

LOD を利用した 3 D モデルの効率的なキャラクタアニメーションの生成法 An Efficient Method for Creating Character Animation with Level of Detail Technique

藤井 洋佑† 土橋 宜典† 山本 強†
Yosuke Fujii Yoshinori Dobashi Tsuyoshi Yamamoto

1. まえがき

近年、計算機性能の向上に伴い、高精細な 3 次元形状モデルが利用されるようになり、大規模な頂点数のモデルを高速に変形させたアニメーションの作成手法の需要が高まっている。典型的な変形手法の一つとして、指定された目的形状となるよう収束計算を行う手法が提案されている [1][2]。しかし、変形の収束計算における計算コストは 3 次元モデルの頂点数の 3 乗に比例する。そのため、モデルの形状が複雑であれば、収束に時間がかかるため膨大な計算時間がかかってしまう。

Ju[3]らは、3 次元モデルを囲むより頂点数の少ない制御メッシュを用いることで計算コストを削減する手法を提案している。この手法では、制御メッシュにより定義される平均値座標を用いてメッシュの頂点座標を表現し、制御メッシュの変形から内部の 3 次元モデルの変形を計算する。変形の収束計算における計算コストは制御メッシュの頂点数に依存するため制御メッシュの頂点数が少なければより高速に 3 次元モデルを変形することができる。しかし、制御メッシュの頂点数が少な過ぎると変形の歪みが大きくなり品質が劣化してしまう。すなわち、高速な変形と形状の品質はトレードオフの関係にある。

本研究では、Level of Detail (LOD) の考え方を利用し、頂点数の異なる複数の制御メッシュを用意し、視点とモデルとの距離や大きさに応じて制御メッシュを変更することにより高速で自然なアニメーションの生成を行う手法について検討する。

2. 変形方法の概要

本研究では、3 次元モデルの変形に骨格を用いる。骨格はあらかじめ作成し、3 次元モデルとの対応関係をとっておく。モデルの変形は関節となる骨格の座標からモデルの曲げたい部分を任意軸に対して回転することで行う。これは、以下の 4×4 の行列 \mathbf{M} により表現できる。

$$\mathbf{M} = \mathbf{T}'\mathbf{R}\mathbf{T}$$

ここで、 \mathbf{T} は関節となる点を原点に移動する平行移動行列、 \mathbf{R} は任意軸周りの回転行列、 \mathbf{T}' は原点から関節となる点までの平行移動行列を表す。

単純に変形行列 \mathbf{M} を用いて対応する頂点を動かすだけでは、モデルの関節部分で裂け目や交差が生じるため、モデルの各頂点座標 \mathbf{x}_i において線形の方程式を考え、収束計算により最適解を算出することでモデルの変形を実現する。また、計算コストの削減のために平均値座標 [3] を利用することで高速な変形を行う。形状変形と平均値座標については以下で詳しく説明する。

2.1 形状変形

形状変形は目的となる形状をモデルの接続情報を用いて、

† 北海道大学情報科学研究科

モデル全体から補正するような線形の方程式を解くことで行う。Han ら [2] によって提案された次式によって表現される。

$$E = \sum_{i=1}^n A_i \left\| \mathbf{M}'_i - \mathbf{M}_i \right\|_F^2$$

$\|\cdot\|_F^2$ はフロベニウスノルムを表す。 b_{ij} ($1 \leq i \leq l$, $1 \leq j \leq m$) を要素とする $l \times m$ 行列 \mathbf{B} に対するフロベニウスノルムの計算は以下ようになる。

$$\|\mathbf{B}\|_F^2 = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m b_{ij}^2$$

n はモデルを構成する三角形の数、 A_i は三角形の面積を表す。 \mathbf{M}' は理想的な変形行列で以下のように表される。

$$\mathbf{M}' = \mathbf{X}\mathbf{U}^{-1}$$

ここで、 \mathbf{U} 、 \mathbf{X} はそれぞれ変形前、変形後の三角形の位置で以下のように表わされる。

$$\mathbf{U} = (\mathbf{u}_1 - \mathbf{u}_4 \quad \mathbf{u}_2 - \mathbf{u}_4 \quad \mathbf{u}_3 - \mathbf{u}_4)$$

