

## 3次元領域分割に基づく医用画像再構築システム

梶谷 暢之\*, 朝倉 輝\*, 後藤 敏行\*,  
岩澤 多恵\*\*, 栗原 宏明\*\*\*, 松原 升\*\*\*  
\*横浜国立大学大学院工学研究科 人工環境システム学専攻  
\*\*神奈川県立循環器呼吸器病センター 放射線科  
\*\*\*横浜市立大学 医学部 放射線医学講座

本論文では、画像の領域分割に基づく3次元医用画像の再構築処理を行なう手法について検討を行い、再構築のためのプロトタイプシステムを試作した。本アルゴリズムは領域とエッジの一致性評価に基づく多段階閾値選択手法を3次元画像に拡張するとともに、閾値処理で生じる過分割状態の領域要素の関係を隣接グラフとして表現することにより、3次元画像の高速な領域分割を実現する。試作システムでは、最初に本アルゴリズムによる領域分割を行なったのちに、MMIによる領域編集も隣接グラフを用いて高速に実行できるようになっている。頭部MR画像を用いた評価実験の結果、領域分割が良好に行われていることが確認できた。

## A Reconstruction System of Medical Images Based on Three-dimensional Images Segmentation

Nobuyuki Kajitani\*, Akira Asakura\*, Toshiyuki Gotoh\*  
Tae Iwasawa\*\*, Hiroaki Kurihara\*\*\*, Sho Matsubara\*\*\*  
\*Graduate School of Engineering, Yokohama National University  
\*\*Department of Radiology, Kanagawa Cardiovascular & Respiratory Center  
\*\*\*Department of Radiology, Yokohama City University

To save the laborious jobs on reconstructing three-dimensional medical images, such as CT and MRI, we have developed a prototype of a medical image reconstruction system based on image segmentation. The proposed segmentation algorithm selects multiple thresholds to detect region elements based on evaluation of the coincidence of the pixels between on edge and on the contour. After thresholding an image, the relationship among elements is represented as a neighboring graph, then the features of elements are evaluated referring the graph, and the elements are merged into regions with low computation costs. The prototype system to evaluate effectiveness of our method is also described in this paper.

### 1. はじめに

近年、CT(Computer Tomography)やMRI(Magnetic Resonance Imaging)などの技術革新により画像診断において3次元医用画像の役割が増大している。これらの画像は撮像段階では複数の断層像で構成されるボクセル形式として表現さ

れているが、注目組織の定量評価、3次元形状の観察、シミュレーションなどを行うためには画像から個々の領域(組織)を分離する再構築処理が必要となる。これまで医用画像の再構築システムはすでに商品化され医療現場で使用されているが、ユーザが対話的に個々の組織に対して分離や領域

形状の整形を行う必要があるために長時間の作業が必要となる。

一方、3次元画像処理の面では、領域抽出と関連が深い画像処理の基本技術の3次元拡張[1, 2]、3次元画像の高速表示手法[3]や画像の複合表示[4]、3次元医用画像の領域抽出手法の検討などが進められてきた。このうち再構築処理の自動化に不可欠な領域抽出の研究では、肺がん領域の自動抽出[5]や、リージョンローイング[6]、遺伝アルゴリズム[7]、ニューラルネットワーク[8]を利用した手法などが報告されている。しかし、肺がんなどの特定形状の抽出手法は、特定領域の検出率が高いが他の組織や部位にはそのままでは適用できない。また、リージョンローイング法は、複雑な領域形状に対しては溢れ領域が生じるという欠点もある。一方、遺伝アルゴリズム、ニューラルネットワークを利用する方法は、学習画像の生成法や処理時間が課題となる。

