

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12192

研究課題名（和文）仮想人間の連続的・即応的な動作生成手法の研究

研究課題名（英文）Continuous and Responsive Motion Generation for Virtual Humans

研究代表者

尾下 真樹（Masaki, Oshita）

九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授

研究者番号：20363400

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、仮想人間の連続的・即応的な動作生成を実現するために、入力された動作データの間をつなぐ遷移動作を生成する手法の開発に取り組んだ。足や腰の軌道データを深層学習の入出力として動作生成を行う手法と、姿勢・動作データを深層学習モデルの入出力として動作生成を行う方法の、両方のアプローチでの手法の開発に取り組んだ。深層学習を用いた遷移動作生成については、従来手法と比較して有効性のある手法は実現できなかったものの、群衆シミュレーションのための周辺状況画像を入出力とする深層学習を用いた仮想人間の移動制御手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

深層学習を用いて遷移動作を生成する方法として、研究開発当初に計画していた足や腰の軌道データを深層学習の入出力として動作生成を行う手法と、姿勢・動作データを深層学習モデルの入出力として動作生成を行う方法の、両方のアプローチを示した。また、本研究で開発した深層学習による移動制御手法は、コンピュータアニメーションやメタパスなどでの、群衆のアニメーション生成への応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we worked on the development of a method for generating transitional motions that connect between input motions in order to realize continuous and immediate movement generation for virtual humans. We worked on the development of methods using two approaches: a method for motion generation using foot and hip trajectory data as inputs and outputs for deep learning, and a method for motion generation using posture and motion data as inputs and outputs for deep learning models. Although we were unable to achieve an effective method compared to conventional methods, we developed a crowd simulation method for navigating virtual humans using deep learning with surrounding situation images as input and output.

研究分野：コンピュータアニメーション

キーワード：動作生成 深層学習 遷移動作

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

コンピュータゲームやバーチャルリアリティなどのアプリケーションでは、利用者が操作するキャラクタやプログラムが操作する NPC (ノンプレイヤーキャラクタ) の人体動作をリアルタイムに生成する必要がある。現在は、あらかじめモーションキャプチャ機器等を用いて作成された短い基本動作の動作データを、入力や状況に応じて順番に再生することで、キャラクタの連続的な動作を実現する方法が一般的に用いられている。しかし、この方法では、あらかじめ準備された動作間・タイミングでの動作遷移しか行うことができず、現実の人間のように現在の動作から次の動作への急激な動作遷移を含むような即応的な動作生成は実現できない。

この根本的な原因は、我々人間がどのようにして状況に応じた全身の制御を行っているか、現時点では人間の動作制御の仕組みが解明されておらず、その再現もできないことにある。そのため、本研究課題の将来的な最終目標は、そのような人間の動作制御の仕組みを解明・再現することである。しかしながら、短期間でそのような最終目標を実現することは難しく、また実用的な視点から考えても、実際の応用においては既存の動作データを利用することができるため、人間の動作の全てを何らかのアルゴリズムやモデルにもとづいて生成する必要はない。そのため、本研究課題の学術的な目標は、既存の動作データを用いて連続的・即応的な動作生成を行う上で必要となる、遷移動作や重心移動動作における人間の動作制御の仕組みを再現することである。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、仮想人間 (キャラクタ) の連続的・即応的な動作生成手法を開発する。上記の通り、既存の動作データを用いて即応的な動作生成を行う上で必要となる、遷移動作や重心移動動作における人間の動作制御の仕組みを再現するための深層学習モデルや動作生成・変形手法を開発する。

現在のコンピュータゲームなどの応用では、既存の動作データをつなげて連続的な動作を生成するため、主に運動学的な手法が用いられている。これは、動力学計算や機械学習といった高度な技術は用いず、動作中の姿勢が滑らかに変化するようにしたり、軸足を地面に固定したりするような、単純な運動学的な姿勢変形処理を用いる方法となる。このような手法では、前後の動作の姿勢が大きく異なる場合や、現在の動作から次の動作に急激に動作遷移を行う場合などに、不自然な動作が生成されてしまう。そのため、現在の応用では、そういった問題が生じないように動作データや動作遷移条件の作成に大きな手間がかかる。また、生成可能な動作の範囲は限られ、即応的な動作の生成は困難である。

