

令和 6 年 6 月 2 0 日現在

機関番号：14301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K21275

研究課題名（和文）一般のユーザーを対象とした原始骨格によるヒューマノイドの人らしい動作生成の研究

研究課題名（英文）Research on a Human-like Motion Generation Method using a Primal Skeleton for Humanoid Robots for General Users

研究代表者

八木 聡明（Yagi, Satoshi）

京都大学・情報学研究科・助教

研究者番号：40966438

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では一般ユーザーが直感的にヒューマノイドロボットを操作できるテレオペレーション用コントローラーを開発した。提案手法では、人の動作をオンラインでヒューマノイドへリターゲットすることでロボットを生成する。このモーションリターゲットにはGANベースのネットワーク構造を採用し、識別器を設けることで学習データのペア付け作業を不要とした。実験では、リターゲットの性能が従来の数値計算のモーションリターゲット手法と同程度の誤差であることを確認した。加えて、ヒューマノイド実機で物体を運ぶタスクを実施してテレオペレーションへ有効であることを検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では動作生成が難しいヒューマノイドを一般ユーザーでも人らしく動作させられるコントローラーを提案した。具体的には人とヒューマノイドで共通した骨格に対して動作表現を獲得させるニューラルネットワークを用いて、データのペア付け不要かつ高精度なモーションリターゲットを基にしたヒューマノイドコントローラーを開発した。本研究結果によって、誰もがヒューマノイドを自在に操作し、豊かな表現力を持ったヒューマノイドの社会活用へ繋がる技術が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a teleoperation controller that allows general users to intuitively operate humanoid robots. The proposed method retargets human movements to the humanoid robot in real-time to generate robot motions. This motion retargeting employs a GAN-based network structure, which eliminates the need for pairing training data by incorporating a discriminator. Experiments confirmed that the performance of the retargeting is comparable to conventional numerical motion retargeting methods in terms of error. Additionally, we validated the effectiveness of the teleoperation by performing object transportation tasks with the actual humanoid robot.

研究分野：ロボティクス

キーワード：ヒューマノイドロボット テレオペレーション 機械学習 モーションリターゲット 敵対的生成ネットワーク グラフニューラルネットワーク ロボット

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。

## 1. 研究開始当初の背景

人の姿を有するヒューマノイドロボット(ヒューマノイド)は、人が暮らしやすいようにデザインされた私たちの生活環境の中で働くのに適した形態である。人らしい姿と動作を活用すれば、ジェスチャーなどで意思疎通しながらロボットの知識を持たないユーザーとも協働作業ができる。しかし、多数の関節を持つヒューマノイドは一つの目標指令に対して動かせる関節の数が多いため操作者が予期しない動作を引き起こし易く、人らしい動作の生成には専門的な知識と時間、コストがかかる。

ゲームやアニメーション分野で用いられる人の動作を身体の異なる CG キャラクターに移植して再現させる「モーションリターゲット」が、ヒューマノイドの人らしい動作の生成に応用されている。通常のモーションリターゲットにおいては人とヒューマノイドの主要な身体位置(頭、肩、肘など)の対応付け作業が事前に必要となる。しかし、この身体位置のペア付け作業はロボットやモーションリターゲット技術に対する知識を持たないユーザーにとっては難解であり、ペア付けの良し悪しによって、生成されるヒューマノイドの動作の質が決定されてしまう。

近年では深層学習を活用した再現性の高いモーションリターゲットが提案されている。大規模な人の動作のデータセットを用いてニューラルネットワークに人からヒューマノイドへのモーションリターゲットを学習させる。しかし、このデータ駆動のモーションリターゲットにおいてもニューラルネットワークの学習を成功させるためには、学習用データのペア付け作業や、学習時に用いる損失関数にヒューマノイドの骨格に関する事前知識を設定する必要がある、時間とコストのかかる手法である。

本研究では、ロボティクスに関する知識を持たない一般的なユーザーでも操作しようとするヒューマノイドと自身の動作のモーションリターゲットを獲得し、自在にヒューマノイドを制御できるコントローラーを提案する。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は動作生成が難しいヒューマノイドを一般ユーザーでも人らしく動作させられるコントローラーの実現である。具体的にはアニメーションの先行研究(Aberman et al., 2020)を発展させ、人とヒューマノイドで共通する「原始骨格」に対して潜在動作表現を獲得させる深層学習を用いて、データのペア付け不要かつ高精度なモーションリターゲットを基にしたヒューマノイドコントローラーを実現する。動作入力にはカメラ画像から骨格検出を行う点、生成される動作をシミュレーターでチェックし実機での動作を保証することで操作者に慎重な動作入力を求めない点でも従来の課題を克服している。性能評価においては被験者実験を実施して本当に一般ユーザーでも操作可能なコントローラーであるかを検証することで、誰もがヒューマノイドを自在に操作し、豊かな表現力を持ったヒューマノイドの社会活用へ繋がる技術を目指す。