このような背景から本研究では、画像の領域分割に基づく3次元画像の再構築処理手法について検討するとともに、アルゴリズムの評価のために再構築システムを試作した。本論文では、最初に2次元領域分割の基礎技術として有効なエッジと領域の一致性評価に基づく多段階閾値選択手法[9]を3次元画像に拡張する方法について述べる。しかし、この方法は領域外形は良く保存するものの閾値処理によって領域内部が細分化されるという問題がある。この問題に対して、過分割状態の領域要素の関係を隣接グラフとして表現し、要素間の状態をグラフを用いて評価することにより、3次元画像の高速な領域分割を実現する。さらに、本アルゴリズムによる領域分割と、隣接グラフを利用した高速な領域編集を備えた試作システムの構成について述べる。

## 2. 領域分割アルゴリズム

### 2.1 アルゴリズムの構成

図1に示すように、本手法は多段階閾値処理部、隣接グラフ生成部、領域要素の評価・統合部で構成されている。最初の多段階閾値処理部では、輪

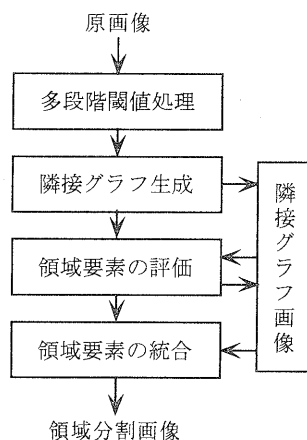


図1 アルゴリズムの概要

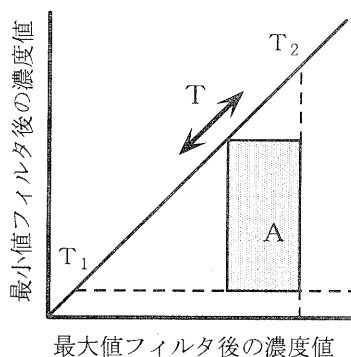


図2 2次元ヒストグラムと輪郭点数

郭とエッジの一致性を評価して、閾値の組を検出するとともに、閾値処理によって領域要素を抽出する。この閾値選択によって決定される閾値は3次元画像中で輪郭とエッジの画素がもっとも一致するように決定されるが、閾値処理ではこれらの閾値が画像全体に適用されることになる。この結果、ある領域を抽出するための閾値が他の領域を過剰に分割するという弊害を生じることがある。そこで本手法では、閾値処理によって領域要素を抽出したあとに、領域要素間のエッジ強度を再評

価し、エッジ強度が低い場合は領域要素を併合することにより領域を抽出する。この際、3次元ボクセル画像を、領域要素がノード、領域要素間の接続関係をアークとする隣接グラフとして表現しておくことにより、領域要素間の特徴評価と統合処理の高速化を実現している。

## 2. 2 多段階閾値処理

2次元画像に対する閾値選択法については、これまでに筆者らはある閾値で形成される輪郭とエッジの一致度を閾値処理を実行することなく高速に評価する方法を提案している[9]。本手法では、次に示す輪郭とエッジの一致性評価を3次元画像に対応するように拡張している。

$$E_v = \{ \text{輪郭である格子点のエッジ強度の和} \\ / \{ \text{輪郭である格子点数} \} \quad (1)$$

具体的には、輪郭点を $2 \times 2 \times 2$  ウィンドの画素の中心を座標点とする格子点の点として定義する。このとき、しきい値 $T$ で二値化したときにある格子点が輪郭となる条件が、少なくとも2つの領域の画素がウィンド内に含まれることであるから、ウィンド内の8画素のうち、少なくとも $T$ 以上の画素が一つ以上あり、かつ、 $T$ 未満の画素が一つ以上あることである。このことは、ウィンド内の画素のうち最小値が $T$ 以下かつ最大値が $T$ 以上であることと等しい。したがって、 $2 \times 2 \times 2$  ウィンドサイズの最大値フィルタ処理後の画像 $L(x, y, z)$ と最小値フィルタ処理後の画像 $M(x, y, z)$ があった場合、各画素が閾値 $T$ で輪郭となるか否かは対応する座標点を参照するだけで次に基づいて判定でき、実際の閾値処理は不要となる。

$$\begin{aligned} T_2 > L(x, y, z) \geq T \quad \text{かつ} \\ T_1 \leq M(x, y, z) < T \end{aligned} \quad (2)$$

