



動作変換とその重ね合わせによる 動物キャラクターアニメーションの作成

山口周¹⁾, 畑田裕二¹⁾, 鳴海拓志¹⁾

1) 東京大学 (〒 113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1, { yamaama, hatada, narumi } @cyber.t.u-tokyo.ac.jp)

概要: ヒトとは異なる身体構造を持つ動物等のキャラクターのアニメーションは様々な映像媒体で活用されているが、モーションキャプチャのような手軽な作成方法が少ない。本研究では、ユーザの身体動作をキャラクターの特定の身体部位の動作に変換して割り当てたアニメーションを作成でき、それらのアニメーションを重ね合わせることで、複雑なキャラクターアニメーションを手軽に作成できるツールを提案する。ユーザスタディの結果、参加者は概ね 10 分以内に動物キャラクターの全身アニメーションを作成できた。

キーワード: キャラクターアニメーション, 動物キャラクター, 動作変換

1. 序論

3D キャラクターのアニメーションはゲームや映画等の様々な映像媒体で使用されている。キャラクターアニメーションを作成する際には、ある時刻（フレーム）におけるキャラクターの関節の位置・姿勢をキーとして保存し、キーの間を所定の方法で補間するキーフレーミングが一般的に用いられる。一般的な 3D モデリングソフトウェアは、タイムライン型の GUI を用いた手入力によるキーフレーミング環境を提供するが、この方法で複雑なキャラクターアニメーションを作成するには多大な労力を要する。そのため、役者の動作をキャラクターの動作として割り当てるモーションキャプチャが用いられてきた。モーションキャプチャは複雑なアニメーションを高いリアリティのもとに作成できる一方で、キャプチャ可能なキャラクターはトラックを装着できるヒトと一部の実在動物に限られる。また、役者とキャラクターの体格や身体構造が近い場合には役者の動作をそのままキャラクターアニメーションに割り当てられるものの、多くの場合には体格や身体構造の差を吸収するための動作変換 [1] が必要とされる。動作変換を介してヒトの役者が動物キャラクターを操作して演技することは映画等では一般的に用いられているものの、関節やエンドエフェクタが多い動物キャラクターの操作は役者の認知的な負担が大きく、また複雑な動作変換をおこなうには手間やコストがかかるという問題点がある。

そこで本研究では、ユーザの身体動作と動物キャラクターの身体の一部の動作との動作変換を簡単に指定してアニメーションを作成でき、そうして作成した複数のアニメーションを重ね合わせることで、動物キャラクターの複雑な全身アニメーションを手軽に作成可能な手法を提案する。実装にあたっては、ユーザの実身体の情報から動物キャラクターへの動作変換や、複数のアバタの姿勢の重ね合わせを行うことができるツールキットである PoseSynth [2] を利用する。

2. 関連研究

2.1 バーチャル空間におけるアニメーションの作成

Kytö et al. [3] の研究を皮切りに、2DUI を利用する従来の 3D モデリングソフトより 3DUI で操作可能なバーチャル空間での作業の方がより効率的にアニメーションを作成できることが示されてきた。バーチャル空間におけるアニメーション作成ツールとしては、Tvori¹ や Mindshow² 等が知られる。多くの場合、キャラクターのキーの指定には逆運動学 (IK) が用いられ、ユーザはバーチャル空間で IK の目標を把持して動かすことでアニメーションを変更できる。

2.2 ユーザから動物キャラクターへの動作変換

モーションキャプチャのようにユーザの身体を用いたキーフレーミングでは、より直観的にアニメーション作成が可能になる。ヒトが身体構造の異なる動物キャラクターを操作する場合は、それぞれの身体構造を考慮して動作を変換する必要がある。ユーザの動作を動物キャラクターの動作に変換する動作変換は、多くの場合関節同士の対応付け (Joint Matching, JM) によってなされる。例えば Seol et al. [1] は、ユーザと動物キャラクターの関節の対応付けと、歩行や跳躍のような特定の動作の対応付けを併用することで、動物キャラクターへの自然な動作変換を実現した。また、Jiang et al. [4] は、ユーザの両指の関節と動物キャラクターの関節を対応付けることで、動物キャラクターをユーザ自身の身体のように動かせることを示した。

