

面心立方格子上的ボリュームデータからの 等値面パッチ生成手法の性能評価

名古屋大学大学院情報科学研究科 正会員 高橋 友和

目加田 慶人

村瀬 洋

茨城大学工学部情報工学科

米倉 達広

(あらまし) 本論文では、面心立方格子上に標本化されたボリュームデータからの等値面パッチ生成手法に関する性能評価を行う。具体的には、メタボール曲面を対象とし、MC法により得られる等値面と、面心立方格子上のボリュームデータを扱うFCC法とその改良手法により得られる等値面の実際の曲面に対する誤差を実験的に計測し、比較を行った。改良FCC法はFCC法により生成される等値面の頂点位置に関するスムージング処理を行うものと考えられ、実験の結果、それが実際の等値面に対する誤差のばらつきを減少させることを示した。また、実際のCTデータに対して、FCC手法、改良FCC手法を適用し、等値面の誤差、計算時間、得られる等値面の外観の点において評価を行った。その結果、改良FCC法はMC法と比較して、より少ない計算時間で、同等な誤差を持つより滑らかな等値面を生成することを示した。

キーワード：等値面、ボリュームデータ、面心立方格子、マーチングキューブス法、誤差評価

(Summary) In this paper, we evaluate the performance of the method for isosurface generation from volumetric data sampled with a face-centered cubic lattice. First, we made a comparison among FCC method and its modified method and MC method in terms of the error between a *metaball* surface and the resulting surface. Thus, it was shown that the modified FCC method decreases the dispersion of the error by smoothing vertex locations. Second, we applied these two FCC methods to medical CT data, and compared the error of resulting surfaces, the computational costs, the appearances of the surfaces with the MC method. As a result, the modified FCC method generated smoother isosurfaces in less cost with almost the same error as the MC method.

Key words: isosurface, volumetric data, face-centered cubic lattice, Marching Cubes method, error evaluation

1. はじめに

ボリュームデータから等値面を生成する手法は、CTデータの3次元可視化や陰関数表現による任意形状のモデリング等の有用な手段として、医用、造型、CG等の幅広い分野において用いられている。等値面とは、適当なしきい値を定めることによって形成される対象領域の

境界面を指し、一般に微細な3角形の集合からなるパッチモデルとして多面体近似される場合が多い。これに関して現在までに数多くの手法が提案されている。中でもMarching Cubes (以後、MCと略記) 法¹⁾は、アルゴリズムが簡素であり、高速で、線形補間によって比較的良好な形状の等値面を得ることができるため、最も一般的に用いられ、多くの関連手法が提案されている^{2)~9)}。

一般にボリュームデータは、立方格子上の格子点を標本点として標本化される。MC法は、隣接する8つの格子点を頂点とする立方体によって空間を分割し、分割された立方体内部に等値面パッチを生成するものである。MC法ではこの立方体をセルと呼ぶ。

一方、上で述べたMC法やその関連手法が一般の立方

“Performance Evaluation of a Method for Isosurface Generation from Volumetric Data Sampled with a Face-centered Cubic Lattice” by Tomokazu TAKAHASHI (Member), Yoshito MEKADA, Hiroshi MURASE (Graduate School of Information Science, Nagoya University), and Tatsuhiro YONEKURA (Department of Computer and Information Science, Ibaraki University).

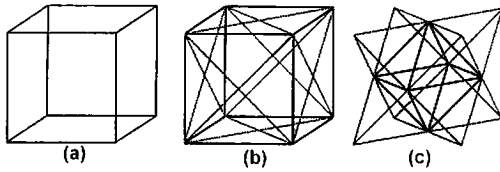


図1 単純立方格子と面心立方格子
Fig. 1 Structures of simple cubic lattice and face-centered cubic (FCC) lattice

