

本論文は、深層学習の手法の一つであるグラフニューラルネットワーク(GNN)をもとにした、任意の頂点数のキャラクタモデルの非線形変形を自動化するための一般的な手法をまとめたものである。アニメーションプロダクションでは、キャラクタモデルの複雑な外観や詳細を伴う高品質な変形をするためのシステム開発に莫大な時間や努力を費やしている。伝統的な幾何ベースのスキニングによる変形手法ではそのような高品質な変形は困難な一方、物理シミュレーションを用いた変形手法では、品質は良いものの計算負荷が高いという問題がある。これに対し、学習ベースの手法では、データ駆動型のモデルを学習させ、相対的なパラメータ関数として変形計算を行う。本論文では、この学習ベースの手法をもとに、任意姿勢、かつ、任意のキャラクタモデルに対する姿勢依存の高速な非線形変形を実現することを目的としている。

本論文は全5章より構成されている。第1章はキャラクタモデルの変形についての問題点および本研究の目的や貢献について議論している。本論文では以後、キャラクタモデルの変形を主に二つのケースに分けて議論している。第1のケースはキャラクタモデルの人体と衣服を一体のものとして扱う変形技術であり、第2のケースは人体と衣服を別のオブジェクトとしたときの、人体の動きに合わせた衣服の変形技術である。第2章では、第1のケースと第2のケースそれぞれに対する関連研究について議論している。特に、本論文に関連した既存の学習ベースの手法が持つ二つのケースに共通する制限として、1) 線形モデルやMLP (Multi-Layer Perceptron) ネットワークは、特定のオブジェクトのみに適用可能な手法であること、2) GNNのようなより一般化された手法であっても、学習に必要なサンプルを大量に必要とし、得られる結果が過剰にスムーズになる傾向があること、3) キャラクタモデルの特定の姿勢にのみ適用可能な手法であること、を挙げている。

第3章では、第1のケースにおける提案手法の詳細について論じている。ここでは、キャラクタモデルの変形を、ラフな線形変形と非線形変形による精練化の二つの手順に分解して考えている。このうち本研究で対象とするのは後者の手法の構築とし、GNNをもとにした二つの非線形変形手法(DenseGATs, MultiresGNet)を提案している。この二つの手法は、主にキャラクタモデルの幾何形状特徴のエンコード手法、およびネットワーク構造に違いがある。一つ目のDenseGATsでは、形状特徴のエンコード手法として、頂点座標、頂点の法線ベクトル、そして頂点からキャラクタのジョイントまでの距離をまとめて、頂点毎の属性ベクトルとしている。ネットワーク構造としては、グラフアテンション(GAT)をベースとしたブロック構造(GATブロック)を単位としそれを密に接続した構造となっている。これより、異なる頂点数やグラフ構造を持つキャラクタモデルに対しても対応でき、かつ、勾配消滅問題を回避することができるように工夫されている。一方、二つ目のMultiresGNetでは、形状特徴のエンコード手法として、頂点座標を利用することによる特徴の位置依存性を排除するため、姿勢によって定まる相対スキニング特徴記述子を新たに提案し、頂点座標の代わりに利用している。また、ネットワーク構造としては、GATブロックをもとにした構造に加え、新たにプーリング/アンプーリング処理によりグラフ構造を簡略化するモジュールを組み合わせることで、より抽象的な特徴を抽出することができ、また過学習の問題を回避するとともに学習のモデル数を減らすことができる。以上

の提案手法により、汎用的かつより少ない学習サンプルで高精度なキャラクターモデルの変形が実現できるようになったことが評価される。

第4章では、第2のケースにおける提案手法の詳細について論じている。ここでは、衣服の変形をキャラクターモデルの身体への着衣を含むラフな変形と皺などの詳細な変形の二つに分解して考えている。このうち、本研究では主に後者のための手法として、GNNをもとにした詳細変形手法（GarFitNet）を提案している。この手法の特徴として、一つに、衣服と身体のフィット感が皺の程度に影響するとの観点から、フィット感に関するパラメータをネットワークの入力として取り入れている点、二つ目に出力値の範囲を限定するように式変形することで、学習がし易くなるよう工夫している点が挙げられる。ネットワークの構造としては、GATブロックをもとにした構造に加え、人体の形状、姿勢、フィット感に関するパラメータ変換のブランチ、出力ベクトルの方向のブランチ、大きさのブランチの三つを組み合わせた構造となっている。以上の提案手法により、衣服のフィット感に応じたより高精度な変形を効率的に行えるようになったことが評価される。

第5章は、本論文における結論や問題点、今後の課題について論じている。

以上のように本論文では、グラフニューラルネットワークをもとにした任意のキャラクターモデルおよび衣服の複雑かつ非線形な変形を自動的に求める方法を構築し、従来手法よりも汎用性が高く、効率的で高精度な変形を実現することに成功している。その研究の独自性と優れた結果について高く評価される。したがって、本審査委員会は博士（学術）の学位を授与するにふさわしいものと認定する。