

メッシュモデルを用いた形状近似における品質評価法

宮田 高道, 堀田 裕弘, 村井 忠邦
富山大学 工学部 電気電子システム工学科

〒930-8555 富山市五福 3190

TEL: 076-445-6758, FAX: 076-445-6759

E-mail: horita@ecs.toyama-u.ac.jp

あらまし: 三角形メッシュを使用して3次元の物体形状を表現する Marching Cubes 法は、3次元物体をデジタルコンテンツとして取り扱う場合の有名なモデリング技術である。三角形メッシュを用いて3次元の物体形状を表現しても、その情報量は膨大である。その結果、これらをデータ圧縮か単純化表現を実行することが必要となる。しかしながら、情報圧縮および単純化表現を実行した後、どれ位、原物体形状を保持しているかを主観的に評価することは困難である。本稿の目的は、形状近似によって3次元物体の知覚的な劣化を評価する方法の確立である。

キーワード: マーチングキューブ法, 3次元物体, 形状近似, 主観評価

Quality Evaluation Method for Shape Approximation using Mesh Model

Takamichi Miyata, Yuukou Horita, Tadakuni Murai
Department of Electrical and Electronic Engineering,
Faculty of Engineering, Toyama University

3190, Gofuku, Toyama 930-8555, Japan

TEL: 076-445-6758, FAX: 076-445-6759

E-mail: horita@ecs.toyama-u.ac.jp

Abstract: The Marching Cubes method which expresses 3-dimensional shape using triangle meshes is a well-known modeling technology in the case of dealing with 3-dimensional object as digital contents. Even if it expresses 3-dimensional shape by using triangle meshes, the amount of information is huge, so that it is necessary to carry out the data compression or simplification representation. However, after performing information compression and simplification expression, it is difficult to evaluate subjectively which holds the shape of original object. The purpose of this paper is establishing the method which evaluates the visible degradation of the 3-dimensional object by shape approximation.

keywords: Marching Cubes method, 3 dimensional object, shape approximation, subjective evaluation

1 まえがき

現在、3次元形状の表現方法としては、ボクセルデータやメッシュモデルによる表現などがよく知られている。特にメッシュモデルは、物体形状の表面を微小な多角形（パッチ）の面の集まりとして多面体で近似する手法であり、VR(Virtual reality)、CAD(Computer Aided Design)などの分野において幅広く応用されている [1]。

しかし、作成されたメッシュモデルを3次元デジタルコンテンツとして表示・索引付け・内容検索等に用いようとした場合、その情報量そのものが問題となってくる。そのために、3次元データの簡略化表現やデータ圧縮が必要不可欠となってくる [2, 3]。このようなデータ圧縮や簡略化表現を行った場合、物体本来の形状をどれだけ正確に表現しているかが問題であり、特に、主観的な物体形状の受け止められ方を数値化することが必要である。これは、3次元物体のデータベースを構築する場合においても、ユーザの要件を満足するデータ圧縮や簡略化表現を実現する上で重要である。

現在のところ、物体形状の近似(類似)度の評価は、主観的に行っているのが実情である。しかしながら、正確な主観評価データを得るには多くの時間と労力が必要であり、データ圧縮や簡略化表現の程度を効率的に評価するためには、客観的な評価法の構築が必要不可欠であると思われる。

本研究では、マーチングキューブ法を用いて、原形状(ボクセルデータ)をメッシュモデルによって表現し、原形状とメッシュモデルから得られる特徴量と、評価実験により得られたMOS(主観オピニオン評点)との間の関係を求めることで、メッシュモデルの品質の客観的な評価尺度の構築を目指す。

2 マーチングキューブ法について

マーチングキューブ法は、レンジファインダ等によって得られた3次元測定データやボリュームデータから、メッシュモデルを生成するためのアルゴリズムとして良く知られている [4, 5, 6]。

この方法は、対象の物体の置かれた空間に3次元格子を置き、その各格子点から物体までの距離を計算して格子点の値とする。さらに、距離が0となる点を内分により求め、それらの点をつなぐような三角形を作れば、対象の物体の形をメッシュモデルに

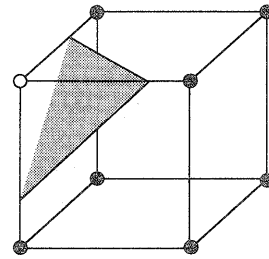


図1: マーチングキューブ法

より近似することが出来る。図1は、この様子を格子点内の一つの立方体に注目して示したもので、物体内部の点を黒点、外部の点を白点として表示している。

この手法の特徴は、単位立方体の格子点における、黒点と白点の全ての配置パターンに対して三角面による補間方法をあらかじめ決めておくことで、高速な処理が可能な点にある。また、格子点間の距離(セルサイズ)の大きさによって、生成されるメッシュモデルの精度が変化する。

