

# 自動ラベリングと高速モーションフィッティングによる リアルタイム歩行計測システムの構築

佐野 将人<sup>1</sup> 村井 昭彦<sup>2</sup> 杉浦 裕太<sup>2</sup> 遠藤 維<sup>2</sup> 竹村 裕<sup>1</sup> 多田 充徳<sup>2</sup>

**概要:** 本研究では、モーションキャプチャにより計測したデータをストリーミングし、自動ラベリングと高速モーションフィッティングによりリアルタイムに被験者の運動を計測・解析するシステムを開発した。本システムは処理時間 75.8 ms, フレームレート 17.9 FPS でのリアルタイムヴィジュアルフィードバックを可能にした。これにより、リアルタイムな運動の計測・解析に基づくインタラクティブな運動への介入、変容を可能とする。

## Real-time Gait Analysis System with Auto Labeling and High-speed Motion Fitting

SANO MASATO<sup>1</sup> MURAI AKIHIKO<sup>2</sup> SUGIURA YUTA<sup>2</sup> ENDO YUI<sup>2</sup> TAKEMURA HIROSHI<sup>1</sup>  
TADA MITSUNORI<sup>2</sup>

**Abstract:** In this paper, we developed a real-time motion measurement and analysis system with a commercial motion capture system, auto labeling, and high-speed motion fitting. This system realized a real-time visual feedback by 75.8 ms processing time and 17.9 FPS frame rate. This system enables an interactive interposition and transformation of motion based on this realtime motion measurement and analysis.

### 1. はじめに

光学式モーションキャプチャやフォースプレートによる運動計測やその運動・動力学解析はスポーツトレーニングやリハビリテーションで取り入れられ始めている。多くの場合、ポストプロセスに時間が必要となり、被験者の運動を計測した後、オフラインにてラベリング、運動学、動力学計算を行い、事後に運動へのフィードバックや改善が行われる。ポストプロセスをオンライン化し、リアルタイムに運動計測・解析結果を提示することによりバイオフィードバックが可能になる。これはスポーツにおけるスキルの獲得の高速化・効率化やリハビリテーションにおけるインタラクティブな運動の修正に展開できる。

本研究では光学式モーションキャプチャにより計測され

る運動データをオンラインにストリーミングし、解析用 PC にてオンラインでラベリング、モーションフィッティングを行い、視覚情報としてフィードバックするシステムを構築する。本稿の構成は以下のとおりである。2 章においてリアルタイム歩行解析システムを説明し、3 章に実験、解析結果、考察、4 章にまとめを述べる。

### 2. リアルタイム歩行解析システム

オンラインでの簡易歩行計測・モーションフィッティングを実現するシステム (図 1) を構築する。本システムは、運動計測、自動ラベリング、及び高速モーションフィッティングから構成される。

【運動計測】歩行運動を簡易に計測するために、直方体のフレーム上 6 箇所にモーションキャプチャカメラ (Natural-Point Inc., Flex13, 1280×1024 pixel, 120 fps) を配置し、中央に置かれるトレッドミル上の被験者の歩行の運動を計測する。6 台のカメラではオンボードで画像処理、マーカ抽出が行われ、カメラ座標系における 2 次元マーカ位置情報

