I-019

スクラッチインタフェースによる 3 次元形状のモデリング

Three Dimensional Modeling by Scratch Interface

野田 明宏† 田中 敏光† 佐川 雄二†
Akihiro Noda Toshimitsu Tanaka Yuji Sagawa

1. はじめに

近年, CPU やグラフィックボードが高性能になったため，個人でも容易に 3 次元 CG を作成できるようになった．しかし，従来のモデリングシステムは操作が複雑で習熟が必要なため，初心者には使いにくい．また，形状の構想段階では，操作が面倒な分，使い勝手が悪い．そこで，本研究では，形状を直感的に定義できるモデリングシステムの開発を目指す．

2 ．従来の研究

直感的なモデリングのために，彫刻やろくろなどの現実の造形方法を模倣した手法が提案されている．しかし，ろくろで造ることのできる形状は回転対象形状に限られるので，真の 3 次元モデリングではない．ペイントシステムに類似したインタフェースで高さマップを加工する手法も同様である．彫刻を模倣した手法[1]も研究されてはいるが，リアルタイムに形状変形できないので，操作性が悪い．
サンドブラストを模倣した手法[2]では，“少し削る”，“少し盛り上げる”などの形状操作がリアルタイムにできる．しかし，加工する方向を変えるにはデータを再構築する時間が必要なため，連続的に向きを変えながら加工することはできない．

3. システムの概要

本研究では，物体を回転させながらの形状加工が実時間できるシステムを開発する．

操作を分かりやすくするために，彫刻刀を模したインタフェースを実装した．fig1 に示すように，液晶ペンタブレットに表示された物体の上でペンを動かすことで，その場所の物体表面を削る．物体の回転やズームにはトラックボール使う．これにより，回転操作が直感的になるばかりでなく，ペンとトラックボールの両方を同時に動かすことで，物体を回しながら連続して削ることが可能になる．

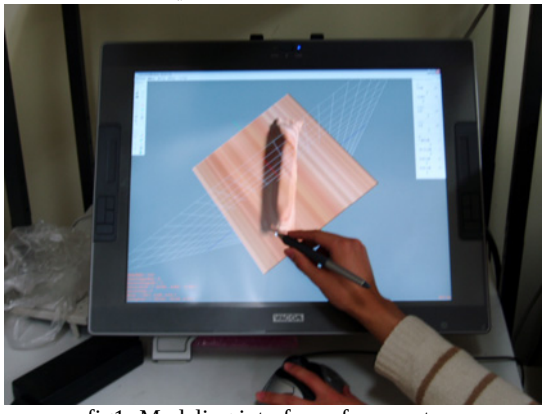

fig1. Modeling interface of our system

† 名城大学大学院理工学研究科

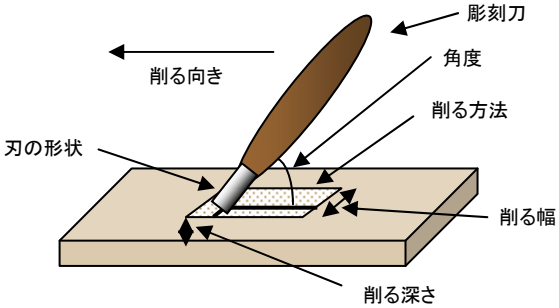

fig2. The parameter of the chisel

ペンの筆圧や傾きを深さや角度に対応付けることで, fig2 のようにメニューを操作せずに削り痕を変える．削り方は，視線方向を深さ方向とする方法，削り始めの点の接平面を基準とする方法，刃の下方向を基準とする方法から選択する．また，削り痕の断面形状を変えるため，箱刀，丸刀，三角刀，ユーザ指定の刃型の 4 種類を用意する．複数のペンが使える場合には，実際の彫刻を真似てペン毎に刃型を割り当てる．

4. 削りによる形状変形

加工方向に依存しない実時間形状変形を実現するため，物体表面を三角形パッチで定義する．また，ペンと物体表面との交差を効率よく判定するために, 3 次元空間を等間隔に分割し，それぞれの部分空間（これを unit-box と呼ぶ）に含まれる三角形のリストを保存する．