3 主観評価実験

3.1 評価対象

原形状として4種類の3次元2値画像(ボクセルデータ)を用意し、それぞれをレンダリングしたものを原画像として用いる。それぞれの原形状について、マーチングキューブ法における3次元格子の一边の大きさ(セルサイズ)を12段階(2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 18)と変化させてメッシュモデルを作成し、それらをレンダリングしたものを評価画像とする。

4種類の原画像を図2から図5に示す。また、形状4をマーチングキューブ法によって、セルサイズ4と8で近似した評価画像を図6、図7に示す。今回の主観評価実験における評価対象は、評価画像に原画像を加えた、合計52枚の画像である。

3.2 評価条件

主観評価法としては、結果の解釈が容易であることから、評価尺度法を用いた。また、評価尺度とし



図 2: 形状 1 : 球

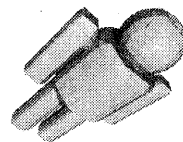


図 6: 形状 4, セルサイズ=4

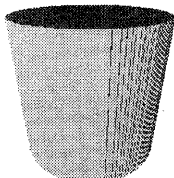


図 3: 形状 2 : 円筒

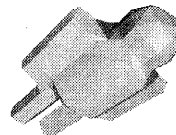


図 7: 形状 4, セルサイズ=8

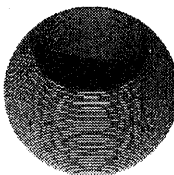


図 4: 形状 3 : 球 - 円筒

表 1: 5段階評価尺度

品質	評価語
5	(劣化が) わかからない
4	(劣化が) わかるが気にならない
3	(劣化が) 気になるが邪魔にならない
2	(劣化が) 邪魔になる
1	(劣化が) 非常に邪魔になる

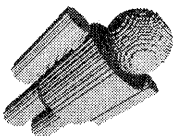


図 5: 形状 4 : 人形

3.3 実験回数に対する考察

評定者の実験回数が評価結果に及ぼす影響について調べるため、一人の評定者に対して評価実験を 10 回行った、その結果の一例を図 8 に示す。横軸は実験回数、縦軸は形状 1 の全セルサイズの評価画像に対する評価値の平均値である。

同じセルサイズに対する評価値は、実験回数が増すごとに小さな値になる傾向があるが、これは実験回数を増すことで評定者の評価が厳しくなることを示しているものと思われる。また、実験回数が 8 回を越えると、評価値はほぼ一定の値に収束している。これらの結果から、評定者一人あたりの評価実験の回数を 10 回行った評価値を採用した。

て、表 1 に示すような 5 段階評価尺度を用いている。

評定者は、ディスプレイの左側に原画像、右側に表示される評価対象とを見比べ、評価尺度の中から評価対象の評価値を決定する。実験 1 回につき 5 2 枚すべての画像が表示される。その順番はランダムであり、実験毎に異なっている。

また、主観評価実験の実験条件を表 2 に示す。

表 2: 主観評価実験の条件

評価画像	4 種類 13 水準
視距離	3H
評定者数	7 名
評価尺度	5 段階評価尺度

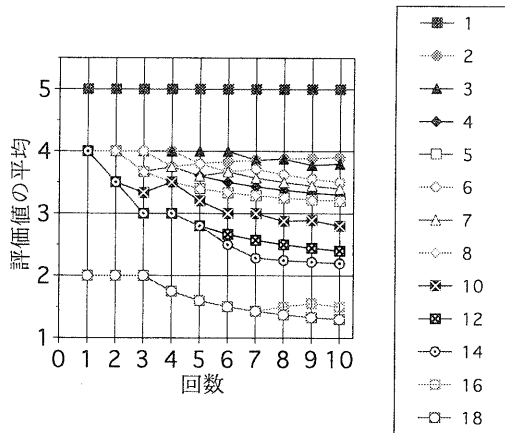


図 8: 評価者の実験回数ごとの評価値

3.4 形状ごとの評価値のばらつき

評価値のばらつきが、形状によって異なるかどうかについて調べるため、7人の評定者に対し10回の評価実験を行い、評価値の個人間ばらつき(標準偏差)とそのセルサイズとの関係を調べた。その結果を図9に示す。