これらの例は、適切な動作変換を用いることで動物キャラクターを直観的に操作してアニメーションを作成できることを示している。ただし、トラッキング可能なユーザの関節数が少ない場合や、操作する動物キャラクターの関節およびエンドエフェクタの数が多い場合は、直観的な操作を実現するための対応付けが困難になると考えられる。この問題への対策として、一度に操作する動物キャラクターの関節

¹<https://tvori.co/>

²<https://store.steampowered.com/app/382000/>

を限定した動作変換を複数用意することが考えられる。

3. 提案手法

提案手法は動物キャラクターの特定の身体部分のアニメーション作成と、それらの重ね合わせによる全身アニメーションの作成からなる(図1)。ユーザは各機能に対し、バーチャル空間に配置された GUI (図2) を介してアクセスできる。

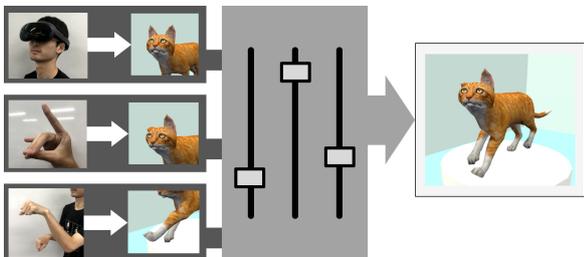


図 1: 提案手法の概略図。



図 2: バーチャル空間上に配置された GUI。左: 動作変換の選択と撮影に用いる GUI。中: タイムライン型 GUI。右: 重ね合わせ方を調整するためのミキサ GUI。

3.1 キャラクターの操作

ユーザはまずキャラクターの特定の身体部位のアニメーションを撮影する。キャラクターには身体の一部のみを動作させる動作変換が複数用意されており、それぞれの動作変換を使い分けることでユーザは動物キャラクターの全身を自身の身体で操作できる。動作変換は IK によるものと JM によるものに大別される。

IK による動作変換は、HMD やハンドトラッキングによって取得したユーザの頭・両手の位置をターゲットとしてキャラクターのエンドエフェクタまでの関節の姿勢を決定する。キャラクターはユーザの位置と向きに関わらず動作するように、HMD に追従する。さらに、エンドエフェクタがユーザの両手の届く範囲で動作するように、必要に応じて HMD からの位置や大きさが調整される。ユーザの視界を阻害しないためにキャラクターは描画されないようになっており、ユーザはそのキャラクターと同じ姿勢を取るプレビュー用のキャラクターを見ることで姿勢を確認する。

JM による動作変換は、HMD やハンドトラッキングによって取得したユーザの頭・両手指の関節とキャラクターの関節を対応付けることでキャラクターの関節の姿勢を決定する。

3.2 キャラクターの身体の一部の撮影

撮影には Unity の公式プラグインである Unity Recorder を用いる。Unity Recorder はキャラクターの動作を撮影して

アニメーションファイルに書き出すことができる。ユーザは Unity Recorder に専用の GUI を介してアクセスする(図2左)。撮影に際し、ユーザはキャラクターの操作方法の中から1つを選択する。そして、ユーザは GUI の撮影ボタンに触れて撮影を開始し、動作変換を用いてキャラクターを動作させる。その後、撮影ボタンを再び押して撮影を終了する。

3.3 重ね合わせによる全身アニメーションの作成

ユーザが撮影したアニメーションはタイムライン型の GUI にトラックとして順番に並べられる。タイムライン型 GUI にあるトラックのアニメーションは、その上に配置されたキャラクターに全て重ね合わせられて再生される。ユーザはタイムライン型 GUI を介して各アニメーションの長さや再生タイミングを設定できる。

