

学位論文題名

A STUDY ON MOTION GENERATION FOR ANIMATED CHARACTERS OF HUMAN FIGURES

(アニメーションキャラクターの動作生成手法に関する研究)

学位論文内容の要旨

近年、人間をモデルとした人型のキャラクターのアニメーションが、様々なソフトウェアや Web のホームページなど、身近なところで利用され始めている。これらのアニメーションにとって、キャラクターの動作が自然もしくは個性的であるかどうかが重要であるが、人間の体が持つ特有の複雑さのために、動作アニメーションの制作は一般には容易なタスクとは言えない。この問題の解決策として、人間(演技者)の動作を直接データ化したモーションキャプチャデータを用いる方法がある。このデータは簡単な方法で演技者の動作を再現できる利点がある。しかし、演技者の動作を再現するだけであるため、動作を行う条件が異なる際には動作データを編集する必要がある。先の人間の体の複雑さのために、動作データを編集することが困難であるという問題がある。この課題に対し先行研究では、キャラクターの関節角度が滑らかに変化するように調整するという、運動学的なデータ編集法に基づく場合が多い。こうした手法では、高速な編集が可能であり、ある程度滑らかな動作を生成することができるが、動力学的な意味で適切でない動作を生成することが多いという問題もある。一方、動力学的な最適化原理に基づくシミュレーションでは多大な計算コストを要する。こうした運動学的、動力学的アプローチの長所と短所を考慮し、本論文では第三の解決方法を提案し、その有効性を実証する。すなわち、モーションキャプチャから取得した規範動作データの一部を転写・再利用することにより規範動作主体のなかに埋め込まれた動作の自然さおよび特徴を間接的に利用し、かつ、動作合成を行いたい対象キャラクターの特性や動作条件に動力学的な観点からできるだけ合致する動作を生成する。

第一章では序論として、上記のような研究背景と問題点を明らかにし、本論文で扱う問題に対する立場と解決策の概要を、先行研究と比較しながら述べている。

第二章では、本研究で用いる人型キャラクター、状態、動作データ、状態遷移の際にキャラクターの体の各部に作用する力、トルクの計算手法についてまとめている。

第三章では、標準的な体格のキャラクター(標準キャラクター)に対して動作を生成する問題を扱い、その基本枠組みを与えている。

一般に動作データを編集する際には大きく分けて、運動学的基準、動力学的基準の二つの場合がある。運動学的基準では、動作の外形(関節角度)を重要視した編集を行う。この場合、計算量が小さいため高速に処理することに適しているが、動作の実行可能性を測ることは難しい。一方、動力学的基準では、動作の内面(力、トルク)を重要視した編集を行う。この基準では、動作の際に要するエネルギー等を見ることによって、動作の実行可能性を測ることができるが、計算量が大きいため、高速に処理することには向かない。そこで本研究では、動力学的基準(エネルギー変化量)に則り生成動作の実行可能性を測るとともに、

処理全体の計算量を削減するために、近似コストに基づく最良探索を行う A* 探索を用いることにより、エネルギー変化量に関しても最適な解を高速に探索するアルゴリズムを採用している。

この手法の他の先行研究と異なる最も特徴的な点は、状態・動作間、動作・動作間にエネルギー変化量の最小化のために寄与する予備動作を挿入できることである。例えば、「椅子から立ち上がる」動作中に『上半身を前に倒す』『両足を後ろに引く』という動作を自動で挿入できる。

第四章では、一章で指摘した二番目の問題、すなわち、再利用可能な動作セグメントを規範動作から特定する方法について述べている。この手法では、ユーザは目標動作中におけるいくつかの経路状態をシステムに与え、システムはこれらの経路状態を埋める動作データ（部分動作）を複数の規範動作のセグメントとして抽出し、これらを自動編集することにより目標動作を形成する。

利用可能なセグメントを抽出する問題は、データ検索問題と捉えることができる。モーションデータ検索に関する先行研究では、関節角度・位置に関する類似度を用いて検索を行うことが多いが、処理の高速性の代償として、切り出された動作セグメントを接続編集する処理に向かないという問題点を有する。

これに対し本手法では、動作セグメントを接続するための動作生成も、第三章と全く同様に、予備動作（経路状態）の生成過程だと捉え、接続のために要するコストができるだけ小さなセグメントを最適解だと考える立場にたつ。ただし、実コストであるエネルギー変化量の計算量の問題から、実コストの見積もりコストを定め、見積もりコストの意味で最適なセグメントを第三章の A* 探索によって高速に検出する近似的方法を与えている。これらの処理により、キャラクタの体格的特徴に対して少なくともエネルギー的には実行可能な動作を許容できる時間内で検索・生成することを可能にしている。

第五章では、第三章および第四章で与えた手法を拡張し、キャラクタの様々な体格的特徴に対して動作データを編集する手法を提案している。この手法では、体格的特徴としてキャラクタの筋力、体節強度、重心位置を考慮し、これらの特徴値を変化させたキャラクタ（目標キャラクタ）に標準キャラクタが行う動作を模倣させることを可能にしている。