この図からセルサイズが小さい場合と極端に大きい場合では評価がしやすいのでばらつきが少ない。逆に、セルサイズが中程度では評価に個人差があることが示されている。また、形状3は他の形状に比べて相対的にばらつきが多いが、これはセルサイズを大きくした場合に知覚される劣化が他の形状よりも大きいと考えられる。

3.5 評価実験の結果

最終的な主観評価実験の結果を図10に示す。なおセルサイズが1の場合の結果は原画像である。

5段階評価尺度においては、MOSの値が4.5、3.5

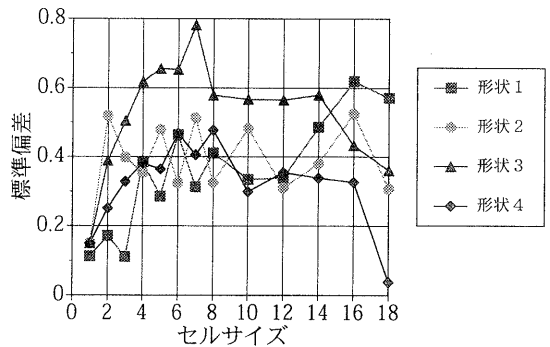


図 9: 主観評価値の標準偏差

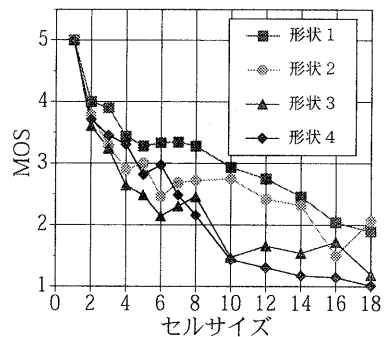


図 10: 主観評価実験の結果

となる付近のグラフの様子が重要となるが、今回の実験では、原画像以外ではMOS=4.5付近(検知限)を越える評価対象が存在しない。これは、マーチンキューブ法における最高の品質であるセルサイズ=2で近似したとしても、品質の劣化が評定者にはつきり分かってしまうことを示している。また、MOS=3.5(許容限)付近の様子から、セルサイズが2及び3であればほとんどの形状において評定者が劣化を許容できるということになる。

また、セルサイズ10付近で形状によるMOSの差が特に顕著となっているが、これは表面が滑らかで連続している形状1と形状2にくらべ、形状3と形状4は形状の表面に大きな起伏があり、画質の劣化がより分かりやすいことに起因するものと思われる。

4 品質評価法

これまで述べたように、メッシュモデルの品質を主観評価によって求めるためには、非常に多くの労力や時間が必要となる。また、マーチングキューブ法におけるセルサイズからだけでは、生成されるメッシュモデルの品質を推測するのは困難である。

よって、メッシュモデルの効率的な生成のためには、原形状とメッシュモデルから得られる特徴量を用いて、我々が知覚する主観的な品質を得ることが出来る品質評価法の構築が不可欠であると思われる。

4.1 不一致ボクセル数

品質と対応するような特徴量として、今回は不一致ボクセル数を用いることにした。不一致ボクセル数の計算方法は以下のとおりである。まず、メッシュモデルの存在する3次元格子空間中の各格子点が、メッシュモデルの内部にあるか外部にあるかを計算によって求めることで、メッシュモデルをボクセルデータの形になおす。次にそのボクセルデータと原形状との間で差分をとり、その際の誤差の合計が不一致ボクセル数となる。

不一致ボクセル数とMOSとの関係を明らかにするために、すべての形状、セルサイズ（原型上を除く）において不一致ボクセル数を計算し、形状ごとにグラフにしたものが図11から図14である。これらのグラフから明らかのように、不一致ボクセル数とMOSの間には負の相関関係があるといえる。

4.2 線形回帰モデル

不一致ボクセル数とセルサイズを独立変数、MOSを従属変数として重回帰分析を行い、偏回帰係数を求めた。また、全形状およびそれぞれの形状について推定された評価値とMOSとの間の相関係数、平均誤差及び最大誤差を求めた。それらを表3に示す。さらに、全形状及びそれぞれの形状について横軸をMOS、縦軸を推定された評価値としたときの分布図を図15から図19に示す。

これらより単純な物体である形状1や形状2ではセルサイズの大小にあまりかわかわらず比較的推定が行えているが、より複雑な形状である形状3や形状4では推定誤差が大きいことがわかる。

