

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 4 日現在

機関番号：34315

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25560317

研究課題名(和文) スマートフォンを用いたマーカースレスモーションキャプチャーによる動作評価と訓練支援

研究課題名(英文) Research and development of a markerless motion capture system using smart phone with applications of motion analysis and sports training

研究代表者

長野 明紀 (Nagano, Akinori)

立命館大学・スポーツ健康科学部・教授

研究者番号：30392054

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではマーカースレスなモーションキャプチャーのシステムをスマートフォン及びタブレット端末を用いて実現すること、これとともに即時にキネマティックな動作解析を可能とするシステムを構築すること、小型・軽量・ウェアラブルな慣性センサーを動作解析に活用する事、そして動作データをデータベースとして整理し、得られた結果と即座に比較対照できる様にする事を目的とした。成果として、これらの全てを実現するソフトウェア・ハードウェアのシステムを構築した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was (1) to develop a system of markerless motion capture using a smart phone and a tablet computer, (2) to enable real time kinematic analysis, (3) to utilize the data obtained using wearable inertia sensors for motion analysis and (4) to develop a motion database for real time assessment of the obtained data. We successfully developed software and hardware systems to accomplish these goals.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：動作解析 画像処理 慣性センサ

1. 研究開始当初の背景

近年ではモーションキャプチャーのシステムが広く市販され、多くの研究者によって動作解析が行われている。これまでは被験者の身体に多くのマーカーを貼付する必要があること、自然光の中ではキャプチャーが難しいこと等の問題もあり、これらの解決が期待されてきた。一例として Corazza et al. は通常のカメラ画像を用いて、画像処理の技術によりマーカーレスなモーションキャプチャーを行う手法を提案した。これは通常のカメラを用いた画像から人体の形状を抽出し、それにセグメント形状をフィッティングするアルゴリズムを用いている。これによって関節角度等を推定することを試みている。

(Corazza et al., 2007. A framework for the functional identification of joint centers using markerless motion capture: validation for the hip joint. *Journal of Biomechanics* 40 (15), 3510-3515.) しかしここで開発されたシステムでは複数台のカメラを使用する必要がある、動作に応じた個別のセッティングが必要である等の要件があった。また全体として大がかりなシステムであり、幅広い被験者による多様な動作に対して手軽に適用することは難しかった。更にそのアルゴリズムは複雑且つ計算時間を要するものであり、この一連の研究成果は広く一般に用いられるには至っていないかった。

2. 研究の目的

そこで本研究ではマーカーレスなモーションキャプチャーのシステムを、スマートフォン及びタブレット端末を用いて実現すること、これとともに即時にキネマティックな動作解析を可能とするシステムを構築すること、小型・軽量・ウェアラブルな慣性センサーを動作解析に活用する事、そして動作データをデータベースとして整理し、得られた結果と即座に比較対照できる様にする事を目的とした。これによって、幅広い被験者による多様な動作を即座に多角的に評価することが可能になり、より良い動作を習得するための提言(訓練支援)を効果的に行うことが可能となると考えた。

3. 研究の方法

(1) マーカーレスなモーションキャプチャー

マーカーレスなモーションキャプチャーは、主として画像処理の技術を用いて実現した。要素技術としては画像同士の差分計算、フィルタリング、二値化、重心計算、重ね合わせ等を用いた。プログラミング言語としては C/C++ 言語と MATLAB の両方を用いた。

(2) Kinect を用いたモーションキャプチャー

Microsoft 社の Kinect センサーを用いたマーカーレスなモーションキャプチャーと動作解析を実現した。Kinect センサーでは、通常の RGB 画像に加えて深さ情報、さらにそれらに基づいて同定された人体リンク系の情報を取得する事が出来る。これらの情報を Microsoft Visual Studio ならびに MATLAB 環境で取得する事を可能にした。また取得したデータに基づいた動作解析をシームレス・リアルタイムに実施できるようにした。

(3) 慣性センサーを用いた動作解析

小型・軽量・ウェアラブルな慣性センサーを用いた動作解析を実施した。これらを用いて加速度や角加速度の値を得る事が出来る。このアプローチでは微分計算を用いず直接加速度・角速度の値を取得するため、数値微分実施の際に信号及びノイズの高周波成分が増幅される問題の影響を受けにくい。そのため特に加速度・角速度に注目し、ウェアラブルなセンサーを用いたデータ取得と解析を行った。

4. 研究成果

これまでに、主として以下の5つの成果を挙げた。

(1) 画像処理の手法を用いて、通常の映像からのモーションキャプチャーを可能とするアルゴリズムを構築した。具体的には、通常デジタルカメラを用いて撮影した画像から動作領域をロバストに抽出する事を可能にした。背景画像が複雑な場合でもロバストな処理を行うことが可能である。また、異なる時刻の画像を重ね合わせて表示することにより、動作の運動学的考察を容易に行える様にした。更に動作領域に多リンク系の形状をフィッティングし、身体セグメントの位置と関節角度を計算出来る様にした。単リンクの形状としては凸多角形または楕円を選択でき、それらの辺や径の長さもフィッティングの中で調整できるようにした。

