

2値ボクセルからの境界表現モデルの生成に関する一手法 Generation of Boundary Representation from Binary Voxel Data

中村 徳裕† 西尾 孝治‡ 小堀 研一‡
Norihiro Nakamura Koji Nishio Ken-ichi Kobori

1. はじめに

近年、工業製品などにおける意匠設計に計算機によるCADシステムが利用されている。現在CADの分野で使われているシステムでは、一般的に境界表現モデルがデータ構造に採用されている。しかし、境界表現モデルを用いた場合、ユーザは形状の境界面であるメッシュの接続を示す位相構造等を意識して操作する必要があり、操作に熟練を要する。また、モデリングの際に頻繁に行われる形状同士の立体集合演算の処理コストが大きい等の欠点がある。

一方、空間分割モデルの一種であるボクセルモデルでは、データ構造が単純で位相構造を意識する必要がない。また、形状同士の立体集合演算が容易に行えるという利点があり、最近では形状モデラとしても提案されている^[1]。

以上のように、双方のモデルには形状モデリングを行う際に有利な利点があり、双方を変換しながら用いることができれば形状の定義に有効である。しかし、ボクセルモデルから境界表現モデルへの変換する際に用いられるマーチンキューブス法では、形状の表面を構成する全てのボクセルに対して面を生成するため、面数が膨大になる。そのため、そのままCADの用途に用いるには適切ではない。そこで、マーチンキューブス法で生成されたメッシュを整形する必要があるのである。

本研究では、ボクセルモデルで表現された形状の特徴を抽出し、その特徴を考慮しながら境界表現モデルの形状簡略化に用いられているQEM^[2]を用いてマーチンキューブス法で生成されたメッシュを整形する手法について提案する。

2. 提案手法

提案手法は、基本的にはマーチンキューブス法により生成されたメッシュをQEM法を用いて削減することによってメッシュを整形する。しかし、与えられたメッシュにそのままQEM法を適用した場合、図1のように特徴と考えられ、本来保存するべき面を簡略化してしまう場合がある。



図1 削減時の歪み

これは、与えられたメッシュが2値ボクセルからマーチンキューブス法によって生成されたものであるため、形状

† 大阪工業大学大学院情報科学研究科

‡ 大阪工業大学情報科学部情報メディア学科

が非常に細かい面で構成されているうえに、隣接する面のなす角度が数種類のパターンしか出現しないことが原因である。つまり、大域的に見た場合は特徴となりうる箇所でも、局所的に見た場合に特徴でない部分と同様の面の状態をとる場合があるということである。そのため、QEM法で削減する場合の評価値が特徴部分とそうでない部分で同程度の値となり、出現順によって特徴部分が削減される場合がある。

この問題を解決するためには、特徴部分を意図的に残すように抽出する必要がある。境界表現モデルから特徴を抽出する一般的な方法としては、二面角や面積などを評価するものが考えられる。しかし、マーチンキューブス法によって得られたメッシュの場合、二面角は特定の数パターンしか出現しない。また、マーチンキューブス法がそもそも形状を意識してメッシュを生成する手法ではないため、全ての面の面積に大きな差が存在しない。そのため、与えられたメッシュから特徴部分を抽出することは困難であると考える。そこで、モルフォロジー演算^[3]を用いて変換元のボクセル形状から特徴となるボクセルを抽出し、マーチンキューブス法により得られたメッシュの頂点に対応したところを特徴点とする。

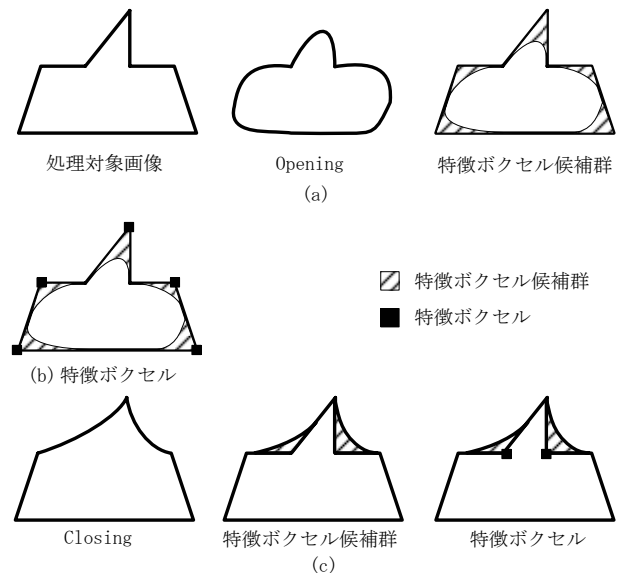


図2 特徴ボクセル抽出

2.1. 特徴ボクセル抽出

処理対象画像から特徴となるボクセルを抽出する。まず、処理対象画像に対してOpening処理を行う。Opening処理には元画像の突起部を丸める効果がある。ここで、Openingの結果画像と元画像の排他的論理和を行う。これにより、図2(a)の斜線部のような形状の突起部分のみが残る。これに対し、Opening結果の表面部分を開始点として

距離変換を行う。その結果、得られた距離値を重みとして、あるボクセルの周囲 6 近傍の距離値が自身の距離値を超えない場合、そのボクセルを特徴ボクセルとする。同図(b)のようになる。