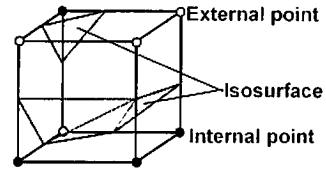


図2 MC法における立方体セル
Fig. 2 A cubic cell of MC method

格子上的ボリュームデータを扱うのに対し、面心立方格子 (Face-centered cubic lattice) 上に標本化されたボリュームデータから等値面パッチを生成する2つの手法が提案されている^{9,10}。以後、面心立方格子と区別する目的で、一般の立方格子のことを単純立方格子と呼ぶ。図1(a)に単純立方格子を示し、(b)に面心立方格子を示す。文献9)において提案された手法は、パッチ生成の際に面心立方格子上の隣接する4つの格子点からなる正4面体と6つの格子点からなる正8面体の2種類の多面体セルを用いるものである。以後、この手法をFCC法と呼ぶ。図1(c)は、正8面体とそれに隣接した8つの正4面体を示している。面心立方格子の場合、空間はこれらの2種類の多面体により分割される。FCC法に関しては、MC法ならびにその関連手法とのアルゴリズムに関する定性的な比較、及び生成されるパッチの形状に関する定量的な評価が行われている¹¹。また、文献10)において提案された手法はFCC法の改良手法であり、等値面パッチの各頂点をFCC法により生成される各セル内のパッチの幾何重心とするものである。これは、等値面の頂点位置に関する一種のスムージング処理と考えることができる。この処理により、正三角形に近い形状の大きさの揃ったパッチが多く生成され、結果として、得られる等値面の外観の滑らかさを向上させる効果が期待される。以後、このFCC法の改良手法を改良FCC法と呼ぶ。

等値面をパッチモデルとして近似する手法を評価する場合、近似された等値面の実際の等値面に対する誤差は、最も重要な評価指標の1つである。しかし、これら2つの手法について、得られるパッチの形状と等値面の外観の滑らかさに関する評価は行われているが、現在まで、実際の等値面との間の誤差に関する評価は行われていない。そこで、本論文ではFCC法と改良FCC法に関する性能評価として、メタボール曲面と実際のCTデータからの等値面に対する各手法による等値面の誤差評価を行う。このうち、実際のCTデータに対して、FCC法と改良FCC法を適用したのは、本論文が初めてである。

次章からは、本論文において誤差評価の比較対象としたMC法、FCC法、改良FCC法について簡単に説明し、

2種類のメタボール曲面に対する各手法による等値面の誤差評価と、実際のCTデータに対する各手法の性能評価を順に行う。

2. 等値面パッチ生成手法

2.1 MC法

MC法は、単純立方格子上に標本化されたボリュームデータからの最も一般的な等値面パッチ生成手法である¹²。MC法による各等値面パッチは、図2のように単純立方格子上の隣接8格子点を頂点とする立方体セルの内部に生成される。立方体セルの1辺の両端に位置する2つの格子点のうち、一方があるしきい値によって分離された対象領域の内部に存在し、他方が外部に存在するとき、そのような格子点の対を境界対と呼ぶ。MC法では、パッチの頂点は境界対を両端点とする各辺上に生成される。このとき、その頂点位置は境界対をなす各格子点の位置、それらが持つ値、およびしきい値から線形補間によって決定される。立方体セルの8頂点に対する内部点、外部点の配置、ならびにその配置を持つセルの内部におけるパッチ生成パターンは256パターン存在するが、それらは立方体セルの回転、対称、および内外の反転を考慮することにより、15通りの基本パターンから作成できる。MC法では、セル内のパッチ生成に関する256パターンのテーブルを予め作成しておくことにより、テーブルマッチングを用いた高速な等値面パッチ生成が可能である。

しかし、これら15通りの基本パターンを用いるオリジナルのMC法では、セルの頂点の内外反転を考慮しているため、隣接するセルの共有面において内部点と外部点が対角線上に配置している場合、パッチの向きに不整合が生じ、等値面に位相的な穴が開いてしまうことが知られている。この等値面の位相に関する問題に対して様々な解決手法が提案されている⁹。文献5)では、セルの回転、対称のみを考慮し、内外の反転を考慮しない22の基本パターンを用いることにより、この問題の解決を図っており、本論文で扱うMC法では、この22通りの基本パターンを利用して256パターンのテーブルを生成することにより、この問題の解決を図った⁸。

