

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 3 日現在

機関番号：14603

研究種目：若手研究 B

研究期間：2010～2012

課題番号：22700177

研究課題名（和文）個性を考慮した人全身運動の生成モデル学習とオンライン適応

研究課題名（英文）Learning generative models for stylistic whole-body motions and its online adaptation

研究代表者

松原 崇充（MATSUBARA TAKAMITSU）

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：20508056

研究成果の概要（和文）：本研究では、モーションキャプチャに代表される様々な機器で観測された人の全身運動に対して、従来研究では軽視されてきた各動作の時系列データに潜む個性（個人毎に見られる特徴的な違い）を陽に捉える生成モデルの学習法と、時々刻々と観測される未知の動作時系列データからその個性を実時間で効率良く推定するアルゴリズムの開発を行った。開発された手法をモーションキャプチャデータの実時間予測問題や人型ロボットの見まね学習、また筋電位ロボットインタフェース学習などに応用し、その有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we developed novel algorithms for learning generative models of a whole-body human motions, that can explicitly capture the style of the motion sequence, and for estimating both state and style variables of the model from non-stationary unlabeled sequential observations. The applicability and effectiveness of the developed algorithms were demonstrated through several applications such as real-time prediction of motion capture data, imitation learning of motor skills by humanoid robots, and learning myoelectric-robot interfaces.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成 22 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
平成 23 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
平成 24 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：人間情報学・知能ロボティクス

キーワード：全身運動，生成モデル学習，個性，スタイル，モーションキャプチャ，EMG

1. 研究開始当初の背景

従来より人動作の生成モデル化に関して、コンピュータグラフィックス分野を中心に、モーションキャプチャで計測された人動作の関節時系列データを利用した研究が展開されてきた。人動作データは高次元かつ非線形性を有するという特徴から、統計的学習手法の進歩に伴って提案されてきた様々なモ

デル及びその学習法が利用されてきた。隠れマルコフモデルや、切り替え線形ダイナミクスなどがその代表格である。しかしながら、そのような方法では汎用的に人の動作予測を高い精度で実現することは困難であった。その理由として、単一もしくは平均化された動作データから生成モデルを学習するため、特定の人動作に特化したモデル及び予測器

となり汎用性に乏しいことが挙げられる。人の動作データには個性が内在し、そのため同一動作（例えば歩行）であっても、その様相は個人毎に大きく異なり得る。つまり、個性が及ぼす動作の違いがそのまま予測誤差となるため、高精度な予測結果を期待できないことが従来法の抱える重大な問題点であった。このような問題点に対して、実用的な解法を追求している研究は国内外においてもほとんど見当たらなかった。

一方、歩行動作を例に取れば、地面との接触や各関節の持つ幾何的・力学的制約条件などを満たしながら重心を前進させるという意味に置いて、すべての人の歩行動作が共有する特徴が多数存在する。実際に個性として関節時系列情報に表出されるのは、手足の振り方や歩幅や歩行速度などに集約される。このような知見はバイオメトリック歩容認証技術からも示唆されている。つまり、動作の個性を本質的に捉える低次元表現があると考えるのが自然である。個性の低次元表現について、コンピュータグラフィックスや画像処理分野においていくつかの関連研究が存在するが、主にオフライン処理を前提とした複雑なモデル化がなされている。しかしながら、動作予測をはじめとする多くの応用用途では、実時間で高速かつ効率的に個性を捉える必要があり、そのためには多様な動作を表現するコンパクトな生成モデルの学習法と、各変数のオンライン推定アルゴリズムの開発が必要不可欠であるという着想に至った。

2. 研究の目的

本研究では、従来研究において軽視されてきた人の全身運動に潜む個性を効率的に捉える情報処理技術を確立するため、各動作の時系列データに潜む個性を考慮した生成モデルの学習法と、時々刻々と観測される未知の動作時系列データからその個性を実時間で効率良く推定するオンラインアルゴリズムの開発を目的とした。また、そのような技術は人動作の予測機能のみならずブレインマシンインターフェースやロボットスーツにおける認識機能の大幅な性能向上に貢献できることを、段階的かつ包括的な実験計画において実証することを目指した。

3. 研究の方法

人の全身運動に潜む個性を効率的に捉える新しい情報処理技術の確立に向けて、平成22年度では、個性を捉える低次元表現に基づく動作時系列データの生成モデル化と未知データからその個性を実時間で効率的に推定するアルゴリズムの開発に重点を置いた。申請者は以前より、動作データに潜む個性を低次元のパラメータベクトルとして捉えるコンパクトな生成モデル化に関する研究を

