

連続断面画像集合からの 3 次元領域抽出のためのシステム開発

木下 利家 三谷 純 福井 幸男 西原 清一

筑波大学大学院システム情報工学研究科

概要

3次元内部構造顕微鏡によって得られる生体の連続高精細フルカラー断面画像群から組織の3次元モデルを構築することで、組織の多面的な観察が可能となる。しかし現在、断面画像からの組織の領域抽出は専門家の手作業に依っている。そこで本研究では、領域抽出作業におけるユーザの負担を軽減するシステムの開発を目的とする。

まずある画像内の特定領域内の1点を指定することで、その前後の画像群内の領域全体の概形を自動抽出し、次にユーザとの対話的操作によって修正を加え、ビットマップファイル群として出力する。このファイル群を集積しSTL形式の3次元モデルを構築する。これによって組織の全体形状が立体的に容易に観察できるようになる。

1. はじめに

生体組織の高精細な3次元モデルの構築により、軟組織や複雑な形状の組織、組織の位置関係等が任意の視点から観察可能になり、生物学・医学、教育等、幅広い分野の飛躍的前進が期待できる。しかし現在、その材料の1つであるフルカラー断面画像に対する組織の領域抽出は、全て解剖学の知識を持つ専門家の目視による手作業で行われている。よってこの分野では、いかに組織領域の抽出を自動化できるかが課題となっている。

3次元モデル構築の材料となる生体の断面画像データとしては、まず現在一般的なMRやCTによるものが挙げられる。これらは対象を破壊せずに内部の様子を観察することができるが、得られる画像は白黒であるため、多数の組織が隣接している場合や組織同士の色が似ている場合に、領域を区別する事が困難である。また、特にMR画像における、対象情報と関係なく濃度値を変動させてしまう要因となるゲイン不均一性等の問題もある。

これらに対し、近年理化学研究所において開発された3次元内部構造顕微鏡(3D-ISM)では、画像中心軸のずれないフルカラーの高精細な連続断面画像を取得することが可能である。これは、上端からナイフで試料を実際に切断しながら断面を観察していく装置で、観察後に対象物がなくなってしまうという欠点はあるが、MRやCTによるものよりも細部まではっきりと観察することのできる画像が得られる。

本研究では、3D-ISMによって得られたマウスの連続断面画像群を用いて、特定の臓器の領域を抽出し、そのデータを集積して臓器の3次元モデルの再構築を行う。この過程において、画像からの領域抽出作業の手間を軽減することを目的とする。これによって、マウスの系統間での臓器形状の比較等を容易に行うことができるようになる[1]。

2. 連続断面画像からの3次元モデル再構築

2-1. 領域の抽出

材料の画像群としては、先述の3D-ISMによって得られたマウスのフルカラー連続断面画像を用いる。これは解像度 640×480 pixel、縦横方向の分解能 $50 \mu\text{m}/\text{pixel}$ 、垂直方向の断面間隔 $20 \mu\text{m}/\text{pixel}$ の、ビットマップ画像の集合である。断面はアキシャル方向(マウスの胴体を輪切りにするような形)で、鼻の先端から後ろ足の先までが含まれ、1匹あたり5000~6000枚の断面で構成されている。また、このデータの取得には凍結包埋方法を用いている。凍結包埋方法とは、同一のポージングをとったマウスを凍結させ、着色した凍結包埋剤を用いて同一形状の型枠内に包埋する方法である。この方法を用いることで、同一の条件下(位置・解像度等)で観察を行うことができる。

マウスの断面画像データは1匹あたり約5ギガバイトあり、通常のPCで扱うには容量が大きい。各断面画像の解像度を 320×240 pixelへ落とし、更に約6000枚ある断面のうち5枚に1枚を使用することとした。これによりマウス1匹あたりの画像データの大きさは260メガバイト程度になり、縦横方向の分解能・垂直方向の断面間隔は共に $100 \mu\text{m}/\text{pixel}$ となった。