次に、Opening の場合と同様の手順を Closing を用いて行う。結果は同図(c)のようになる。Closing 処理には形状のくぼみを埋める効果があるため、凹の部分の特徴を抽出することが出来る。ただし、Closing を用いた場合は排他的論理和の結果が形状の外部に現れるため、特徴ボクセルが外部に抽出される。そこで、Closing を用いた場合には特徴として抽出されたボクセルに隣接する形状内部ボクセルを特徴ボクセルとする。

2.2. 特徴エッジの処理

QEM 法は稜線を削除する EdgeCollapse 処理を用いて形状を簡略化する。提案手法では、その際の両端点の状態によってエッジの状態が3通りに分類される。

(a) 両端点とも特徴点ではない

稜線削除後に生成される頂点の位置決定は QEM の方法に従う。

(b) 両端点が特徴点である

削除候補稜線から除外する。つまり削除されない。

(c) 片方の端点のみが特徴点である

特徴点となっている端点を稜線削除後の頂点位置とする。

3. 実験と考察

提案手法の有効性を検証するために、図 3 に示す2つの形状を用いて実験を行った。



(a) bottle1

面数 : 237,656

頂点数 : 118,830



(b) bottle2

面数 : 221,084

頂点数 : 110,542

図 3 実験形状

ボクセルを構成する 6 面のうち、形状表面を構成する面と整形後のメッシュの誤差を評価した。また、メッシュ同士の誤差の比較には、多面体メッシュ同士の類似度を評価する際に一般に用いられている metro の評価法を用いた。なお、今回は評価に最大誤差を用いた。これは、一般には CAD 用途にボクセルを用いる場合、1 ボクセル以下までは誤差として扱われる。そのため、ボクセルから生成されたメッシュを整形する場合、平均誤差よりも最大誤差を重視する必要があるためである。

なお、実験に用いたボクセルの解像度は 256x256x256 とし、構造要素を Opening は半径 3、Closing は半径 2 の球、ボクセルの一辺を 1 とした。結果を図 4 に示す。

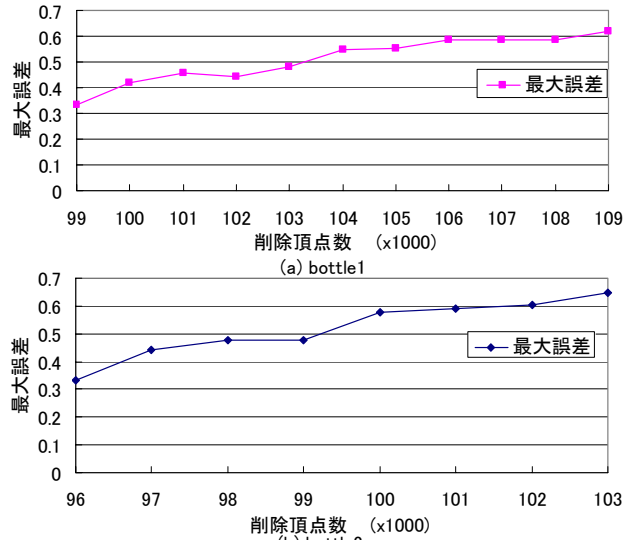


図 4 Metro 評価

最大誤差の許容範囲を 1 ボクセルの対角線の長さの半分の約 80%である 0.5 から 0.6 程度とした場合、図 4 (a)(b)よりどちらの形状も約 90%削減できていることになる。同図(a)は平面をあまり含まない形状の際の傾向を、同図(b)は平面を多く含む形状の際の傾向を示しているため、提案手法が形状の傾向に関係なく特徴部分のみを固定できていると考えられる。

今回、誤差の許容範囲に幅を持たせた理由は、Metro による評価の方法の影響があるからである。Metro の評価法は、評価対象の各面上に取ったサンプリング点から他方の面への距離をもとめることで評価を行っている。そのため、同様の 1 ボクセル内でも対角線を誤差の許容範囲とするか、1 辺を誤差の許容範囲とするかで許される誤差が変化するためである。そのため、対角線を許容範囲とする場合にはその約 80%を許容範囲とした。

4. おわりに

ボクセルからモルフォロジー演算を用いることによって特徴部分を抽出し、マーチンキューブ法により生成された特殊なメッシュを整形する手法を提案した。2つの傾向の違う形状で実験を行い、どちらの形状も同程度の削減率であったことから、提案した特徴抽出法はある程度形状の傾向に依存しない大域的に形状を見た特徴抽出法であると考えられる。今後の課題としては、Metro の評価法に代わる評価法の考案、及びより多くの形状での検証が挙げられる。

参考文献

- [1]Kase, Teshima, Usami, Ohmori, Teodosiu and Makinouchi : "Volume CAD", Volume Graphics 2003 Eurographics / IEEE TCVG Workshop Proceedings, I. Fujishiro, K. Mueller, A. Kaufman (eds.) in cooperation with ACM SIGGRAPH, Tokyo,pp.145-150, pp.173, 2003
- [2]Garland and Heckbart : "Surface simplification using quadric error metrics", In Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH 97), pp.209-216, 1997
- [3]小畑 : "モルフォロジー", コロナ社, pp.12-42, 1996