J-42

局所的自己交差を回避する 3 次元パッチモデルモーフィングの軌跡生成手法

Generation of Trajectory for Local Self-intersection Free 3D Metamorphosis between Patch Models

舩冨 卓哉† 飯山 将晃† 水田 忍† 美濃 導彦‡

Takuya Funatomi Masaaki Iiyama Shinobu Mizuta Michihiko Minoh

1．はじめに

近年、映像圧縮・CG アニメーション・物理シミュレーションなどへの応用を目的として、モーフィングの研究が盛んに行なわれている[1]。モーフィングとは、ソースモデルとターゲットモデルと呼ばれる 2 つの形状モデルが与えられたとき、その間の滑らかな形状変化を表現するために中間モデルを生成する技術のことである。

物理シミュレーションを目的としたモーフィングでは、実世界で起きているが細かく観測することが困難な現象でも、少ない観測結果から推定し記述できることが求められる。

本研究では、三角形パッチモデル（以下パッチモデルと呼ぶ）を用いて 3 次元物体を表現する。パッチモデルに対するモーフィングの問題点として、生成された中間モデルで自己交差が発生する問題が挙げられる。自己交差とはパッチモデルにおいてある面と別の面が交差する現象であり、現実の物体では起こりえない。物理シミュレーションを目的としてモーフィングを用いる場合は、自己交差を回避しなければならない。

従来研究では、多角形を対象とした 2 次元モーフィングにおいて、自己交差が発生しないことを保証する手法[2][3]が提案されている。しかし、3 次元モーフィングで自己交差が発生しないことを保証する手法は未だ提案されていない。

本研究では、パッチモデルの 3 次元モーフィングを行なったとき、その中間モデルでの自己交差の発生を検出し、検出された自己交差を回避するような軌跡を生成する手法を提案する。

2．モーフィングの手法と自己交差の検出法

2.1 パッチモデルに対する線形モーフィング

3 次元パッチモデルに対するモーフィングは 2 つの処理で実現される。1 つめはソースモデルとターゲットモデルの間で頂点の対応関係を求める処理であり、2 つめは対応付けられた頂点に対し軌跡を生成し、中間モデルを生成する処理である。本研究では、2 つめの処理にのみ着目し、1 つめの処理は予め行われているものとする。つまり、ソースモデルとターゲットモデルは対応付けられた同数の頂点で構成され、各々の接続関係は同一とする。

得られたソースモデルとターゲットモデルの 2 つの頂点 $\mathbf{p}_s$, $\mathbf{p}_t$ に対してその軌跡を表現する最も一般的な手法である線形補間は、次の式で表される。

$$\mathbf{p}(t) = (1 - t) \mathbf{p}_s + t \mathbf{p}_t \quad t \in [0,1], \mathbf{p}(0) = \mathbf{p}_s, \mathbf{p}(1) = \mathbf{p}_t$$

線形補間により軌跡を補間することで実現するモーフィングを線形モーフィングと呼ぶ。

2.2 自己交差の検出

3 次元パッチモデルに対し線形モーフィングを行なうと、生成される中間モデルで自己交差が発生することがある。自己交差とは、中間モデルを構成するパッチ同士が交差する現象である。

パッチモデルで発生する全ての自己交差は、頂点と面もしくは辺と辺の衝突により引き起こされる。つまり、三角形パッチモデルを考えた場合、自己交差は 4 つの頂点から引き起こされる。

ここで、衝突頂点の軌跡が線形補間で求められ 1 次式で表わされるとき、これらの衝突はどちらの場合も 4 つの頂点の位置関係から導かれる 3 次方程式を解くことで解析的に求めることができる。

3．局所的自己交差の回避法

3.1 局所的自己交差の定義

中間モデルで発生する自己交差は次の 2 つに分類することができる。

1. 手と足などの離れた部位同士の衝突による自己交差
2. 局所的自己交差

中間モデルから検出された衝突の中で、衝突を引き起こす 4 つの頂点に対し、その中の 1 点が他の 3 点と直接(辺で)接続されている場合、このような衝突を局所的自己交差と定義する。

本研究ではこの局所的自己交差を回避することを考える。

3.2 部分メッシュをもちいた自己交差の回避

既に提案されている自己交差を発生しない 2 次元モーフィングの手法を利用することを考える。自己交差が発生している部分を部分メッシュとして 2 次元平面へ投影し、投影した 2 次元平面上で自己交差を発生しないモーフィングを行い、さらにその結果を 3 次元空間に逆投影することで自己交差を回避するモーフィングが可能となる。

まず、部分メッシュを、自己交差を引き起こす 4 点のうち 1 つを中心としてその隣接点で囲まれた、モデル表面のメッシュの一部(図 1)とし、2 次元平面状へ投影する。

次に、得られた 2 次元平面上で投影された部分メッシュを用い、凸結合を用いたタイリングのモーフィング手法[3]によってモーフィングを行う。これにより、2 次元平面上では自己交差の発生しないモーフィングが実現できる。

