

### Abstract

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、改善する科学的な指導が求められている。その中でも、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。現時点では、3次元座標を追跡するために必要となるカメラ位置を求める新たな手法を開発し、その有効性を判断するため実験と考察を行った。

## 1 研究背景・目的

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。中でも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、ソフトを使う難しさとデータの入力ミス、データ精度が問題である。

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<sup>[1]</sup>。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、この課題の解決は重要な課題である。

そこで本研究では、複数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・方法

選手の3次元位置を推定するにあたり、コートとカメラの位置関係を知る必要がある。一般にカメラの設置位置を固定した状態で分析を行うが、撮影する際にその固定位置座標を知る必要があり、手間がかかる。そこで本研究では撮影画像からカメラ位置を求める手法を新たに提案し、その有効性を判断する。

模擬的な実験環境として、実際のバレーボールコート(9m×18m)ではなく、まずは図1に示す模擬コート(90cm×180cm)を作成し、模擬実験を行った。



図1 作成した模擬コート

### 2.1 画像処理によるコート変換

手法の肝となるのは射影である。撮影した画像に対して、射影変換を適用すると画像の形状を変形させることができる。図1の画像に対して適当に射影変換を適用した例として図2を示す。図1から図2への変換は、画像内のコート4隅の座標を(0,0),(0,900),(900,1800),(0,1800)へ移動させる射影行列を求め、画像全体に対して行列積を取ることで実現している。

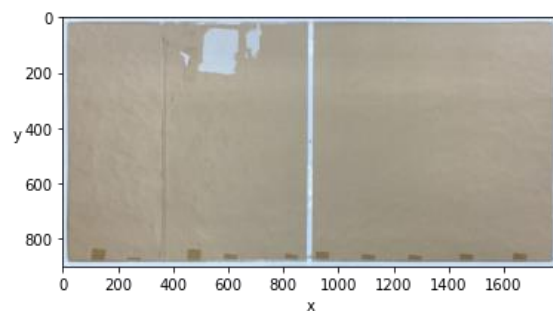


図2 射影変換を施した模擬コート

図2ではコートが真上から撮影したような画像に変換されていることが分かる。しかしほとんどの場合、射影後の画像は真上から撮影した画像と一致しない。例として、コート内部に高さ140mmのペンを立て、図1と同様にコートを撮影し、適当に射影した画像を図3として示す。

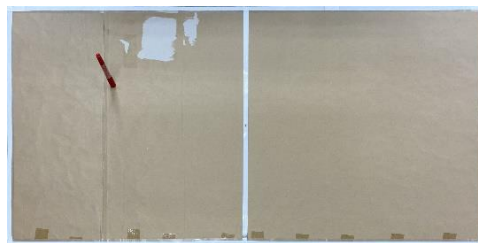


図3 ペンを立て射影変換を施した模擬コート

ペンはコートに対して垂直に立っているが、図3を見ると傾いているように見える。これは射影変換がある平面に対しての画像全体の射影を変換結果とするからである。カメラを光源と考えると、光源によってペンの影が実際のコートに出現すると考えられ、射影変換はその影を求める変換だといえる。

## 2.2 撮影画像からカメラ位置を推定する手法

カメラを光源として考えると、カメラ、物体自身、物体の影が一直線上に並ぶと考えることができる。これは画像の射影変換でも同様である。この特性からカメラ位置を推定することができると考えた。

まず、図2の座標平面をXY平面、コートの高さを0とするZ軸で構成する世界座標系を考える。座標単位はmmである。次に、棒状物体の端点のように1点Pを定義できる物体をカメラの撮影範囲内に配置する。この時、点Pの世界座標は既知であり、さらにZ座標が0でない必要がある。続いて、2.1節のように撮影画像に射影変換を用いると、点Pはコート上に射影され、Z座標が0となる新たな点P<sub>p</sub>を定義できる。先の性質からカメラ位置はその2点を通る直線上にあると考えられる。これを異なる2物体に対して考えると、物体からカメラに向かう直線を2本引くことができ、2本の直線は理論上カメラの位置で交わる。