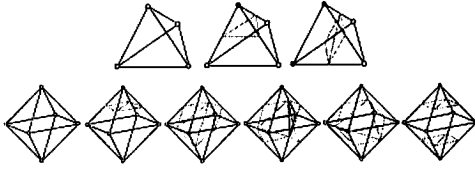


図3 FCC法におけるパッチ生成パターン
Fig. 3 Basic triangulations of FCC method

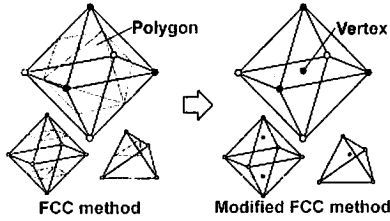


図4 改良FCC法による頂点位置の算出
Fig. 4 Vertex definition of modified FCC method

2.2 FCC法

FCC法は、面心立方格子上に標準化されたポリウムデータから等値面パッチを生成する手法である。FCC法では、面心立方格子上の隣接する4つの格子点からなる正4面体と6つの格子点からなる正8面体の2種類の多面体セルを用いる。各多面体セル内部におけるパッチ生成は、MC法における立方体セル内部におけるパッチ生成と同様な方法で行われる。正4面体セルの場合、その内部におけるパッチ生成は16パターン存在し、それらは3通りの基本パターンから生成され、正8面体セルは64パターンのパッチ生成パターンを持ち、それらは6通りの基本パターンから生成される(図3)。FCC手法に関する詳細は文献^{9,11)}に譲る。

2.3 改良FCC法

改良FCC手法において用いられる多面体セルは、FCC手法におけるそれらと同じ正4面体セルと正8面体セルである。しかし、パッチの頂点位置の算出方法はFCC手法と異なる。FCC手法が多面体セルの辺上に線形補間を用いてパッチの頂点を生成するのに対し、改良FCC手法におけるパッチの頂点位置はFCC手法によって各多面体セルの辺上に得られる頂点群の幾何重心として算出される(図4)。このため、MC法とFCC法が多面体セルの内部に3角形パッチを生成するのに対し、改良FCC法によって生成される各3角形パッチは、複数のセルに跨って生成される。図5は、1対の境界対を共有する4つの多面体セルに跨って生成された2つの3角形パッチを示している。改良FCC法では、このように1対の境界対に対して、2つの3角形パッチが生成され、各3角形パッチ

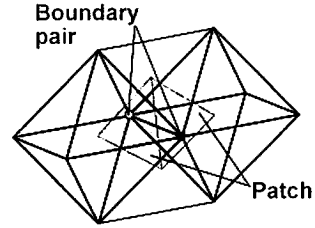


図5 改良FCC法によるパッチ生成
Fig. 5 Patch generation of modified FCC method

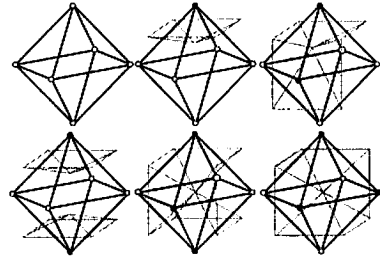


図6 改良FCC法におけるパッチ生成パターン
Fig. 6 Basic triangulations of modified FCC method

は、必ず1つの正8面体セルとそれに隣接する2つの正4面体セルの内部に頂点を持つ。改良FCC手法の場合も他の手法と同様に、正8面体セルの6つの頂点に対する内外配置と、隣接する正4面体セルを含めた正8面体セル近傍におけるパッチ生成パターンの対応を記述したテーブルを予め用意しておくことにより、等値面構成に要する計算コストの削減を図ることができる。このテーブルは図6に示す6通りの基本パターンを用いて作成できる。これらは、FCC手法における図3の正8面体セルに対する6通りの基本パターンにそれぞれ対応する。改良FCC手法の詳細は、文献¹⁰⁾に譲る。

3. メタボール曲面に対する誤差評価

3.1 実験方法

メタボールにより発生させた連続な値の分布からMC法、FCC法、改良FCC手法によって等値面を生成し、実際のメタボール曲面との誤差を計測する実験を行った。具体的には、実際のメタボール曲面上に1万個の点をランダムにサンプリングし、それらの点から各手法による等値面までの距離を誤差として計測し、その平均誤差、標準偏差、そしてRMS誤差を用いて誤差評価を行った。MC法においてパッチの頂点は立方体セルの辺上に生成されるため、理論上の誤差の最悪値をEで表すとき、Eは立方体セルの辺の長さとなる。本実験では誤差の許容範囲に関する1つの指標としてE/2を用いた。この値よ