行ってきた。本研究開始当時までの成果では周期運動に特化したモデル化がなされていたため、これをより一般的な動作を対象とするモデル化法及び推定アルゴリズムに拡張し本研究の基盤とすることで短期間での開発を目指した。平成23年度以降では、提案アルゴリズムの有効性と実用性、応用可能範囲などを包括的に検証するため、所属研究機関で所有するジャイロ式モーションキャプチャ、筋電位計及び人型7軸ロボットアームなど、充足した研究設備・環境及び共同研究機関からの研究協力を段階的に有効活用することとした。このような実験計画を採用することで、3年という限られた研究期間でありながら、アルゴリズム開発から広範に渡る実証実験までを効率的に遂行することを目指した。

4. 研究成果

平成22年度では、個性を捉える低次元表現に基づく動作時系列データの生成モデル化と未知データからその個性を実時間で効率的に推定するアルゴリズムの開発に重点を置いて研究を遂行した。具体的には、歩行や走行に代表される周期運動と、跳躍や到達運動に代表される離散運動について、個性を低次元ベクトルによって捉える生成モデルとその学習法を構築した。その生成モデルに基づく実時間適応アルゴリズムをオンラインEMアルゴリズムの適用により導出した。その有効性を確認するため、光学式モーションキャプチャシステムで計測されたヒトの歩行や走行、跳躍など様々な全身運動における関節角時系列データに提案法を適用し、また、多数の従来手法と性能を比較することにより、提案手法によって個性を捉えた高精度な運動予測が行えることを実証した。予測された人の歩行運動の例を図1に示す。これらの成果は、国際論文誌[3]や国内論文誌[6]などに採録され専門分野において高い評価を得た。また、発表[11]に対して優秀講演賞、計測自動制御学会より学術奨励賞（研究）をそれぞれ受賞した。

平成23年では、前年度に開発した技術をロボットの見まね学習法に応用し、個性を考慮した運動の見まね学習が可能となるロボットの運動モデル（パラメトリック運動学習プリミティブ）を開発した。また人型7軸ロボットアームを用いた実験によりその有用性を実証した。この運動モデルを利用することで、運動計画において、人動作に見られる自然な多様性や個性を容易に調節できるため、外骨格型ロボットによる運動支援やリハビリテーションにおける、ロボットの運動計画・調節技術としての活用が期待できる。これらの成果は、国際論文誌[5]、査読有り国

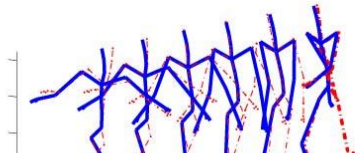


図1 提案法により予測された歩行動作. 実線は実測データ, 点線は予測データ.

際会議[8, 10]などに採録された. 特に, 国際論文誌に掲載された論文[5]は, 専門分野から高い評価を得て, 日本神経回路学会より平成24年度論文賞を受賞した.

平成24年では, 前年度までに開発した個性を捉えた運動予測技術と, ロボットの運動計画技術を統合し, 物理シミュレーション環境を用いた人とロボットの歩行運動同期実験を行った. その結果, ロボットは人の動作の個性を捉え, 時空間的に同期した動作を計画・実行可能であることを確認した. このことから, 開発した技術が持つ外骨格ロボットを用いた運動支援やリハビリテーションへの応用可能性を確認できた. また, 開発した技術のさらなる汎用性や応用可能分野を開拓するため, 筋電位ロボットインタフェースに実装し, その有用性を確認するための実験を実施した. その結果, システムにデータ登録されていない未知のユーザであっても, わずかな試行データから筋電位信号に潜む個性を抽出することでユーザへの適応が可能であることが確認できた. これにより, 多数のユーザが一つのシステムを共通に使用するマルチユーザインタフェースの実現可能性を示した. 未知ユーザの筋電位に基づいて制御されたロボットの動作例を図2に示す. 上記技術開発の過程において, 個性の内在于る多様・多数の時系列データを整理する多重時系列整理手法を開発した. この方法を用いることで, 個性による多様性に対しても頑健に時系列整理を行うことが可能となった. これらの成果は, 国際論文誌[1], 国内論文誌[2, 4], 査読有り国際会議[1, 3, 4, 5]などに採録され, 専門分野より高い評価を得た.