物体の 3 次元形状は頂点情報とポリゴン情報で記述する．頂点情報として，頂点の 3 次元座標とその頂点を含む三角形へのポインタを保持する．ポリゴン情報として，三角形を構成する 3 頂点へのポインタ・三角形の法線ベクトル・その三角形が属する unit-box へのポインタを保持する．

現在の刃の位置，直前の刃の位置，刃の幅，削り方から削り取る領域を作成し，その領域に含まれる三角形の頂点を検索する．この頂点を深さ方向に筆圧と刃型を考慮した量だけ移動することで，fig3 のように削り痕を生成する．

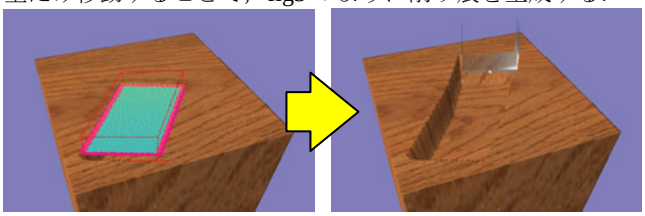

fig3. As a result of shaven object

5. 三角形の動的分割・統合

削りを繰り返すと三角形の大きさが不均一になる．このとき, 大きな三角形が増えると表面がでこぼこする. また, 小さな三角形が増えるとデータの更新速度が低下する．そこで, 削り加工と同時に, 三角形を動的に分割・統合して, 大きすぎる／小さすぎる三角形を除去する．

分割処理では，まず対象となる三角形の 3 辺の長さを調べ，閾値以上のものを探す．その中で最も長い辺の中点に新しい頂点を作成し，三角形を分割する．次に，新しい頂点を作成した辺を共有する三角形も，同様に分割する．この処理を閾値以上の辺がなくなるまで繰り返す．結果を fig4 に示す．

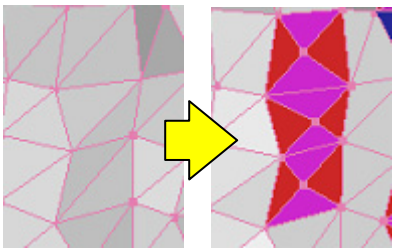

fig4. As a result of division

統合処理では，まず対象となる三角形の 3 辺の長さを調べ，閾値以下のものを探す．その中で最も短い辺の一方の頂点をもう一方の頂点へ移動することで．最も短い辺を持つ三角形を取り除く．この処理を，閾値以下の辺がなくなるまで繰り返す．結果を fig5 に示す．

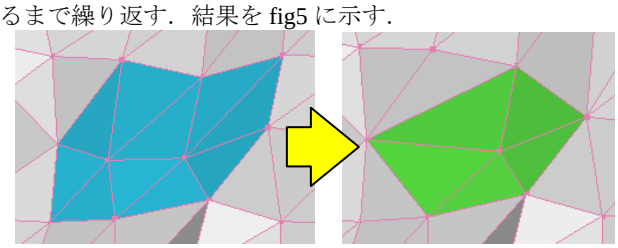

fig5. As a result of unification

6. 穴あけ・穴埋め処理

実際の物体では表面を削り続けると穴が開く．システムでこれを実現するために，以下の処理を行う．

まずペンの入力と交差した三角形から裏側に向かって Ray を飛ばし，交差する裏側の三角形を探す．次に，削り処理を行う領域を裏側へ拡張した領域を作成し，その内部に存在する裏側の三角形を検索する．検索した三角形と表側の三角形との交差を効率よく判定するために，拡張した領域の内部を高さ以外の軸について等間隔に分割し，それぞれの部分空間に表側と裏側の三角形を登録する．そして，部分空間ごとに登録された三角形の交差を判定する．

次に，交差した部分に囲まれた内部に存在する三角形を検索し，交差した部分及びその内部の三角形を除去する．この結果，fig6 のように表側と裏側の間に隙間が開く．そこで，表側と裏側のそれぞれで除去した三角形の境界となる辺を検索し，その間をつなぐ面を張る．