## 2.3 手法の検証方法

カメラの位置を既知とし、2.2節の手法によって求める推定位置との差を計算することによって、手法の有効性を検証する。

撮影はコートに対して900mm離れた高さ700mmの机上で、コートと平行にカメラを動かしながら複数点で撮影を行う。世界座標系と対応させると、カメラのY座標yを0から900の間で変えながら(-900, y, 700)の位置で撮影を行う。

2.2節の手法に必要な世界座標を既知とする2点は、高さ140mmのペンをコート上に2本立てたそのペン先とする。撮影時、それぞれのペン先の世界座標が(0, 0, 140)と(0, 900, 140)のパターン1、(900, 0, 140)と(900, 900, 140)のパターン2を用意し、物体位置によってカメラ位置の推定精度が変化するかどうかを確認する。画像の解像度は1440×1080とする。

## 3 検証結果

カメラ位置の推定誤差( $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ )について、物体の世界座標をパターン1としたときの結果を表1に、パターン2としたときの結果を表2に示す。

表1 パターン1におけるカメラ位置の推定誤差

| y[mm] | $\varepsilon_x$ [mm] | $\varepsilon_y$ [mm] | $\varepsilon_z$ [mm] |
|-------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 0     | 7                    | 2                    | 1                    |
| 300   | 11                   | 7                    | 3                    |
| 450   | 17                   | 12                   | 2                    |
| 600   | 16                   | 9                    | 0                    |
| 900   | 56                   | 9                    | 21                   |

表2 パターン2におけるカメラ推定誤差

| y[mm] | $\varepsilon_x$ [mm] | $\varepsilon_y$ [mm] | $\varepsilon_z$ [mm] |
|-------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 0     | 106                  | 16                   | 39                   |
| 300   | 155                  | 6                    | 53                   |
| 450   | 150                  | 9                    | 54                   |
| 600   | 156                  | 25                   | 47                   |
| 900   | 163                  | 48                   | 47                   |

結果として、物体の世界座標の違いによってカメラの推定精度に大きな差が見られた。パターン1では、XYZの平均誤差は約10mmだった。それに比べ、パターン2ではYの誤差は同程度であったが、XZの平均誤差は約100mmと大きく離れていた。

これはカメラから離れた位置では、ピクセルが持つ情報の範囲が広くなることが原因と考えた。今回の撮影画像では、コート幅に対応するピクセル数がカメラ側の端では約1000ピクセルであるのに対し、コート中央では約500ピクセルであった。すなわち、1ピクセルが対応する長さに2倍程度の差があることを意味する。この差によって射影先がずれ、直線の精度低下、カメラ位置の精度低下につながったと考える。

また、パターン2でYの推定誤差がXZに比べて小さいのは、撮影位置がコート幅に収まっていたからであると考えた。これにより、ペン先とその射影先をつなぐ直線のY方向の傾きが小さくなり、その結果としてYのずれが小さくなったと考えられる。

## 4 まとめ・今後の課題

本研究では、撮影画像からカメラ位置を推定する新たな手法を提案し、その有効性を確かめた。結果として、物体位置がカメラから遠くなると精度が大きく低下したため、本手法の有効性は低いと考えた。

しかし、本手法はピクセルの対応する長さが大きいことが問題であった。今回は画像の解像度を1440×1080としたが、より高解像度で撮影することも可能である。今後は高解像度の画像を用いた検証や、実際のバレーボールコートで撮影を行うことを目指す。

本手法を高解像度画像に適用しても精度が低い場合は、遺伝的アルゴリズムを用いることを検討する<sup>[2]</sup>。

## 5 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] 鈴木雄太, 竹中俊輔, 榎本靖士, 田内健二, “競技場の特徴点を利用したカメラパラメータ算出法に関する研究”, バイオメカニクス研究, 20 巻(2016), 1 号, p. 2-9.