表1 球面形状のメタボール曲面に対する誤差
Table 1 Experimental results for a spherical surface

解像度	手法	$e \geq E/2$	平均 (標準偏差)	RMS	バッチ数	Time [ms]
Low	MC	97	0.148 (0.186)	0.238	620	2.03
	FCC1	11	0.117 (0.154)	0.193	1,472	3.91
	FCC2	0	0.149 (0.121)	0.192	1,476	2.97
Middle	MC	70	0.065 (0.102)	0.120	1,496	5.31
	FCC1	7	0.049 (0.077)	0.091	3,416	9.51
	FCC2	0	0.060 (0.062)	0.086	3,420	7.65
High	MC	34	0.027 (0.049)	0.056	3,284	17.50
	FCC1	5	0.021 (0.040)	0.045	7,412	28.59
	FCC2	0	0.027 (0.029)	0.040	7,416	23.75

表2 複雑な形状のメタボール曲面に対する誤差
Table 2 Experimental results for a complicated surface

解像度	手法	$e \geq E/2$	平均 (標準偏差)	RMS	バッチ数	Time [ms]
Low	MC	380	0.231 (0.313)	0.389	12,244	20.47
	FCC1	97	0.242 (0.269)	0.362	27,404	48.13
	FCC2	49	0.214 (0.242)	0.323	27,400	33.90
Middle	MC	178	0.103 (0.163)	0.193	27,268	58.12
	FCC1	24	0.109 (0.143)	0.180	61,316	126.88
	FCC2	5	0.097 (0.127)	0.160	61,296	88.75
High	MC	91	0.046 (0.084)	0.096	61,676	173.13
	FCC1	14	0.049 (0.077)	0.091	136,712	335.00
	FCC2	3	0.042 (0.062)	0.075	136,684	255.16

りも大きな誤差を持つ場合、その点を実際の等値面から大きく外れた点であると言える。この実験では、単一のメタボールにより生成される単純な球面形状の等値面、ならびに複数のメタボールにより生成される複雑な形状を持つ等値面の2種類の等値面を対象とした。

等値面バッチは、格子点上に標準化された離散的な情報のみを用いて生成される。そのため、実際の等値面に対する誤差は、ボリュームデータの解像度、すなわちボリュームデータの標本点となる格子点の密度と大きく関係する。そこで、本実験ではボリュームデータを作成する際、単純立方格子と面心立方格子の2種類の格子形状に対して、格子点の密度を均一にするために、文献10)と同様に、各格子の格子点が形成するボロノイ多面体の体積が等しくなるように各格子の格子点間隔を調整した。そのようにして各格子上に標準化した3段階の異なる解像度のボリュームデータに対して実験を行った。

3.2 結果と考察

2種類のメタボール曲面に対する各手法による等値面

に関して、誤差を測定した1万個の点のうち、その点における誤差がその解像度でのMC法における許容誤差E/2よりも大きくなった点の数と、平均誤差、標準偏差、ならびにその際に生成されたバッチ数を表1、2に示す。このとき、平均誤差、標準偏差は、各メタボール曲面に対して、最も高い解像度の場合のMC法における立方体セルの1辺の長さを1.0として算出した。また、等値面生成に要した時間を計測した。単位をミリ秒とし、ボリュームデータ生成、ならびにレンダリングに要した時間は含まないものとし、100回計測したときの平均時間を示すものとする。表中では、FCC法をFCC1で表し、改良FCC法をFCC2で表すものとする。

平均誤差に関しては、球面形状の等値面の場合、FCC法による等値面の場合が最も小さくなり、MC法の場合と改良FCC手法の場合がほぼ等しくなった。複雑な形状の等値面の場合は、僅かな差ではあるが、改良FCC法による等値面の場合において最小となり、FCC手法の場合に最大となった。改良FCC法はバッチの頂点位置を算出

する際に、FCC法の頂点位置の情報を用いる。しかし、表1と表2を比較すると、両手法間の平均誤差の大小関係には相違が見られた。改良FCC法は、FCC法による頂点の幾何重心位置に頂点を生成するため、凸形状の面を近似する際には、必ずFCC法による等値面に内接するように等値面を生成する。凸形状のみで形成される球面場合、改良FCC法はFCC法による等値面よりも、一回り小さい球面形状の等値面を生成したために、表1に示すように平均誤差が増加したと考えられる。このように、FCC法による頂点の位置に関する誤差が小さい場合であっても、改良FCC法による頂点位置の誤差が大きくなる場合があると言える。