以上に処理を行うことで，fig7 のように物体に穴を開けることができる．

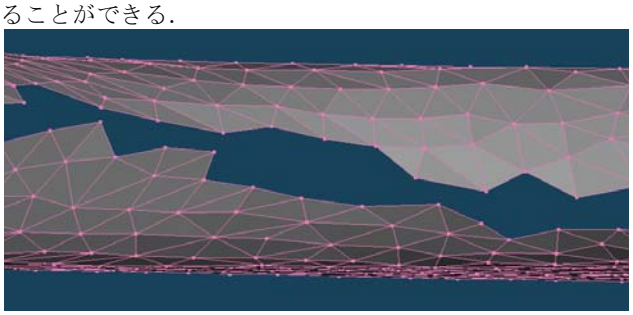

fig6. A gap between a face and the other side

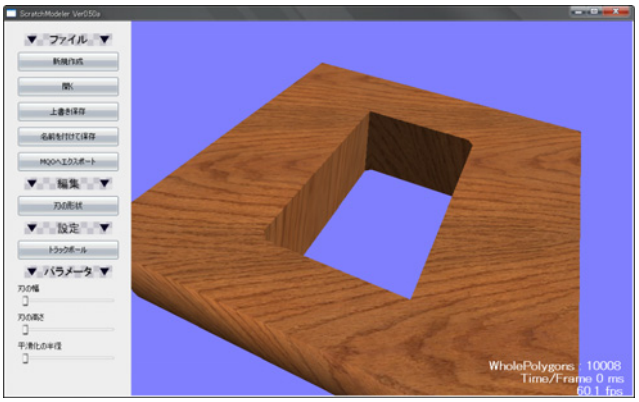

fig7. As a result of perforator

穴を埋める処理も必要となる．この場合，現実には，木切れなどで穴を詰めて表面を削る加工を行っている．そこで，穴の位置に板を置き，その板と周りの物体とを融合することで穴埋めを実現しようと考えている．詳細なアルゴリズムは現在検討中である．

7. 実施例

実装した機能について処理速度を計測した．実験には Core2Duo 2.66GHz，2 GB メモリ，GeForce7900GS の PC を使い，立方体を削って fig8 に示す形状を作成した．物体は 202,800 個の三角形で構成されている．削る処理と同時に三角形の分割・統合も行っている．このときの平均描画速度は，51.7fps であった．この結果は，実用的なデータ量の物体を実時間で加工できることを示している．

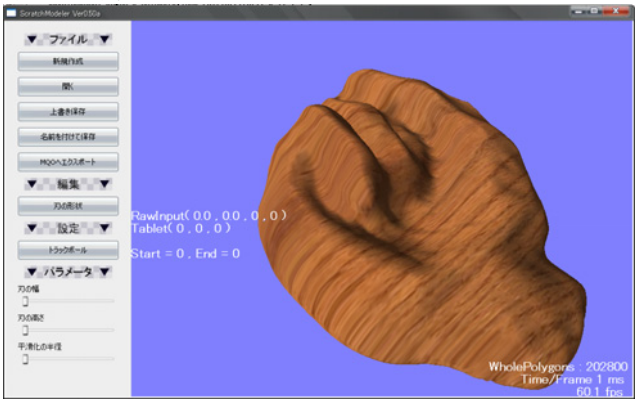

fig8. Result image

8. まとめと今後の課題

彫刻刀を模したインタフェースを使って，加工方向を連続的に変えながらの形状加工が実時間でできるモデリング手法を提案した．実験により，データ構造が変化する三角形の分割・統合処理を行った場合でも，形状を実時間で加工できることを示した．今後の課題は，穴埋め処理を実装することである．

謝辞　本研究は科研費(C)(2)16500612 の補助を受けています．

参考文献

[1]水野他：“仮想彫刻－仮想空間における対話型形状生成の一手法”，情報処理学会論文誌，No.12，Vol.38，pp.2509-2516(1997)

[2]水野他：“吹き付けモデリングシステム”，電学論 C，No.121，Vol.12，pp.1844-1852(2001)