なお、さらに、 $T_1$ および $T_2$ は対象画像領域内の階調の下限および上限である。図2に示すように、最大値フィルタ処理後の画像と最小値フィルタ処

理後の画像の2次元同時ヒストグラムを求めておけば、閾値 $T$ で閾値処理を行なったときの輪郭点総数は、ヒストグラムの式(2)の関係を満たす部分の頻度を集計するだけで求めることができる。

エッジ強度についても同様に、格子点上の点としてエッジを定義し、最大値フィルタ処理後の画素と最小値フィルタ処理後の画素の満たすべき式(2)の条件でエッジ強度総計した2次元強度分布を検出することによって、同様にして求めることが可能である。次に、このようにして求めた各濃度値における輪郭点数と輪郭上のエッジ強度から式(1)に基づいて、評価値が極大となる濃度値の組をしきい値として再帰的に決定するが、閾値の再帰的決定法の詳細については文献[9]を参照頂きたい。

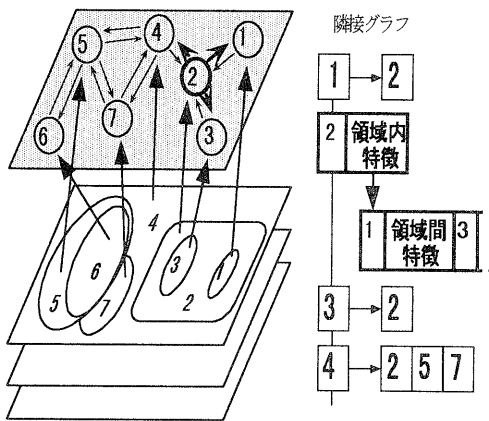
## 2. 3 隣接グラフ画像の生成

次に、決定された閾値に基づいて、ラベル付け処理を行い、領域要素の初期分割を行なう。初期分割後の画像に対して、3次元隣接グラフとして表現することによって、領域要素間の特徴評価と領域要素の併合を行なうことにより領域分割処理の高速化を実現している。

具体的には、図3(a)に示すように、3次元隣接グラフは、領域要素をノード、領域間の接続関係をアークとして画像を表現する。さらに、面積、領域内濃度分散などの領域内特徴および、濃度コントラスト、境界面積、輪郭の平均エッジ強度などの領域間特徴をノードおよびアークに保持する。これによって、領域統合の評価が画像処理を実行することなく進めることができる。

## 2. 4 領域の統合処理

領域統合やマンマシンインタフェース(MMI)による画像編集についても、図3(b)に示すようにグラフを参照することによって、領域間の特徴を評価し、その結果に基づいて統合領域リストを作成する。つぎに、統合領域リストを探索することにより、同一領域に属するグラフのノードを統合するとともに、統合された領域の特徴を更新する。この操作によって、画像を参照することなく領域要素の統合を実行できるので、3次元領域分割の



(a) 3次元隣接グラフ

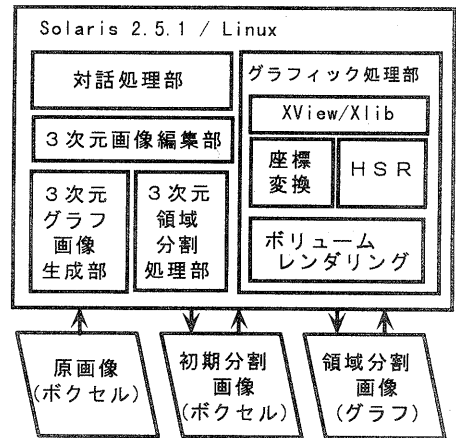
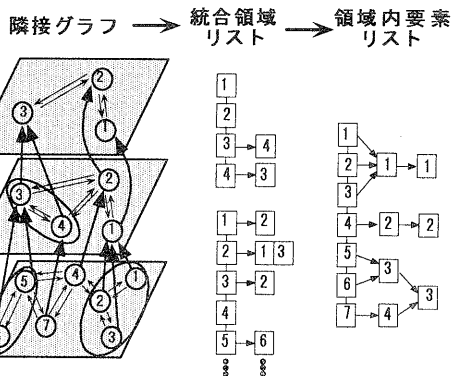