<sup>1</sup> 東京理科大学

Tokyo University of Science

<sup>2</sup> 国立研究開発法人 産業技術総合研究所

The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

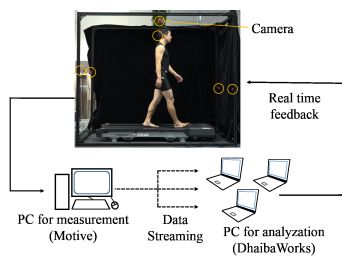


図 1 Outline of real-time locomotion analysis system



図 2 Real-time locomotion visualization

が出力される。トラッキングソフトウェア (Natural Point Inc, Motive:Tracker) は 6 台のカメラより 2 次元マーカ位置情報を受け取り、キャリブレーション情報に基づいて 3 次元再構築を行った後、3 次元マーカ位置情報を出力する。【自動ラベリング】リアルタイムでストリーミングされたマーカ 3 次元位置情報は、解析 PC において運動解析ソフト (産業技術総合研究所, DhaibaWorks [2]) 上にラベルのない特徴点位置情報として入力される。自動ラベリングの手法については、Yuらはヒトにおける剛体内のマーカ間の距離が不変であることを利用して、全フレームで比較を行い変位ベクトルを算出することにより実現した [3]。また Herdaらはスライディングウィンドウ方式を用いて 4 フレーム分の各マーカの変位について情報を取得することでマーカの自動トラッキングを実現した [4]。本研究では、リアルタイムのための各フレーム単独の高速ラベリングを目的とし、初期の直立姿勢時に得たデータにより空間を分割し、ストリーミングされる各フレームにおける特徴点の位置からマーカ名前を推定しラベリングを行う。この空間分割は、日本人の人体寸法データベース 2004-2006 [5] における身長、転子高、膝関節高、外果突高に基づいている。【高速モーションフィッティング】最後に DhaibaWorks 上にてモーションフィッティングを行う。ここではデジタルヒューマン上に配置された特徴点が計測・ラベリングされた特徴点位置に近づくよう最適化計算を行うことで、姿勢を推定する。準ニュートン法を利用した L-BFGS 法によりヘッセ行列の算出が不要とし、解析的に最適化計算を解くことで高速化を実現する。これにより推定された姿勢をデジタルヒューマンとしてディスプレイ上に可視化し、視覚情報として被験者にフィードバックする。

### 3. リアルタイム歩行計測実験及び結果考察

被験者に 15 箇所 (仙骨 (SACR), 腸棘点 (L/RASI), 大転子 (L/RHIP), 外膝関節点 (L/RKNE), 第 1 中足骨 (L/RMT1), 第 5 中足骨 (L/RMT5), 踵点 (L/RHEE)) を装着し、トレッドミル上での歩行時の下肢の運動を計測する。被験者は下肢のマーカがより鮮明に映るよう両手を挙げ、トレッドミル上で 3.0 km/h の歩行を実施した。

図 2 に実際にシステムを使用した様子を示す。歩行中の被験者の運動が計測され、右ディスプレイにデジタルヒュー

マンとして姿勢推定の結果が提示されている。自動ラベリングの結果、97.6 %の精度のラベリングを実現した。また高速モーションフィッティング及び可視化により 17.9 FPS での可視化を実現した。また処理時間は、運動計測から可視化までを含めて 75.8 ms であった。なお、使用した PC のスペックは、OS : Microsoft Windows 7 CPU: Intel(R) Core(TM) i7-3770 CPU @ 3.40GHz である。

本システムは、15 点のマーカに対し 97.6 %の精度での自動ラベリング及び平均 17.9 FPS の高速モーションフィッティング、可視化を行い、滑らかな提示を実現した。この処理時間は、ヒトの反射運動の反応時間である数 10 ms 程度と比較しても十分短く、例えば 24 ms 以下での介入ではヒトの脳幹を介した反射運動より早い運動変容が実現できる。今後の改善点として、処理アルゴリズムの C++での実装や DhaibaWorks の描画時間の短縮による処理総計時間の短期化が挙げられる。

### 4. おわりに

インタラクティブな運動への介入・変容を実現するために、計測・解析をリアルタイムで行うシステムを構築した。自動ラベリング及び高速モーションフィッティングを実装し、平均 17.9 FPS での視覚的フィードバックを実現した。

### 参考文献

- [1] 渡邊 淳司, 安藤 英由樹, 朝原 佳昭, 杉本 麻樹, 前田 太郎 : "靴型インタフェースによる歩行ナビゲーションシステムの研究", 情報処理学会論文誌 (2005).
- [2] Y.Endo, M.Tada, M.Mochimaru : "Dhaiba: Development of Virtual Ergonomic Assessment System with Human Models", In Proceedings of The 3rd International Digital Human Symposium (1993).
- [3] Q.Yu, Q.Li, and Z.Deng : "Online Motion Capture Maker Labeling for Multiple Interacting Articulated Targets", EUROGRAPHICS(2007).
- [4] L.Herda, P.Fua, R.Plänkners, R.Boulic, D.Thalmann : "Using skeleton-based tracking to increase the reliability of optical motion capture", Human Movement Science(2001).
- [5] 一般社団法人 人間生活工学研究センタ : "日本人の人体寸法データベース 2004-2006", (2007).
- [6] J.Meyer, M.Kuderer J.Müller, W.Burgard : "Online Marker Labeling for Fully Automatic Skeleton Tracking in Optical Motion Capture", ICRA (2013).