(2) 慣性センサーを用いて、全身運動中のセグメントの運動状態をリアルタイムに把握し解析を実施するアルゴリズムを構築した。慣性センサーとしては小型・軽量・ウェアラブルなものを用い、全身の身体分節に取り付けた。これらのセンサーは無線でリアルタイムにデータを送信できるため、拘束の少ないデータ取得が可能である。歩行・走行・椅子からの立ち上がり等、動作様式が既知な場合には、これらのセンサーを用いて運動状

態を評価することが可能であることを示した。

(3) Kinect を2台同時に用いたモーションキャプチャーを可能にした。1台のみを用いた場合はデータにある程度の誤差や測定範囲の限界がある事を確認しているが、複数台からのデータを統合する事で、これらの問題が解決できる。現在誤差を最小化しつつ測定範囲を最大化する計測方法と処理アルゴリズムについて検討を行っている。

(4) 順動力学・逆動力学演算の両方に対応したシミュレーションモデルを構築した。Kane の方法を用いた剛体多リンク系の運動方程式導出手法に基づき、この方程式を Matlab のコードとして出力するプログラムを作成した。これを用いる事で任意の自由度と複雑性を持ったモデルのシミュレーション演算を容易に実施する事が可能である。

(5) 個々人の目的に応じた最適な動作様式について、その理論モデルの導出とプログラムコード化を行った。最適な動作様式については、外部への発揮パワー最大化、消費エネルギーの最小化、動作軌跡の躍度最小化、ノイズのある状況下でのロバスト性最大化、等の基準が考え得る。これらを定式化し、動作データに基づいて定量評価するプログラムコードを作成した。

これらの成果は相互に強く関連しており、それぞれの成果を生む過程で得られた知見とノウハウは、+本研究全体を通しての目標達成に大きく貢献するものである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 15 件)

1. 長野明紀, in press. Kinect for Windows v1 を用いたモーションキャプチャー. バイオメカニクス研究. (査読無)
2. 長野明紀, in press. Kinect for Windows と MATLAB を用いた動作解析: Kinect for Windows v1 を MATLAB で使用するためのセットアップ. バイオメカニクス研究. (査読無)
3. 吉岡伸輔, 長野明紀, in press. 日常生活で利用可能な筋力測定法の開発. 生体医学. (査読無)
4. Toda, H., Nagano, A., Luo, Z., in press. Analysis of walking variability through simultaneous evaluation of the head, lumbar and lower extremity acceleration in healthy youth. Journal of Physical Therapy Science. (査読有)

5. Toda, H., Nagano, A., Luo, Z., 2016. Age-related differences in muscle control of the lower extremity for support and propulsion during walking. Journal of Physical Therapy Science 28, 794-801. (査読有)
6. 戸田晴貴, 長野明紀, 羅志偉, 2016. 歩行中の下肢筋張力における性差. 理学療法科学 31 (1), 37-42. (査読有)
7. Toda, H., Nagano, A., Luo, Z., 2015. Age and gender difference in the control of vertical ground reaction force by hip, knee and ankle joints by 3D-motion analysis. Journal of Physical Therapy Science 27, 1833-1838. (査読有)
8. 長野明紀, 2014. 筋骨格系シミュレーションを用いた A. afarensis (A.L. 288-1) による歩行動作の考察. バイオメカニクス学会誌 38 (3), pp. 201-206. (査読無)
9. Yoshioka, S., Nagano, A., Hay, D.C., Fukashiro, S., 2014. Peak hip and knee joint moments during a sit-to-stand movement are invariant to the change of seat height within the range of low to normal seat height. BioMedical Engineering OnLine 13, 27. (査読有)
10. 長野明紀, 吉岡伸輔, 2013. 筋骨格系シミュレーションで探る跳躍動作のダイナミクス. システム/制御/情報 57 (11), 444-450. (査読無)
11. 長野明紀, 羅志偉, 2013. 歩行・走行機能の評価と訓練のためのインテリジェント・トレッドミル. バイオメカニクス研究 17 (1), pp. 62-67. (査読無)
12. Honjo, T., Nagano, A., Luo, Z., 2013. Parametrically excited inverted double pendulum and efficient bipedal walking with an upper body. Robotica 31 (6), pp. 875-886. (査読有)
13. Arakawa, H., Nagano, A., Hay, D.C., Kanehisa, H., 2013. The effects of ankle restriction on the multi-joint coordination of vertical jumping. Journal of Applied Biomechanics 29 (4), pp. 468-473. (査読有)
14. Yoshioka, S., Nagano, A., Hay, D.C., Tabata, I., Isaka, T., Iemitsu, M., 2013. New method of evaluating muscular strength of lower limb using MEMS acceleration and gyro sensors. Journal of Robotics and Mechatronics 25 (1), 153-161. (査読有)
15. 巖和隆, 長野明紀, 羅志偉, 2013. 視覚フィードバックを用いたランニング障害の予防に関する研究. バイオメカニクス学会誌 37 (4), 249-256. (査読無)

