

スポーツ情報処理の研究開発動向

渡辺 裕[†]

1. まえがき

本稿では、スポーツ情報処理について最近の注目技術を中心に以下のトピックを紹介する。

(1) 多視点カメラとレーザレーダ計測によるスポーツシーンの3次元再構成

(2) OpenPoseなどの深層学習による運動解析

多視点カメラからの自由視点映像の再構成は、サッカーを中心に研究が進み、その後、野球、ラグビー、バレーボールなどに応用されてきている。複数のカメラのキャリブレーション、フレーム同期、ホモグラフィ変換、自由視点映像生成、映像補間処理などが技術的課題である。また、配信映像として付加価値を与えるためのボール軌跡の強調描画、スタッツと呼ばれる統計値の表示手法も課題となっている。野球に関しては、複数のカメラ映像に加えて、野球のボール位置を高精度に検出するためのレーザレーダ技術と映像データとの融合処理が実用のレベルに達している。

深層学習を用いた人体骨格推定技術は、2016年に米カーネギーメロン大から発表されたConvolutional Pose Machinesによって劇的に進化した。以前はマーカによる計測が必須であったが、映像のみによるマーカレスな骨格推定が可能となった。撮影距離の制限が緩和されるため、中長距離での複数人物の同時動作解析が可能となっている。最近の推定モデルでは、顔パーツの位置や、指の骨格まで検出可能である。通常は映像における2次元座標として関節位置情報が推定されるが、複数の映像を用いることにより、3次元座標へ拡張できる。今後はオリンピックに向けてスポーツ動作解析のツールとして幅広い利用が期待される。

2. 多視点カメラとレーザレーダ計測によるスポーツシーンの3次元再構成

2.1 サッカーにおける自由視点映像

多視点カメラによる自由視点映像の提供は、主にサッカ

ーを中心に研究開発されてきた。2000年前後から慶應大・小沢、斎藤らを中心に研究が進み^{1)~3)}、筑波大・北原らにより開発が進化した⁴⁾⁵⁾。現在、KDDI総合研究所⁶⁾、NTT研究所⁷⁾、ソニー⁸⁾、キヤノン⁹⁾などの企業で映像配信サービスを目的として実用化されつつある。

サッカーの選手動作解析は、動的なボロノイ領域を考慮した「優勢領域」という概念が中京大・瀧らによって提案され¹⁰⁾、その後も多くの拡張が試みられている¹¹⁾¹²⁾。またレベルセットを用いた手法も検討されている¹³⁾。動作解析という点ではテニスや体操も研究対象となっている^{14)~16)}。またプロサッカー選手にZXYスポーツトラッキングシステム(米国ChyronHego)と呼ばれる5.3GHzウェアラブル無線デバイスを適用し、プレー中の選手位置を検出した例が報告されている¹⁷⁾。ノルウェートロムゾ大とSimula Researchの研究成果であり、データセットが公開されている。データセットのCSVファイルは前半と後半があり、原点(0, 0)からピッチ内(105m, 68m)の内部で20Hzと1Hzで選手とボールの位置が記載されている。このシステムでは、ボールおよび選手のトラッキングにはTRACAB(米国ChyronHego社)多視点カメラが用いられている。

2.2 野球

米国メジャーリーグでは「TrackMan(トラックマン)」(デンマークTrackMan社)と、前述のTRACABを組み合わせたSTATCAST(スタットキャスト)というシステムが全球場に導入されている。スタットキャストは選手やボールの動き・スピード・位置などを高速・高精度に分析し、映像として提供している。「セイバートリクス」と呼ばれる、野球データを統計的・客観的に分析し・選手評価や戦略に応用するための分析技術の基礎データとなっている。日本ではデータスタジアム社によって野球、サッカー、ラグビー、バレーボールの試合内容をデータ化・分析し、情報を各種メディアなどに提供・配信されている。

