

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11349

研究課題名(和文) 動作を行いながら教示用アバターを確認できるスポーツフォーム自己訓練VRシステム

研究課題名(英文) Development of a Sports Form Self-Training System Using VR

研究代表者

松河 剛司 (Matsukawa, Tsuyoshi)

愛知工業大学・情報科学部・准教授

研究者番号：30580518

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、VRおよびAR技術を利用したスポーツフォーム自己訓練システムの開発を行った。このシステムは、モーションキャプチャにより取得した熟練者の動きをヘッドマウントディスプレイ上で再生するものである。熟練者の動きはCGアバターによって再現され、使用者はこのCGアバターの体格を自身の体格に合わせて細かく調整することができる。ヘッドマウントディスプレイに表示されているCGアバターに、ディスプレイ越しに見える自身の身体を重ねるようにして動きをなぞることで、使用者は自己のフォームをリアルタイムで確認し、修正することができるため、効率的かつ効果的にトレーニングを進めることができる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義として従来のビデオ解析やコーチからの直接指導に代わる新しい自己訓練方法を提供することで、スポーツトレーニングにおけるVR/AR技術の応用が広がり、スポーツ科学の分野に新たな知見をもたらす。またユーザー自身の体格に合わせたCGアバターの調整方法を提案することにより、個別化されたトレーニングプログラムの開発が可能となる。さらに社会的意義としてプロフェッショナルなコーチやトレーナーが不足している地域や個人でも、質の高いトレーニングを受けることが可能となり、スポーツの裾野が広がり、多くの人々がスポーツに親しむ機会が増えることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, a sports form self-training system utilizing VR and AR technology was developed. This system plays back the movements of experts, captured through motion capture, on a head-mounted display. The movements of the experts are faithfully reproduced by a CG avatar, and users can finely adjust the body size of the CG avatar to match their own physique. By overlaying their own body, visible through the head-mounted display, on the CG avatar displayed on the head-mounted display and tracing its movements, users can perform self-training of their sports form. This system allows users to check and correct their form in real-time, making their training more efficient and effective.

研究分野：情報科学

キーワード：AR モーションキャプチャ スポーツフォーム HMD

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

様々なメーカーより、VRの為にヘッドマウントディスプレイ（以下HMD）が数多く発表されている。それらの最新HMDにはヘッドトラッキング機能や、頭部やコントローラーの位置が推定できる簡易モーションキャプチャ機能を持ったものもあり、VRコンテンツ体験者はあたかも自身がVR空間内に存在しているような体験が出来る。またAR技術を用いることでVR空間の背景を現実の風景に置き換え、そこにCG表現を組み合わせることもできる。スポーツフォームの教示には書籍や動画を用いて熟練者の動きを解説するものが多く存在する。これらは熟練者のフォームや動きの確認はできるが、自身の動きと比較することはできず、自身の動きを確認するには別途ビデオ撮影などが必要となる。また力の入れ具合は解説などの文字情報に頼るしかなく、見かけだけのフォームの習得になりがちである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、AR技術を用いて、自己のスポーツフォームを矯正するトレーニングシステムを開発することである。最新のAR技術を娯楽ではなくスポーツのトレーニング分野に活かすことで、これまでは教本やビデオ、指導者の身振り手振りによる指導であったスポーツフォームに関するトレーニングを、AR空間上に表示される熟練者の動きをする教示用アバターの動きに自身の身体を重ね合わせて行うことで、効果的なトレーニングが行える。

3. 研究の方法

スポーツ熟練者の動きを可視化し、初心者が自分の身体に熟練者の可視化情報を重ね合わせるAR体験をすることで、自己のスポーツフォームを矯正するトレーニングシステムを開発する。提案システム実現の為に、アバター生成手法の開発、教示用アバター（熟練者のスポーツフォーム）データベースの構築、教示用アバターをAR空間に表示しAR空間上で自分の身体に教示用アバターを重ね合わせ表示するARシステムの開発を実施する。本研究では研究遂行中に研究利用に適したAR機器が登場したためVRではなくARを使用したシステム開発を行った。研究内容（1）予備実験・教示用アバター・初心者用のアバターの作成

