

令和 2 年 7 月 4 日現在

機関番号：13401

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K17823

研究課題名（和文）スポーツ動作の正確性および協同性向上のための姿勢矯正アドバイスシステムの確立

研究課題名（英文）Establishment of a Pose-Correction Advice System to Improve the Accuracy and Cooperativity of Sports Motion

研究代表者

張 潮 (ZHANG, CHAO)

福井大学・学術研究院工学系部門・助教

研究者番号：70803419

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000 円

研究成果の概要（和文）：これまでに、慣性センサ式モーションキャプチャが実用化されているが、スポーツ選手の自然な動きを妨げる可能性が高く、負担がまったく無いとは言えない。本研究では、人工知能のアルゴリズムを適用することでセンサに依存しない非接触かつ非侵襲な計測システムの構築を目的とした。1年目では、主に姿勢パラメータの最適化に欠かせない基礎的なアルゴリズムを複数提案した。2年目では、1年目で得られた成果であるデータ処理の基盤アルゴリズムを2次元および3次元のデータに適用し、姿勢の類似度評価、姿勢の3次元マッチング、グラフィカルモデルによる骨格領域分割、アルゴリズムの洗練化といった具体的な項目に対して研究を進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、計測が容易で、安価なカメラのみで動作するセンシングシステムが実現可能になっている。申請者の研究成果であるセンシング手法を利用することによって、姿勢矯正アドバイスの自動化を目指すことが可能となり、高度なスポーツ選手の育成プログラムの充実化が図れると考えられる。また、コンピュータビジョン分野の観点からみても、安価なカメラのみで取得したデータを利用するため、オンラインでフィードバックが得られるシステムを構築する意義は大きいものと考えている。さらに、本研究の成果は、健康科学分野における姿勢治療にも適用できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Although inertial sensor-based motion capture has been put to practical use so far, it cannot be said to be completely free of burden because of the high possibility of interfering with the natural movement of the athlete. In the first year, we proposed several basic algorithms for the optimization of pose parameters, and in the second year, we applied the basic algorithms for data processing to 2D and 3D data, and studied specific topics such as pose similarity evaluation, three-dimensional matching of poses, skeletal region segmentation by graphical models, and algorithm refinement.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：人物姿勢推定 コンピュータビジョン 最適化 進化的計算

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) スポーツ科学分野では、選手の競技力向上のため、姿勢矯正に繋がる適切なフィードバックをすることは重要であり、特に団体競技ではスポーツ動作および複数人物の個々の動作が互いに影響しあう協同性を解析する必要がある。正確な姿勢矯正アドバイスは、スポーツ科学分野における動作の正確性や協同性の向上、健康科学分野における骨格の歪みや機能的な異常部の治療、神経機能分野における姿勢制御メカニズムの解明など多くの分野で必要である。特に、オリンピックが東京で開催されるため、競技技術の向上に資するスポーツ動作および協同動作の解析とそのフィードバックは、スポーツ選手育成の観点からも重要である。

(2) これまでに、Xsens 社が開発した MVN 慣性センサ式モーションキャプチャが実用化されている(図 1)。このシステムでプロラグビー選手の動作を採集し、最適化することによって、ラグビー選手の訓練に有用なアドバイスを提供できる。しかし、各関節に慣性センサ(47×30×13mm)を装着する必要があるため、スポーツ選手の自然な動きを妨げる可能性が高く、負担がまったく無いとは言えない。そこで、安価なカメラのみを使用し、人工知能のアルゴリズムを適用することでセンサに依存しない非接触かつ非侵襲な計測システムを構築することが本研究課題の核心となる。

