

Octree を用いた等濃度面抽出

7R-6

古川 貴雄 五味 光弘 田尾 健二 清水 義雄

信州大学 繊維学部 感性工学科

1. はじめに

X線 CT や MRI により得られる人体の3次元データの等濃度面は、骨や筋肉、脂肪などの境界部分に対応する。ボリュームデータから正確な等値面形状を求める方法として Marching Cubes 法 [1] が提案されている。Marching Cubes 法は、対象とする空間領域を均一な立方体に分割し、立方体内部にできる等濃度面を決定する方法である。しかし、3次元データが膨大となる場合、領域を均一な立方体に分割して等濃度面を抽出するため効率がよいとは言えない。そこで、3次元データを大きさの異なる不均一な立方体に分割しながら、等濃度面を決定する方法について検討する。不均一な立方体分割パターンは octree によって表せるため等濃度面抽出が効率化される。

2. 等濃度面抽出方法

2.1 立方体分割とその Octree 表現

空間データを効率的に管理する手法として octree[2] が提案されている。これを3次元データの分割に使用する。立方体を8つの立方体に分割した場合、分割前の立方体と分割後の8つの立方体との間に包含関係が成立する。このような包含関係は図1のように octree により表せる。

2.2 立方体頂点から求まる等濃度面

濃度分布が与えられた3次元空間内の等濃度面は $f(x, y, z) = c$ を満たす点集合である。ここで、濃度値が線形に変化する立方体内の等濃度面について考える。立方体内部に存在する等濃度面 $f(x, y, z) = c$ を決定するには、立方体8頂点の濃度値と、抽出すべき濃度値 c との関係調べればよい。立方体の辺上に濃度値 c の点が存在すれば、等濃度面の接続により等濃度面が決定される。辺上に等濃度点が存在するか否かは、頂点の濃度値と抽出すべき濃度値との比較から定まる。

立方体は8つの頂点をもつので、1つの立方体については256通りの等濃度面パターンが存在する。しか

し、この256通りの等濃度面パターンは、回転により同一になるパターンがあるため、15パターンに分類できる。図2(a)はその一例である。ここで、○、●はそれぞれ $f(x, y, z) > c, f(x, y, z) < c$ となる濃度値を持つ点である。図2(a)の三角形は、この立方体内に存在する等濃度面であり、この三角形の頂点は立方体の辺上に抽出された等濃度点である。分類された等濃度面の輪郭形状は、三角形、四角形、五角形、六角形、七角形のいずれかになる。

2.3 Octree を用いた等濃度面抽出

いま、一つの立方体に注目する。この octree を用いた等濃度面抽出を図2(b)に示す。ここで、設定した濃度値 c よりも8頂点の濃度値がすべて高い場合とすべて低い場合には、立方体に等濃度面が存在しない。従って、設定した濃度値 c よりも高い濃度値を持つ頂点と低い濃度値を持つ頂点が存在する場合に、立方体は等濃度面を含む。そこで、等濃度面が存在する立方体に限って立方体を8個に分割する。さらに、分割後の8つの立方体それぞれについて、等濃度面の状態を調べて立方体の8分割を繰り返す。

この分割を最小立方体になるまで行い、最小立方体内部の等濃度面を決定する。得られた等濃度面に対応する多角形は、三角形パッチに分割して近似する。

2.4 等濃度面抽出に必要な立方体数

$(2^n + 1)^3$ 個の標本点からなる3次元画像から等濃度面を抽出する場合に調べる立方体数 S について検討する。全ての立方格子内に等濃度面が存在する場合、Marching Cubes 法では、

$$S_m = 2^{3n} \quad (1)$$

の立方体について調べる必要がある。一方、Octree 分割の場合には、

$$S_o = \sum_{i=0}^n 2^{3i} \quad (2)$$

の立方体について調べる必要がある。(1)、(2)より、

$$\sum_{i=0}^{n-1} 2^{3i} = \sum_{i=0}^n 2^{3i} - S_m \quad (3)$$

となるため、

$$S_o = 1 + 8(S_o - S_m) \quad (4)$$

が得られる。よって S_m と S_o の関係は

$$S_o = (8S_m - 1)/7 \quad (5)$$

となる。従って、最も効率の悪い場合でも Octree 法で調べる立方体数は Marching cubes 法の 1.14 倍となる。

3. 実験

実験には University of North Carolina, The Chapel Hill Volume Rendering Test Data Set の頭部 MRI 画像 (256 × 256 × 109, 8[bit]) を 64 × 64 × 32 の大きさに変換したデータを用いた。まず 2. に述べた方法により求めた等濃度面 $c=15.5$ を図 3(a),(b),(c) に示す。それぞれ木の深さを 5,4,3 と変化させた場合の結果である。次に $c=15.5$ で深さが 4 の等濃度曲面が存在する最小立方体を図 3(d) に示す。Octree の深さを変化させると、立方体分割を操作でき、等濃度曲面の近似精度を制御できる。木が深くなると目、鼻など人の頭部形状が正確に再現される。