実際の人間が、体格の異なる他人の動作を模倣する場合には、体の各部に作用する負荷（力、トルク等）の違い等から完全に同一の動作を再現することができないため、類似しているが異なる動作を行う。このことから、標準キャラクタが動作を実行する際に体の各部に作用する負荷と、目標キャラクタの動作を実行する際に体の各部に作用する負荷とを比較し、これらができるだけ近くなるように動作データを編集することにより、体格的特徴に特化した類似動作の生成が可能であることを実験的に示している。さらには、キャラクタの感情や状況を体格的特徴値や重心位置により擬似的に表現し、その特徴にしたがった模倣動作生成に基づく感情表現生成の可能性についても示している。

第六章では、本論文をまとめ、残された研究課題について述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 原 口 誠
副 査 教 授 北 島 秀 夫
副 査 教 授 田 中 讓
副 査 教 授 佐 藤 義 治

学 位 論 文 題 名

A STUDY ON MOTION GENERATION FOR ANIMATED CHARACTERS OF HUMAN FIGURES

(アニメーションキャラクタの動作生成手法に関する研究)

人間をモデルとした人型のキャラクタに対するアニメーションの編集・合成において、計算コストと見た目の自然さの観点から、運動学的手法や補間技法が通常用いられ、それ故に、動力学的な自然さや人が行う動作のバリエーションに対応できないという問題がある。本研究では、これらの問題点を解決することによりアニメーションの表現力を高め、かつ、一般ユーザでも利用できる技術を目指すとしている。その目的のために、モーションデータの再利用手法、ならびに、動力学的にも妥当な動作を生成可能な最良探索技法を提案している。すなわち、モーションデータに内在する動力学的自然さを合成目標動作の中に間接的にとり込む形で変換する技法を与えている。次に変換動作と目標動作を単に滑らかに接続するのみならず、最適性の根拠となりえる予備動作をも短時間で生成するための最良探索を、A*探索に基づいて実現している。このことにより、体格的特徴を持ったキャラクタに対する予備動作を含めた豊富なバリエーションを持つ動作生成が高速に実現可能であることを実証している。

第一章では序論として、上記のような研究背景と問題点を明らかにし、本論文で扱う問題に対する立場と解決策の概要を、先行研究と比較しながら述べている。

第二章では、本研究で用いる人型キャラクタ、状態、動作データ、状態遷移の際にキャラクタの体の各部に作用する力、トルクの計算手法についてまとめている。

第三章では、標準的な体格のキャラクタ（標準キャラクタ）に対して動作を生成する問題を扱い、その基本的な枠組みを与えている。一般に、動作データの編集は、運動学的基準および動力学的基準に基づく。運動学的基準では、動作の外形（関節角度）を重要視した編集を行う。この場合、計算量が小さいために高速に処理することに適しているが、動作の実行可能性を測ることは難しい。一方、動力学的基準では、動作の内面（力、トルク）

を重要視した編集を行う。この基準では、動作に要するエネルギーを見積もることにより、動作の実行可能性を測定できるが、計算量が大きいため、高速に処理することには向かない。そこで本研究では、エネルギー変化量に基づいて生成動作の実行可能性を評価すると同時に、処理全体の計算量を削減するために、近似コストを用いた最良探索手法をA*探索に基づいて与え、エネルギー変化量に関しても妥当な解を高速に探索するアルゴリズムを与えている。その結果として、エネルギー的により実現しやすい予備動作を自動で生成できる探索手法となっている。

第四章では、再利用可能な動作セグメントを規範動作から特定する方法について述べている。利用可能なセグメントを抽出する問題は、データ検索問題であると捉えることができるが、モーションデータ検索に関する先行研究では、関節角度・位置に関する類似度を用いて検索を行うために、処理の高速性の代償として、切り出された動作セグメントを接続編集する処理に向かないという問題点を有する。これに対し本手法では、動作セグメントを接続するための動作生成も、第三章と全く同様に、予備動作（経由状態）の生成過程であると捉え、見積もりコストに基づく最良探索手法によりこの問題を解決している。これらの処理により、キャラクタの体格的特徴に対してエネルギー的には無理なく実行可能な動作を許容できる時間内で検索・生成することを可能にしている。

第五章では、第三章および第四章で与えた手法を拡張し、様々な体格的特徴を持つキャラクタに対して動作データを編集するリターゲットング手法を提案している。この手法では、体格的特徴として、キャラクタの筋力、体節強度、重心位置を考慮し、これらの特徴値を変化させたキャラクタ（目標キャラクタ）に標準キャラクタが行う動作を適応させるとしている。その際、体格的特徴が異なるために、体の各部に作用する負荷の違いを考慮する必要がある。そのために、特徴値と負荷の比率に着目し、目標キャラクタと標準キャラクタ間でその比率のバランスをとる操作だと仮定し、特徴値に応じた負荷の変化により体格的特徴に適合した動作の再利用・生成が可能であることを実験的に示している。さらには、キャラクタの感情を体格的特徴値や重心位置により擬似的に表現し、その特徴に基づく感情表現生成の可能性についても論じている。

第六章では、本論文の総括を与え、残された研究課題について述べている。

これを要するに、著者は人型アニメーションキャラクタの動作合成に関して探索と再利用の観点から新知見を得たものであり、アニメーションの生成と編集に対して、工学上貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。