一方、近年は、深層学習に代表される機械学習手法を用いて仮想人間の動作を生成する手法が研究されている。理想としては、個別の基本動作や遷移動作も含めて仮想人間の動作制御全体を学習・再現できれば、現実の人間同様に、連続的・即応的な動作も実現できるはずである。しかしながら、人間の動作は幅広く、空間的・力学的な制約によっても変化するため、単純に機械学習を適用するアプローチでは、限られた範囲の動作しか実現できておらず、まだ実用レベルで利用することは難しい状況である。

本研究では、深層学習モデルを比較的限定した用途である遷移動作や重心移動動作などの生成に適用することで、上記のような従来手法では困難であった、急激な動作の変化にも対応可能な即応的な動作生成を実現する。

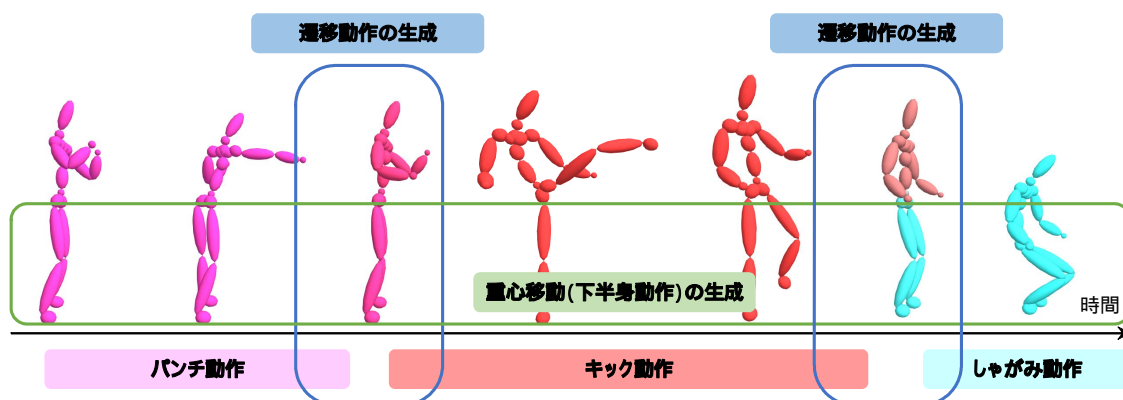


図1 連続的・即応的な動作生成 (3つの基本動作をもとに連続的な動作を生成する例)

### 3. 研究の方法

本研究では、機械学習（深層学習）を用いて、遷移動作を生成する手法を開発する。無理に全ての動作を機械学習によって生成するのではなく、現在の主流のアプローチと同様、個々の基本動作についてはあらかじめ作成された動作データをもとに実現する（図1）。このとき、前後の基本動作をつなぐ遷移動作や、動作全体に渡る重心移動動作（下半身動作）を、それぞれの動作生成に特化した機械学習（深層学習）モデルを適用して生成することで、急激に次の動作が変更される場合でも不自然な姿勢や動作が生じないような、連続的・即応的な動作生成を実現する。

遷移動作とは、2つの基本動作の間をつなぐ動作である。前の動作の終わりの姿勢と次の動作の始まりの姿勢は大きく異なる可能性があるため、両者をつなぐ自然な動作を生成する必要がある。動作生成において重要な点は、キャラクタの身体の一部（足）と地面の間の制約条件を保つことである。地面に着いている足に体重がかかっている間は、その足は動かすことができないため、適切なタイミングで足を動かすように遷移動作を生成する必要がある。

研究代表者は、これまでの研究により、足と地面の間の制約条件に注目して前後の動作の補間のタイミングを決定し、遷移動作を生成する手法を開発した [1][2]。しかしながら、本手法では、足を動かすことができない場合は、前の動作の両足の位置を次の動作にそのまま引き継ぐため、動作によっては適切な遷移動作を生成できない場合があった。