最後に、2 次元平面でのモーフィング結果を 3 次元空間に逆投影する。2 次元平面上で自己交差を発生しないモーフィングが実現できれば、平面に垂直な成分に依らず 3 次元空間上でも局所的自己交差が起こらないことが部分メ

† 京都大学情報学研究科
‡ 京都大学学術情報メディアセンター

ッシュの中では保証される。そこで、平面に垂直な成分に対しては単純に線形補間を行なう。

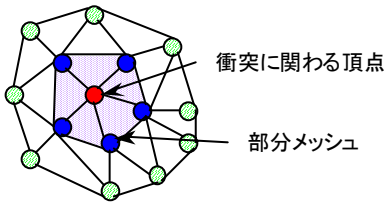

図1：ある頂点を中心とした部分メッシュ

以上のことを検出された自己交差に対して適用し、モーフィングを実現する。

４．局所的自己交差とモデルの形状差との関係

一般的にソース・ターゲットモデル間の形状差が大きくなるにつれ、自己交差の発生数が増大し、また自己交差が発生しやすい領域も増大する。そのため、形状差が大きい場合、軌跡の修正によって自己交差を回避すると、その影響で別の箇所での局所的自己交差が引き起こされ、結果的に、発生する自己交差が逆に増加する可能性がある。

このようなことから、検出された自己交差をすべて回避することができる保障はない。提案手法においても、自己交差の回避によって別の箇所での自己交差を引き起こすかを判定し、別の箇所での自己交差を引き起こさないものだけに対して自己交差の回避を行うことで自己交差が逆に増加する現象は回避しているが、検出された自己交差をすべて回避できるとは限らない。

５．実験

モーフィングの対象として、ヒト胎児の成長を記述した 3 次元モデル系列を用いた。この系列は胎児の成長を 11 段階のステージで表わした 3 次元モデルで構成される（図 2）。モデルのステージ番号の差が大きいほど形状差が大きくなっている。

ステージ 1　ステージ 3　ステージ 11

図２ ヒト胎児モデル

予め頂点同士の対応付けを得た 11 体のモデルは全て頂点数 562、面数 1120 で構成されるパッチモデルであり、そこから選択された 2 体に対し提案手法により局所的自己交差の回避を行なった。表 1 に検出された局所的自己交差の数と、最終的に回避できずに残った局所的自己交差の数を示す。

次に図 3 にソース・ターゲットのモデル形状差と回避できた局所的自己交差の数との関係を示す。図 3 に示す通り、モデルの形状差が小さい場合、局所的自己交差の発生数は少なく、また提案手法により発生した局所的自己交差はほぼ回避されている。一方、モデルの形状差が大きい場合は、局所的自己交差の発生数が全体的に増加するだけでなく、提案手法で回避できない局所的自己交差も急激に増加する。これは 4 節で述べたように、モデルの形状差が大きくなるにつれ自己交差が発生しやすい領域が増大し、一箇所の軌跡の修正だけでは自己交差の回避が困難となるためであると考えられる。

表 1 提案手法適用前後での局所的自己交差の検出数変化

ステージ差	ステージ番号		適用前	適用後	回避率
4	3	7	5	0	100.00%
7	4	11	16	4	75.00%
8	1	9	53	21	60.38%
9	2	11	72	38	47.22%

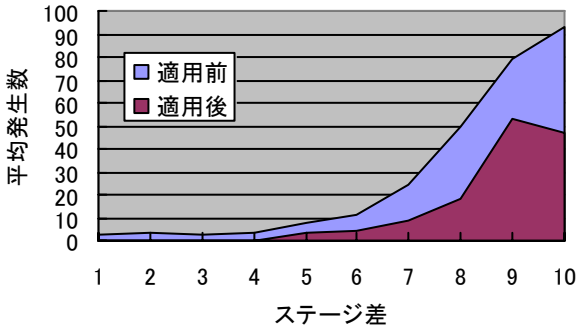

図３ ステージ差に対する提案手法適用前後での局所的自己交差の発生数の変化

６．まとめ

本稿では、線形モーフィングにおいて発生する局所的自己交差検出し、局所的自己交差を引き起こす頂点の軌跡を、2 次元モーフィングの手法を利用して修正することで、その局所的自己交差を回避する手法を提案した。実験として、胎児の 3 次元モデルに対するモーフィングに提案手法を適用することで、本手法の有効性を示した。

今回提案した手法では検出された局所的自己交差に対して個別に修正を行った。しかしながら形状差の大きなモデルを対象とする場合、個別に局所的自己交差を修正するだけでは対処できない場合が多い。今後の課題としては局所的自己交差間の位置関係などに基づいて複数の局所的自己交差を同時に修正することが挙げられる。

参考文献

[1] F.Lazarus, A.Verroust : "Three-dimensional metamorphosis: a survey", The Visual Computer (1998) 14:373-389

[2] C.Gotsman,V.Surazhsky:"Guaranteed intersection-free polygon morphing", PERGAMON Computer & Graphics 25(2001)67-75

[3] M.S.Floater, C.Gotsman : "How to Morph Tilings Injectively"