[学会発表] (計 29 件)

1. 工藤将馬, 藤本雅大, 伊坂忠夫, 長野明紀, 2015. 体幹部の自由度を考慮したダイナミックな身体動作の解析. 第 28 回日本トレーニング科学大会. (2015 年 11 月 14

- 日～2015年11月15日, 鹿屋体育大学(鹿児島県))
2. 泉井佑介, 藤本雅大, 長野明紀, 2015. 助走速度が跳躍動作における踏み切りのダイナミクスに及ぼす影響. 第28回日本トレーニング科学会大会. (2015年11月14日～2015年11月15日, 鹿屋体育大学(鹿児島県))
 3. 奥谷仁, 菅唯志, 若宮美咲, 伊坂忠夫, 長野明紀, 2015. 110mハードル選手の大腰筋の形態的特徴. 第28回日本トレーニング科学会大会. (2015年11月14日～2015年11月15日, 鹿屋体育大学(鹿児島県))
 4. 若宮美咲, 藤本雅大, 大塚光雄, 長野明紀, 2015. 個人差及び個人内変動に着目した短距離走とハードル走の比較. 第28回日本トレーニング科学会大会. (2015年11月14日～2015年11月15日, 鹿屋体育大学(鹿児島県))
 5. 長野明紀, 2015. 筋骨格シミュレーションの理論と応用. シンポジウム: スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2015. (2015年10月30日～2015年11月1日, 立命館大学(滋賀県))
 6. 工藤将馬, 赤熊亮祐, 藤本雅大, 長野明紀, 2015. エネルギー伝達効率を用いたサッカーのキックスキルの評価. シンポジウム: スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2015. (2015年10月30日～2015年11月1日, 立命館大学(滋賀県))
 7. 赤熊亮祐, 工藤将馬, 藤本雅大, 長野明紀, 2015. 9イニングの連続投球に伴う投球動作の変化の運動学的解析. シンポジウム: スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2015. (2015年10月30日～2015年11月1日, 立命館大学(滋賀県))
 8. Nagano, A., Kudo, S., Akaguma, R., 2015. Impact of boxing punches assessed with wearable inertia sensor and motion capturing. Proceedings of: 25th Congress of the International Society of Biomechanics. (2015年7月12日～2015年7月16日, グラスゴー(イギリス))
 9. Akaguma, R., Kudo, S., Nagano, A., 2015. The time-course change of pitching biomechanics in a simulated baseball nine innings. Proceedings of: 25th Congress of the International Society of Biomechanics. (2015年7月12日～2015年7月16日, グラスゴー(イギリス))
 10. Kudo, S., Akaguma, R., Nagano, A., 2015. Whole-body energy transmission efficiency in kicking a football. Proceedings of: 25th Congress of the International Society of Biomechanics. (2015年7月12日～2015年7月16日, グラスゴー(イギリス))
 11. 長野明紀, 2015. ランニングのトレーニングにおける工学的支援の取り組み. びわこ傷害スポーツフォーラム(第14回). (2015年5月16日, 大津プリンスホテル(滋賀県))
 12. Toda, H., Nagano, A., Luo, Z., 2014. Variability of walking motions in healthy elderly as a function of walking speed. Proceedings of: 9th Australasian Biomechanics Conference. (2014年11月30日～2014年12月2日, イラワラ(オーストラリア))
 13. 工藤将馬, 赤熊亮祐, 長野明紀, 2014. サッカーのキック動作におけるエネルギー伝達効率に関する考察. 第27回日本トレーニング科学会大会. (2014年11月23日, 産業技術総合研究所臨海副都心センター(東京都))
 14. 赤熊亮祐, 工藤将馬, 長野明紀, 2014. 試合中の投手における疲労の影響に関するバイオメカニクスの考察. 第27回日本トレーニング科学会大会. (2014年11月23日, 産業技術総合研究所臨海副都心センター(東京都))
 15. 長野明紀, 2014. 筋骨格系シミュレーションの精度について. 第23回日本バイオメカニクス学会大会. (2014年9月13日, 国立スポーツ科学センター(東京都))
 16. 戸田晴貴, 長野明紀, 2014. 若年健常者における歩行中の筋張力に対する性別の影響. 筋骨格シミュレーション研究. 第23回日本バイオメカニクス学会大会. (2014年9月13日, 国立スポーツ科学センター(東京都))
 17. Nagano, A., Fujimoto, M., Otsuka, M., Isaka, T., 2014. Impact loading on body segments as a function of running speed. Proceedings of: International Calgary Running Symposium. (2014年8月14日～2014年8月17日, カルガリー(カナダ))
 18. Otsuka, M., Nagano, A., Isaka, T., 2014. Reliable estimation of ground reaction forces during running based on kinematic data. Proceedings of: International Calgary Running Symposium. (2014年8月14日～2014年8月17日, カルガリー(カナダ))
 19. 戸田晴貴, 長野明紀, 羅志偉, 2014. 歩行速度の変化による体幹・下肢の加速度の変動性の違い. 第49回日本理学療法学会大会. (2014年5月30日～2014年6月1日, パシフィコ横浜(神奈川県))
 20. 長野明紀, 2014. 人類の祖先アウストラロピテクス・アファレンシスによる歩行動作のシミュレーション研究. 第18回日本ウォーキング学会大会. (2014年5月31日～2014年6月1日, 立命館大学(滋賀県))
 21. 佐野友香, 長野明紀, 羅志偉, 2014. リアルタイムでの心拍解析を用いたトレーニングシステムの開発. 第58回システム制御情報学会研究発表講演会. (2014年5月21日, 京都テルサ(京都府))
 22. 溝口貴大, 曹晟, 来栖伸之, 藤野圭司, 長野明紀, 羅志偉, 2014. 2ステップテストに

