

2 値ボクセルからの境界表現モデルの自動生成に関する一手法

中村 徳裕 西尾 孝治 小堀 研一

大阪工業大学

1. はじめに

CAD の分野で使われているシステムでは、一般に境界表現モデルが用いられている。しかし、境界表現モデルを用いた場合、位相構造等を意識して操作する必要がある、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に有利な点があり、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に用いられるマーチンキューブス法 (MC 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。

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 MC 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 MC 法で生成したメッシュを 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、MC 法で生成し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。

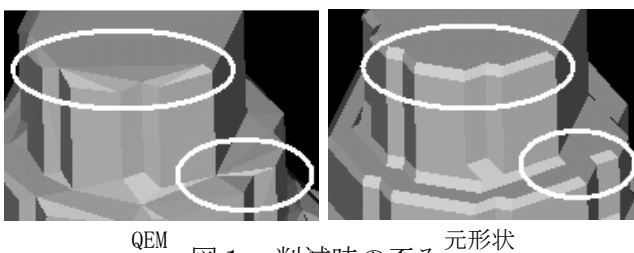


図 1 削減時の歪み

これは、与えられたメッシュが 2 値ボクセルから MC 法によって生成されたものであるため、形状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しかないことが原因である。そのため、QEM 法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、特徴部分が削減される場合が起こる。

この問題を解決するためには、特徴部分を抽出して意図的に残す必要がある。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ことが考えられる。

しかし、MC 法では二面角は特定の数パターンしか出現しない。また、MC 法は形状を意識してメッシュを生成する手法ではないため、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られる。そこで、本研究では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、MC 法により得られたメッシュの頂点に対応する部分を特徴点とする。メッシュを整形する際に、得られた特徴点で構成されるエッジを固定することにより、形状の特徴を維持する。

2.1 特徴ボクセル抽出

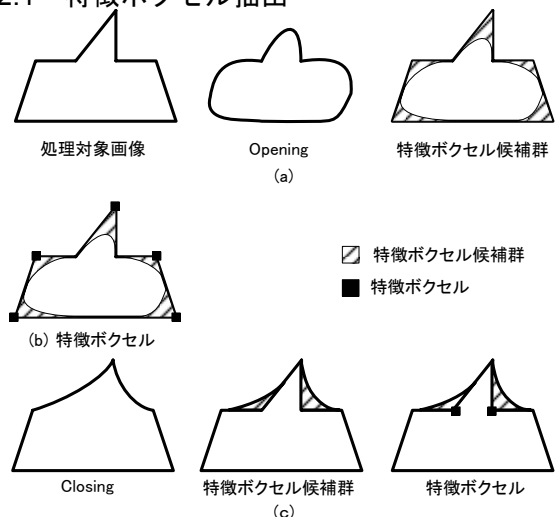


図 2 特徴ボクセル抽出

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。次に、Opening の結果画像と元画像で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。続いて、得られた距離値を重みとして、あるボクセルの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。結果は同図(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。Closing 処理では、凹の部分の特徴を抽出することが出来る。結果は同図(c)のようになる。ただし、Closing を用いた場合は特徴ボクセルが外部に抽出される。そこで、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。

次に、構造要素を可変にして以上の手順により抽出した特徴ボクセルを合成し、合成された特徴ボクセルのうち、距離値がある閾値以下のものを除外する。これにより、同時に抽出される可能性のある本来特徴と判断されないノイズを除去する。

2.2 アスペクト比の評価

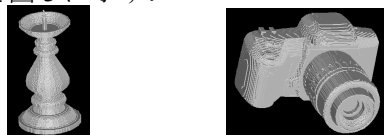
変換後のメッシュはできるかぎり歪みの少ないほうが良い。そこで、三角形面のアスペクト比を QEM 法の評価に加える。QEM 法で求める評価値を Q_{cost} とすると、求める評価値 Q'_{cost} は式 (1) のようになる。

$$Q'_{cost} = Q_{cost} - ASP_{average} \dots (1)$$

ここで、 $ASP_{average}$ は評価対象の稜線削除後の頂点に接続する面のアスペクト比の平均である。

3. 実験と考察

提案手法の有効性を検証するために用いた実験形状の一例を図 3 に示す。



(a) candlestand (b) camera

図 3 実験形状

ボクセル形状の表面を構成する面から 0.5 ボクセルの範囲を許容誤差として、特徴ボクセル抽出時の構造要素の大きさを固定した場合（固定）と可変にした場合（可変）、及び構造要素を可変にしたものにアスペクト比の評価を入れた場合（ASP）の三種類について評価を行った。評価は、整形後の面数と変換後のメッシュのアスペクト比について行った。許容誤差を 0.5 ボクセルとした理由としては、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、構造要素には球を用いた。球

の半径は、固定の場合は Opening では 3、Closing では 2 とし、可変の場合は 1 ~ 4 に変化させた。その結果を表 1,2 に示す。

表 1 candlestand (面数: 165,976)

	特徴点数	面数	アスペクト比 (平均)	削減率(%)
固定	4,553	11,990	0.17279	7.22
可変	4,897	12,966	0.17553	7.81
ASP	4,897	13,014	0.18833	7.84

表 2 camera (面数: 299,888)

	特徴点数	面数	アスペクト比 (平均)	削減率(%)
固定	11,862	18,772	0.16696	6.25
可変	13,862	20,042	0.17255	6.68
ASP	13,862	20,372	0.18467	6.79

どちらの形状も面数を約 90%以上削減できている。表 1 は平面をあまり含まない形状の傾向を、表 2 は平面を多く含む形状の傾向を示している。2 つの表から、形状の傾向に関係なく抽出した特徴点は特徴部分のみを固定できていると考えられる。また、アスペクト比についても形状の傾向に関係なく考慮に入れるほうが良いといえる。さらに、特徴ボクセルを可変にして合成したほうが特徴頂点が増加するにもかかわらず、アスペクト比の平均は若干上昇していることから、より形状の特徴を固定できていると考えられる。また、頂点の価数についても実験を行ったが、2 形状共にアスペクト比の悪化が見られた。

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、MC 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。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、頂点の価数を考慮したときの効果的な評価法、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, 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