スタットキャストで取得できるデータは、投球データとしては球速、回転数、ボールの変化量があり、打撃データとしては、打球速度、打球角度、飛距離がある。また、ランナーデータとしては、打撃後の塁までの到達時間、最高速度、リード幅などがある。守備データとしては、打球に

[†] 早稲田大学 基幹理工学部 情報通信学科

"Sport Information Processing" by Hiroshi Watanabe (School of Fundamental Science and Engineering, Waseda University, Tokyo)

到達するまでの距離、野手の球速、捕手の盗塁阻止のための送球時間がある。さらに、ボールの軌跡や選手の移動軌跡を強調描画として画像中に重畳することができる。今後、日本の球場にも広がっていくと考えられ、スポーツにおけるデータの統計解析が進むとみられる。

3. OpenPose

3.1 姿勢推定

OpenPoseは米カーネギーメロン大(CMU)によって開発された「映像からの人体骨格推定手法」であり、初期のバージョンではConvolutional Pose Machinesと呼ばれていた¹⁸⁾19)。Kinectで採取された人物の3次元骨格推定結果に合致するように、入力人物映像に対して畳み込みニューラルネットワークを学習させたものである。その結果、Kinectと異なり、深度データなしで映像のみから骨格情報が得られる。さらに複数の人物が同時に動作していても、骨格推定が可能である。またKinectのように、カメラから被写体までの距離を近づける必要がない。比較的遠距離でも動作する利点がある。

日本では従来、身体挙動解析のようなスポーツ工学の分野は、日本機械学会のスポーツ工学・ヒューマンダイナミクス部門で取り扱われてきた。しかし、マーカーによる身体計測やロボティクスへの応用といったテーマが主流であった。例年、日本機械学会シンポジウム：スポーツ工学・ヒューマンダイナミクスが開催されている。特に本年はパラリンピックサポートのためのスポーツ用品やウェアラブルセンシング、モータコントロールなどのトピックに注目が集まっている。スポーツ毎のセッションが組まれており、野球、サッカー、スキー、テニス、バドミントン、歩行、ランニング、体操、自転車などがある。いずれもメカニクス、動作解析が多い²⁰⁾。

OpenPoseの出現により、今後は映像のみから動作検出を行うさまざまなアプリケーションの出現が想定される。慶應大・青木らは、テニスの動作解析にOpenPoseを利用している⁴⁷⁾。早大・渡辺らの「歩きスマホ検出」もその一例である⁵³⁾。OpenPoseによる姿勢検出と一般物体認識による把持物体検出が組み合わせられ、サポートベクターマシンにより歩きスマホか否かが推定される。

OpenPoseはKinectとの映像マッチングで学習を行っている。そのため体が直立している状態で撮影された学習画像が多いことが想定される。したがって、体操やスノーボードなどで、回転技により足と頭の位置が逆転するような場合に、誤検出するケースが多くなる。データオーグメンテーションによりある程度の角度変化は吸収できると考えられるが、本質的な解決策とはなっていない。回転技系のスポーツに適したOpenPoseの開発は今後の課題である。また、2次元座標として得られる関節位置情報から距離情報を含んだ3次元座標へ展開も重要な研究課題である。複数

の画像から同時に骨格推定を行えば原理的には3次元化が可能であるが、遠距離での対応点の探索や精度の確保は容易ではないと考えられる。さらに、顔パーツの位置や指の骨格の推定も新しいバージョンには組み込まれており、セキュリティや行動分析の分野への応用も見込まれる。