システム開発に用いる試験用データ作成の為にスポーツフォームの動作測定実験を行う。被験者にはモーションキャプチャ用の反射マーカを装着し、「素振り練習」を行うスポーツ（テニス、野球、剣道、ゴルフなど）の素振り動作を行わせ、動作データを取得する。取得したデータより、教示用アバターの作成、アバターを3DCGで表示するシステムの開発を行う。アバターの身長・体型をパラメーターの変更によって自由に化する機能を追加する必要があり、ゲームのキャラクターメイキングに使用されている技術を応用して開発を行う。

研究内容（2）熟練者動作の取得

（1）の予備実験で得られた動作データおよび筋電図データを元に、モーションキャプチャに関する最適なマーカ位置と測定速度を対象となるスポーツそれぞれに対して検証する。検証した結果を元に対象となるスポーツの熟練者の動きの動作の測定実験を行い、熟練者の動きを取得する。

研究内容（3）自己訓練ARシステムの開発

（2）の動作データを使用し、（1）で開発したアバターをAR機能によって現実空間に重畳して空間で表示するシステムを開発する。ここではAR機器に付属のHMD及びセンサーにより頭部動作およびハンドトラッキング技術により操作する手法を開発する。AR機器のセンサー数には限りがあり、また一人・自宅でも使用が可能になるように動作計測は簡易的でありながら計測精度を高める必要があり、スポーツに応じて最適なセンサー装着位置、全身の動きの推定方法を開発する。またVRトレーニング中はすべてヘッドマウントディスプレイの頭部動作のみでメニュー操作を行える機能を追加する。

4. 研究成果

研究内容（1）に関する成果

スポーツフォームの動作測定実験でテニス、野球、剣道、ゴルフの測定を行った。測定は光学式モーションキャプチャと慣性センサ式モーションキャプチャの2種類の測定機器で測定し、両者を比較した。光学式モーションキャプチャシステムは動きの精度が高く測定できる一方で、実験室での測定となり野球やテニスなどでは球を打つといった動作の測定ができなかった。一方で慣性センサ式モーションキャプチャでは野球場やテニスコートでの測定が可能で、実際に球を打つ動作の取得が可能だったが、光学式モーションキャプチャに比べると精度に劣る結果となった。本研究では両システムでの測定データを用途に応じ使用した。教示アバターはまず光学式の反射マーカや完成センサなどの測定データを流し込むベースのモデルは測定を行なった熟練者本人の身体各部12箇所の長さを測定し、その寸法で作成した。一方で、使用者に提示するモデルは使用者の身長に合わせて変更が可能ないように、身長別に男性モデル3体女性モデル2体を準備し、微調整は開発アプリケーション上で行えるようにした。

研究内容(2)に関する成果

熟練者の動作取得について、慣性センサ式はセンサ位置・測定速度は決まっており、今回使用した慣性センサ式では17箇所のセンサで60fpsでの測定となった。光学式では自由な位置にマーカの貼り付けが可能かつ測定速度も200fpsまでの測定が可能であった。光学式のマーカ位置については、人体関節位置と測定動作でマーカが隠れにくい位置を中心に43箇所のマーカを使用して測定を行なった。またテニスのサーブなど比較的速度の速いモーションデータでも60fpsの測定速度で十分に動きの内容の把握が可能であったため、光学式でも60fpsでデータ測定を行うこととした。

研究内容(3)に関する成果

教示用スポーツフォームをAR機器上で再生するシステムはUnity Technologies社Unityを用いて開発を行った。AR機器にはMagicLeap社のMagicLeap2を使用した。開発したシステムは「アバター調整モード」と「モーション再生モード」の2つのモードがあり、使用者はまず「アバター調整モード」で表示されるアバターの調整を行い、その後「モーション再生モード」でスポーツフォームの自己訓練を行う。本システムの特徴的な部分を以下で述べる。

(1) ハンドトラッキングとボタン

本システムの操作はAR機器を装着した状態で、AR機器越しに見える自身の指によって操作を行う。ハンドトラッキング機能を使用することで、使用者がAR機器越しに手指が映すと、手のCGモデルが使用者の手指に重畳するようにHMD上に表示される。本システムでは、このCGモデルの人差し指の先にボタンを押すための球状の当たり判定(Sphere Collider)を与え、CGモデルは非表示とすることで、自身の手指でAR空間内のボタンを直接操作している感覚を与えている。ボタンはAR空間上で見やすいように立体のボタン作成し、また常にAR空間内のカメラ(使用者の視点)から正面が見えるように制御している。

