

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：11201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26750260

研究課題名(和文)オペレータやアスリートに負担のない非接触かつ非侵襲な3次元動作解析システムの研究

研究課題名(英文)Non-contact and Non-invasive 3D Motion Sensing without a burden on an operator or an athlete

研究代表者

明石 卓也 (Akashi, Takuya)

岩手大学・工学部・准教授

研究者番号：50403655

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：これまでに、マーカーを使用しない頭部などの特徴領域追跡に成功しているが、屋外の実環境下における検証や動作の解析には至っておらず、2D空間における処理に留まっていた。本申請では、特殊カメラ、大量のカメラ、マーカー、特殊スーツ等を使用せず、使用環境を選ばない『3次元空間における先進的かつ実用的な動作解析システム』のための基礎技術の確立を目的とした。1年目では、実環境下における検証を行い、2年目にはベイズの定理に基づいたナイーブベイズ分類器とクラスタリング技術による2Dスケルトンからの3次元姿勢推定手法を提案した。また、検証用のアノテーションデータが付与されたデータベースを構築した。

研究成果の概要(英文)：Until now, we have succeeded in the feature tracking, such as a head, which do not use any marker. However, the system is not evaluated and the motion is not analyzed in real environment of outdoor. Moreover, it is processing in 2D space. In this research, a lot of special cameras, markers, a special suit, etc. are not used. Furthermore, one of the purpose is establishment as the basic technology for an advanced and practical motion analysis system in 3D space without environmental restrictions. the system was evaluated in real environment the 1st year. The 3D posture estimation technique from 2D skeleton by the naive Bayes classification based on Bayes' theorem and clustering technology was proposed in 2nd. Moreover, the database with annotated data is made.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：コンピュータビジョン パターン認識 スポーツバイオメカニクス ヒューマンセンシング

1. 研究開始当初の背景

2020年にオリンピックが東京で開催されることが決定しており、高度なアスリート育成のため、スポーツ科学における動作解析の重要性が、ますます高まっている。アスリートのパフォーマンスを向上させる方法のひとつに、他者と本人の動作を比較することにより、最適なトレーニングプログラムを作成する方法が考えられる。これを実現するためには、モーションキャプチャシステムを用いて、他者の動作を詳細に解析する必要があるが、必ずしも使い易いシステムではない。

既存のモーションキャプチャシステムには、「計測対象となるアスリートに対する負担」と「システムを操作するオペレータ側の負担」がある。図1にマーカーを用いた光学式モーションキャプチャシステムの例を示す。このシステムでは、アスリートは室内においてマーカーが付けられた特殊なスーツを装着する必要があり、環境や動作が制限されてしまう。この問題点を考慮した、マーカーを用いたシステムも存在するが、設置作業や計測作業において、オペレータに多大な労



図1：光学式モーションキャプチャシステムの例



図2：水中における人物抽出結果



図3：特徴領域追跡結果

力を要求する。特に、すべてのビデオフレーム画像において、追跡するための多くの特徴点を手作業で打つ作業が必要となるため、労力の問題に加え、結果や精度がばらつくなどの問題がある。

一方、研究代表者は、安価な市販の防水カメラを用いて撮影した動画像をコンピュータに取り込み、身体の輪郭を抽出する手法の開発に取り組み、人物の輪郭を自動的かつ正確に抽出することが可能であることを示した。また、これまでにマーカーなどの特別な装置が不要な、できる限り制約の少ない、眼球や口唇といった顔パーツのセンシング手法の開発に取り組んできた。特に、他の国内外の研究では成し得ていない高速・高精度な結果を得てきた。具体的には、人工知能のひとつである進化的計算を用いて、高速かつ高精度に顔パーツのセンシングを可能としている。この手法は、画像中で見つけたい物体の姿勢や形状変化を数値化し、この数値の変化を推定することによって次の物体の状態を得る手法である。数値変化の推定問題を最適化問題として捉え、進化的計算を用いる。この手法は、計算コストが高いため、動画像処理に応用できないとされてきた。しかし、研究代表者は、世界でも類を見ない、進化的計算を動画像処理適用する手法「進化的動画像処理」を開発することで、この問題を解決してきた。さらに、科学研究助成(若手B)による平成24年度から平成25年度の研究では、図3のように、複雑な背景において、マーカーを使用せず、頭、手、足などの特徴領域の追跡に成功している。次のステップでは、3次元空間へ拡張し、専門的なアスリートによる、屋外の実環境における検証や動作解析、オペレータの負担を考慮する必要がある。これらの技術を基盤とし、超高速・高精度かつアスリートやオペレータに負担をかけない、動作センシングを実現するために必要となる技術の開発が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、「システムの設置や操作を行うオペレータおよびアスリートの負担が極限まで軽減された、三次元スポーツ動作解析システムを実現する」ことを主な目的とする。研究代表者が以前より積み重ねてきた、画像や動画像を用いた人物の動作や物体の計測技術に関する研究の不十分な点を精査し、先駆的なスポーツ科学における様々な研究分野での利用やアスリートを育成するためのより高度な教育基盤を構築するため、さらに3次元へ拡張し、スポーツ動作に適用することを目指している。