3.2 実装

OpenPoseの実装については、多くの例がGitHubにアップロードされている。

(1) CMU原著者による実装

https://github.com/ZheC/Realtime_Multi-Person_Pose_Estimation

環境：C++, Tensorflow, Pytorch, Chainer, MXnet, MatConvert, CNTKなど多くがサポートされている。

(2) Kerasによる実装

https://github.com/michalfaber/keras_Realtime_Multi-Person_Pose_Estimation

環境：実装(1)をKerasにコンバートしたもの

(3) DeNAによるChainerでの実装例

https://github.com/DeNA/Chainer_Realtime_Multi-Person_Pose_Estimation

環境：Python 3.0+, Chainer2.0+, NumPy, Matplotlib, OpenCV

(4) ChainerおよびPyTorchによる実装

<https://qiita.com/ynaka81/items/85659dff4d1c2c593f21>

<https://qiita.com/ynaka81/items/9a99d42bbe5e1e767a89>

環境：Chainer1.19.0よりもPyTorch0.1.10が高速推定される人体骨格位置は、Part_str = [nose, neck, Rsho, Relb, Rwri, Lsho, Lelb, Lwri, Rhip, Rkne, Rank, Lhip, Lkne, Lank, Leye, Reye, Lear, Rear, pt19]となっており、顔を含めて18点の位置情報が得られる。サッカーシーンに対してOpenPoseを適用した例を図1に示す。



図1 サッカーシーンへのOpenPoseの適用例

4. SIP時限研究会の動向

本学会スポーツ情報処理時限研究会(SIP, <https://porto.giti.waseda.ac.jp>)は2016年から2020年の東京オリンピック・パラリンピックまでを重要な期間と考えて活動を開始した。現在までに研究会を7回開催している。この間、早稲田大学スポーツ科学部、鹿屋体育大学、筑波大学、国立スポーツ科学センターの施設見学も行ってきた。また本学会年次大会および冬季大会において特別セッションを開催してきた。これらで発表された研究報告タイトルを文献^{21)~68)}に示す(他の研究会との共催も含む)。

5. むすび

本稿では、最近のスポーツ情報処理に関する話題として、(1)多視点カメラとレーダレーザ計測による3次元データ化、(2)OpenPoseを取り上げた。東京オリンピック・パラリンピックに向けて、IT技術のスポーツ分野への適用は大きな技術革新を生み出す可能性があり、多くの研究者の参考になれば幸いである。また、紹介した技術やシステムは、スポーツのみならずセキュリティなど多くの分野への応用が可能であり、今後の研究開発の進展が期待される。

(2018年7月30日受付)

