

パーソナライズドロボットの実現に向けた 3D モデル骨格推定技術の応用 Application of 3D Model Skeleton Estimation for Personalized Robot

赤松 克真¹⁾ 山内 翔¹⁾ 鈴木 恵二¹⁾
Katsuma Akamatsu Syo Yamauchi Keizi Suzuki

1. はじめに

近年、動物の代替としてロボットを用い、心理的・生理的な癒やし効果を得る「ロボットセラピー」が注目を集めている。柴田[1]によれば、ロボットセラピーはアニマルセラピーと同様に、情動の安定やストレスの軽減といった心理的・生理的効果、さらにはコミュニケーション機会の増加といった社会的効果を有するとされる。一方で、アニマルセラピーにはアレルギーや感染症のリスク、飼育に伴う継続的なコストなど、運用上の課題が存在する。これに対し、ロボットを用いた手法はこうした制約を回避可能であり、運用面での優位性があると考えられる。

しかしながら、現時点においてペット型ロボットやセラピーロボットは必ずしも一般社会に広く受容されているとは言いがたい。その要因として、ロボットに対する長期的な愛着形成の困難さや、既製品の選択肢では利用者の多様な嗜好に十分に対応できず、結果として使用継続意欲が低下しやすい点が指摘される。

現在、ロボットに対する愛着の醸成を目的として、動作の変化やインタラクションを通じた手法に関する研究は数多く報告されている一方で、外観の個別最適化を通じたアプローチは十分に探究されていない。そこで本研究では、山内ら[2]の開発したロボット自動設計システムを基盤とし、3D モデルの自動生成を担うシステムとロボット自動設計システムを利用することで、利用者が自身の嗜好に応じたロボット外観を設計・生成可能なシステムを構築することを目的とする。このような仕組みにより、ロボット外観の個別最適化を通じて利用者の愛着を高め、ロボットセラピーにおける効果の向上を図ることが期待される。

2. 提案システム

本研究では、これまでに図 1 に示すような、個人の嗜好に応じた外形を有するロボットを作成するシステムの構築を行ってきた。今回提案するシステムでは、骨格推定技術とモーション生成手法を組み合わせることにより、作成されたロボットモデルに対して関節位置の自動推定を行い、実機での再現が可能な動作を生成する。

3. 関連研究

本研究で利用するシステムについて示す。

3.1 3D モデル骨格推定システム

3D モデルに対する骨格推定システムとして、UniRig[3]を利用する。UniRigは、清華大学と VAST (Tripo) によって共同開発され、2025 年に SIGGRAPH で発表された自動

1) Future University Hakodate

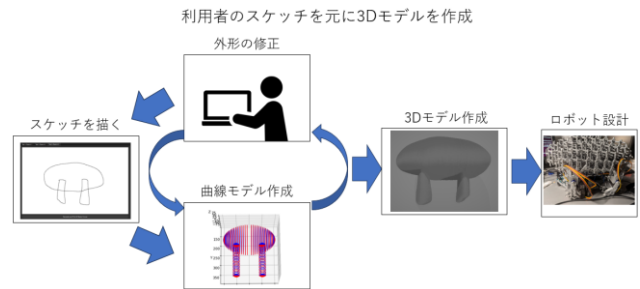


図 1 ロボット作成システム

リギング手法である。静的な 3D メッシュに対してスケルトン構造とスキニングウェイトを同時に予測することを目的としており、新たに提案された「Skeleton Tree Tokenization」と「Bone-Point Cross Attention」によって高い汎化性能を実現している。これにより、ヒト型キャラクターだけでなく、動物やファンタジーキャラクター、機械構造など多様な形状に対応可能である。UniRig のソースコードやデモは GitHub 上で公開されている。

本研究では、個人の嗜好を反映した 3D モデルの生成を目的とし、形状の多様性に対して高い適応性を有するシステムの活用が求められる。そのため、本研究では、多様な形状の 3D メッシュに対して汎用的にリギング可能な UniRig を採用することとした。

3.2 動作生成システム

作成した骨格付き 3D モデルを利用して、そのモデルで出力可能な動作を調べるために、Single Motion Diffusion Model [4](以下 SinMDM と表記する)を利用する。SinMDM は、テルアビブ大学の研究者チームによって開発されたモーション生成手法である。本手法は、単一のモーションデータからその動きの特徴を学習し、拡張・補間・スタイル転送など多様な応用を推論時に実現可能である点に特徴がある。任意のスケルトンポロジリーに対応可能であり、非人型キャラクターに対しても汎用的に適用できる。

本研究では、形状の多様性に対応したモーション生成を実現するため、高い汎化性能を有するシステムの導入が求められる。そこで本研究では、任意のスケルトンポロジリーに対してモーションの生成が可能な SinMDM を採用することとした。

4. 検証

これまでに構築した、個人の嗜好に応じた外形を有するロボット作成システムを用いて、図 2 に示す 3D モデルを生成した。本研究では、この 3D モデルに対して骨格推定およびモーション生成を行い、既存手法との組み合わせによって動作パターンの生成が可能かを検証する。具体的には、まず UniRig を用いて当該 3D モデルにスケルトン構造を推定し、その後、SinMDM を用いてリギング済みモデルに対してモーションパターンを生成する。