これまでに、マーカーを使用せずに、頭、手、足などの特徴領域追跡に成功しているが、屋外の実環境下における検証や動作の解析には至っておらず、これらへの対応が急務である。また、2次元空間における処理にとどまっている。そこで、本研究では、上述の研

究を発展させ、特殊カメラ、大量のカメラ、マーカー、特殊スーツ等を使用せず、使用環境を選ばない「3次元空間における先進的かつ実用的な動作解析システム」のための基礎技術を確立し、次世代のスポーツ学習システムへの応用が可能なシステムを新たに構築する。加えて、所属する大学の教育学部の協力を得て、野球の投球フォームなどの実際のデータを数多く収集し、実環境におけるスポーツ動作の検証および動作解析に取り組む。さらに、自動化によりシステムのオペレータの負担の軽減を目指す。これらの研究開発過程の詳細を取り纏め、既存の動作センシングシステムをより充実させ、動作の解析によりさまざまなスポーツ分野における高度なトレーニングシステムを求める声に応えていくというのが本研究である。

また、3次元における人の姿勢の形状復元は、コンピュータビジョン、パターン認識、ヒューマンコンピュータインタラクション、バーチャル・リアリティ、など、種々な分野で広く利用されている。さらに、人物姿勢推定に関する研究の発展により、1枚の画像から人物姿勢の2次元空間におけるアノテーション付け(見た目の姿勢の注釈付)は、ますます必要とされてきている。また、3次元空間における人物姿勢は、複数視点データ、深度データ、動画シーケンス、2次元のアノテーションなど、多種多様なデータから推定可能である。したがって、2次元の関節のランドマークから3次元の人物姿勢の再構築することは重要である。以上から、動作解析アルゴリズムの検証のため、正解データ(アノテーションデータが付与されたデータベース)の構築も目的のひとつとする。

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するため、初年度は主として、これまでに開発してきた動作センシング技術の問題点の洗い出し、および改善することに取り組んだ。具体的にはオンライン学習アルゴリズムを改良しつつ、頭部領域と手領域の追跡手法を提案した。この提案手法では、あらかじめ手動で追跡対象物体である頭部領域と手領域を選択し、それぞれの周辺におけるポジティブサンプルとネガティブサンプルをサンプリングし、Haar-like 特徴量を求める。高次元のHaar-like 特徴量を圧縮するため、ランダム測定行列を用いている。これらの情報を分類機で学習することにより、追跡を実現した。今回は、処理速度を重視するため、分類器として、単純な確率的分類器であり、式(1)で表されるベイズの定理に基づいた、ナイーブベイズ分類器を使用している。

$$P(Y|X) = \frac{P(X|Y)P(Y)}{P(X)} \quad (1)$$

ここで、 $P(Y|X)$ は入力 X が与えられたときに出力 Y が得られる確率である。

その結果、頭部と手部といった複数領域のリアルタイムの追跡を実現した。

2年目では、主として初年度で得られたオンライン学習アルゴリズムをベースとして以下に取り組んだ。

- 1) 動作解析アルゴリズムの検証
- 2) 動作解析アルゴリズムの洗練化

まず、1)では動作解析アルゴリズムの検証のため、正解データ(アノテーションデータが付与されたデータベース)が必要であると考えた。一般的なスポーツ動作のデータベースはすでに存在するが、激しい運動のデータを収集するのは難しいため、本研究では、日本整形外科学会の関節稼働範囲等の情報を利用して、人間が取りうる姿勢のデータベースを作成した。このデータベースは、他の同様の研究に広く寄与すると考えられる。2)では、1)での検証と並行して動作解析アルゴリズムの洗練化を実施した。洗練化においては、特に、3次元における姿勢の推定方法の洗練化に注力した。具体的には、CMU human motion data データセットにおけるスケルトンの正規化、学習段階では、クラスタリングを採用した。クラスタリングされたデータベースを用いて、1年目の成果によって得られるような2Dスケルトンを入力し、分類することによって、本来の3次元空間における姿勢を推定する手法を提案し、性能を検証した。

