメラを用いて選手の2次元位置を追跡するシステムを開発した[1]。しかし選手が接地していることを前提とするため，跳躍時には誤った位置を推定する課題があった。バレーボール競技では選手が跳躍を頻繁に行うため，この課題の解決は必須である。

そこで本研究では，複数台のカメラを用いて選手の3次元位置を追跡することで先述の課題を解決する分析支援システムの開発を目的とする。

**2　研究内容・手法**

**2.1　コートの撮影**

まずコートの様子を同時に複数台のカメラで撮影した映像を用意する。撮影の条件として、カメラ位置・姿勢は固定する必要がある。本研究では2台のカメラを用いた。

**2.2　カメラキャリブレーション**

複数の映像から選手の3次元位置を推定するにあたり、カメラの焦点距離・光学的中心を示すカメラ内部パラメータ、撮影カメラの位置・姿勢を示すカメラ外部パラメータを知る必要がある。

まず図1に示すキャリブレーションパターンを複数の画角から撮影し、カメラ内部パラメータを推定する。この際、レンズによる画像歪みを示す歪みパラメータも得ることができるため、撮影映像に対してレンズ歪みを補正するように変換を行う。

次に図2に示すコートの既知点と映像での位置を対応付け、再投影誤差が最小になるようにカメラ外部パラメータを推定する[2]。この手法では、映像にコートの既知点が全て映っていない場合においても、カメラ外部パラメータを推定することができる。先行研究ではコート全体が映像に映る必要があったため、撮影条件は向上した。

背景パターン

自動的に生成された説明

図1　キャリブレーションパターン

グラフ, 折れ線グラフ

自動的に生成された説明

図2　バレーボールコートの既知点14点

**2.3　AlphaPoseによる姿勢推定**

本研究では、追跡する選手の3次元位置をその選手の腰の位置に設定する。選手の腰の位置を推定するために、映像を各フレームの画像に分割し、多人数の姿勢推定とID振り分けによる人物追跡が可能であるAlpha Pose[3]を用いる。画像に映る選手を検知し、各選手の姿勢を推定することで腰の画像座標を推定する。図3にAlpha Poseによる姿勢推定例を示す。

スポーツゲーム, スポーツ, グループ, ウォーキング が含まれている画像

自動的に生成された説明

図3　Alpha Poseによる姿勢推定の様子

**2.4　映像間の選手の対応付け**

Alpha Poseは各映像に対して用いるため、同じ選手に対して映像ごとに異なるIDが振り分けられる。後に

各映像において選手の対応付けが必要となるため、以下に示す2手法でそれぞれ対応付けを行い、推定結果を比較する。

**2.4.1　手動での対応付け**

各映像の初めのフレーム画像において、目視で同じ選手を確認する。AlphaPoseによって検知されている全ての選手に対して確認を行い、それぞれのIDを対応付ける。

**2.4.2　自動での対応付け**

2.2節で推定したカメラ内部パラメータには焦点距離の情報が含まれるため、Alpha Poseで推定した画像座標と組み合わせ、カメラレンズから選手の腰に向かうベクトルをカメラ座標系で定義することができる。

さらにカメラ外部パラメータから算出できる回転行列によって、カメラ座標系を実空間座標系に変換できる。つまり、複数の映像ごとに異なるカメラ座標系のベクトルを同じ実空間座標系で表すことができる。

ここで映像ごとに検知できた選手の数だけ腰に向かうベクトルを定義でき、カメラ位置も合わせることで直線を定義できる。映像間で2直線の組み合わせを全て考え、2直線間の距離を計算する。2直線を、点***x***1を通る単位方向ベクトルが***v***1の直線L1，点***x***2を通る単位方向ベクトルが***v***2の直線L2として定義すると、直線間距離*d*は以下の式で求められる。

同じ選手を通る2直線間の距離は近いと考え、全ての組み合わせの中で2直線間の距離の近いものから順に選手の対応付けを行う。

**2.5　選手の3次元位置推定**

フレームごとに2.4.2項のように選手の腰を通る直線を定義する。2.4節にて映像間の選手の対応付けを行ったため、特定の選手を通る直線を各映像で選択することができる。それらの最近点を選手位置として求めることで選手位置の推定を行う。直線L1上の点で直線L2に最も近づく点の位置***p***1は以下の式で求められる。

