

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11468

研究課題名（和文）単視点画像情報と力覚情報の統合によるスポーツクライミングの動作計測・解析

研究課題名（英文）Measurement and Analysis of Sport Climbing using Vision and Force Information

研究代表者

河村 晃宏（Kawamura, Akihiro）

九州大学・システム情報科学研究所・准教授

研究者番号：60706555

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、単視点RGBD画像による動作計測および力センサによる力覚情報の計測を行った。動作計測では、RGB画像による2次元姿勢推定と、距離画像と人物形状のICPによるモデルフィッティングを組み合わせることで、単視点での高精度で頑健な3次元人物姿勢推定手法を提案した。また、この手法と力覚センサを用いて、実際のクライミングジムにおいてクライミング競技者の姿勢とホールドにかかる力情報の同時計測実験を行い、システムの有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スポーツクライミングにおける従来の動作計測では、複数台のカメラを用いた非常に高価なモーションキャプチャシステムによる計測が主であった。これに対して本研究では、一台のRGBDカメラによる単視点画像を用いた動作計測手法を提案し、省スペースかつ安価な動作計測システムを実現した。この成果によって、動作計測システムを設置できる壁の形状、クライミングジムの幅が広がり、将来的に多くの計測データの獲得や多様な動作の解析につながる事が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we conducted motion measurement using single viewpoint RGBD images and force measurement using force sensors. For the person pose estimation, we proposed a highly accurate and robust 3D person pose estimation method from a single viewpoint by combining 2D posture estimation using RGB images and model fitting using ICP technique between distance images and the human shape model.

Using this method and a force sensor, we conducted an experiment to simultaneously measure the posture of a climber and the force information applied to holds in an actual climbing gym, and confirmed the effectiveness of the system.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：運動計測 スポーツクライミング 姿勢推定 RGBDセンサ ICP

1. 研究開始当初の背景

スポーツクライミングとは、ホールドと呼ばれる壁に取り付けられた突起物を掴んで、壁を登る競技である。オリンピックの正式種目となり、近年、競技者人口が急激に増加している。しかし、他のスポーツに比べ、歴史が浅く、トレーニングやコーチングに関する理論体系は発展途上といえる。これに対して、研究代表者はこれまでに、スポーツクライミングの運動計測システムの開発を行っている。このシステムでは、モーションキャプチャと力覚センサを組み合わせ、全身の動作および各ホールドにかかる力・モーメントを同時に計測可能である。しかし、モーションキャプチャシステムでは、複数台のカメラを用いて多視点からの計測を行うという性質上、導入環境が非常に限定的であるという問題がある。またモーションキャプチャシステムは一般的に非常に高価であり、導入のハードルが高いという問題もある。

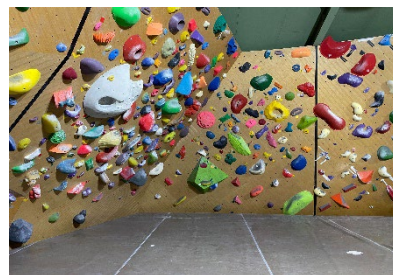


図1 クライミングウォール

2. 研究の目的

本研究では、単視点 RGBD 画像による動作および力センサによる力覚情報の同時計測を行う。動作計測では、一台の RGBD カメラによる人物姿勢推定手法を提案し、省スペースかつ安価な運動計測システムを実現する。これにより、計測システムの導入への障壁を低くし、汎用性、実用性の高い動作計測システムを目指す。またこれに加えて、研究代表者がこれまでに提案している力覚センサを用いたホールド負荷計測システムを併用することで、クライミング競技者の姿勢とホールドにかかる力情報の同時計測を可能にする。

3. 研究の方法

RGB 画像および距離画像の取得に Stereolabs 製の ZED 2i Stereo Camera を用いる。センサの外観を図 2 に示す。撮影時の画素数は 720p、フレームレートは 60fps である。本手法では 2 次元姿勢推定を行い、その結果を 3 次元の距離画像へ投影し、その後 ICP を用いたモデルフィッティングによる高精度化を行う。まず、RGB 画像より Segment Anything を用いて人物領域を抽出し、その画像に対して OpenPose を適用することで 2 次元姿勢推定を行う。図 3 に推定された 18 個の関節を持つ人体モデルの例を示す。その後、RGB 画像から得られる 2 次元の姿勢推定結果を距離画像に投影することで、3 次元の人物姿勢を得る。このとき、OpenPose を用いた推定精度は十分とは言えず、大きな誤差を含む場合や推定が失敗する場合がある。そこで、OpenPose から得た 3 次元人物姿勢を図 4 に示す各部位モデルの初期位置・姿勢として利用し、ICP による距離画像とのモデルフィッティングを行う。各部位ごとのモデルは人体モデルから切り出したものを用い、ICP は各フレームにおいて実行する。OpenPose を用いた 2 次元姿勢推定の際に、大きな誤差を含む場合や推定失敗の場合には、一つ前の時刻のフレームの部位モデルの位置・姿勢を初期値として利用する。これにより、OpenPose での推定失敗時においても頑健に 3 次元の姿勢推定を行うことが可能となる。