$$\mathbf{u}_4 = \left[\frac{(\mathbf{u}_1 + \mathbf{u}_2 + \mathbf{u}_3)}{3} + \frac{(\mathbf{u}_2 - \mathbf{u}_1) \times (\mathbf{u}_3 - \mathbf{u}_2)}{\sqrt{|(\mathbf{u}_2 - \mathbf{u}_1) \times (\mathbf{u}_3 - \mathbf{u}_2)|}} \right]$$

\mathbf{u}_1 , \mathbf{u}_2 , \mathbf{u}_3 は三角形の頂点座標を表し、 \mathbf{X} においても同様に表される。 E を最小とするような \mathbf{M}' を算出することで自然なモデルの変形を行う。

2.2 平均値座標

平均値座標は、3 次元モデルの頂点座標を \mathbf{x}_i 、制御メッシュの頂点座標を \mathbf{p}_j 、重みを w_{ij} とすると、3 次元モデルの頂点座標を以下のように表す方法である。

$$\mathbf{x}_i = \frac{\sum_j w_{ij} \mathbf{p}_j}{\sum_j w_{ij}}$$

平均値座標を用いて制御メッシュを変形させ内部の頂点座標を更新することでモデルの変形を行う。重みは制御メッシュを 3 次元モデルの各頂点座標 \mathbf{x}_i を中心とする単位球に投影し、投影した制御メッシュを構成する三角形を用いて計算する [3]。

重み w_{ij} は変形前に計算され定数として扱われるため、制御メッシュの頂点数が少なければ変形と更新にかかる計算時間を大幅に削減できる。

3. 多重解像度表現

平均値座標を用いると部分的な制御メッシュの変形においても内部モデル全体に影響を及ぼす。制御メッシュの頂点数が少なく変形後の内部モデルの歪みが大きくなり、

頂点数が多いと変形や内部モデルの更新に時間がかかってしまう。そこで、LOD の考え方を利用して視点とモデルとの距離に応じて制御メッシュの頂点数を変更することで3次元モデルの効率的なアニメーション生成を行う手法について検討する。

3.1 制御メッシュの変更基準

本研究では、頂点数の多い制御メッシュを用いた変形を理想的な変形とし、頂点数の少ない制御メッシュを用いた場合および変形行列 \mathbf{M} を直接内部モデルに用いて変形を行った場合との比較を行った。視点と3次元モデルとの距離を変化させ、理想的な変形との誤差がどれほど視覚的に影響するかを評価する実験を行った。変形行列を直接モデルに用いることで生じる裂け目と交差や頂点数の少ない制御メッシュを用いることで生じる歪みが視覚的に影響を及ぼす視点とモデルとの距離とそのときの変形の誤差を計算し、視覚的に影響のないよう手動で制御メッシュを切り替えた。

3.2 実験

実験結果を図1に示す。本研究で用いたアルマジロモデルの頂点数は35974点である。このモデルに対し、頂点数が200点および490点である二種類の制御メッシュを用意した。それぞれの制御メッシュに対して、平均値座標の重みの算出にかかった計算時間はそれぞれ24.10(sec)、59.05(sec)であった。実験で使用した計算機環境は、Core2Duo2.13GHz (RAM1.00GB) のPCである。図1は視点とモデルとの距離によるそれぞれの変形結果を表している。

変形にかかった時間は以下の通りである。変形行列 \mathbf{M} を直接内部モデルに適用して変形を行った場合は0.015(sec)、200点の制御メッシュを用いた場合は0.210(sec)、490点の制御メッシュを用いた場合は0.550(sec)であった。

次に、490点の制御メッシュを用いた変形結果を真値とした場合の形状誤差を計算した。200点の制御メッシュを用いた場合の形状誤差の最大値は0.164、変形行列 \mathbf{M} を直接内部モデルに用いた場合での変形誤差の最大値は0.208であった。ここで、形状誤差とは変形後のモデルと真値とするモデルとの対応する各頂点間の距離である。