4. 研究成果

初年度の成果として、5つのシーケンスに対して実験を行った。図4に複数領域の追跡結果(頭部と両手部)の例を示す。また、正解率を表1で示す。正解率は、図5のように、目視によって作成したground truth (S_1)と検出結果(S_2)の重なり率 SR を式(2)で表し、 SR が50%以上のフレームを正解フレームとした。

$$SR = \frac{S_1 \cap S_2}{S_1 \cup S_2} \quad (2)$$

表1に示された結果のように、用意したほぼすべてのシーケンスにおいて、高精度な結果を得たが、Sequence 3の左手部に関しては、低い精度となった。これは、左手部の動作が他と比較して高速であったためである。次に、図6に各シーケンスにおける正解と検出結果を表す矩形の中心位置誤差(center location error, CLE)を示す。

表1: 追跡精度 (%)

Sequence	Head	Left Hand	Right Hand
1	100.00	77.17	80.43
2	100.00	74.19	74.19
3	90.32	58.06	100.00
4	100.00	100.00	100.00
5	100.00	100.00	100.00

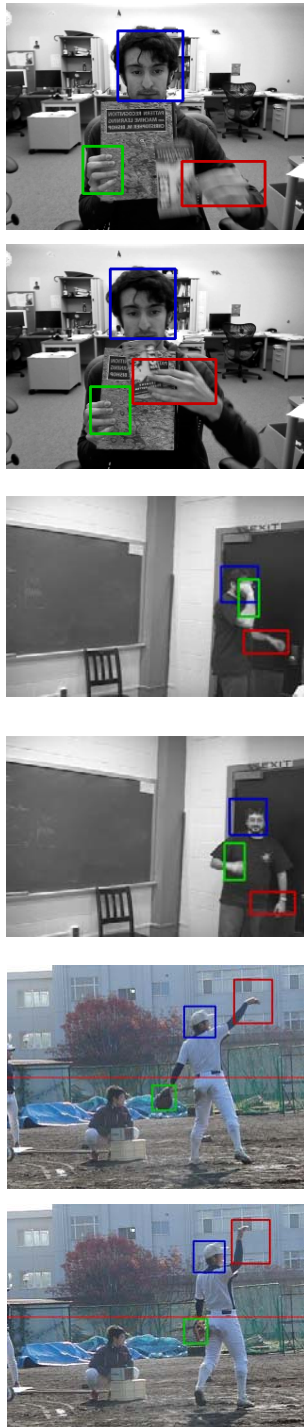


図 4 : 追跡結果例

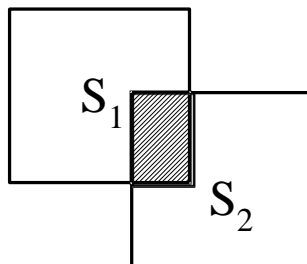


図 5: Ground truth (S_1) と検出結果 (S_2) の関係、斜線部分は重なり領域を示す。

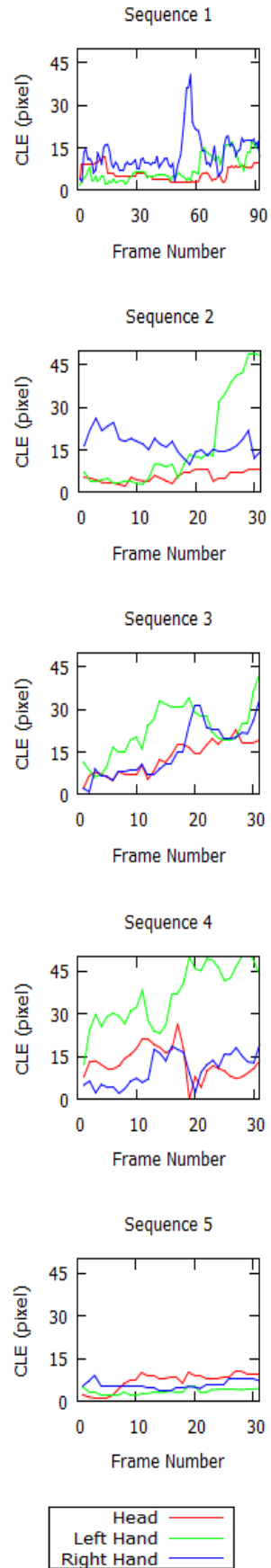


図 6 : CLE (中心位置誤差), 赤線は頭部, 緑線は左手部, 青線は右手部を示す。



図 7：追跡結果の画像



図 8：データベースに含まれる画像

2年目の成果として、野球といったスポーツ動作における人物姿勢の複数のシーケンス収集した。これらのシーケンスは、ランニング、ジャンプ、歩行などの動作を含んでいる。図7に、収集した野球動作の例を挙げる。これらの収集したシーケンスは、収集が困難であるため、量的に不十分である。そこで、日本整形外科学会が提供する人体計測法に基づいた、従来にはない、人物の姿勢に関する新たなデータセットを作成した。データセットに含まれる画像例を図8に示す。これらのデータを実験に用いた。

また、今回新たに提案した、2D スケルトンを分類することにより、本来の3次元空間における姿勢を推定する手法の性能を評価した。図9に示すように、3次元の人物姿勢が再構築できることを確認した。さらに、今回作成した、新たなデータセットを用いて実験を実施した。図10に結果を示す。良好な結果を得ているのが分かる。これらに関しては、今後、さらに定量的に評価し、学会等で発表予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計2件）

- ① Chao Zhang, Takuya Akashi, High-speed and Local-changes Invariant Image Matching, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E98-D, No. 11, pp.1958-1966, 2015

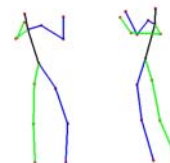