誤差のばらつきに関しては、どちらの曲面を対象とした場合にも、改良FCC法の場合に最小となり、MC法の場合に最大となった。また、パッチ数に関しては、FCC法と改良FCC法がほぼ同数のパッチを生成し、それらは、MC法が生成するパッチの数の2倍以上であった。一般に、各頂点位置の誤差が十分に小さいならば、頂点数を増加させることにより等値面の誤差やそのばらつきは減少する。表1、2に示すようにFCC法の標準偏差がMC法の場合より小さくなったのは、MC法の2倍以上の頂点を生成したためと考えられる。また、一般に、等値面の誤差は頂点分布が疎となる場所において大きくなり、密となる所で小さくなると考えられる。改良FCC法は、他の2手法と比較して正3角形に近い形状の大きさ揃ったパッチを多く生成するため、頂点の分布の仕方に偏りが少ない。その結果、誤差のばらつきが減少したと考えられる。

また、RMS誤差に関しては、どちらの曲面についても改良FCC法の場合が最も小さいという結果となった。

文献10)では、各格子上的ポリウムデータの解像度を均一とした場合のMC法、FCC法、改良FCC法による等値面の主観評価が行われていたが、このような主観評価を行う場合には、各手法による等値面のパッチ数を均一とする方が自然である。そこで、表1、2においてパッチ数がほぼ等しい解像度MiddleのMC法による等値面と、解像度LowのFCC法、ならびに改良FCC法による等値面のシェーディング結果をそれぞれ図7、8に示す。ただし、図8に関しては、MC法と改良FCC法の場合のみを示すものとする。図7より、改良FCC法による等値面が3手法中最も見え方が滑らかであるように思われる。MC法やFCC法による等値面には、直線的な角や局所的な凹凸が随所に現れている。一方、改良FCC法による等値面にはこれらの凹凸がほとんど見られず、形状が滑らかである。図8に関しても、改良FCC法による等値面のほうが、MC法の等値面よりも滑らかであるように思われ

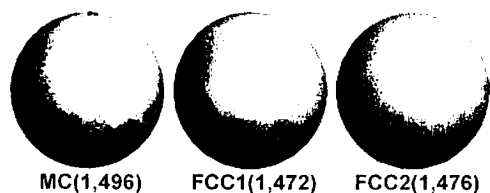


図7 球面形状の等値面 (括弧内はパッチ数)
Fig. 7 Resulting surfaces for a spherical surface

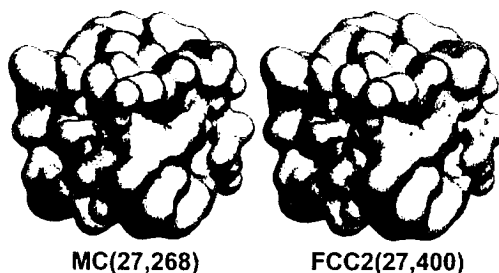


図8 複雑な形状の等値面 (括弧内はパッチ数)
Fig. 8 Resulting surfaces for a complicated surface

る。表1、2より、このときの等値面の誤差は、ポリウムデータの解像度の違いから、改良FCC手法の方が、MC法の場合よりも大きい。それにもかかわらず、改良FCC手法の等値面の外観が滑らかとなるのは、やはり文献10)で示されているように、改良FCC法が正3角形形状に近い、大きさ揃った3角形パッチを多く生成するためであると言える。

計算時間に関しては、改良FCC法はMC法より長くFCC法よりも短いという結果になった。一般に等値面生成に要する計算時間はパッチ数と標本点の個数に依存すると考えられるが、本実験で使用した3手法はテーブルマッチングによる高速なパッチ生成を行っているため、パッチ数よりも標本点の個数の方に大きく依存する結果となった。本実験の場合、ポリウムデータの解像度が標本点の個数に相当する。改良FCC法は、FCC法によって得られる頂点の情報を利用しているにもかかわらず、改良FCC法の計算時間がFCC法と比較してより短くなったのは、FCC法が正4面体セルと正8面体セルの2種類のセルに関するパッチ生成パターンを用いるのに対し、改良FCC法は正8面体セルに関するパッチ生成パターンのみを用いるため、等値面生成の際のテーブルマッチング回数を削減できたためであると考えられる。