以上の成果は, 本研究で開発された人の運動データに潜む個性を捉える情報処理技術によって, ジャイロセンサや筋電位を利用して身体機能を補助・強化するロボットスーツや, 脳から読み取られる情報を基に代替の身体としてロボットを操作するブレインマシンインタフェースの認識性能を飛躍的に向上可能であることを強く示している. 今後はロボットスーツによる運動支援と筋電位ロボットインタフェースに焦点を絞り, 本研究で開発した技術の実用化に向けた研究開

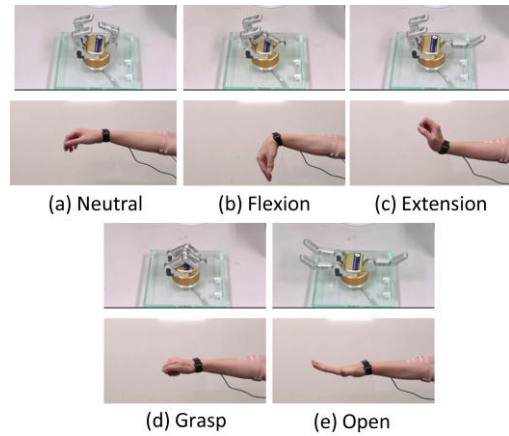


図2 未知ユーザの筋電位に基づく動作識別とロボット制御への応用例.

発を展開していく予定である.

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6件)

[1] Takamitsu Matsubara and Jun Morimoto, Bilinear Modeling of EMG Signals to Extract User-Independent Features for Multi-User Myoelectric Interface, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 査読有り, 10.1109/TBME.2013.2250502.

[2] 松原崇充, 森本淳, 多重時系列データ解析のための正準多重整列法. 電子情報通信学会論文誌, 査読有り, Vol.J96-D, No.2, pp.298-305, 2013.

[3] Takamitsu Matsubara, Sang-Ho Hyon and Jun Morimoto, Real-time Stylistic Prediction for Whole-Body Human Motions, Neural Networks, 査読有り, Volume 25, pp. 191-199, 2012.

[4] 内方章雅, 松原崇充, 森本淳, スタイル位相適応に基づく周期運動の時空間同期: 2足歩行運動への適用. 電子情報通信学会論文誌, 査読有り, Vol.J95-D, No.7, pp.1476-1487, 2012.

[5] Takamitsu Matsubara, Sang-Ho Hyon, Jun Morimoto, Learning Parametric Dynamic Movement Primitives from Multiple Demonstrations, Neural Networks, 査読有り, Volume 24, Issue 5, pp. 493--500, 2011.

[6] 松原崇充, 玄相昊, 森本淳, 個性を考慮した周期的全身運動の予測. 電子情報通信学会論文誌, 査読有り, Vol. J94-D, No. 1, pp. 344-355, 2011.

[学会発表] (計12件)

[1] Takamitsu Matsubara, Full-body Exoskeleton Robot Control for Walking Assistance by Style-phase Adaptive Pattern Generation, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), October 10, 2012, Vilamoura, Algarve, Portugal. .

[2] 松原 崇充, 全身外骨格ロボットの歩行支援運動生成法-スタイル-位相適応パターン生成によるアプローチ, 第 30 回日本ロボット学会学術講演会, 札幌, 北海道, 2012 年 9 月 19 日.

[3] Takamitsu Matsubara, Adaptive Choreography for User's Preferences on Personal Robots", IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), September 12, 2012, Paris, France.

[4] Takamitsu Matsubara, Spatio-temporal Synchronization of Periodic Movements by Style-phase Adaptation: Application to Biped Walking", IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), May 17, 2012, Saint Paul, Minnesota, USA.

[5] Takamitsu Matsubara, Learning and Adaptation of a Stylistic Myoelectric Interface: EMG-based Robotic Control with Individual User Differences", IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), December 8, 2011, Phuket Island, Thailand.

[6] 松原 崇充, Learning a Stylistic Model of Myoelectric Signals for User-Adaptive EMG-based Robotic Control, 第 29 回日本ロボット学会学術講演会, 豊洲, 東京, 2011 年 9 月 9 日.

[7] 松原 崇充, 規範軌道の多様性を考慮した非線形力学系による運動記述の学習法: ロボットによる見まね学習への応用, 第 13 回情報論的学習理論ワークショップ(IBIS), 目黒, 東京, 2010 年 11 月 5 日.

[8] Takamitsu Matsubara, Learning Parametric Dynamic Movement Primitives from Multiple Demonstrations, International Conference on Neural Information Processing (ICONIP), Sydney, Australia, November 22, 2010.

[9] Takamitsu Matsubara, Adaptive Step-size Policy Gradient with Average Reward Metric", The 2nd Asian Conference on Machine Learning (ACML), Tokyo, Japan, November 10, 2010.

[10] Takamitsu Matsubara, Learning Stylistic Dynamic Movement Primitives from Multiple Demonstrations", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Taipei, Taiwan, October 19, 2010.

[11] 松原 崇充,個性を考慮したオンライン運動予測, 計測自動制御学会 SI 部門講演会, 仙台, 東北, 2010 年 12 月 24 日.

[12] 松原 崇充,パラメトリック運動学習プリミティブ, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ 2010), 名古屋, 愛知, 2010 年 9 月 22 日.

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

松原 崇充 (MATSUBARA TAKAMITSU)
奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教
研究者番号 : 20508056