

## 論文の内容の要旨

論文題目 多重解像度表現に基づく高品質な形状補間手法

氏名 道川 隆士

形状デザインや娯楽産業では、複数の形状間を滑らかかつ違和感のないように補間させたいという需要が高い。このような需要を満たす技術にメッシュモーフィングがある。メッシュモーフィングは、複数間の形状間を補間する形状モデリング技術の一つである。従来の研究により、任意のメッシュ間で補間形状を構築できるようになったものの、いくつかの問題点が残っている。最も大きな問題は、時間  $t$  を与えて補間形状を計算するとき、補間形状に自己干渉、歪み、縮退が発生して、品質が悪くなるという点である。これは、ソースとターゲットの座標値を線形補間することによって計算しているためである。本研究では、メッシュモーフィングにおいて高品質な補間を実現することを目的とする。本論文における「高品質」とは、線形補間で見られるような自己干渉、歪み、縮退を出来るだけでなく近似剛体補間と、品質を損なうことなくユーザによる制御が可能な補間形状制御のことをいう。以上の目的を達成するために、本論文では、メッシュモーフィングに多重解像度表現の枠組みを導入することで、高品質かつ制御可能な形状補間を実現する手法を提案する。

はじめに、多重解像度表現に基づく補間メッシュ表現、「多重解像度補間メッシュ」を提案する。従来手法では、補間メッシュをパラメータ空間における二つのメッシュを重ね合わせる「合成操作」によって計算していた。しかし、合成操作によって構築された補間メッシュは、面の質が低だけでなく、面数も多いことから、補間問題における障害となっていた。本研究では、合成操作の代わりに、細分割処理を用いて入力メッシュに近似させることで補間メッシュを構築する手法を提案する。本手法は、ユーザがベース補間メッシュを定義することから始まる。ベース補間メッシュは、通常メッシュと同様に、頂点と面から構成されるが、各頂点に複数の座標値が割り当てられている点が異なる。次に、ベース補間メッシュの各面を再帰的に細分割し、新しくできた頂点を入力メッシュにフィッティングさせることで、補間メッシュを構築する。新しくできた頂点の座標値は、パラメータ化を利用することで計算する。こうして計算された補間メッシュは、多重解像度表現を保持しているため、任意の解像度における補間形状を取り出すことができる。

次に、多重解像度補間メッシュを用いて、近似剛体補間を行う手法を提案する。本手法は、粗いレベルにおいて厳密な近似剛体補間を計算したあと、詳細なレベルに関しては、差分を追加することで計算する(図 1)。