ユーザはトラックの「Configure」ボタンに触れることで、トラックごとの詳細な設定を行うための GUI (ミキサ GUI) を表示できる。ミキサ GUI ではそのトラックが保持しているキャラクターのアニメーションを確認できる。また、ユーザは重ね合わせの設定のためのつまみを調整できる。重ね合わせはキャラクターの身体部位ごとに行われ、つまみの値が大きいほどそのアニメーションが最終結果へ強く反映される。なお、重ね合わせの具体的な処理は PoseSynth [2] の PoseMixer を使用する。

4. ユーザスタディ

提案手法によるアニメーションの作成能力を評価するため、12人(男性10名、女性2名、平均年齢24.7±5.4歳)の参加者を対象としたユーザスタディを行った。参加者のうち6名は Blender や Unity 等を用いたアニメーション作成の経験があった。動物キャラクターはヒューマノイド、猫、鳥の3種類(図3)が使用された。それぞれのキャラクターは表1から3に示すような操作方法が用意されていた。



図 3: 実験で用いた動物キャラクターの外観。左からヒューマノイド、猫、鳥。

表 1: ヒューマノイドキャラクターの操作方法。頭・両手から全身への動作変換には FinalIK の VRIK を、それ以外には FinalIK の FullbodyBipedIK を用いた。

ユーザの身体部分	キャラクターの身体部分	動作変換
頭・両手	全身	IK
両手	両足	IK
(把持物体)	両手・両足	IK

表 2: 猫キャラクターの操作方法. IK には BioIK を用いた. その際の各関節の回転限度は猫キャラクターのアセットに予め含まれていたアニメーションを参考にした.

ユーザの身体部分	キャラクターの身体部分	動作変換
頭	頭	JM
右手	頭・耳	JM
両手	両前脚	IK & JM
両手	両後脚	IK & JM
右手	尾	IK
(把持物体)	頭・両前脚 両後脚・尾	IK

表 3: 鳥キャラクターの操作方法. IK には BioIK を用いた. その際の各関節の回転限度は鳥キャラクターのアセットに予め含まれていたアニメーションを参考にした.

ユーザの身体部分	キャラクターの身体部分	動作変換
頭	頭	JM
両手	両翼	JM
両手 & 両指	両足 & 両爪	IK & JM
右手	尾	IK
(把持物体)	頭・両翼 両足・尾	IK

4.1 実験手順

まず参加者は実験手順について説明を受けた後、実験への参加に同意した. その後、参加者は提案手法に関して映像の視聴と実際の体験を交えたチュートリアルを受けた. 実際の体験の際、参加者は HMD を装着してバーチャル空間に入り、動物キャラクターの複数の操作方法や撮影方法、タイムライン型 GUI の操作方法、重ね合わせの方法について、実際に猫キャラクターを用いつつ説明を受けた.

参加者は 3 種類のキャラクターに対して 3 つずつ全身アニメーションを作成するタスクを行った. 3 つのアニメーションのうち 1 つ目と 2 つ目は、実験従事者が提示したアニメーションを参加者が再現した. 提示したアニメーションのうち片方は足や翼を動かして前進する (実際に前進するわけではない) 時のアニメーション (Walk 課題) であり、もう片方は立ち止まって静止するアニメーション (Idle 課題) であった. 残りの 1 つは参加者が自由にアニメーションを作成した (自由課題). この時、各アニメーションの作成にかかった時間を測定した. また、それぞれのキャラクターのアニメーションを作成した時の直観性と認知負荷を QUESI [5] および NASA-TLX [6] を用いて測定した. 全身アニメーションを合計 9 回作成した後、参加者は提案手法に関するインタビューに回答した.

4.2 結果

アニメーション作成にかかった時間と QUESI による直観性、NASA-TLX による認知負荷のスコアを図 4~6 に示す. インタビューでは主に以下のような回答が得られた.