4. CTデータからの等値面に対する誤差評価

4.1 実験方法

実際の3次元CTデータから大腸の壁面をMC法、FCC

法、改良 FCC 法の 3 種類の手法により等値面として生成し、誤差評価を行った。前述した実験では、実際のメタボール曲面上の点と各手法により得られた等値面との間の距離を誤差としたが、本実験の場合、CT データは元々離散データであり、連続な CT 値の分布は保持されていないため、これに対して実際の等値面を定義することは不可能である。そこで、本実験では任意の点における CT 値を、その周囲の 8 格子点が持つ CT 値から 3 重線形補間を用いて内挿することにより、擬似的に連続な CT 値の分布を生成し、そこから得られる等値面を正解の等値面とした。本実験では、画素サイズ 0.664 mm × 0.664 mm、スライス間隔 1.25 mm の 3 次元医用 CT データと、隣接する 8 ボクセルが持つ CT 値を平均化することによってその CT データのデータ量を 1/8 に縮小した CT データの 2 種類の CT データを対象とした。メタボール曲面を対象とした実験と同様に、正解の等値面上に 1 万個の点をサンプリングし、それらの点と各手法により得られる等値面との間の距離を誤差として計測し、その平均誤差、標準偏差、そして RMS 誤差を用いた。また、各手法の等値面パッチ生成に要した計算時間も測定した。このとき、CT データの読み込みに要する時間、ならびに等値面パッチのレンダリングに要する時間等は含めないものとする。

CT データは、一般に単純立方格子に標準化されたボリュームデータであるため、面心立方格子上のボリュームデータを対象とする FCC 法と改良 FCC 法をそのまま適用することはできない。そこで、実験で使用する面心立方格子上のボリュームデータを単純立方格子上の CT データの部分集合として、図 9 のようにデータを間引いて作成した。この場合、データ量は 1/4 に間引かれる。このように、面心立方格子上のボリュームデータは、単純立方格子と面心立方格子のいずれか一方の格子点群が、もう一方の格子の格子点群の部分集合となるように両格子点の重ね合わせを行い、データの補間や間引きを行うことにより、比較的簡単に作成することができる。

4.2 結果と考察

CT データの 3 重線形補間等値面に対する各手法による等値面の平均誤差、標準偏差、パッチ数、ならびにパッチ生成に要した計算時間を表 3 に示す。平均誤差、標準偏差の単位は mm であり、計算時間の単位は秒である。表中の FCC1、FCC2 は、FCC 法、改良 FCC 法をそれぞれ表すものとする。オリジナルの CT データ(データ量 1/1)の場合も、データ量を 1/8 に縮小した CT データの場合も、FCC 法と改良 FCC 法による等値面の平均誤差と標準偏差は、データ量が MC 法の場合の 1/4 であるにもか

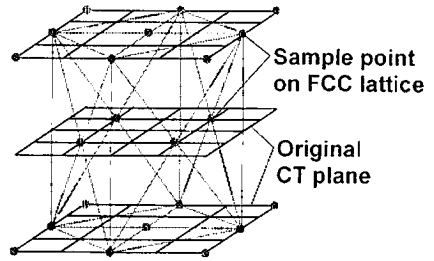


図 9 面心立方格子上のボリュームデータの作成
Fig. 9 Data re-sampling on a FCC lattice

表 3 CT データからの等値面に対する誤差
Table 3 Experimental results for CT data

データ量	手法	平均(標準偏差)	RMS	パッチ数	Time [s]
1/1	MC	0.250 (0.234)	0.342	1,522,456	32.666
1/4	FCC1	0.264 (0.238)	0.355	1,337,840	12.007
	FCC2	0.243 (0.225)	0.331	1,337,660	11.646
1/8	MC	0.495 (0.466)	0.680	346,602	4.103
1/32	FCC1	0.521 (0.473)	0.704	304,552	1.664
	FCC2	0.484 (0.447)	0.659	305,350	1.518

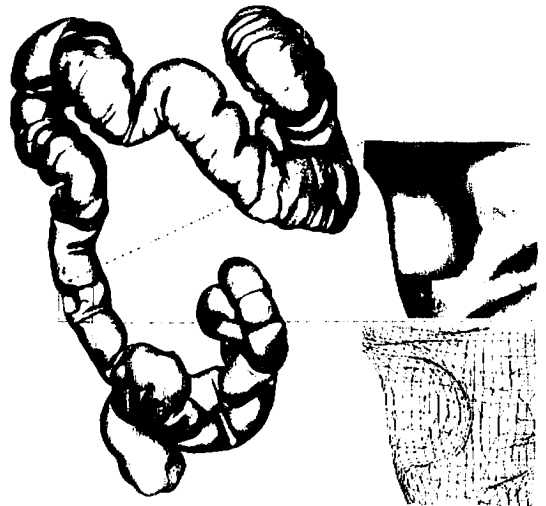


図 10 MC 法による CT データからの等値面
Fig. 10 A resulting surface obtained by MC method from CT data