(2) アバターの調整

熟練者は必ずしも使用者と同じ身長と限らず、足の長さや腕の長さなども含めると完全に一致することはない。その為、提案システムでは使用者はまず「アバター調整モード」でCGアバターモデルの体格を使用者に合わせて変更するシステムとなっている。アバターを調整している様子を図1に示す。CGアバターモデルは元となるアバターモデルをpixiv社のVRoid Studioを用いて制作している。CGアバターは男性モデル3体(150、165、180cm)、女性モデル2体(150、165cm)を用意しており、使用者はまず自身の身長に近いモデルを選択し、その後自身の体格に合わせて、脚の長さや腕の長さなどを調整する。調整項目は、身

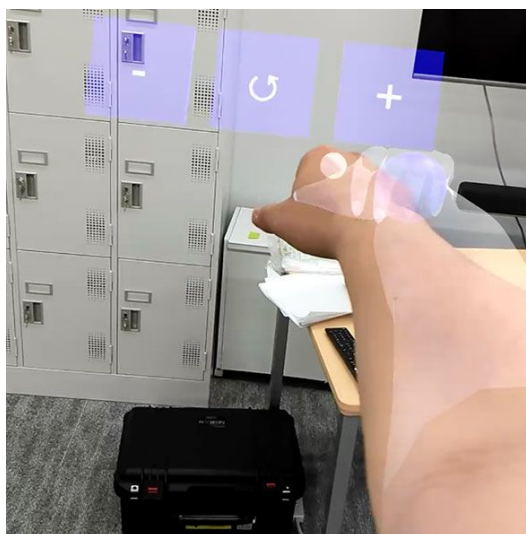


図1 アバター調整の様子

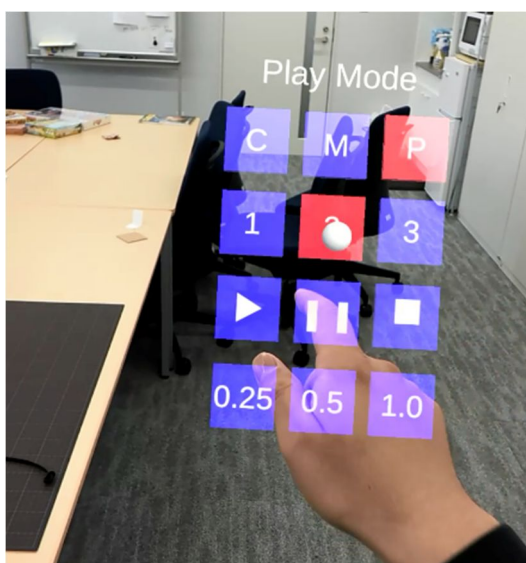


図2 モーション再生モード

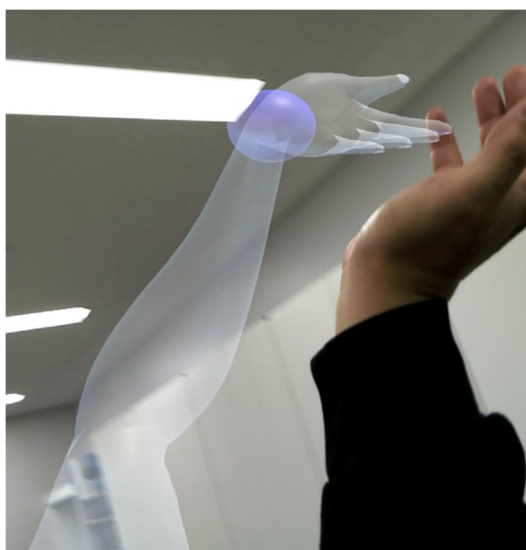


図3 テニスのサーブのトレーニング

長（全体）、膝、足首、肩、肘、手首であり、身体のそれぞれの部位に「+」「U」「-」のボタンが表示され（「U」は初期設定に戻すボタンである）、それぞれをタッチすることで調整を行うことができる。