本研究では、機械学習を応用し、前後の動作から適切な両足の軌道・タイミングを推定する機械学習モデルと、その出力にもとづいて全身動作を生成する機械学習モデルの2段階のモデルを組み合わせることで、自然な遷移動作を生成する。我々人間は、現在何らかの動作を行っている状態で、急に別の動作を開始しようとするときには、どのように両足や全身を動かすのが良いか、経験的に判断して動作を切り替えることができる。人間のこのような判断を、機械学習により実現する。しかしながら、最終的な全身の動作を機械学習モデルのみから生成することは困難であるため、機械学習モデルにより推定した両足の軌道やタイミングにもとづいて、運動学的な動作生成・変形手法と機械学習モデルを組み合わせることで、最終的な動作の生成を行う。

機械学習のための学習データとして、さまざまな動作から、さまざまなタイミングで、別の動作への切り替えを行うような動作データを収集する予定である。動作データの収集には、モーションキャプチャ機器を利用する。

また、基本動作 + 遷移動作の組み合わせによって生成された全身動作を入力として、将来の動作に合わせて適切な重心移動を行うように下半身の動作を変形させた全身動作を出力する機械学習モデルを開発する。

### 4. 研究成果

#### (1) 動作データの収集

深層学習モデルの学習や評価に用いるための動作データの収集を行った。特に基本動作間の素早い遷移が重要である格闘動作に注目し、プロの演技者やモーションキャプチャ設備・技術を持った企業の協力を得て、動作データの収集を行った。また、研究室のモーションキャプチャ設備を使用して、歩行動作やスポーツ動作（テニスや野球の動作）の収集を行った。歩行動作については、他の研究グループが公開している動作データがあるため、それらも利用した。

#### (2) 深層学習による遷移動作生成手法の開発

遷移動作の生成を実現するために、前の動作の任意の姿勢から、次の動作の任意の姿勢に対してスムーズにつながる動作を生成する手法の開発に取り組んだ。深層学習を用いて遷移動作を生成する方法として、研究開発当初に計画していた足や腰の軌道データを深層学習の入出力として動作生成を行う手法と、姿勢・動作データを深層学習モデルの入出力として動作生成を行う方法の、両方のアプローチでの手法の開発に取り組んだ。

本研究の開始後、上記の2つのアプローチについて、海外の研究グループから同様の手法が発表された。足や腰の軌道データを深層学習の入出力として動作生成を行う手法として、Stakeらの手法 [3]、姿勢・動作データを深層学習モデルの入出力として動作生成を行う方法として、Qinらの手法 [4]やTangらの手法 [5]が発表された。そのため、これらの従来手法を踏まえて、従来手法に対して有効性のある手法の開発に取り組んだ。

姿勢・動作データを深層学習モデルの入出力として動作生成を行う方法について、従来手法 [4] [5]では入力された姿勢間の時間（遷移動作の長さ）を利用者が明示的に指定する必要があり、そのままでは本研究の課題に適用することはできないという問題があった。そこで、本研究では、本アプローチにおいて、遷移動作の時間を自動的に推定できるようにすることで、従来手法と比較して有効性のある手法を実現することを目標に研究を進めた。しかしながら、遷移時間と動作を同時に生成することは難しく、研究期間内に目標を実現することはできなかった。

足や腰の軌道データを深層学習の入出力として動作生成を行う手法については、Stakeらの手法 [3]を用いて動作生成を行うためには、両足や重心の軌道だけでなく、全身の主要部位の軌道

を生成して入力する必要がある。本研究では、両足や重心の軌道のみから動作生成を行う手法や、両足や重心の軌道から全身の主要部位の軌道を推定する手法について検討を行ったが、こちらも研究期間内に成果を出すことはできなかった。