かわらず、MC 法による等値面のそれらと同程度であったと言える。また、等値面パッチ生成に要する計算時間は、データ量に大きく依存していることがわかる。表中には含まれていないが、データ量を均一として比較した場合、FCC 法と改良 FCC 法の計算時間は、MC 法を用いた場合の 1.5 倍程度であった。

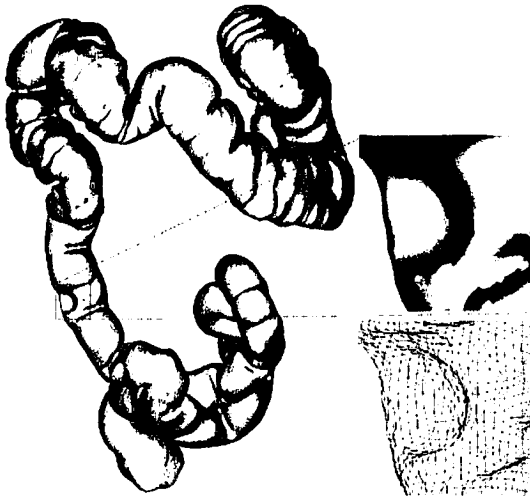


図 11 改良 FCC 法による CT データからの等値面

Fig. 11 A resulting surface obtained by modified FCC method from CT data

図 10 にデータ量 1/8 の場合の MC 法による等値面を示し、図 11 にデータ量 1/32 の場合の改良 FCC 法による等値面を示す。各図は、大腸壁面の全体像と疾病を原因として変形が生じた大腸壁面の一部分を拡大表示したものを示すものとする。大腸壁面の全体像に関しては、MC 法による等値面と改良 FCC 法による等値面の外観に際立った差異は見られなかった。しかし、等値面の一部分を拡大表示した際には、改良 FCC 法の場合の方が MC 法の場合よりも等値面の外観が滑らかな印象を受けた。以上のことから、実際の CT データからの等値面パッチ生成に関して、改良 FCC 手法は MC 法と同等な誤差を持ち、かつ外観の滑らかな等値面を MC 法よりも少ない計算時間で生成すると言える。

5. おわりに

本論文では、面心立方格子上のポリウムデータから等値面パッチを生成する FCC 法とその改良手法に関する性能評価を行った。具体的には、2 種類のメタボール曲面と実際の 3 次元 CT から得られる 3 重線形補間等値面について、MC 法、FCC 法、改良 FCC 法による等値面と実際の等値面との誤差、ならびに得られる等値面の外観の滑らかさを比較した。

改良 FCC 法は、FCC 法による等値面の頂点位置に関するスムージング処理を行うものであり、メタボール曲面を対象とした実験により、それが等値面の誤差のばらつきを減少させることを示した。また、改良 FCC 法によって得られる等値面の実際の等値面に対する誤差の平均

は、MC 法のそれとほぼ同等であることを示した。そして、各手法による等値面の外観をパッチ数がほぼ等しい条件の下で主観的に評価した。改良 FCC 法は、球面のような凸形状のみで構成される単純な曲面に対して、頂点位置の誤差が大きくなる場合があるが、その場合であっても、十分に滑らかな外観を持つ等値面を生成することを示した。また、本論文において初めて、実際の 3 次元 CT データに対して FCC 法と改良 FCC 法を適用し、改良 FCC 法は MC 法と比較して、より少ない計算時間で、同等な誤差を持つより滑らかな等値面を生成することを示した。

謝辞 日頃より熱心にご討論いただく村瀬研究室諸氏に感謝する。本研究の一部は日本学術振興会科研費、21 世紀 COE プログラム、厚生労働省がん研究助成金によった。

