

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：82626

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20519

研究課題名（和文）Elucidation of the adaptive mechanism of intricate human motion imitated by deep reinforcement learning

研究課題名（英文）Elucidation of the adaptive mechanism of intricate human motion imitated by deep reinforcement learning

研究代表者

Shen Keli (Shen, Keli)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・産総研特別研究員

研究者番号：80965179

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,800,000円

研究成果の概要（和文）：我々は、ストリートダンスのデータセットからビートを整理させた運動シナジーを抽出するTD-PCAアプローチを開発し、最初のシナジーを活用することで、運動学的ビート検出を向上させ、音楽との正確なビート整理を可能にした。この強化はクロスバリデーションにより検証された。我々は、ダンススキルを再現する深層強化学習モデルをシミュレートし、それらを運動学的/動力学的に分析することで、AIが生成するダンス動作の研究に我々の手法が有効であることを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々の計算フレームワークは、複雑なダンスモーションを分析し、ダンスジャンルの運動メカニズムを理解し、動きのダイナミクスと音楽の関係についての洞察を提供し、ダンス研究、パフォーマンス分析、トレーニング、怪我の予防に応用できる。

研究成果の概要（英文）：We developed a TD-PCA approach to extract beat-aligned motor synergies from street dance datasets, leveraging the first synergy to improve kinematic beat detection and enable accurate beat alignment with music. The enhancement was verified through cross-validation. We simulated deep reinforcement learning models reproducing dance skills, analyzing them kinematically/kinetically, demonstrating our methods' effectiveness for studying AI-generated dance movements.

研究分野：神経計算、ロボット工学、バイオメカニクス

キーワード：Dance adaptive skills Motor coordination Sports biomechanics Beat detection Complexity analysis Deep RL Computational modeling Beat-aligned synergies

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

計算モデリングは、最適制御や深層強化学習 (Deep Reinforcement Learning : DRL) を通じて人間の動きを研究する有意義な方法となっている。Tassa ら[1]は、ヒューマノイドロボットに地面からの立ち上がりや大きな摂動の拒否などの複雑なタスクを実行させるためのモデル予測制御法 (MPC) を提案した。Shen ら[2]もまた、MPC を通じてバランス制御タスクにおける腕の振れの寄与を研究しています。Vollenweider ら[3]は、歩行、ダッキング、後脚での立ち上がり、2輪でのナビゲート、4脚での座り込みなど、いくつかのスキルを実行するために、複数の敵対的動作事前設定に基づく RL (Multi-AMP) を適用した。Yu ら[4]は DRL を用いてフィギュアスケートのクロスオーバー、3回転、さらにはジャンプなどの技を模倣した。Han ら[5]は、フィードバック制御やフィードフォワード制御を組み合わせた DRL によって影響を受けた冗長手の適応的な把持能力を比較しています。これらのモデリング手法は、具体的な人間の動作再現を実装しています。これにより、研究者は人間の運動メカニズムを理解し、その応用可能性を探ることができます。しかし、これらのモデリング手法には、単純な動作しかシミュレートできないという明らかな限界があります。複数の複雑で非常にダイナミックな動きを再現し、適応的な運動スキルを理解するための効率的なアプローチを見つけることは、まだ未解決の問題である。ここでは、具体的な例として人間のダンス動作を取り上げ、複雑な動きのメカニズムを運動学的、運動学的側面から研究する有望なアプローチを提供する。また、ダンス動作の複雑さや観察可能性の低さから、ダンス動作の適応性についての研究はまだ少ない。DRL を用いた運動模倣により、学習済みネットワークのロバスト性を考慮した適応的な運動スキルの研究が可能となる。

2. 研究の目的

私たちの研究の一般的な目的は、人間の動きの適応メカニズムを理解することです。さらに、その具体的な実装としてダンスモーションの適応性理解を考えている。本研究では、DRL をベースとしたアルゴリズムを提案することで、複数かつ複雑で高度に動的なダンス動作を再現し、さらに次元削減手法により DRL を模倣したダンス運動スキルの潜在的な適応性を理解することを目的とする。