- **キャラクターの操作性** 猫や鳥キャラクターを操作するのが楽しかった. 操作は試行錯誤の後、徐々に慣れてスムーズになっていった. 胴体の動きを付けたかったができなかった.
- **アニメーションのクオリティと作成難易度** クオリティは決して高くはないが短時間でアニメーションが作成できた. Blender 等他のソフトウェアよりも簡単に作成できた. 猫や鳥のアニメーション作成に適しているが、ヒューマノイドは難しかった. 自然に見えるように各部位の動きを組み合わせるのが難しかった. 自由課題では満足のいくものを作成できた.
- **GUI の操作性** GUI はわかりやすかったが、ボタンやスライダの操作は難しかった. 結果表示用のキャラクターがタイムラインの上にあるのが見づらかった.

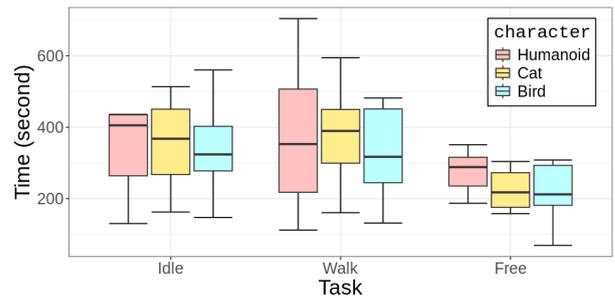


図 4: 各アニメーションの作成にかかった時間. 各課題について左から順にヒューマノイドキャラクター, 猫キャラクター, 鳥キャラクターのアニメーション作成時間 (秒) を示す.

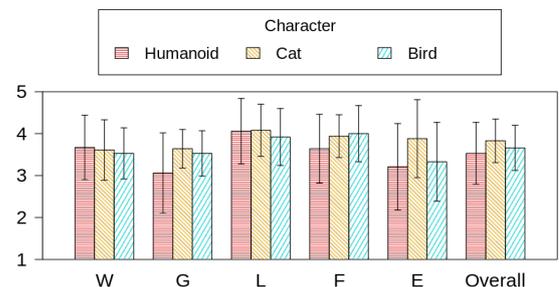


図 5: QUESI による直観性の評価. 棒グラフは平均値を、エラーバーは標準偏差を表す. 最も右側が全体的な指標である. 左側 5 つは下位指標であり、順に主観的精神作業負荷 (W)、目標の達成感 (G)、学習への認知された努力 (L)、親近感 (F)、認知されたエラー率 (E) を示す.

4.3 考察

提案手法を使用することで、参加者は概ね 10 分以下で動物キャラクターの全身アニメーションを作成することがで

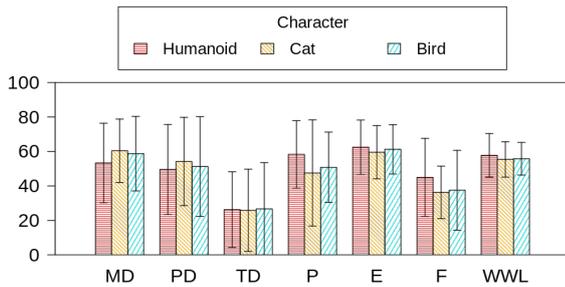


図 6: NASA-TLX による認知負荷の評価。棒グラフは平均値を、エラーバーは標準偏差を表す。最も右側が全体的な負荷である。左側 6 つは下位指標であり、順に知的・知覚的要求 (MD)、身体的要求 (PD)、タイムプレッシャー (TD)、作業成績 (P)、努力 (E)、フラストレーション (F) を示す。