同様に直線L2上の点で直線L1に最も近づく点の位置***p***2を求め、その中点が最近点であり、推定する選手位置である。

**2.6　選手位置の移動平均**

2.5節で選手の3次元位置を推定できるが、位置推定に誤差が生じることが先行研究より分かる。そこで選手位置のブレを防ぐことを目的として、3フレームごとに移動平均を取る。

**3　研究結果**

**3.1　手動で対応付けした選手位置の推定結果**

手動で選手の対応付けを行い、撮影映像の初めのフレームにおける選手の3次元位置をコート平面位置に落とした画像を図4として示す。

グラフ

自動的に生成された説明

図4　0フレーム目での選手の平面推定位置（手動）

続いて10秒経過した後における選手のコート平面位置を図5として示す。

グラフ, ヒストグラム

自動的に生成された説明

図5　10秒経過後の選手の平面推定位置（手動）

図4と図5を比較すると、位置を推定できている選手数が少なくなっていることが分かる。これは、時間が進むにつれて選手の交差が起こり、選手の検知が不可能になることで、それ以降の選手の対応が取れなくなったことが原因だと考えられる。

**3.2　自動で対応付けした選手位置の推定結果**

自動で選手の対応付けを行い、撮影映像の初めのフレームにおける選手の3次元位置をコート平面位置に落とした画像を図6として示す。

グラフ

自動的に生成された説明

図6　0フレーム目での選手の平面推定位置（自動）

図4と比較すると、選手位置が異なっていることが分かる。図4は手動で選手の対応を取ったため、自動で対応付けを行った推定結果である図6が誤っていると考えられる。誤った推定を行った原因として、2.2節で行ったカメラキャリブレーションで生じる誤差が考えられる。カメラ位置の推定誤差は1台目のカメラで約29cm、2台目のカメラで約13cmだった。また、カメラ位置の誤差に付随してカメラ姿勢も誤差が生じていると考えられる。誤差のあるカメラパラメータを使用して選手の位置推定を行ったため、異なった選手同士を対応付けてしまったと考える。

また、この結果から映像の全フレームに対して自動で選手の対応付けを行ったが、同様の理由で選手の追跡をすべて正しく行うことはできなかった。

**4　まとめ**

本研究では，複数台のカメラを用いて選手の3次元位置を追跡するシステムの開発に取り組んだ。結果として、カメラキャリブレーション時に生じる誤差と選手の交差によって実用できるシステムを開発することはできなかった。カメラキャリブレーション時の誤差を取り除くことができれば、2.4.2項で示した自動での選手対応付けが機能すると考えられるため、カメラキャリブレーションの精度向上を今後の課題とする。

**参考文献**

[1] 平田蓮，“情報端末の内蔵カメラを用いた運動 再現システム”，令和 3年度長岡工業高等専門学校 卒業論文（2022）

[2] 中井 聖, 村本 名史, 栗田 泰成, 高根 信吾, 瀧澤 寛路, 塚本 博之, 河合 学，“バレーボールコート内の既知点を用いた3次元座標空間の再構築方法 の精度とその特徴”，バレーボール研究 19巻1号(2017)

[3] Fang, Hao-Shu and Li, Jiefeng and Tang, Hongyang and Xu, Chao and Zhu, Haoyi and Xiu, Yuliang and Li, Yong-Lu and Lu, Cewu, “AlphaPose: Whole-Body Regional Multi-Person Pose Estimation and Tracking in Real-Time”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence（2022）

[4] Fang, Hao-Shu and Xie, Shuqin and Tai, Yu-Wing and Lu, Cewu, “{RMPE}: Regional Multi-person Pose Estimation”, ICCV（2017）

[5] Li, Jiefeng and Wang, Can and Zhu, Hao and Mao, Yihuan and Fang, Hao-Shu and Lu, Cewu, “Crowdpose: Efficient crowded scenes pose estimation and a new benchmark”, Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition（2019）