- 関する生体力学計測と解析. 第 58 回システム制御情報学会研究発表講演会. (2014 年 5 月 21 日, 京都テルサ (京都府))
23. Toda, H., **Nagano, A.**, Luo, Z., 2013. Contribution of lower extremity joint moment on ground reaction force during walking in elderly and younger people. Proceedings of: 2013 IEEE/SICE International Symposium on System Integration. (2013 年 12 月 15 日～2013 年 12 月 17 日, 神戸国際会議場 (兵庫県))
24. **長野明紀**, 2013. Research and development of a markerless motion capture system using smart phone. ライフエンジニアリング部門シンポジウム 2013. (2013 年 9 月 12 日～2013 年 9 月 14 日, 慶応大学 (神奈川県))
25. **Nagano, A.**, Iwao, K., Luo, Z., 2013. Realtime biofeedback of the mechanical stress on the legs during running. Proceedings of: 24th Congress of the International Society of Biomechanics. (2013 年 8 月 4 日～2013 年 8 月 9 日, ナタール (ブラジル))
26. Arakawa, H., Oda, T., **Nagano, A.**, 2013. Relative importance of changes in muscle and tendon induced by resistance training to changes in performance - a simulation study. Proceedings of: 24th Congress of the International Society of Biomechanics. (2013 年 8 月 4 日～2013 年 8 月 9 日, ナタール (ブラジル))
27. **Nagano, A.**, Kato, S., Iwao, K., Luo, Z., 2013. An intelligent treadmill system for running training: control of belt speed and biofeedback. Proceedings of: 31st Conference of the International Society of Biomechanics in Sports. (2013 年 7 月 7 日～2013 年 7 月 11 日, 台北 (台湾))
28. **長野明紀**, 2013. インテリジェント・トレッドミルを用いた歩行・走行機能評価と訓練. 東京体育学会第 85 回研究会. (2013 年 6 月 21 日, 東京大学 (東京都))
29. 吉岡伸輔, 藤田善也, 深代千之, **長野明紀**, 石毛勇介, 2013. 慣性センサを用いたモーションキャプチャシステムの開発: 遠心力の働く環境下での測定方法について. 第 57 回システム制御情報学会研究発表講演会. (2013 年 5 月 15 日～2013 年 5 月 17 日, 兵庫県民会館 (兵庫県))

[その他]

ホームページ等

<http://research-db.ritsumeai.ac.jp/Profiles/112/0011156/profile.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長野 明紀 (NAGANO, Akinori)

立命館大学スポーツ健康科学部 教授

研究者番号 : 30392054

(2) 研究分担者

吉岡 伸輔 (YOSHIOKA, Shinsuke)

東京大学大学院総合文化研究科・准教授

研究者番号 : 20512312

(3) 連携研究者

伊坂 忠夫 (ISAKA, Tadao)

立命館大学スポーツ健康科学部 教授

研究者番号 : 30247811

深代 千之 (FUKASHIRO, Senshi)

東京大学大学院総合文化研究科・教授

研究者番号 : 50181235

羅 志偉 (LUO, Zhi-wei)

神戸大学大学院システム情報学研究科・教授

研究者番号 : 70242914