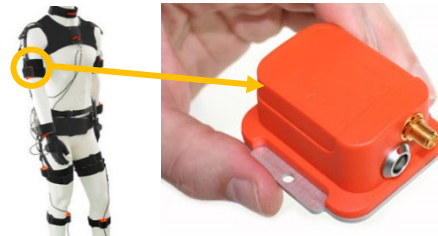


図 1 慣性式センサを活用したウェア型モーションキャプチャーシステム；(左) 装着するためのストラップベルト、(右) 慣性センサ。

(3) コンピュータビジョン分野における人工知能の研究では、撮影した大量の静止画像を学習データとして扱い、ディープラーニングなどの技術を適用した研究が進められているが、静止画像に共通しているパッチ特徴の抽出のみに関する研究が多く、動作に最適な特徴の抽出、加工、組み合わせ等の複雑なデータ処理と姿勢矯正につながるフィードバックを考慮した研究は少ない。また、これらの処理は動画の量、撮影環境、スケールの違い、対象物体の数などにより、自動化は難しく、人間が最適な処理を見出すのも非常に困難である。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究では、姿勢矯正アドバイスシステムのデータ処理を自動化するため、複雑なデータ処理をパラメータで表現し、スポーツ科学の観点から姿勢の正確性・協同性が高いとされるパラメータの組み合わせを自動的に発見できるアルゴリズムを構築する。複数人物の動作センシングおよび協同性センシングシステムを構築し、骨格モデルにおける姿勢パラメータを最適化する。

(2) これまでの進化的手法は、精度と処理速度の間にはトレードオフがあり、高速な動画処理には対応できないと考えられてきた。一方で、本研究で採用する動作センシング手法では、各関節周囲の外観変化の特徴を詳細に分析し、パターン化することが可能であり、洗練化することで処理時間を短縮できる。さらに申請者独自の進化的最適化アルゴリズムは、姿勢パラメータのような多次元の最適化問題に有効な手法であることがこれまでの研究成果でも明らかになっており、さらなる高度化・高速化が実現される。

### 3. 研究の方法

#### (1) 姿勢の類似度評価①。

本研究方法では、色・形・質感で定義される視覚的類似度の代わりに、人間の三次元ポーズを基準とした画像の類似度比較および検索を目的の 1 つとする。提案のフレームワークでは、すべてのポーズは二次元画像から検出され、さらに三次元に再構成される。三次元ポーズは、回転と球面座標表現により、同一方向・同一スケールに容易に正規化できるため、二次元ポーズを用いる際のスケール問題を克服することができる。再構成結果を用いて類似度比較を行う際には、リカレントベストバディ類似度と呼ばれるリカレント双方向の類似度尺度を提案する。具体的に、2つのポーズ間の類似度尺度を、2つのベクトル集合の距離尺度として扱う。

#### (2) 姿勢の三次元マッチング②。

本研究方法では、3次元点群のマッチング問題に取り組む。マッチングを行うことによって、人体部位のマッチングおよびポーズ間の類似度評価が可能になる。具体的に、双方向類似度測定を拡張することでメッシング処理(前処理)を必要としないフレームワークを構築できた。処理過程としては、最初に特徴点であるキーポイントを検出し、さらに主成分分析法を用いて正規化する。次に、特徴量抽出対象の特徴点を選択するために、法線の局所的な類似度に対してしきい値を設けた。それから、点群ベースの特徴記述子を計算し、特徴記述子間の距離を根拠にマッチングを行った。最後に、双方向の最近傍マッチングに基づいて双方向の類似度尺度を提案した。

#### (3) グラフィカルモデルによる骨格領域分割③。

深度カメラで取得された 3 次元点群データから骨格領域をセグメンテーションすることは、本

プロジェクトにおいて重要な課題である。骨格領域のセグメンテーションは、骨格抽出の際に関節部分を推定するためにも用いられる。そこで本研究手法は、エネルギー最小化戦略に基づいた骨格領域セグメンテーションを提案する。これは、3次元点群データを候補となる骨に最適に割り当てるため、距離と対称性に基づいた制約をペナルティとして組み込んだ最適化による骨格領域のセグメンテーションを行う。実験では、3次元座標値情報を持つ点群データに対して提案手法を適用した。

#### 4. 研究成果

(1) 1年目では、主に姿勢パラメータの最適化に欠かせない基礎的なアルゴリズムを複数提案した。特に、多様性の維持を重視し、効率的に最適なパラメータを探索する方法を発表した。PBOと呼ばれるこの提案手法④は、交叉という進化的操作の代わりに、他個体の影響を受けない操作を提案することによって、各個体の適応度に応じて効率的な探索が行える。既存手法では全域的最適解が見つかりにくい問題に対しても、提案手法では局所解に頑健な探索が可能で優れていることが分かった。また、単一の2次元姿勢のみを用いた3次元姿勢推定を行い、3次元姿勢の関節角度制限を元に関節の奥行きを推定を行う問題に取り組んだ⑤。さらに、ノイズを除去するため、3次元点群のフィルタリングといった前処理手法も開発した⑥。