## 3. 研究の方法

提案する手法では、人とヒューマノイドで共通する骨格「原始骨格」に対して潜在動作表現を獲得させることでモーションリターゲットを実施する。これは、人と骨格の大きさや関節数が異なるヒューマノイドでも四肢にある関節を削減して骨格を抽象化していけば、いずれ人と一致した棒人間のような骨格(原始骨格)で動作を表現できることに着目している。ネットワークの機能としては、人とヒューマノイドの時系列の動作角度情報を多層のオートエンコーダで畳み込み・プーリング処理を繰り返すことで少ない関節数の骨格に動作表現し直す。畳み込みにおいては骨格をグラフ構造として捉え、手足頭部を別個に畳み込みする。畳み込みとプーリングの繰り返しによって、最終的には両方で共通した原始骨格の潜在動作表現を獲得する。また、生成されたデータを偽、学習に用いられるデータを本物として見分ける識別器を設けることで学習データのペア付け作業が不要になる。学習後、コントローラーとして利用される段階では人側エンコーダから人の動作を原始骨格の潜在動作表現に変換し、ヒューマノイド側のデコーダを通すことで再現性の良いモーションリターゲットが実現できる。

2022年度は操作者の動作入力を受けるシステムとヒューマノイドコントローラーの核となるモーションリターゲット機能を開発する。原始骨格を用いたモーションリターゲットには、関節数の多いヒューマノイドに先行研究手法を適用できるようにネットワークの層数を深くする。2023年度は開発した動作入力システムとモーションリターゲットがリアルタイムで実行できるように改良・統合し、ヒューマノイドコントローラーとして評価する。前年度に開発した動作入力システムとモーションリターゲットがコントローラーとして十分な処理速度で実行できるように改良して、コントローラーとしての有効性を評価する。評価時の実機には人らしい速度で動けるが人と異なる関節構造を有する上半身型ヒューマノイド Torobo(Tokyo Robotics 社製)を用いる。

## 4. 研究成果

本研究では、一般ユーザーが直感的にヒューマノイドロボットを操作できるテレオペレーション用コントローラーを開発した。このコントローラーは、人の動作をリアルタイムでヒューマノイドにリターゲットすることにより、ロボットの動作を生成する。

開発したコントローラーにはニューラルネットワークの構造の一つである CycleGAN を採用した。2 対の動作変換用のオートエンコーダを備え、1 対は人の動作をヒューマノイドの動作に変換、もう 1 対はヒューマノイドの動作を人動作に変換する。ネットワークの学習において、人の動作をヒューマノイドの動作に変換し、その動作をさらに人の動作に再変換した際に、元の動作が復元されるように（データをサイクルさせて）ネットワークを更新することから CycleGAN と呼ばれる。一般的なオートエンコーダの教師あり学習では、人の動作をヒューマノイドの動作に変換した際に、あらかじめ用意した正解の動作に近づくようにネットワークを更新するが、CycleGAN の学習においては正解となる動作が不要のため、ネットワーク学習におけるデータセットのペア付けが不要（教師なし学習）で人の動作をヒューマノイドの動作に変換することができる。

人とヒューマノイドの 2 対の敵対的生成ネットワークを用いて、共通する骨格（原始骨格）に対して潜在動作表現を獲得することで、人からヒューマノイドへの動作変換（モーションリターゲット）をオンラインで実施する。このネットワークは、人とヒューマノイドの時系列の動作角度情報に対してグラフ構造を維持しつつ畳み込み・プーリング処理を繰り返すことで、少ない関節数の骨格に動作表現し直す作業を繰り返す。最終的には、両者で共通した原始骨格の潜在動作表現を獲得することで、人からヒューマノイドへの動作のリターゲットを実現する。また、GAN ベースのネットワーク構造であり、識別器を設けることで学習データのペア付け作業を不要とした。

ロボット側のネットワークでは、実際のヒューマノイドからサンプルした動作データを使って学習することで、関節の可動方向や範囲などロボット固有の制約条件を考慮しつつ、元となる人の動作を再現性良くヒューマノイドの動作へと変換することができる。これによって、提案手法は、人とヒューマノイド間のデータのラベル付けや身体特徴の対応付けを必要としない点で特徴的であり、幅広いユーザーがヒューマノイドを自在に操作し、豊かな表現力を持ったヒューマノイドの社会活用へ繋がることが期待できる。

提案手法は、ボクシングやバスケットボールのシュート動作など、様々な上半身の人の動作をヒューマノイドにリターゲットする際に有効であることを実験で実証した。また、リターゲットの性能が従来の数値計算のモーションリターゲットング手法と同程度の誤差であることを確認した。さらに、箱を運ぶタスクを実施し、本コントローラーのテレオペレーションへの有効性を評価した。本研究成果はプレプリントとして公開しており、特許出願も行っている。

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1．著者名 Satoshi Yagi, Mitsunori Tada, Eiji Uchibe, Suguru Kanoga, Takamitsu Matsubara, Jun Morimoto	4．巻 -
2．論文標題 Unsupervised Neural Motion Retargeting for Humanoid Teleoperation	5．発行年 2024年
3．雑誌名 arxiv	6．最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 ヒューマノイドコントローラー	発明者 八木聡明，森本淳	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、70336	出願年 2024年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------	---------