〔文 献〕

- 1) 松本圭介, 須藤智, 斎藤英雄, 小沢慎治: “サッカー放送における視点選択のための多視点画像の統合によるボール追跡”, 電気学論, 121-C, 10, pp.1530-1539 (Oct. 2001)
- 2) 稲本奈穂, 斎藤英雄: “サッカーシーンにおける多視点映像からの中間映像生成”, 信学技報, PRMUパターン認識・メディア理解, 101, pp.87-94 (Nov. 2001)
- 3) 稲本奈穂, 斎藤英雄: “多視点スポーツ映像からの自由視点映像合成と提示”, 信学誌, J88-D-II, 8, pp.1693-1701 (Aug. 2005)
- 4) N. Kasuya, I. Kitahara, Y. Kameda, Y. Ohta: "Automatic player's view generation of real soccer scenes based on trajectory tracking", 2009 3DTV Conference: the True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video (May 2009)
- 5) 大川原友樹, 北原格, 亀田能成, 太田友一: “シーン状況と多視点映像の解像度を考慮した自由視点映像生成支援手法”, 第17回日本バーチャリアリティ学会大会論文集, pp.27-30 (Sep. 2012)
- 6) <https://www.au.com/pr/soccer/>
- 7) http://www.ntt.co.jp/RD/active/201502/jp/ap/pdf/C-17_j.pdf
- 8) <https://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press/201801/18-013/>
- 9) <https://global.canon/ja/news/2017/20170921.html>
- 10) 瀧剛志, 長谷川純一: “チームスポーツにおける集団行動解析のための特徴量とその応用”, 信学誌, 81, 8, pp.1802-1811 (Aug. 1998)
- 11) 藤村光, 杉原厚吉: “優勢領域に基づいたスポーツチームワークの定量的評価”, 信学誌, 87-D, 3, pp.818-828 (Mar. 2004)
- 12) 中西涼太, 村上和人, 成瀬正: “集団行動のオンライン解析を目的とした優勢領域の近似計算手法”, 信学誌, 93-D, 1, pp.20-28 (Jan. 2010)
- 13) 高橋翔, 林原局, 長谷山美紀: “レベルセット法を用いたサッカー映像における選手追跡手法”, 信学誌, D-96, 3, pp.695-703 (Mar. 2013)
- 14) 矢崎俊平, 山本修身: “動画画像処理によるテニス選手の運動解析”, 電気学論, 127-C, 12, pp.2005-2010 (Dec. 2010)
- 15) M. Ryota, A. Tomoyuki, A. Toshio: "Quantitative Evaluation of Tennis Plays by Computer Vision", 電気学論, 133-C, 1, pp.91-96 (Jan. 2013)
- 16) 辛貞殷, 小沢慎治: “動画画像処理によるスポーツ運動解析の研究鉄棒競技の自動採点システムに向けて”, 信学技報, IE, 画像工学, 108, 45, pp.13-18 (May 2008)
- 17) S.A. Pettersen, D. Johansen, H. Johansen, V.B.-Johansen, V.R. Gaddam, A. Mortensen, R. Langseth, C. Griwodz, H.K. Stensland, P. Halvorsen: "Soccer Video and Player Position Dataset", in Proceedings of the International Conference on Multimedia Systems (MMSys), Singapore, pp.18-23 (Mar. 2014)
- 18) S.-E. Wei, V. Ramakrishna, T. Kanade, Y. Sheikh: "Convolutional Pose Machines", 2016 IEEE Conf. On Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR2016), pp.4724-4732 (June 2016), <https://arxiv.org/pdf/1602.00134.pdf>