図2 ZED Stereo Camera



図3 2次元姿勢推定結果

4. 研究成果

提案手法の人物姿勢推定精度の確認を目的とし、実際のクライミングジムにおいて光学式モーションキャプチャシステム (Vicon) との比較実験を行った。図 5 に示す室内環境において、図 6 に示す動作を行い、RGBD センサおよびモーションキャプチャシステムを用いて計測した。RGBD センサは図 5 の赤丸で囲まれた位置に設置する。実験は、日常的

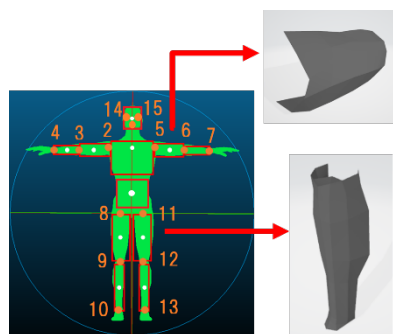


図4 部位モデル

にクライミングを行う上級者 2 名と中級者 2 名を対象として行った。

図 7, 図 8 にモーションキャプチャ (Vicon), OpenPose のみ, 先行手法 (OpenPose + 固定値), 提案手法の 4 つの手法のそれぞれから得られた右肘および重心位置の推定結果を示す。これらの結果は中級者 1 名の計測結果である。グラフ中の灰色の部分には OpenPose が正しく推定できなかった場合の時間帯を示す。提案手法では, 右肘の関節位置・身体重心位置共にモーションキャプチャシステム (Vicon) に最も近い結果となっている。また, OpenPose での推定が失敗した灰色で表す時間帯においても, 提案手法では精度の高い推定ができています。他の関節や他の被験者の推定結果においても同様の結果が得られた。以上の結果から, 提案手法を用いることで, 推定精度の向上および, 推定失敗時にも頑健な姿勢推定が可能であることを確認した。計算時間は 1 フレーム当たり 13 秒となった。

本研究で新たに提案した, 1 台の RGBD センサを用いた動作計測手法と, ホールド負荷計測システムを組み合わせることにより, 省スペースかつ安価なスポーツクライミングの運動計測システムを実現した。このシステムは, 従来の計測環境の制限や高コストの問題を緩和した, より実用性の高いシステムである。

