

体操競技における自動採点のための骨格推定

長谷川 雄大[†] 藤田 悟[†]

法政大学 情報科学部[†]

1. はじめに

現在、男子体操競技は床、あん馬、吊り輪、跳馬、平行棒、鉄棒の6種目からなり、技の組み合わせにより演技を構成する。演技に対する採点は、採点規則[1]によって定められているが、審判員の主観的な評価や、わずかな動きの見逃しにより、同一演技に対しても採点結果が異なることがある。しかし、体操競技などの採点競技は点数だけで選手の順位が決定されるため、常に同じ基準で評価することが重要なスポーツである。そこで本研究では、体操競技の自動採点に向けて一般に利用できるスマートフォンで撮影した動画を用いて競技中の選手の骨格推定を行うシステムの開発を行った。さらに撮影角度による映像の歪を補正し、採点に必要な、真横から見たときの関節角度を計算し、提案システムの自動採点への応用について考察を行った。

2. 関連研究

OpenPose は、機械学習を用いて画像内の関節の位置と四肢の方向を推定し、それらをつなぎ合わせることで多人数の骨格推定を行う技術である[2]。OpenPose はセンサーの装着が不要であるため競技中の選手の負担にならない特徴がある。しかし、OpenPose の問題点として競技特有の姿勢に対する骨格推定の精度が低いことが挙げられる。これは OpenPose が日常生活でしばしば現れるような姿勢を学習モデルとし、体操競技のような体が逆さになるような場面での使用が想定していないことが原因である。

3. 提案手法

本システムはまず、入力された動画に対して人物領域の推定を行う。そして推定した人物領域に対して骨格推定を行う。最後に推定した結果を射影変換し、真横からの見たときの関節角度の計算を行う。以下各処理について、それぞれ説明を行う。

(1) 撮影条件と入力処理

スマートフォンを用いて 60fps, シャッター速度を 1/3000s にして撮影する。撮影された動画はフレームごとに分割され、以降の処理はフレームごとに行う。

(2) 人物領域の推定

最初のフレームでは背景差分法を用いて人物領域の推定を行う。次のフレーム以降は、人物領域の推定にその前のフレームの骨格推定の結果を用いる。人物領域の中心位置はフレーム間の身体の重心の位置の移動量を計算し、その移動量を直前のフレームの重心の位置に加える。領域の大きさは直前のフレームで推定した関節の内、人物の重心の位置との距離が最大になる値とする。

(3) 骨格推定

骨格推定のために Convolutional Pose Machines (CPMs) [3] に対して体操競技の技を行っている選手の画像を事前に学習する。CPMs は OpenPose の関節位置を推定するために用いられている姿勢推定の手法である。作成したデータセットは全部で 787 個のデータからなり、学習時にはデータセットを 637 個のトレーニングデータ、50 個のバリデーションデータ、100 個のテストデータにランダムに分割した。

(4) 射影変換

ホモグラフィ変換を用いて撮影した角度からの関節の平面上での座標を真横から見たときの平面上での座標に変換にする。

(5) 関節角度の推定

射影変換で得られた各関節の座標を用いて各関節の関節角度を計算する。関節角度を計算する関節は肘、肩、腰、膝の4関節とし、その関節とその関節に隣接する2つの関節から得た3点の座標を利用した。

4. 実験

(1) 関節の検出率

学習させたモデルを用いて関節の検出率を調べた。関節の検出成功の判断基準には $PCKh@\alpha$ を用いる。これは推定された関節の位置座標と正しい関節の位置座標との距離が頭の大きさの α 倍以内であるときに正解とする判断基準であり、

Pose estimation for automatic scoring in artistic gymnastics

[†]Yuta Hasegawa, Satoru Fujita

[†]Faculty of information science, Hosei University

表 1 PCKh-0.5 での関節検出率

	頭	右足首	右肘	右腰	右肩	右手首	総合
OpenPose	40.0	26.0	30.0	26.0	33.0	25.0	30.0
My Set	98.0	91.0	98.0	96.0	94.0	93.0	95.0