- 19) Z. Cao, T. Simon, S.-E. Wei, Y. Sheikh: "Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields", 2017 IEEE Conf. On Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR2017), pp.1302-1310 (July 2017), <https://arxiv.org/pdf/1611.08050.pdf>
- 20) <https://www.jsme.or.jp/event/2018-29577/>
- 21) 小沢慎治: “スポーツ映像処理とその役割”, SIP-201606-01 (June 2016)
- 22) 長谷川純一: “中京大学におけるスポーツ映像処理の研究事例”, SIP-201606-02 (June 2016)
- 23) 宮地力: “スポーツ情報処理での映像の果たす役割”, SIP-201606-03 (June 2016)
- 24) 吉川文人: “方向群化立体高次局所自己相関特徴を用いたスポーツ動作のTime-Motion Analysis”, SIP-201606-04 (June 2016)
- 25) 井上悠, 林昌希, 青木義満: “TV視聴者の集中度推定のための行動検出”, SIP-201612-01 (Dec. 2016)
- 26) 戸嶋龍輝, 何宜欣, 大久保寛, 田川憲男: “固視微動型運動立体視における画像ペアの選択的利用の効果”, SIP-201612-02 (Dec. 2016)
- 27) 高橋翔, 長谷山美紀: “パス可能領域に注目したサッカー映像における類似場面の検出に関する検討”, SIP-201612-03 (Dec. 2016)
- 28) 井高悠斗, 安田航也, 何宜欣, 大久保寛, 田川憲男: “コート上の直線を利用するバスケットボール競技撮影時のカメラ姿勢の計測”, SIP-201612-04 (Dec. 2016)
- 29) 石井壮郎, 岡村麻人, 林昌希, 黒瀬龍之介, 青木義満: “スポーツのイメージトレーニングをサポートする”, SIP-201612-05 (Dec. 2016)
- 30) 黒瀬龍之介, 林昌希, 石井壮郎, 岡村麻人, 青木義満: “姿勢推定を用いたテニス映像の姿勢傾向分析”, SIP-201612-06 (Dec. 2016)
- 31) 宮下咲, 吉田光男, 梅村恭司: “スポーツ映像における把持物体強調処理の提案”, SIP-201612-07 (Dec. 2016)
- 32) 横澤俊治, 高橋裕信: “スピードスケート滑走軌跡即時フィードバックシステムの開発と活用”, SIP-201612-08 (Dec. 2016)
- 33) 譽田雅彰: “センシング技術を用いたスポーツ情報処理”, 映像情報処理学会冬季大会S2-1 (Dec. 2016)
- 34) 中村暢也: “スポーツ現場におけるデータ活用”, 映像情報処理学会冬季大会S2-2 (Dec. 2016)
- 35) 仁科有貴: “卓球ロボットを実現する情報処理技術～画像処理から人工知能まで～”, 映像情報処理学会冬季大会S2-3 (Dec. 2016)
- 36) 三上弾: “VR環境での事前体験によるスポーツパフォーマンス向上の取り組み”, 映像情報処理学会冬季大会S2-4 (Dec. 2016)
- 37) Magnus Kjellberg: "The role of video-technology in top athlete support - the case of Team Japan Swimming Success at the 2016 Rio Olympic Games", 映像情報処理学会冬季大会S2-5 (Dec. 2016)
- 38) 角田貢: “スポーツの超高精細動画の標準化とその応用その2～競技スポーツのための映像マネージメント～”, 映像情報処理学会冬季大会S2-6 (Dec. 2016)
- 39) 横井真也, 石川孝明, 渡辺裕: “ボロノイ図を利用した3次元優勢領域の決定”, SIP-201702-01 (Feb. 2017)
- 40) 水谷駿太, 味岡拓也, 瀧剛志, 長谷川純一: “サッカー選手の加速能力のモデル化とその応用”, SIP-201702-02 (Feb. 2017)
- 41) 盛岡寛史, 加藤大一郎, 三ッ峰秀樹: “2.5次元マルチモーションシステムの試作”, SIP-201702-03 (Feb. 2017)
- 42) Hourai Sabirin, Hiroshi Sankoh, Sei Naito: "Soccer Player Pose Estimation using Binary Mask", SIP-201702-04 (Feb. 2017)
- 43) Qian Yao, Akira Kubota, Kaoru Kawakita, Keisuke Nonaka, Hiroshi Sankoh, Sei Naito: "Fast Homography Matrix Estimation by Crossing Point Recognition for Free Viewpoint Soccer Video Synthesis", SIP-