(2) 2年目では、1年目で得られた成果であるデータ処理の基盤アルゴリズムを2次元および3次元のデータに適用し、姿勢の類似度評価(図2)、姿勢の三次元マッチング(図3)、グラフィカルモデルによる骨格領域分割(図4、5)、アルゴリズムの洗練化といった具体的な項目に対して研究を進めた。図4には、提案した類似度尺度に基づいたポーズ検索の結果例である。優位性を確認するため、他手法と比較を行った。検索したいポーズをクエリ画像として与え、結果としては似たようなポーズが出力される。青色の点線のボックスは、クエリと異なる被験者の最初の検索結果を示し、オレンジ色の長方形はクエリと異なる撮影角度での最初の検索結果を示している。次に、2つのポーズを比較するため、姿勢の三次元マッチングを行った。図3から分かるように、2つの点群において局所的な特徴が抽出されマッチングが行われた。誤対応も存在するが、双方向類似度測定を行うことによって多くの点が正しくマッチングされた。それから、対象ポーズに対して、骨格領域分割を行った。単一フレームの三次元点群から領域セグメンテーションを行うために、点群データに多数の候補領域解を割り当てることで最適化を行う必要がある。図4では距離情報のみを使用した分割の失敗例(左)および提案手法である対称性に基づく制約を含めた成功例(右)を示している。提案手法では、各骨と点群の関係性を考慮しているため互いを分類した割り当てを行うことができている。特に、胴体は楕円状であるため、骨を中心とした対称性を考慮することで適切な割り当てが確認できる。図5で示している通り、完成したシステムは、手動で指定する直線モデルを骨格モデルの参考情報として用いるため、対話型であり、動作の分割修正が可能である。システムの構築中に常に問題点の改善や洗練化を検討し、システム構築を目指した。今後、これらの手法をさらに高速化、洗練化させ、人間動作のセンシングに発展させていく予定である。