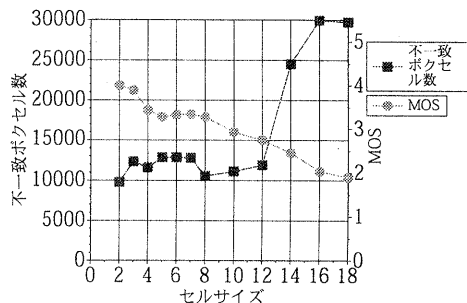


図 11: 形状 1 : 球

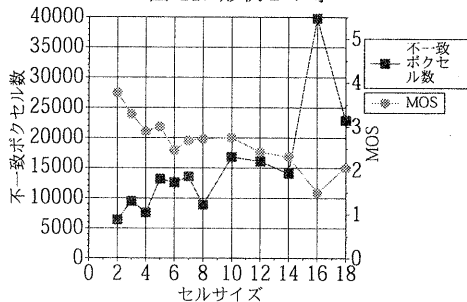


図 12: 形状 2 : 円筒

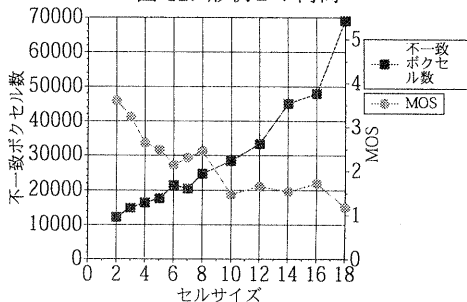


図 13: 形状 3 : 球 - 円筒

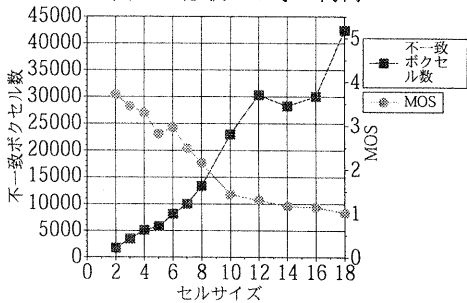


図 14: 形状 4 : 人形

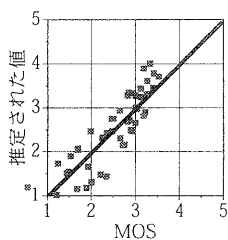


図 15: 全形状

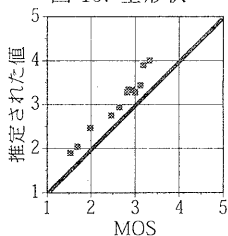


図 16: 形状 1

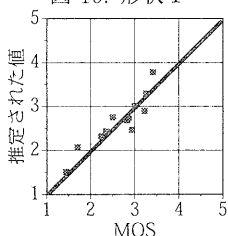


図 17: 形状 2

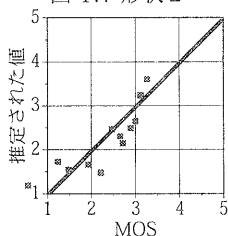


図 18: 形状 3

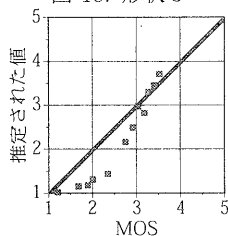


図 19: 形状 4

表 3: 線形回帰モデルの性能評価

形状	相関係数	最大誤差	平均誤差
形状 1	0.98	0.71	0.43
形状 2	0.92	0.47	0.19
形状 3	0.86	0.74	0.36
形状 4	0.96	0.91	0.40
全形状	0.86	0.91	0.34

5 むすび

本稿では、メッシュモデルによって近似表現された 3 次元形状の品質劣化に関する客観的な評価モデルの構築を検討した。特徴量として、メッシュデータをボクセルデータに直したものと原形状との差分を用いることで、簡単な形状に対しては推定精度が良いことがわかった。今後、特徴量を増やすことによる推定精度のさらなる向上や、メッシュの単純化アルゴリズム等への適用などが検討課題である。

参考文献

- [1] 鈴木宏正, "3次元メッシュモデルの生成と表現", 情報処理, vol.41, No.10, pp.1103-1107 (Oct. 2000)
- [2] 金井 崇, "表示・編集・圧縮のための多重解像度表現技術", 情報処理, vol.41, No.10, pp.1108-1112 (Oct. 2000)
- [3] 大淵竜太郎, "インターネット流通を目指した圧縮と透かしの技術", 情報処理, vol.41, No.10, pp.1113-1118 (Oct. 2000)
- [4] Bloomenthal J. eds.: "Introduction to implicit surface", Morgan Kaufmann Pub. (1997)
- [5] Lorensen W.E., Cline H.E.: "Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm", Computer Graphics, Vol.21, pp.163-169, (1987)
- [6] 剣持雪子, 小谷一孔, 井宮 淳, "点の連結性を考慮したマーチングキューブ法", 信学技報, PRMU98-218, pp.197-204 (Jan. 1999)