(3) モーションデータの再生

アバターの調整後は「モーション再生モード」でCGモデルが再現する熟練者の動きを見ながらトレーニングを行う。熟練者の動きは骨格の角度データに変換されているため、アバターの体格が変更されても骨格の角度には影響がなく、同じフォームで再生される。モーション再生モードの表示画面を図2に示す。「モーション再生モード」では、「再生」「停止（モーションの最初に戻る）」「一時停止」がモーションの再生を制御し、またモーションを再生する速度を「1.0倍速」「0.5倍速」「0.25倍速」に変更することができる。スローで再生される熟練者の動きに自分の動きを重ねて身体各部の位置・角度を確認した後、「1.0倍速」で動きのタイミングを合わせるトレーニングが可能である。また「一時停止」を使用することで、動きの要所を止めて見るることができる。図3に開発システムを用いてテニスのサーブのトレーニングを行っている様子を示す。

研究当初はVRを使用したシステムを開発し、その発展としてARを使用したシステムを開発する予定だったが、研究遂行中に優れた性能を持つARヘッドマウントディスプレイが登場したため、ARシステムをメインとして開発を行った。VRを使用したシステムは使用者側のモーションキャプチャが安価なシステムでは難しかったため断念した。

得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

本研究は、VRおよびAR技術を利用したスポーツフォーム自己訓練システムの開発と実用化において、いくつかの重要な学術的意義を持つ。まず、従来のビデオ解析やコーチからの直接指導に代わる、新しい自己訓練方法を提供することで、スポーツトレーニングにおけるVR/AR技術の応用が広がり、スポーツ科学の分野に新たな知見をもたらす。また、モーションキャプチャ技術を活用して熟練者の動きを高精度で再現する手法を確立し、動作分析やフォーム修正に関する新たな研究の方向性を示す。さらに、ユーザー自身の体格に合わせたCGアバターの調整方法を提案することにより、個別化されたトレーニングプログラムの開発が可能となり、個人の体格や運動能力に応じた最適な指導が行えるようになる。

一方、このシステムは社会的にも大きな意義を持つ。プロフェッショナルなコーチやトレーナーが不足している地域や個人でも、質の高いトレーニングを受けることが可能となり、スポーツの裾野が広がり、多くの人々がスポーツに親しむ機会が増える。自己訓練システムにより、個人が自分のペースで効率的にフォームを修正できるようになり、トレーニングの時間とコストが削減され、アスリートのパフォーマンス向上が期待される。また、身体的な制約や年齢に関係なく、誰もが自分に合ったトレーニングを行うことができる環境を提供し、幅広い年齢層や障害を持つ人々もスポーツを楽しみながら健康を維持することが可能となる。さらに、学校やスポーツクラブにおいても、このシステムを導入することで、従来の指導法に加えて最新の技術を活用した効果的な教育が行え、次世代のアスリート育成が促進される。

以上のように、AR技術を活用したスポーツフォーム自己訓練システムは、スポーツ科学とスポーツ教育の分野において重要な役割を果たすことが期待される。

今後の展望

本システムでは高価なAR機器を使用者側に強いており、現状では個人の利用としてはハードルが高い。しかしながら研究遂行中に安価でパススルー型のAR表示が可能なデバイス（MetaQuest3）が登場しており、現在はそのデバイスでの使用が可能ないように開発を行っている。またシステムの使用感として頭部や立ち位置が変わるようなスポーツフォームでは本システムでのトレーニングが難しいことも分かったため、その場から動かないゴルフスイングや、スポーツフォームのうち限定的な部分のみに絞る（テニスのトスだけなど）ことで本システムのトレーニング効果は最大限発揮できると考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松河剛司
2. 発表標題 モバイルモーションキャプチャの検証とその応用
3. 学会等名 人間工学会2023年東海支部大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松河 剛司, 砂田 治弥, 横山 清子
2. 発表標題 ARヘッドマウントディスプレイを使用したスポーツフォーム自己訓練システムの開発
3. 学会等名 情報処理学会第37回デジタルコンテンツクリエイション研究発表会
4. 発表年 2024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
---------	---------