

自己交差を回避する 3次元モデルモーフィング手法の提案

佐藤和弥[†] 渡辺大地^{††}

[†]東京工科大学大学院バイオ・情報メディア研究科 ^{††}東京工科大学メディア学部

1 はじめに

近年、3次元上において形状変形を表現する手法としてモーフィングが頻繁に利用されている。モーフィングとは、2つの3次元モデルを入力したときその中間形状を生成し滑らかな形状変形を表現する手法である。

モーフィングで中間形状を出力する時、必ずしも適切な中間形状を出力することは保証されていない。その原因の1つに自己交差という現象がある。自己交差とは形状変形中の3次元モデルにおいてある面と別の面が交差する現象である。これにより、ある部位が別の部位の表面を衝突、貫通してしまい3次元モデルの形状構造が破綻してしまう。

中間形状で発生する自己交差は次の2つに分類される。1つは、ある頂点と隣接する頂点らの位置関係で起こる局所的自己交差である。もう1つは、手と足などのある部位と別の部位が接触することで起きる大域的自己交差である。局所的自己交差は形状変形中の3次元モデルの頂点座標を修正することで自己交差を回避する手法 [1] や、ある頂点と隣接する頂点らの位置関係を保ったままのモーフィング手法 [2] によって回避が可能である。しかし、部位同士の接触によって起きる大域的自己交差は頂点を用いた局所的自己交差回避手法では回避が難しい。

本研究では、大域的自己交差を回避するモーフィング手法を提案する。本研究で対象とするモーフィングにおいて、形状変形の出力は3次元モデルを構成する複数のオブジェクトに関節にあたるジョイントを対応させ、ジョイントの座標値を補間することで行う。また本研究で扱うモーフィングは、ある部位を別の部位から遠ざけることで大域的自己交差が回避可能な形状変形であることを前提とする。大域的自己交差の検出は、全てのオブジェクトの稜線に球スウィープ線分を適用し、それらの領域干渉にて検出を行う。大域的自己交差が発生した時、自己交差を検出するオブジェクト (以下検出オブジェクト) の回避ベクトルと、自己交

差を起こすオブジェクト (以下交差オブジェクト) の移動ベクトルを加算することで大域的自己交差の回避を行う。

2 モーフィング手法と大域的自己交差の検出

2.1 モーフィング手法

3次元モデルへのモーフィングの適用は2つの処理を行う必要がある。1つは、2つの入力モデル間で頂点や面などへの対応関係を構築することである。もう1つは、対応付けられた頂点らを補間することで中間形状を生成することである。本研究では、前者の処理はあらかじめ行われているものとし後者の処理のみに着目する。

本研究では、ジョイントを補間するモーフィングを用いる。

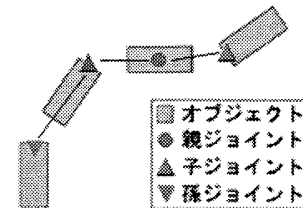


図 1: オブジェクトとジョイントの構造

図1はオブジェクトとジョイントの構造である。3次元モデルを構成する複数のオブジェクトに対し関節にあたるジョイントを埋め込み、オブジェクトとジョイントの対応関係を構築する。さらに全てのジョイントに対して隣接するジョイントと親子関係を構築することで、あるジョイントを制御するとその子以下のジョイントとそれに対応するオブジェクトも同時に制御することが可能である。ジョイントの座標値 p_s 、 p_t を線形補間することで形状変化を行う。

$$p(t) = (1-t)p_s + tp_t \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (1)$$

2.2 大域的自己交差の検出

形状変形中の3次元モデルにて発生する大域的自己交差は、あるオブジェクトと別のオブジェクトとの交差によって起こる。しかし、オブジェクト同士で接触が起きた時点で回避に移行した場合、交差の状況に

3D model morphing technique of avoiding self-intersection

[†] Kazuya SATO

^{††} Taichi WATANABE

Graduate School of Bionics, Computer, Tokyo University of Technology ([†])

School of Media Science, Tokyo University of Technology (^{††})