参考文献

- 1) W. E. Lorensen and H. E. Cline: "Marching cubes: A high resolution 3d surface construction algorithm," *Computer Graphics*, vol. 21, no. 4, pp. 163-169, Jul. 1987.
- 2) G. Wyvill, C. McPheeters, and B. Wyvill: "Data structure for soft objects," *The Visual Computer*, vol. 2, no. 4, pp. 227-234, Feb. 1986.
- 3) A. Doi and A. Koide: "An efficient method of triangulating equi-valued surfaces by using tetrahedral cells," *IEICE Trans.*, vol. E74, no. 1, pp. 214-224, Jan. 1991.
- 4) 石井智海, 安田孝美, 横井茂樹, 鳥脇純一郎: "マーチングキューブ法の改良アルゴリズムについて," *信学技報 PRU92-86*, pp. 63-70, 1992 年 12 月.
- 5) T. Nagae, T. Agui and H. Nagahashi: "Orientable closed surface construction from volume data," *IEICE Trans.*, vol. E76-D, no. 2, pp. 269-273, Feb. 1993.
- 6) A. Gelder and J. Wilhelms: "Topological considerations in isosurface generation," *ACM Trans. On Graphics*, vol. 13, no. 4, pp. 337-375, Oct. 1994.
- 7) C. Montani, R. Scateni, and R. Scopigno: "A modified look-up table for implicit disambiguation of Marching Cubes," *The Visual Computer*, vol. 10, pp. 353-355, 1994.
- 8) 高橋友和, 米倉達広, "4 種類の連結性を考慮したデジタル物体の表面構成法," *信学論*, vol. J82-D-II, no. 11, pp. 2160-2164, 1999 年 11 月.
- 9) 高橋友和, 米倉達広, 岸 義樹: "面心立方格子に基づく量子化データからの等値面構成法," *信学論*, vol. J85-A, no. 11, pp. 1313-1323, 2002 年 11 月.
- 10) T. Takahashi, Y. Mekada, H. Murase, and T. Yonckura: "High quality isosurface construction from volumetric data sampled with a face-centered cubic lattice," *Proc. of ACCV2004*, vol. 2, pp. 872-877, Jan. 2004.
- 11) 高橋友和, 米倉達広, "面心立方格子量子化データからの構成等値面の幾何学的性質," *信学論*, vol. J86-A, no. 7, pp. 806-811, 2003 年 7 月.

(2004 年 2 月 10 日受付)

高橋友和 (正会員)



平成9年、茨城大学工学部情報工学科卒業。同年、同大学大学院博士前期課程入学。平成12年、同大学院博士前期課程終了。同年、同大学院博士後期課程入学。平成15年、同大学院博士後期課程卒業。同年、名古屋大学大学院情報科学研究科 COE 研究員。現在に至る。3次元画像処理ならびに3次元モデリングの基礎研究に興味を持つ。工博。

目加田慶人



平3、名古屋大学工学部情報工学科卒業。平8、同大学大学院博士後期課程修了。同年、宇都宮大学工学部情報工学科助手。平13、名古屋大学大学院工学研究科情報工学専攻助教授。平15、同大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻助教授。平16年より中京大学生命システム工学部教授。3次元画像処理とその医用応用、信号処理などの研究に従事。博士(工学)、IEEE、電子情報通信学会、日本医用画像工学会、コンピュータ支援画像診断学会各会員。

村瀬洋



昭53、名大・工・電気卒。昭55、同大学院修士課程了。同年、日本電信電話公社(現NTT)入社。平4から1年間米国コロンビア大客員研究員。平15から名古屋大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻教授。現在に至る。工博。文字・図形・画像認識、コンピュータビジョン、マルチメディア認識の研究に従事。昭60、電子情報通信学会学術奨励賞。平4、電気通信普及財団テレコムシステム技術賞。平6、IEEE-CVPR 最優秀論文賞。平7、情報処理学会山下記念研究賞。平8、IEEE-ICRA 最優秀ビデオ賞。平13、高柳記念奨励賞受賞。平13、電子情報通信学会論文賞。平14、電子情報通信学会業績賞。平15、文部科学大臣賞、受賞。電子情報通信学、IEEE、情報処理学会各会員。

米倉達広



昭54年、名大・理・物理卒。昭56年、同大学院情報工学専攻修士課程修了。同年、山武ハネウエル入社。昭63年、同大学院博士課程再入学。平3年、同課程修了。同年、茨城大学工学部助手に採用。平5年、同大助教授。現在に至る。仮想現実感応用ならびに分散仮想環境上のヒューマンプロトコルに興味をもつ。工博。