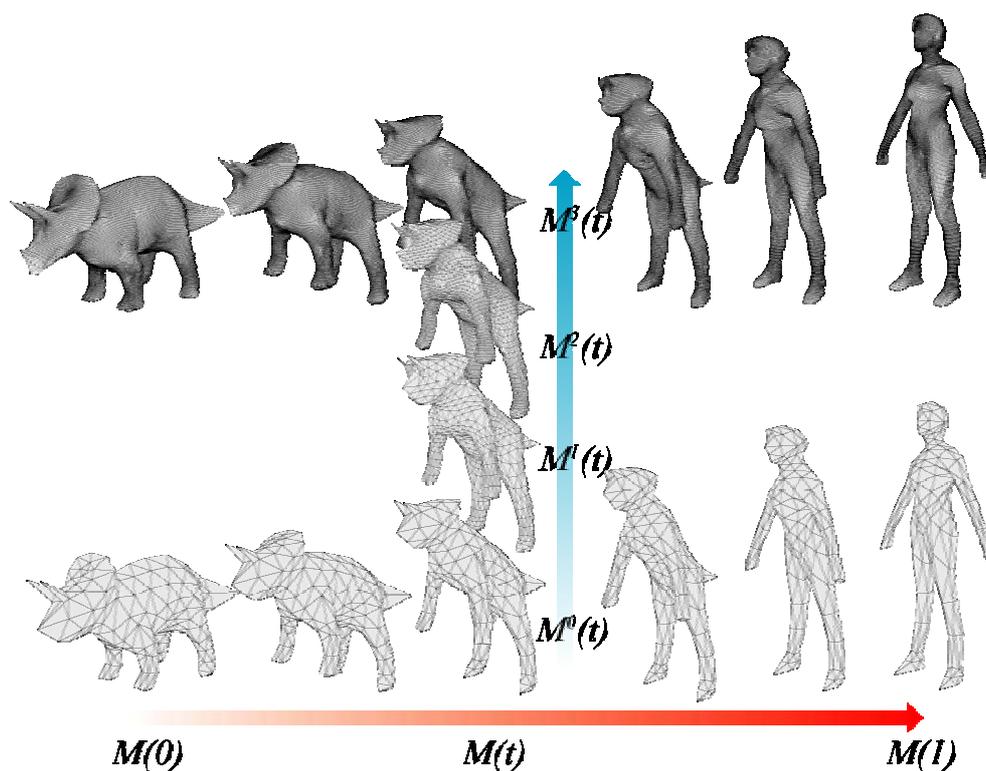


図 1 . 多重解像度表現に基づく近似剛体補間

本手法は，四面体補間メッシュと呼ばれる，各頂点につき複数の座標値を持つ四面体メッシュを構築することから始まる．ユーザは，ソースのメッシュと，内部点と呼ばれる点を入力として与えて四面体メッシングを適用することで，ソースの幾何情報を持った四面体メッシュを構築する．次に，四面体メッシュの表面にある頂点座標値を対応関係がある，ターゲットの頂点座標値に置き換えることで，ターゲットの幾何情報をもった四面体メッシュを構築する．このとき，内部点は位置が確定していないので，スムージングにより適切な位置に配置する．次に，四面体補間メッシュを用いて近似剛体補間を計算する．これは，各四面体に定義された理想的な補間関数と，実際の補間関数との誤差が最小になるように計算する．ただし，補間中に裏返る四面体は，理想的な補間関数を計算できないため，計算が破綻する．これに対応するために，裏返る四面体に対して隣接する補間関数から仮想的な補間関数を計算する．これにより，四面体補間メッシュに裏返りが発生したとしても適切に計算が出来る．粗いレベルにおいて，近似剛体補間を計算した後は，ピラミッド座標を用いて，詳細レベルの補間形状を構築する．ピラミッド座標は，頂点とその近傍で定義される相対的な座標系の一つであり，ピラミッド座標から形状を再構築するためには，非線形の繰り返し計算を必要とする．本研究では，粗いレベルから詳細なレベルへと順番にピラミッド座標を用いて補間形状を再構築する．すでに粗いレベルの頂点は計算済みであることと，粗いレベルの補間メッシュから良好な初期値を得られることから，オリジナルのピラミッド座標による補間形状の再構築と比較して高速に計算できる．

最後に，近似剛体補間の枠組みを用いて，補間形状を制御する手法を提案する．従来の

補間メッシュは、構造が不規則であったため、局所的な品質を保ったまま補間形状に制御を加えることは困難であった。多重解像度表現に基づく近似剛体補間手法は、この問題を解決する。はじめに、粗いレベルにおいて近似剛体補間を計算する。ここで得られた補間形状に対して、ユーザの制御を加える。制御が加えられた粗いレベルの補間形状に対して、ピラミッド座標を用いた再構築を行う。本手法で制御する形状は、粗いレベルであるため、制御すべき頂点数は、従来手法と比較して格段に少ない。詳細なレベルは、ピラミッド座標による再構築によって計算されるため、補間形状の局所的な品質を低下させることなく補間形状を制御できる。この枠組みに基づいて、本研究では次の三手法を提案した。第一の手法は補間経路編集に基づく制御手法である。ユーザは、補間形状の頂点に対して、補間経路を定義する。また、補間経路によって影響を受ける範囲を ROI(Region of Interest) として指定する。ROI に含まれる頂点は、近似剛体補間を計算した直後のピラミッド座標を保つように、補間経路の変化に従って変形する。あとは、ピラミッド座標を用いた再構築を行うことによって、補間経路を制御したモーフィングが実現する。第二の手法は、変形情報転送手法に基づく制御手法である。変形情報転送手法は、ソースメッシュの変形前から変形後の変換情報を、対応関係が構築されているターゲットメッシュに適用することで、ソースメッシュに割り当てられた変形情報をターゲットメッシュに転送する。この手法を、本研究で提案した近似剛体補間手法と組み合わせることで、モーフィングしながら他のアニメーションを追加することが可能となる。第三の手法は、非一様な形状補間手法である。従来のモーフィングの研究では、補間形状には全て同じパラメータを与えていた。従来手法でも非一様な補間は可能であるが、姿勢が大きく異なるメッシュ間のモーフィングでは、局所的な品質の保持が困難であるという問題があった。本研究では、粗いレベルの四面体補間メッシュの各四面体に対して個別のパラメータを与えることにより、非一様な近似剛体補間を計算する。また、詳細なレベルへの再構築でも非一様再構築を行う。このときのパラメータは、隣接する粗いレベルの頂点に割り当てられているパラメータを平均化させることで計算する。さらに、各四面体に割り当てられたパラメータを時系列に管理することで非一様な補間アニメーション(スケジュールドモーフィング)が実現する。本手法により、大きく姿勢が異なる形状間においても、剛体性を保持したまま非一様な補間が可能となる。

本論文では、以上で提案した手法に対して、例題を適用し、品質、計算時間、データ量において評価を行い、その有用性を検証した。