図 2 作成 3D モデル

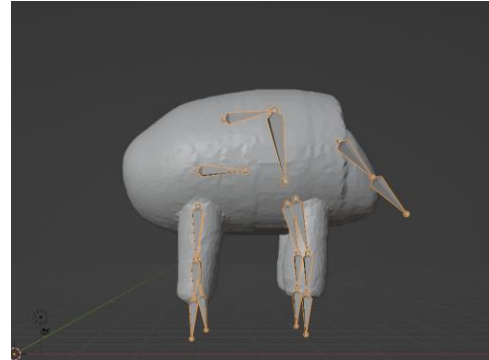


図 3 リギング後 3D モデル

5. 結果

図 2 に示すモデルを入力として、UniRig を用いた骨格推定と、SinMDM を用いた動作生成について検証した結果を示す。

5.1 骨格推定

図 2 に示した 3D モデルに対して UniRig を適用し、スケルトン構造の推定を行った。

その結果、図 3 に示すように、四肢構造を有するモデルに対して適切なリギングが実現された。また、意図的に頭部方向が不明瞭となるよう設計されたモデルであったが、UniRig により正確に頭部の向きを推定することができた。

5.2 動作生成

SinMDM を用いたモーション生成においては、図 3 に示すリギング済み 3D モデルに加えて、動作の起点となるモーションパターンを事前に用意する必要がある。そこで本研究では、Blender を用いて基礎動作を作成し、SinMDM への入力データとして用いた。基礎モーションとしては、歩行動作および首振り動作の 2 種類を設定し、それらを拡張する形でのモーション生成を試みた。作成した入力モーションは全体で 240 フレームから構成されており、そのうち中央の 120 フレームに歩行および首振り動作を付与した。

SinMDM による出力結果を確認したところ、入力として与えた中間フレームに加え、前後の各 60 フレームにおいても、動作が自然に連続・拡張されており、一貫したモーションパターンが生成されていることが確認された。図 4 には、入力モーションでは静止していたフレームに対し、SinMDM によって歩行動作が拡張された様子を示す。

6. まとめ

本研究では、利用者の嗜好に応じた外観を有するロボットの作成を目的として、3D モデルの自動生成に加え、骨格推定および動作生成を統合したシステムの構築を行った。具体的には、スケルトン構造の推定には UniRig を、動作の生成には SinMDM を活用することで、任意形状の 3D モデルに対して自動的にリギングを施し、実機での再現が可能なモーションを付与する手法を実現した。

検証実験においては、意図的に形状の曖昧性を含むモデルに対しても適切な骨格推定が可能であること、ならびに単一の基礎動作から拡張されたモーションパターンの生成が可能であることが確認された。これにより、外観の個別

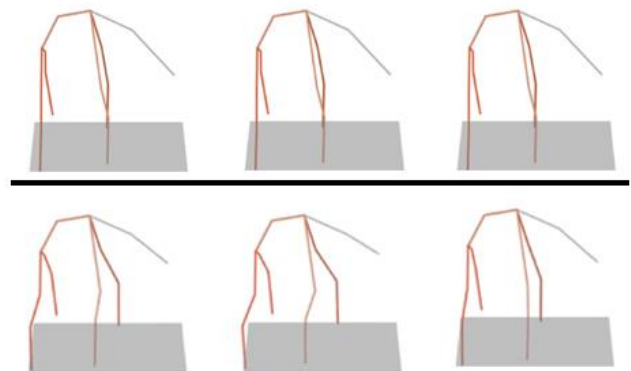


図 4 上：入力モーション 下：生成モーション

最適化と動作生成を組み合わせた新たなロボットデザインの枠組みとして、本システムの有効性が示唆された。

今後の課題としては、生成されたモーションを実機に実装し、現実環境下における動作の再現性および応用可能性を評価することが挙げられる。また、本研究では四足構造の 3D モデルを対象としたが、今後はより多様な構造特性を有するモデル群に対しても本手法の有効性を検証する必要がある。将来的には、本研究で提案した枠組みを発展させ、個々の利用者に最適化されたロボットの外観設計と動作生成を統合的に実現する、パーソナライズド・ロボティクスの実装を目指す。

参考文献

- [1] 柴田崇徳. メンタルコミットロボット「パロ」の開発と普及: 認知症等の非薬物療法のイノベーション. 情報管理, 2017, 60.4: 217-228.
- [2] 山内翔; 鈴木恵二. 結晶構造を参考にした内部構造と 3D プリントによるモデル形状を優先したロボット設計. 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), 2019, 139.9:1051-1058.
- [3] ZHANG, Jia-Peng, et al. One Model to Rig Them All: Diverse Skeleton Rigging with UniRig. arXiv preprint arXiv:2504.12451, 2025.
- [4] RAAB, Sigal, et al. Single motion diffusion. arXiv preprint arXiv:2302.05905, 2023.