よってはオブジェクトへの接触を回避しきれず自己交差が起こる可能性がある。

本研究では、球スイープ型線分 [3] を用いた自己交差検出を行う。

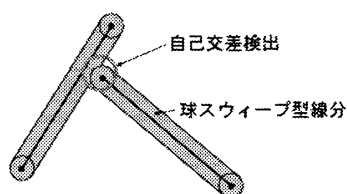


図 2: 球スイープ型線分

図 2 は球スイープ型線分と自己交差検出を表したものである。球スイープ型線分とは、線分の始点から終点まで球を移動した領域のことである。これは次のようにして求める。

$$R = \left\{ \mathbf{v} \mid (\mathbf{v} - (\mathbf{a} + (\mathbf{b} - \mathbf{a})t))^2 \leq r \right\} \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (2)$$

ある座標ベクトル \mathbf{v} に対し、 R は球スイープ型線分の領域、 \mathbf{a} 、 \mathbf{b} は線分の始点と終点を表す座標ベクトル、 r は球スイープ型線分の球の半径を表す。本研究では、2つの球スイープ型線分間における最短距離を構成する点を最近接点と呼び、その距離を最近接点距離と呼ぶ。最近接点距離がそれぞれの領域を形成する球の半径の和より小さい場合、領域干渉が発生する。この領域干渉によって自己交差検出を行う。この球スイープ型線分をオブジェクトを構成する全ての稜線に対して適用することで、オブジェクトの形状に沿った領域を形成できる。また、2つのオブジェクト間の領域参照をする計算も1度でよいため容易に自己交差の検出を行える。

3 大域的自己交差の回避手法

大域的自己交差の回避は、最近接点距離から求める回避ベクトルと交差オブジェクトの移動ベクトルを用いて行う。本研究では、検出オブジェクトから交差オブジェクトへと向かう最近接点距離のベクトルを回避ベクトルと呼ぶ。自己交差が発生した時、回避ベクトルの向きは交差オブジェクトを遠ざける向きにある。交差オブジェクトの移動ベクトルに対し最近接点距離から求める回避ベクトルを加算することで自己交差の回避を行う。

交差オブジェクトに加算する回避ベクトルの大きさを一定量にすると次のような問題が起きる。浅い領域干渉に適した回避ベクトルの大きさにした場合、交差オブジェクトが深い領域干渉からの回避をしきれず自

己交差が起きてしまう。深い領域干渉に適した回避ベクトルの大きさにした場合、浅い領域干渉からの回避で交差オブジェクトが検出オブジェクトから極端に離れてしまい不自然に見える。そこで交差オブジェクトに加算する回避ベクトル \mathbf{v}_{avoid} は次のようにして求める。

$$\mathbf{v}_{avoid} = (R - L)\mathbf{n} \quad (3)$$

2つのオブジェクトの最近接点距離を L 、それぞれの球スイープ型線分領域を決定する球の半径を加算したものを R 、正規化した回避ベクトルを \mathbf{n} とする。正規化した回避ベクトルの大きさは1であり向きを与える。これに最近接点距離によって変動する評価値を掛けることで回避ベクトルの大きさを決める。これにより、領域干渉の深さに合わせた回避ベクトルを求めることができる。この回避ベクトルを交差オブジェクトの移動ベクトルに加算することで、最適な自己交差回避が可能である。

4 まとめ

本稿では、ある部位を別の部位から遠ざけることで回避可能な大域的自己交差の回避手法を提案した。オブジェクトに関節にあたるジョイントを埋め込み対応関係を構築しジョイントの補間によってモーフィングを行った。オブジェクトを構成する全ての稜線に球スイープ型線分を適用し、領域干渉によって大域的自己交差を検出した。交差オブジェクトの移動ベクトルに対して最近接点距離から求めた回避ベクトルを加算することで大域的自己交差の回避を行った。

本研究では、単純な形状変化において大域的自己交差が発生することを考慮して回避手法を提案した。しかし、物体の形状変化においては複雑な形状変化をし大域的自己交差も多く発生するため、本手法でこの大域的自己交差を回避することは難しい。今後の課題として、複雑な形状変化において発生する大域的自己交差を回避することが挙げられる。

参考文献

- [1] 船富卓哉, 美濃導彦: “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”, 情報科学技術フォーラム, 2002
- [2] Jianwei Hu, Ligang Liu, Guozhao Wang: “Dual Laplacian Morphing for Triangular Meshes”, Computer Animation and Social Agents, 2007
- [3] Christer Ericson: “Real-Time Collision Detection”, 株式会社ポーンデジタル, 2005