上記の両方のアプローチについて、従来手法よりも有効性のある手法は実現できなかったが、方針としては有望であると考えられるため、引き続き研究を継続する予定である。

### (3) 深層学習を用いた仮想人間の移動制御手法の研究

本研究課題のメインテーマとは異なるが、深層学習を用いた仮想人間の移動制御手法の開発を行い、研究成果を発表できた[6][7]。本手法は、動作データを深層学習の入出力として用いるのではなく、仮想人間の周囲の状況を真上から見た画像として表し、その周辺状況画像を深層学習の入出力として用いることで、周囲の群衆との衝突を避けて目標位置に到達するような、移動制御を行う手法である。また、歩行動作の状態に応じて、移動制御方法に変化を加える手法を開発した[8]。

### 参考文献

- [1] Masaki Oshita, Interactive “Motion Synthesis with Optimal Blending”, Computer Animation and Virtual Worlds, Volume. 25, Issue 3-4, pp. 313-321, Wiley, May 2014.
- [2] Masaki Oshita, “Smart Motion Synthesis”, Computer Graphics Forum, Volume. 27, No. 7, pp. 1909-1918, October 2008.
- [3] Sebastian Starke, Yiwei Zhao, Fabio Zinno, Taku Komura, “Neural Animation Layering for Synthesizing Martial Arts Movements”, ACM Transactions on Graphics 2021, Volume 40, Issue 4. Article No. 92, pp. 1-16, 2021.
- [4] Jia Qin, Youyi Zheng, Kun Zhou, “Motion In-Betweening via Two-Stage Transformers”, ACM Transactions on Graphics, Volume 41, Issue 6, Article No. 184, pp 1–16, 2022.
- [5] Xiangjun Tang, He Wang, Bo Hu, Xu Gong, Ruifan Yi, Qilong Kou, Xiaogang Jin, “Real-time Controllable Motion Transition for Characters”, ACM Transactions on Graphics, Volume 41, Issue 4, Article No. 137, pp. 1–10, 2022.
- [6] Yuanyuan Peng, Masaki Oshita, "Crowd Simulation Using Velocity Field Map and LSTM Neural Network", The 3rd International Conference on Intelligent Cybernetics Technology & Applications (ICICyTA) 2023, pp. 165-169, Bali, Indonesia, December 2023. (Best paper & Best presentation 受賞)
- [7] Yuanyuan Peng, Masaki Oshita, "Controlling Agents Using Recurrent Neural Network in Crowd Simulation", International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) 2021, Proceedings of SPIE, 6 pages, Online Conference, January 2021.
- [8] Masaki Oshita, Jumpei Harazono, Kunio Yamamoto, "Crowd Simulation with Feedback Based on Locomotion State", International Conference on Cyberworlds 2022, pp. 118-121, Kanazawa, Japan, September 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Oshita Masaki, Harazono Jumpei, Yamamoto Kunio	4. 巻 NA
2. 論文標題 Crowd Simulation with Feedback Based on Locomotion State	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Conference on Cyberworlds 2022	6. 最初と最後の頁 118-121
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/CW55638.2022.00026	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuanyuan Peng, Masaki Oshita	4. 巻 NA
2. 論文標題 Crowd Simulation Using Velocity Field Map and LSTM Neural Network	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The 3rd International Conference on Intelligent Cybernetics Technology & Applications (ICICyTA) 2023	6. 最初と最後の頁 165-169
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICICyTA60173.2023.10429028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Yuanyuan Peng, Masaki Oshita
2. 発表標題 Controlling Agents Using Recurrent Neural Network in Crowd Simulation
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaki Oshita
2. 発表標題 Making a Connection Between Yourself and Your Avatar in Metaverse
3. 学会等名 The 3rd International Conference on Intelligent Cybernetics Technology & Applications (ICICyTA) 2023 (招待講演) (国際学会) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shuhei Era, Kunio Yamamoto, Masaki Oshita
2. 発表標題 Physical Simulation of Human Body Model Considering Joint Range of Motion
3. 学会等名 The 8th IEEEJ International Conference on Image Electronics and Visual Computing (IEVC 2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Shuntaro Kono, Kunio Yamamoto, Masaki Oshita
2. 発表標題 Editing Camera Work with Virtual Camera and 3D Printed Figures
3. 学会等名 The 8th IEEEJ International Conference on Image Electronics and Visual Computing (IEVC 2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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