

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Development of a Single-Camera Markerless Optical Motion Capture System for Biomechanical Analysis
著者(和文)	Ferryanto
Author(English)	Ferryanto Ferryanto
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:乙第4192号, 授与年月日:2023年3月31日, 学位の種別:論文博士, 審査員:中島 求,倉林 大輔,塚越 秀行,田中 正行,宮崎 祐介
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:乙第4192号, Conferred date:2023/3/31, Degree Type:Thesis doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

(2000字程度)

報告番号	乙 第 号	学位申請者	Ferryanto	
	氏 名	職 名	氏 名	職 名
論文審査員	主査 中島 求	教授	宮崎 祐介	准教授
	倉林 大輔	教授		
	塚越 秀行	教授		
	田中 正行	准教授		

本論文は「Development of a Single-Camera Markerless Optical Motion Capture System for Biomechanical Analysis」と題し、単一視点のカメラ映像から対象者の動作をマーカーレスで算出する手法を構築することにより、スポーツの日常的なトレーニングにおける生体力学的解析に使用可能なモーションキャプチャーシステムを開発すること、および開発したシステムをランニングおよび水泳に適用しその妥当性および有用性を示すことを目的としており、以下の全5章から構成されている。

第1章「Introduction」では、本研究の背景として、生体力学における動作解析はスポーツにおけるパフォーマンス向上および傷害予防のために重要であり、動作解析のためには人体動作計測が必須であると述べている。さらに動作計測の既存手法として、慣性センサ式および光学式があり、光学式の中でも対象者身体に貼付されたマーカーの座標を計測するマーカーベースの方式と、マーカーを用いないマーカーレスの方式があり、さらにマーカーレスには深層学習ベースの手法と、画像と人体モデルを合わせ込む registration ベースの手法があることを述べ、スポーツの日常的なトレーニングに用いるには、マーカーレスの registration ベースの手法が適していることを述べている。またスポーツの中には、ランニングや水泳のように、矢状面（人体側面）からの単一視点からの映像が多くを情報を含んでいて日々のパフォーマンス評価に有用なものが存在するが、そのために開発されたシステムは皆無である問題点を指摘している。そして以上を踏まえ、本研究の目的はスポーツの日常的なトレーニングに使用可能な単一カメラマーカーレスモーションキャプチャーシステムの開発であると述べている。

第2章「Construction of basic system and validation for running motion」では、基本的なシステムを構築している。本システムでは、まず人体側面の撮影画像から人体のシルエットが切り抜かれる (image segmentation)。次に一つの人体シルエットから、回転ジョイントで接続された複数の身体セグメントからなる人体モデルを手動で生成する (model generation)。そして画像のシルエットとモデルのシルエットが最も一致するように、人体セグメントの並進方向座標およびセグメント角が PSO などの最適化アルゴリズムを用いた最適化計算により決定される (image matching)。さらに左右非対称な動作の場合には、左右の四肢の判別が行われる。この判別は、最初の時間フレームの画像においては手動で判別し、以降の時間フレームの画像に対しては、前のフレームからの角度および角速度の変化が小さいとの仮定に基づき自動的に判別される。そしてシステムの妥当性検証のため、ランニングを対象とした実験を実施し、8個の人体セグメントからなるモデルを作成し、本システムによるセグメント角の出力結果と手動での image matching による結果との間に十分高い相関が見られることを確認している。また光学式マーカーベースのモーションキャプチャーシステムとの比較も行い、両者に十分高い相関が見られ、二乗平均平方根誤差も十分低い値となったことを述べ、本システムの妥当性を示している。

第3章「Extension to bilaterally symmetrical swimming stroke」では、システムを左右対称な水泳の泳法に拡張している。2章での基本システムと異なる点として、image segmentation において、水泳の撮影映像は一般に青みがかったことから RGB の blue を用いてシルエットを作成している。また人体セグメントは上肢も含む9個に分割している。さらに動力学解析のため、水泳の既存の動力学解析モデルである水泳人体シミュレーションモデル SWUM との結合を実現している。SWUM は三次元モデルであるため、2章で開発された手法から算出される矢状面の動作が SWUM 側に入力され、矢状面以外の動作は SWUM における標準的な泳動作データが用いられる。また人体全体の並進運動は撮影画像に Direct Linear Transformation 法を適用し求められ、水上で映っていないセグメントの角度についてはスプライン関数により補間されて求められる。そしてバタフライ泳の実験を実施し、本システムによるセグメント角の出力結果と手動での image matching による結果との間に十分高い相関が見られることを確認している。さらに動力学解析により四肢に作用する流体力の評価を行い、スイマーやコーチに有益な情報が本システムにより得られることを示している。

第4章「Extension to asymmetrical swimming stroke」では、システムを左右非対称な水泳の泳法に拡張している。3章のシステムと異なる点として、image segmentation において、より泡などの外乱に強い Gaussian Mixture Model を使用してシルエットを作成している。また人体セグメントは四肢が左右別々の15個のセグメントに分割している。Image matching においては体幹と下肢について先に計算し、次に上肢について計算する2段階の手法を用いている。また四肢の左右の判別については、2章と同様の手法を用いている。そしてクロール泳の実験を実施し、本システムによるセグメント角の出力結果と手動での image matching による結果との間に十分高い相関が見られ、二乗平均平方根誤差も十分低い値となることを確認している。さらに動力学解析により四肢に作用する流体力の評価を行い、3章と同様に、スイマーやコーチに有益な情報が本システムにより得られることを示している。

第5章「Conclusion」では、本論文で得られた成果を総括し、今後の展望についても述べている。

以上を要するに本論文は、スポーツの日常的なトレーニングにおける生体力学的解析のための単一カメラマーカーレスモーションキャプチャーシステムを開発を初めて行ったもので、工学上・工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。