きた。参加者は実験中にキャラクタや GUI の操作方法に慣れていったことで作成時間が短縮したと考えられる。ただしキャラクタの操作への慣れには、困難な動作を諦めたり、細かな調整をせず切り上げたりするといった妥協が含まれていたと考えられる。妥協にはハンドトラッキングの精度やキャラクタの操作性への期待、およびそのキャラクタへの理解の深さが関係していたと考えられる。参加者の手のトラッキングは HMD のカメラで行っていたため、カメラの死角での動作のトラッキングができなかった。そのため、ヒューマノイドの Walk 課題や Idle 課題における腕の動作を期待通りに再現できなかった参加者が多かったと考えられる。また、参加者にとってヒューマノイドは猫・鳥よりも身近なため、完成目標とするアニメーションのクオリティが猫・鳥よりも高かった可能性がある。対して猫・鳥の操作やアニメーション作成はほとんどの参加者にとって想像したことが無い新しい体験であり、操作に対する期待は低かったと考えられる。そして、期待よりもうまく動かすために楽しさや面白さに言及した参加者が多かったと考えられる。

全身アニメーションの作成においては、身体部位ごとのアニメーション同士の連携が困難であったことが指摘された。多くの参加者が Walk 課題における四肢のアニメーションのタイミングを揃えるのが難しいことや、胴体のアニメーションが作成できないことに言及した。前者については、時刻ごとのキャラクタの姿勢を表示する機能や、身体部位ごとのアニメーションの速度を調整する機能を追加することで改善できると考えられる。また、本実験での各キャラクタの操作は胴体を基準としていたため、実際に胴体の移動や回転はできなかった。これによって参加者が作成したいアニメーションを作成できなかった可能性がある。

アニメーションの作成能力には改善の余地があるものの、比較的高速に動物キャラクタのアニメーションを作成できたことは注目に値する。アニメーション制作の現場では監督や脚本家、演出家の構想に基づいてアニメーターが実際に作成することが多く、前者の意図を後者にうまく伝達する

ためのプロトタイピングツールとして提案手法が有効である可能性がある。

5. 結論

本研究ではユーザの身体動作をキャラクタの特定の身体部位の動作に変換して割り当てたアニメーションを作成でき、それらのアニメーションを重ね合わせることで、複雑なキャラクタアニメーションを手軽に作成できるツールを作成した。ユーザスタディの結果、参加者は概ね 10 分以下で動物キャラクタの全身アニメーションを作成することができた。各身体部位のタイミングの同期等、アニメーションの作成能力には改善の余地が残されているものの、作成時間は既存の 3D モデリングソフトよりも高速であること、アニメーションのプロトタイピングツールとして使用できる可能性が示唆された。

謝辞 本研究の一部は、JST ムーンショット型研究開発事業 (JPMJMS2013) の支援を受けて行われた。

参考文献

- [1] Yeongho Seol, Carol O'Sullivan, and Jehhee Lee. Creature Features: Online Motion Puppetry for Non-Human Characters. In *Proceedings of the 12th ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*, SCA '13, p. 213–221, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.
- [2] 山口周, 畑田裕二, 橋浦健太, 鳴海拓志. 多様なアバタ操作方法を統合するツールキット「PoseSynth」の提案. 第 29 回日本バーチャルリアリティ学会大会予稿, 2024.
- [3] Mikko Kytö, Krupakar Dhinakaran, Aki Martikainen, and Perttu Hämäläinen. Improving 3D Character Posing with a Gestural Interface. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 37, No. 1, pp. 70–78, 2017.
- [4] Yu Jiang, Zhipeng Li, Mufei He, David Lindlbauer, and Yukang Yan. HandAvatar: Embodying Non-Humanoid Virtual Avatars through Hands. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '23, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.
- [5] Anja Naumann and Jörn Hurtienne. Benchmarks for intuitive interaction with mobile devices. In *Proceedings of the 12th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '10, p. 401–402, New York, USA, 2010. Association for Computing Machinery.
- [6] Sandra Hart and Lowell Staveland. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In P Hancock and N Meshkati, editors, *Human Mental Workload*, pp. 139–183, North-Holland, 1988. Elsevier Science Publishers B.V.