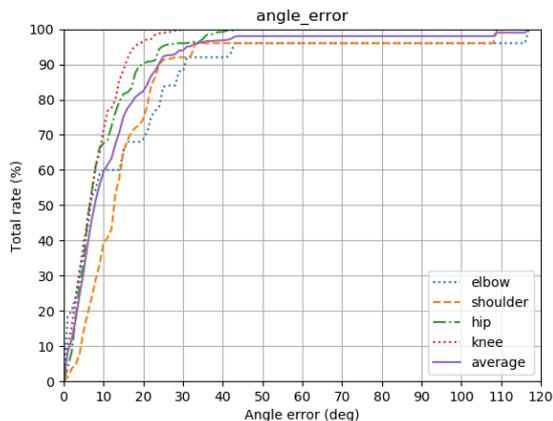


図 1 角度の誤差の累積数の割合

[2]や[3]においても使用されている。表 1 は PCKh@0.5 で各モデルでの関節ごとの検出率を比較した表であり、My Set が学習させたモデルのテストデータでの検出率である。検出率を比較すると、総合検出率がOpenPoseよりも65%向上したことが確認できる。

(2) 射影変換後の位置と関節角度

(1)で検出された関節の位置を用いて射影変換を行い、真横から見た関節の動きに変換した結果に対して評価を行った。実験の準備として鉄棒の斜め方向と真横から同時に動画を撮影し 25 フレームをランダムに選出した。今回は、斜め方向から撮影したフレームの推定誤差の影響をなくすため、真横からのフレームは正解データを得るために、正しい関節位置を手動で選択し、射影変換行列だけをシステムが推定して実験を行った。実験は 10 回行い、斜めから撮影した際の関節位置を射影変換して関節角度を計算し、真横から撮影したときの関節角度との絶対誤差を計算した。誤差を横軸、その誤差内にある関節の割合を縦軸としてグラフにしたものが図 1 である。誤差 15° 以内に収まった関節数の割合の平均値は 75%であった。この実験において、変換前の関節位置は手動で選択したものを使用したので角度誤差の原因は変換行列にあると考えられる。

5. 考察

実際の採点規則[1]では肘や膝の曲がりに対する減点は、表 2 左欄のように定められているが、この表現では曖昧性がある。そこで表 2 右欄の提案のように、180° を直線とし、その差分で採点

表 2 採点規則の表記と本稿での定義

減点	採点規則	提案
0	-	180±0~5°
0.1	slight bending	180±5~15°
0.3	strong bending	180±15~30°
0.5	extreme bending	180±30~45°

規則の各表現を定義して採点システムへの応用を考える。slight bending からは 15° 間隔で各表現を定義したため、角度誤差が 15° 以上の場合は確実に実際の減点とシステム上の減点に誤りが出る。実験結果から 15° 以内に角度誤差が収まっている確率は 75%であるため、25%の確率で誤った判定をしてしまう。この考察は推定誤差をなくすために手動で選択した点を変換した結果を用いたので実際に推定を行った点を用いて角度計算した場合には角度誤差がより大きくなると考えられる。それゆえに実際の採点システムに本システムを用いる際には骨格推定の精度向上と、より正確な射影変換が可能になるよう改善する必要がある。骨格推定の推定精度向上のためには時系列データの活用が必要だと考える。動画の場合は時間も重要な情報の一つであるが今回は動画から切り出した静止画像に対して骨格推定を行ったので骨格推定自体は時系列を考慮していない。それ故に、時系列を考慮した学習モデルを作成することで推定精度のさらなる向上が見込めると考えている。

6. おわりに

本稿では体操競技の鉄棒の動画に対して骨格推定と関節角度を計算するシステムの提案をした。今後は推定精度のさらなる向上と、射影変換を行う変換行列を改善し、より正確な変換を行うことで、自動採点システムへの応用を目指す。

7. 参考文献

- [1] International Gymnastics Federation, 2017 CODE OF POINTS, 2017.
- [2] Zhe Cao, Tomas Simon, Shih-En Wei and Yaser Skeikh, Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields, 2017 IEEE Conference on CVPR, 2017.
- [3] Shih-En Wei, Varun Ramakrishna, Takeo Kanade, and Yaser Sheikh, Convolutional Pose Machines, 2016 IEEE Conference on CVPR, 2016.