図2 ポーズ検索における既存手法との比較。検索結果は左から順に、信頼度の高い順に並べられている。

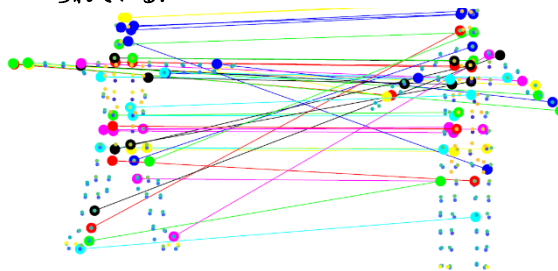


図3 クエリ(左)と候補点群(右)間のマッチングペアの可視化。



図4 骨格領域のセグメンテーション結果。

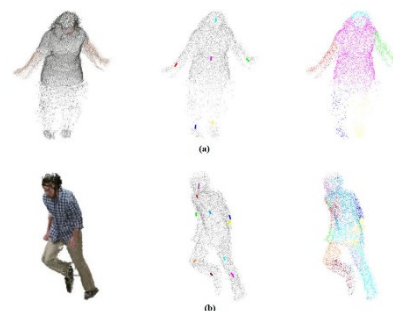


図5 姿勢の異なるテストデータに対する骨格領域のセグメンテーションの結果。

<引用文献>

- ① Haitian Sun, Chao Zhang, Takuya Akashi, Recurrent Bidirectional Visual Human Pose Retrieval, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol.14, No. 7, pp.1074-1081, 2019.
- ② Bold Naranchimeg, Chao Zhang, Takuya Akashi, 3D Point Cloud Retrieval with Bidirectional Feature Match, IEEE Access, Vol.7 (1), pp.164194-164202, 2019.
- ③ 堀田克哉, 東海彰吾, 張潮, 3次元点群データにおける Graph Cuts を用いた人の骨格領域のセグメンテーションに関する研究, Vision Engineering Workshop (VIEW), OS2-H2 (IS1-B11), 2019.
- ④ 中根拓未, 明石卓也, 張潮, テンプレートマッチングにおける確率的なビット操作を用いた容易に並列化可能な進化的最適化手法の提案, 精密工学会誌, Vol.85, No.1, pp.98-106, 2019.
- ⑤ 平山洋輝, 孫海天, 張潮, 明石卓也, 遺伝的アルゴリズムを用いた単一画像における 2D アノテーションからの人物の 3次元姿勢推定, Vision Engineering Workshop (VIEW), 2019.
- ⑥ Chunzhi Gu, Kota Ushiwaka, Shogo Tokai, Chao Zhang, Point Cloud Filtering via Generalized Gaussian Mixture Model, Proceedings of the 7th IIAE International Conference on Intelligent Systems and Image Processing (ICISIP), pp.86-92, 2019.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 中根 拓未, 明石 卓也, 張 潮	4. 巻 1
2. 論文標題 テンプレートマッチングにおける確率的なビット操作を用いた容易に並列化可能な進化的最適化手法の提案	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 精密工学会誌	6. 最初と最後の頁 98, 106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2493/jjspe.85.98	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Bold Naranchimeg, Chao Zhang, Takuya Akashi	4. 巻 Vol.7 (1)
2. 論文標題 3D Point Cloud Retrieval with Bidirectional Feature Match	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 164194, 164202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2019.2952157	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Chao Zhang	4. 巻 Vol. E102-D
2. 論文標題 Energy Minimization over m-Branched Enumeration for Generalized Linear Subspace Clustering	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 2485, 2492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2019EDP7138	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Chao Zhang, Xuequan Lu, Katsuya Hotta, Xi Yang	4. 巻 Vol. 6
2. 論文標題 G2MF-WA: Geometric Multi-Model Fitting with Weakly Annotated Data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Computational Visual Media	6. 最初と最後の頁 1,11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41095-020-0166-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Haitian Sun, Chao Zhang, Takuya Akashi	4. 巻 Vol.14
2. 論文標題 Recurrent Bidirectional Visual Human Pose Retrieval	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 1074,1081
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tee.22902	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計11件(うち招待講演 0件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Chunzhi Gu, Takumi Nakane, Takuya Akashi, Chao Zhang
2. 発表標題 Merging Scored Bounding Boxes with Gaussian Mixture Model for Object Detection
3. 学会等名 International Conference on Intelligent Systems and Image Processing (ICISIP) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katsuya Hotta, Shogo Tokai, Chao Zhang
2. 発表標題 Search Region Correction via Spectrum Domain for Online Visual Tracking
3. 学会等名 International Conference on Intelligent Systems and Image Processing (ICISIP) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 五十嵐泰智, 中根拓末, 張潮
2. 発表標題 Charged Particle Swarm Optimization を用いた回転及びスケールングに対応可能なテンプレートマッチング手法の提案
3. 学会等名 動的画像処理実利用化ワークショップ(DIA)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平山洋輝, 孫海天, 張潮, 明石卓也
2. 発表標題 遺伝的アルゴリズムとルールベース補正を用いた人物の2次元姿勢からの3次元姿勢推定
3. 学会等名 動的画像処理実利用化ワークショップ (DIA)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 牛若光太, 楊溪, 東海彰吾, 張潮
2. 発表標題 確率混合分布による点群フィルタリングに関する検討
3. 学会等名 Vision Engineering Workshop (VIEW)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中根拓未, 五十嵐泰智, 明石卓也, 張潮
2. 発表標題 低フレーム動画における粒子群最適化を用いた追跡アルゴリズムの改良
3. 学会等名 Vision Engineering Workshop (VIEW)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takumi Nakane, Xuequan Lu, Chao Zhang
2. 発表標題 SHX: Search History Driven Crossover for Real-Coded Genetic Algorithm
3. 学会等名 Genetic and Evolutionary Computation Conference 2020 (GECCO) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yi Zhang, Chao Zhang, Takuya Akashi
2. 発表標題 Multi-scale Template Matching with Scalable Diversity Similarity in Unconstrained Environment
3. 学会等名 British Machine Vision Conference (BMVC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chunzhi Gu, Kota Ushiwaka, Shogo Tokai, Chao Zhang
2. 発表標題 Point Cloud Filtering via Generalized Gaussian Mixture Model
3. 学会等名 International Conference on Intelligent Systems and Image Processing (ICISIP) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takumi Nakane, Takuya Akashi, Xuequan Lu, Chao Zhang
2. 発表標題 A Probabilistic Bitwise Genetic Algorithm for B-Spline based Image Deformation Estimation
3. 学会等名 Evolutionary Computation Conference 2019 (GECCO) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀田克哉, 東海彰吾, 張潮
2. 発表標題 3次元点群データにおけるGraph Cutsを用いた人の骨格領域のセグメンテーションに関する研究
3. 学会等名 Vision Engineering Workshop (VIEW)
4. 発表年 2019年



〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----