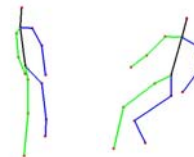
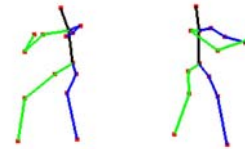
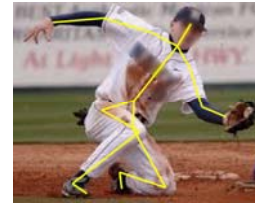


図 9：検出結果の例，上は対象画像＋スケルトン，下は異なる2視点からのスケルトン。

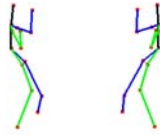


図 10: 検出結果の例, 上は対象画像＋スケルトン, 下は異なる 2 視点からのスケルトン.

- ② Chao Zhang, Yo Yamagata, Takuya Akashi, Robust Visual Tracking via Coupled Randomness, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E98-D, No.5, pp.1080-1088, 2015

〔学会発表〕(計 6 件)

- ① 成田 伶、佐藤惇哉、明石卓也、ステレオカメラを用いた頭部 3 次元姿勢情報に関する正解データの取得、平成 27 年度芸術科学会東北支部大会、2016 年 1 月 23 日、岩手県、アイーナいわて県民情報交流センター
- ② 山形 曜、張 潮、明石卓也、オンラインランダムフォレストを用いた視覚的追跡における決定木除去の影響、平成 27 年度芸術科学会東北支部大会、2016 年 1 月 23 日、岩手県、アイーナいわて県民情報交流センター
- ③ 久末雪奈、孫 海天、張 潮、明石卓也、2D ランドマークから 3D 姿勢推定のためのバーチャルベンチマークの可視化、平成 27 年度芸術科学会東北支部大会、27-13、2016 年 1 月 23 日、岩手県、アイーナいわて県民情報交流センター
- ④ Chao Zhang, Takuya Akashi, Fast Affine Template Matching over Galois Field, British Machine Vision Conference (BMVC), pp. 121.1-121.11, 7th, September, 2015, United Kingdom, Swansea University.
- ⑤ Mengbo You, Takuya Akashi, Profile Face Detection using Flipping Scheme with Genetic Algorithm, 10th Asian Control Conference (ASCC), pp.2462-2467, 31 May, 2015, Malaysia, Sabah.
- ⑥ Haitian Sun, Chao Zhang, and Takuya Akashi, Hands and Head Tracking With Online Learning Algorithm, 平成 26 年度芸術科学会東北支部大会, 26-05,

2015 年 1 月 10 日, 岩手県, アイーナいわて県民情報交流センター

〔その他〕

ホームページ等

Smart Computer Vision Laboratory

<http://cvhost.scv.cis.iwate-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

明石 卓也 (Akashi, Takuya)

岩手大学・工学部・准教授

研究者番号 : 5 0 4 0 3 6 5 5