図4 システムのソフトウェア構成



(b) 領域要素統合処理

図3 隣接グラフを用いた領域分割

高速化が可能になる。さらに、抽出される領域は領域統合の評価関数を与えることで制御できる。本手法では、輪郭上のエッジ強度の評価や隣接領域の濃度分散の評価など階調レベルでの評価に加えて、領域の疑似的厚さなど形状測度の評価に基づく併合処理を行っている。後者の処理では、領域体積と隣接領域間の境界最大面積の比を疑似厚さとして定義し対話処理に基づいて領域指定を行った領域に対して、疑似厚さが類似した隣接領域要素を統合して面状の構造を検出したり、それら

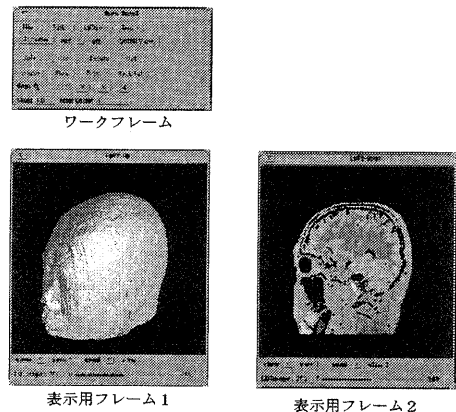


図5 システムの操作画面

を厚さ方向に統合して塊状構造を抽出するものであり、膜状の組織や塊状組織の抽出が容易になる。

### 3. 試作システムの構成

図4に試作した再構築システムのソフトウェア構成を示す。本システムは3次元画像の領域分割処理部、分割画像の隣接グラフ作成部、対話処理部および表示処理部で構成されている。また、こ

のシステムは Solaris2.5.1 および Linux などの OS 上で動作を確認している。CT や MRI で撮像されたボクセル形式の画像は、最初に輪郭とエッジの一致性評価に基づき初期分割され、隣接グラフとして表現され、領域間エッジ強度を評価して領域分割が進められる。本システムでは、医用画像は医師の専門的知識に基づいて最終判断を行なう必要があるため、自動的な領域分割に加えて、対話処理の基づく画像処理の提供も必要となる。図5はシステムの操作画面であり、領域分割の指示、ボリュームレンダリングを用いた陰影処理、回転、拡大、縮小、垂直・水平断面の表示、MMI に基づく領域削除・統合・分離などを実行する機能を備えている。本システムでは、画像領域の隣接グラフ表現を用いることにより、マンマシンインタフェースを用いた画像編集の応答時間の短縮を図っている。

#### 4. 領域分割の処理例

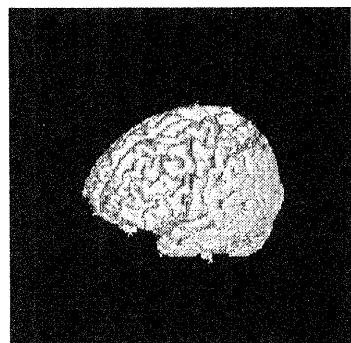
評価用として3次元ボクセル形式の頭部MR画像を用いた。図6は原画像の一例であり、一面断面が $256 \times 192$ 画素、124断層像で構成される3次元ボクセル画像の断面の一部分を示している。図7は原画像に対して3次元領域分割を行なった結果の一面断面であり、濃度の違いが領域の違いを表している。図8はシステムの表示機能の一例であり、図8(a)は抽出した大脳灰白質をボリュームレンダリングで陰影処理を行なったものである。図8(a)の結果より、大脳の中心溝や前頭溝が観察でき抽出が良好であることが分かる。また、図8(b)に示すように部位の合成表示および擬似半透明表示などの質感パラメータの変更なども可能である。