また、表 1 には各濃度値における等濃度面が存在する立方体数および割合を示す。全立方体に対して濃度値 $c=15.5, 50.5$ の等濃度面が存在する立方体の占める割合はそれぞれ約 1/8, 1/6、濃度値 $c=75.5$ の場合には約 1/11 になることがわかる。

4. むすび

本稿では、octree を用いた等濃度面抽出アルゴリズムを提案した。対象領域を不均一な立方体に分割し、等濃度面の存在する立方体だけについて等濃度面の状態を判定する方法である。実験から各濃度値において効率的に曲面形状を決定できた。また、立方体分割に関する情報は 8 分木により管理される。

しかし、立方体内の濃度値が複雑に変化する場合には、立方体内で閉じた等値曲面を抽出できないことがある。また、立方体内の等濃度面を囲む多角形領域を三角形の平面パッチで近似する方法についても検討の余地がある。

参考文献

- [1] W.E.Lorenson, and H.E.Cline, "Marching Cubes : A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm," Computer Graphics(Proc. SIGGRAPH '87), 21, no.4, pp.163-169, (Jul.1987)
- [2] Homer H. Chen and Thomas S. Huang: "A Survey of Construction and Manipulation of Octrees," Comput. Vision, Graphics and Image Processing, 43, pp. 409-431 (1989)

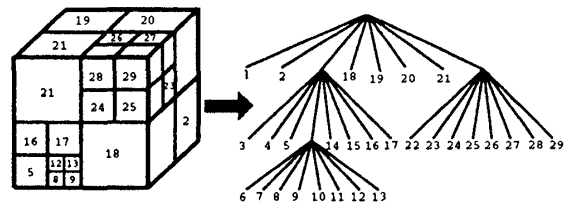


図 1 立方体分割とその Octree 表現

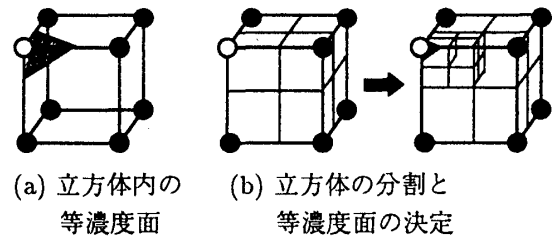


図 2 Octree による等濃度面抽出

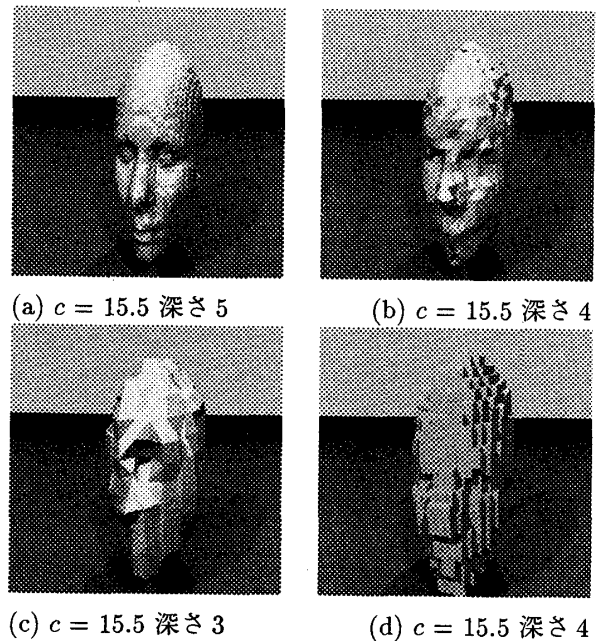


図 3 頭部 MRI 画像の等濃度面

表 1 等濃度面を構成する立方体数

濃度値 c	等濃度面が存在する立方体の数	等濃度面が存在する立方体の割合
15.5	17,185	13.1 %
50.5	20,994	16.0 %
75.5	11,855	9.0 %

全立方体数 131,072 = 64 × 64 × 32