次に、画像上での見かけの誤差を計算した。まず、視点と距離をさまざまに変化させ、真値とするモデルを描画した場合の画像を生成する。同様に、200点の制御メッシュを用いた場合および変形行列 \mathbf{M} を直接内部モデルに用いた場合についても視点との距離をさまざまに変化させた場合の画像を生成する。真値の画像とこれらの画像との差分画像を計算し、その平均輝度値を算出した。その結果を図2に示す。

図1から、視点とモデルとの距離が近い場合、関節付近での交差や裂け目、歪みが目立つが、距離が遠い場合、モデルに多少の裂け目や交差がある場合や、頂点数の少ない制御メッシュを用いることで歪みが生じても視覚的に影響がないことが分かる。また、図2からこのような誤差の表示結果への影響は、視点からの距離が遠くなるにつれて急激に低下することがわかる。すなわち、高精度な形状変形は物体が視点のごく近傍に存在する場合のみでよいと考えられる。

4. まとめ

本研究では、LOD の考え方を利用することで、効率的に3次元モデルのアニメーションを生成する方法について検討した。視点とモデルとの距離と自然な変形との誤差に応じた制御メッシュを変更することにより、効率的にアニメーションの生成を行うことができることが分かった。今後の展望として、視点と3次元モデルとの距離と変形の際に生じる誤差の大きさに応じて制御メッシュを自動で変更することで、より視覚的に自然に制御メッシュを切り替え、自然なアニメーションの生成を行うことが考えられる。

参考文献

- [1] Huang J. et al. "Subspace gradient domain mesh deformation", 2006, ACM Trans. Graph. 25, 3, 1126-1134.
- [2] Han-Bing Yan. et al. "Skeleton-Based Shape Deformation using Simplex Transformations", 2006, Advances in Computer Graphics 66-77.
- [3] Ju, T. et al. "Mean value coordinates for closed triangular meshes", 2005, ACM Trans. Graph. 24, 3, 561-566.

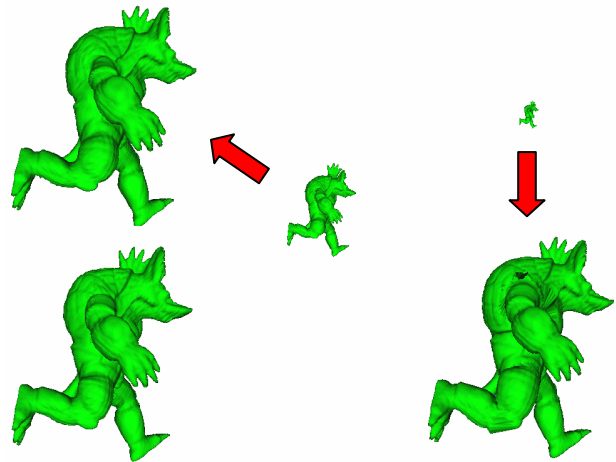


図1. 視点からの距離に応じたアルマジロの変形

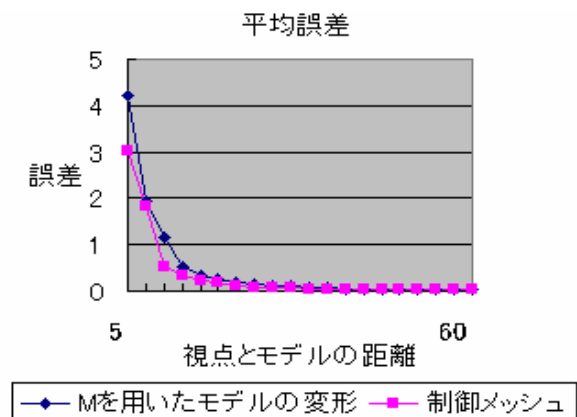


図2. 視点距離ごとの各変形の差分画像の平均輝度値