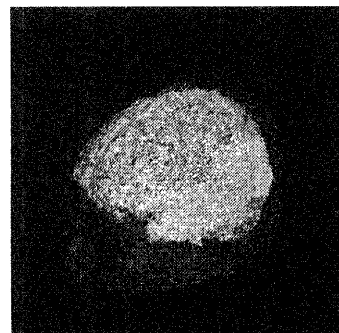
図6 原画像(頭部矢状断像)



図7 領域分割結果



(a)ボリュームレンダリング表示



(b)半透明表示

図8表示機能の一例

表1 体積測定の結果(cm<sup>3</sup>)

	大脳	白質	灰白質
平均	1083.71	559.47	524.24
標準偏差	55.18	58.60	45.60

さらに、各組織を領域分割することにより各部位ごとに種々の形状的特徴量を計測することが容易になる。表1はその一例として20代の男性健康被験者5名を対象に大脳白質と灰白質の容積測定を行なった結果であり、被験者5名分の平均値と標準偏差を示している。

## 5. まとめ

本研究は3次元医用画像再構築のための領域分割アルゴリズムと再構築システムの試作に関するものである。本アルゴリズムは領域とエッジの一致性評価に基づく閾値選択手法[9]を3次元画像に対応するよう拡張するとともに、多段階閾値処理で生じた過分割状態の領域要素の関係を隣接グラフとして表現することにより3次元画像の領域分割を高速化を可能にする。今回、試作したプロトタイプシステムは、本アルゴリズムに基づいて領域分割を行なったのちに、MMIによる領域編集も隣接グラフを用いて高速に実行できるようになっている。このシステムにより頭部MR画像を用いた評価実験の結果、領域分割が良好に行われていることが確認できた。

医用画像の各種データ形式への対応や、3次元物体をより直観的かつ自然に操作するための3次元ヒューマンインタフェースの検討などが今後の課題である。

## 【参考文献】

- [1] 安江正宏, 森健策, 斉藤豊史, 長谷川純一, 鳥脇純一郎, “三次元濃淡画像の細線化法と医用画像への応用における能力の比較評価”, 信学論(DII), vol. J79-DII, pp. 1664-1674, 1996.
- [2] 斉藤豊史, 森健策, 鳥脇純一郎, “ユークリッド距離変換を用いた三次元デジタル画像の薄面化および細線化の逐次型アルゴリズムとその諸性質”, 信学論(DII), vol. J79-DII, pp. 1675-1685, 1996.
- [3] 伴秀行, 鈴木隆一, “多層距離画像を用いた医用三次元画像の高速表示”, 信学論(DII), vol. J76-DII, pp. 359-367, 1993.
- [4] 仁木登, 堀江周二, 松本圭蔵, “頭部X線CT・血管造影画像からの高精度複合三次元表示”, 信学論(D), vol. J70-D, pp. 2525-2534, 1987.
- [5] 長谷川純一, 森健策, 鳥脇純一郎, 安野泰史, 片田和廣, “三次元デジタル画像処理による胸部連続CT像からの肺がん候補領域の自動抽出”, 信学論(DII), vol. J-76-DII, pp. 1587-1594, 1993.
- [6] 関口博之, 佐野耕一, 横山哲夫, “リージョンローイングをベースにした対話型三次元領域抽出法”, 信学論(DII), vol. J76-DII, pp. 350-358, 1993.
- [7] 松井和宏, 管波雄介, 小杉幸夫, “MR I組織分類における遺伝的アルゴリズムによる特徴量の選択”, 信学論(DII), vol. J80-DII, pp. 1712-1721, 1997.
- [8] P. D. Heermann, N. Khazenie, “Classification of Multispectral Remote Sensing Data Using a Back-Propagation Neural Network”, IEEE, Trans. Geo. Remote, vol. 30, no. 1, pp. 81-88, 1992.
- [9] 後藤敏行, 鳥生隆, “輪郭とエッジの一致性評価に基づく濃度しきい値とエッジ検出しきい値の再帰的決定法”, 信学論(DII), vol. J77-DII, pp. 1727-1734, 1994.