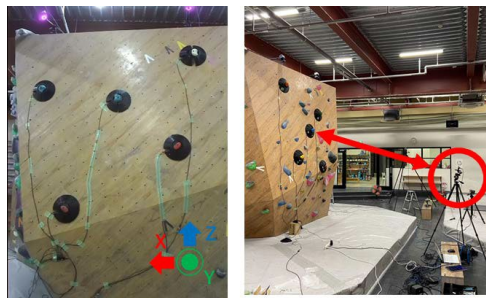


図 5 実験環境

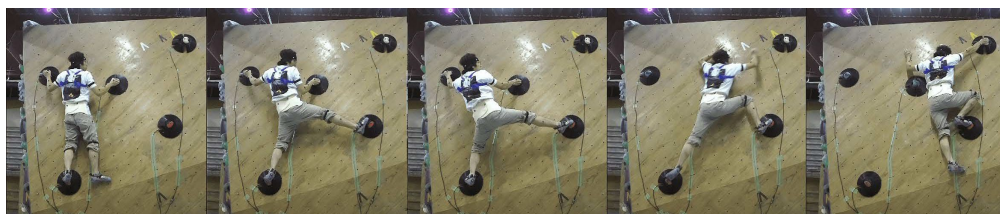


図 6 計測動作

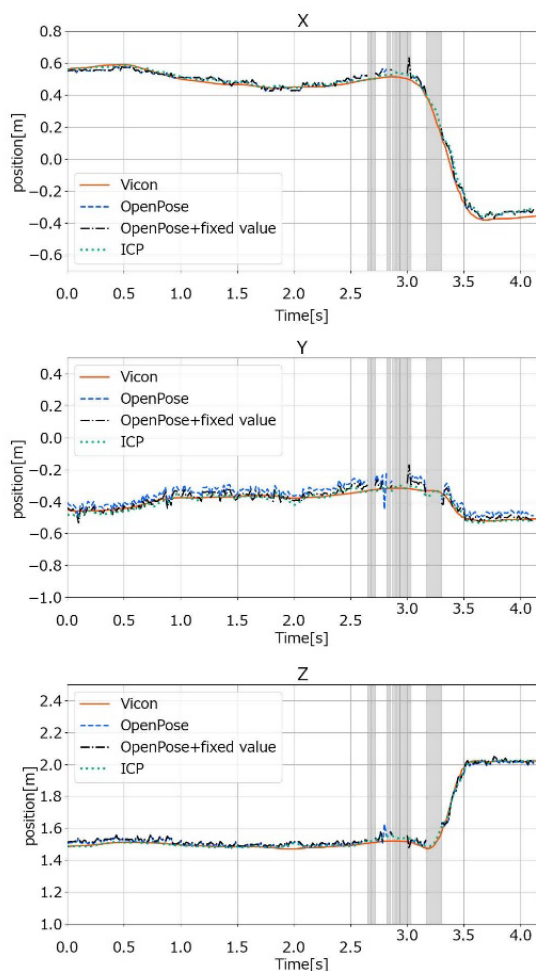


図 7 右肘の位置の軌道

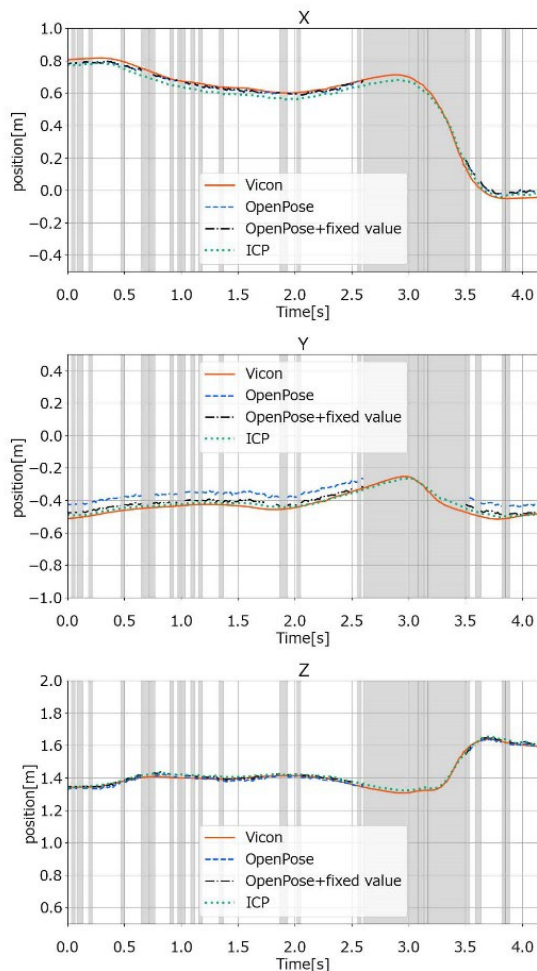


図 8 重心軌道

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 河村 晃宏, 森永 亘, 倉爪 亮
2. 発表標題 力計測によるクライミングのダイノ動作の運動解析
3. 学会等名 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2021 (SHD2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中嶋 峻大, 河村 晃宏, 倉爪 亮
2. 発表標題 パーティクルフィルタを用いたボルト型力覚センサの高精度化
3. 学会等名 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 SI2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中嶋 峻大, 河村 晃宏, 倉爪 亮
2. 発表標題 歪みゲージを用いたボルト型力覚センサの開発
3. 学会等名 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 SI2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akihiro Kawamura, Takato Nakashima, Ryo Kurazume, Masakado Danjo
2. 発表標題 Development of a Bolt Type Force Sensor using Strain Gauges for Sport Climbing
3. 学会等名 2023 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森永 亘, 河村 晃宏, 倉爪 亮
2. 発表標題 RGBD 画像を用いた人物姿勢推定 ICP アルゴリズムによる位置補正
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会2023
4. 発表年 2023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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関