3. 研究の方法

(1)モデルフリーDRLを用いたダンスモーションの学習

ストリートダンスを模倣するための新しいソリューションを開発するために、高い制御性能を持つ DRL アルゴリズム (PPO、AMP など) を必須学習要素として考える。まず、報酬関数設計のための一般的な操作は、DRL によってダンスモーションを模倣するための重要な要素として参照モーションを考慮する必要がある。次に、ストリートダンスを模倣するために、具体的なトリックの特徴を考慮する。これまでの研究では、自然な運動とリアルな運動を別々に模倣するようにネットワークを訓練してきた。これはダンス動作の模倣には大きな限界と考えられる。ここでは、最適化された政策ネットワークにより学習モデルのロバスト性を向上させることで、この問題の回避を試みる。

(2)次元削減法による模倣ダンス動作のバイオメカニクス解析

環境適応性や運動過適応性の評価は、ダンス研究に不可欠な要素である。ここでは、ダンスの特徴抽出のために様々な分解法を適用する。まず、PCA と TD-PCA を適用し、運動学的側面と運動学的側面から運動空間の次元を縮小する。これらの運動特徴マトリクスを用いて、関節分布、寄与、協調性を分析する。これらの測定は、様々な環境や身体構造における運動適応性を理解するために効率的である。

4. 研究成果

本研究では、大規模なストリートダンスデータセットからビートに沿った運動シナジーを抽出するための、新しい時間依存主成分分析アプローチを提示する。既存の手法とは異なり、我々の手法は、音楽のビートによって引き起こされる時間的変動を考慮し、ダンス動作パターンの正確な表現を可能にする。抽出された運動シナジーは、運動セグメントとビート継続時間にわたる空間的・時間的パターンの両方を捉え、異なるダンスジャンル間の運動協調、一貫性、類似性、変動性についての洞察を得るために分析された。この分析により、複雑なダンス動作を低次元の部分空間に要約することで、複雑なダンス動作の理解が容易になり、音楽のビートのタイミングに基づいてセグメント化された様々なダンスシーケンス間の共通要素や協調様式が明らかになった。さらに、第一運動シナジーの活性化を活用することで、運動学的なビート検出が改善され、ダンスのパフォーマンスや分析において重要な要素である、より正確なビートの位置合わせや音楽との同期が可能になることを実証した。ビート推定精度の向上は、ビートアライメントスコアの交差検証比較によって検証された。本研究は、複雑なダンス動作から意味のあるパターンを分析・抽出する新しい計算機的アプローチを提供し、ダンスジャンルに内在する運動メカニズムをより深く理解することで、ダンス動作の複雑なダイナミクスや音楽との影響関係についての新たな洞察を可能にする。また、ダンススキルを再現する深層強化学習モデルをシミュレートし、

それらを運動学的／動力的に分析することで、AI が生成するダンス動作の研究に我々の手法が有効であることを実証した。

<引用文献>

- [1] Y. Tassa, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2012.
- [2] K. Shen, Frontiers in Neurorobotics, Vol.15, 2021.
- [3] E. Vollenweider, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2022.
- [4] R. Yu, Computer Graphics Forum. Vol. 38.7, 2019.
- [5] J. Han, IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics, 3.2, 2021.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Keli Shen, Jun-ichiro Hirayama
2. 発表標題 Break Dance Motion Analysis Through Motor Synergy
3. 学会等名 ISB-JSB 2023, Fukuoka, Japan (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Keli Shen, Jun-ichiro Hirayama
2. 発表標題 Kinematic Motor Synergy Analysis to Understand Lock Dance Choreographies
3. 学会等名 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Conference (EMBC), Sydney, Australia (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Keli Shen, Jun-ichiro Hirayama
2. 発表標題 Kinematic Analysis of Pop Dance Choreographies Through Modular Motor Synergy
3. 学会等名 41st Conference of the International Society of Biomechanics in Sports (ISBS), Milwaukee, USA (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Keli Shen, Jun-ichiro Hirayama
2. 発表標題 Understanding Complex Dance Motions Through Kinematic Motor Synergy
3. 学会等名 40th Annual Conference on Robotics Society of Japan, Tokyo, Japan
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

[1] Keli Shen and Jun-ichiro Hirayama, Beat-aligned motor synergies and kinematic beat detection in street dance movements, iScience (submitted).

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
---------	---------