- 201702-05 (Feb. 2017)
- 44) 横澤真介, 高橋正樹, 三ッ峰秀樹: “サッカー映像における顔検出と顔向き推定手法の検討”, SIP-201702-06 (Feb. 2017)
- 45) 前田哲汰, パナヒブルテラニ メヒツダ, 高橋圭太, 藤井俊彰: “Visual Hullを応用した高効率自由視点スポーツ映像生成”, SIP-201702-07 (Feb. 2017)
- 46) 山崎貴弘: “フルスベック8Kカメラによるスポーツ映像撮影”, SIP-201702-08 (Feb. 2017)
- 47) 黒瀬龍之介, 林昌希, 石井壮郎, 青木義満: “姿勢推定を用いたテニス映像の選手姿勢分析”, SIP-201706-01 (June 2017)
- 48) 小林大祐, 中洲俊信, 入本勇宇次, 榎本晋一, 大内一成, 青木義満: “ラグビー映像解析による戦術分析の効率化”, SIP-201706-02 (June 2017)
- 49) 石井壮郎, 林昌希, 黒瀬龍之介, 青木義満: “モーション・シンセサイザー〜投球障害を引き起こす動作パターンを生成する〜”, SIP-201706-03 (June 2017)
- 50) 箱崎浩平, 加藤直樹, 古山純子, 里雄二, 田嘩雅基, 青木義満: “周期性を考慮したCNNによる水泳選手のストローク推定”, SIP-201706-04 (June 2017)
- 51) Houari Sabirin, Hiroshi Sankoh, Sei Naito: "Detecting Heads of Occluded Objects in a Sngle Image", SIP-201706-05 (June 2017)
- 52) 横井真也, 浅見莉絵子, 石川孝明, 渡辺裕: “3次元優勢領域図を利用したパスコースの決定”, SIP-201706-06 (June 2017)
- 53) 加藤君丸, 渡辺裕: “姿勢推定による肘と肩の角度情報を用いた歩きスマホ認識”, SIP-201706-07 (June 2017)
- 54) 永井隆昌, 穴戸英彦, 亀田能成, 北原格: “多視点スライディング映像の実時間生成提示による同時フィードバック方式”, SIP-201706-08 (June 2017)
- 55) 小坂田光, 多田昌裕, 内海章: “カメラ画像による顔姿勢推定を用いたドライビングシミュレータ上におけるリアルタイム安全アドバイスシステムの試作”, SIP-201711-01 (Nov. 2017)
- 56) 高橋翔, 長谷山美紀: “サッカー映像における選手配置に注目した類似場面検出に関する検討”, SIP-201711-02 (Nov. 2017)
- 57) 大塚作一: “大画面・広視野環境における曲面ディスプレイの視覚的効果〜没入感と残効の個人差〜”, SIP-201711-03 (Nov. 2017)
- 58) 根比暲, 鹿嶋雅之, 福元伸也, 佐藤公則, 渡邊睦: “動画像処理によるバドミントン傾向分析支援システムに関する研究”, SIP-201711-04 (Nov. 2017)
- 59) 関井駿, 穴戸英彦, 亀田能成, 飯塚太郎, 上松芳則, 北原格: “単眼映像を用いたバドミントン選手の位置推定法”, SIP-201711-05 (Nov. 2017)
- 60) 高井洋平, 甲斐智大, 瀧剛志: “優勢領域を用いたサッカーのスペースを利用した攻撃の検出とその応用”, SIP-201711-06 (Nov. 2017)
- 61) 高木政徳, 石川孝明, 渡辺裕: “姿勢情報を用いた自転車選手識別手法に関する一検討”, SIP-201711-07 (Nov. 2017)
- 62) 横井真也, 石川孝明, 渡辺裕: “バッティングにおけるスイング解析による成績予測”, SIP-201802-01 (Feb. 2018)
- 63) C. Daniel, R. Ferrer, I. Kitahara, Y. Kameda: "Training soccer players' ability to READ-THE-GAME in full-body immersive VR", SIP-201802-02 (Feb. 2018)
- 64) 野原直翔, 北原格, 亀田能成: “投球映像中のボール握りの違いによる球種識別の検討”, SIP-201802-03 (Feb. 2018)
- 65) 今井美里, 北原格, 亀田能成: “スキーシミュレータにおける臨場感と風の関係”, SIP-201802-04 (Feb. 2018)
- 66) 田中仁: “平昌オリンピックに向けて行ったJISSの映像・情報サポート”, SIP-201807-01 (July 2018)
- 67) 横澤俊治: “平昌オリンピックに向けたJISSのスピードスケートサポート〜滑走軌跡計測システムの活用を中心に〜”, SIP-201807-02 (July 2018)
- 68) 富岡宏平, 菊地幸大, 島本洋: “8K2倍速スローモーションシステムの開発とスポーツ番組制作での応用”, SIP-201807-03 (July 2018)



わたなべ ひろし
渡辺 裕 1985年、北海道大学大学院工学研究科博士課程修了。同年、NTT入社。2000年、早稲田大学大学院国際情報通信研究科教授。現在、同大学基幹理工学部情報通信学科教授。1999年～2006年、ISO/IEC JTC1/SC29議長。正会員。