1枚の断面画像に対する領域抽出アルゴリズムは、単純領域拡張法を基本としている。その処理の流れは、以下の通りである。

- i) 画像上の、抽出したい領域内の画素を1つ指定する。この画素をシード画素と呼ぶ。
- ii) シード画素及びその周辺画素の濃淡レベルの平均値を算出する。
- iii) この平均値と、シード画素の4近傍でまだ領域に属していない画素の濃淡レベルを比較し、その差が許容値 θ 以下ならば1つの領域として統合する。
- iv) 新たに統合された画素に注目してiii)の操作を行う。
- v) iii)iv)の操作をそれ以上領域が広げられなくなるまで反復する。

しかしこの手法には、領域-背景間の濃淡レベルの変化がなだらかな場合や、領域のエッジに隙間が1点でもあったり、2つの領域が統合されてしまうという欠点がある。このため許容値 θ は作業中任意に変更可能とし、場合によっては更に簡易な、シード画素の濃淡レベルとの差が θ 以下の画素を領域とする方法も併用する。

また、この処理だけでは領域内に無数の細かい孔が発

System developing for reconstruction of 3D shapes from real cross-section images

Toshiie Kinoshita, Jun Mitani, Yukio Fukui, and Seiichi Nishihara

Department of Computer Science, University of Tsukuba

生してしまうため、モルフォロジ演算による後処理を加える[3]。2値画像処理の1つであるモルフォロジ演算処理は、領域の収縮と膨張の2つの処理を組み合わせることで、小さな孔や溝を埋め、加えて領域の輪郭の微小突起を取り除くものである(図1)。本研究では、領域抽出作業中任意に収縮・膨張の処理を行うことができる。

その他、ある画素を指定しそこから一定範囲内の抽出領域を削除する機能の実装、同時に複数の関心領域を扱うための抽出領域の色分けも行った。

さらに、隣接する断面間での関心領域の変化は微小であることを利用し、前断面における抽出領域を複製して呼び出すことができるようにした。

このようにして、対象とする臓器が存在する全ての断面画像に対して領域抽出を行う。そして抽出した領域群を垂直方向に連結し、1画素を1ボクセルとして3次元的に捉え、3次元空間上で再びモルフォロジ演算処理を行い、形状を整える。最終的に得られた領域データは、断面毎のビットマップ画像群として出力する。

2-2. 3次元モデルの再構築

領域抽出データから3次元データを生成するには、RVエディタ(RIKEN)[4]を用いる。具体的には、得られたビットマップ画像群を読み込み、サーフェスレンダリング操作を行うことでデータを3次元ポリゴンモデル化する。そしてこれをSTL形式で出力する。最後に、3DCG編集ソフトを用いてモデルの表面に平滑化処理を加え、画面に表示する(図2)。

3. 結果とその評価

まず最終的に得られた領域データの精度を評価するため、専門家の手によって抽出した領域を正解とし、これと本システムを使用した場合の比較を行った。専門家による領域の画素数C、本研究で抽出した領域の画素数N、これらの共通部分の画素数Rから、精度(precision)と再現率(recall)を求める。これらの値はそれぞれ

$$\text{precision} = \frac{R}{N}$$

$$\text{recall} = \frac{R}{C}$$

によって求められる。これをC57BL/6系統のオスのマウスの左腎臓に対して行ったところ、精度0.99、再現率0.97という結果が得られた。実質的にこれ以上この結果が改善される余地はないと言える。

システム自体の評価については、理化学研究所の方に実際に本システムを使用させていただき、改善点や要望などを伺う。

今後は、断面に垂直な方向の情報をいかに利用していくかが最大の課題である。この点も踏まえながら、領域抽出精度の向上、使いやすいシステムの開発を目指す。

参考文献

[1] 覚正信徳, 横田秀夫, 吉木淳, 姫野龍太郎 “マウス3次元データベースの作成と観察 ~第2報:野生型マウスの臓器について~” 理研シンポジウム:生体形状情報の数

値化及びデータベース構築研究, pp.42-49

[2] 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3次元領域抽出手法” 電子情報通信学会論文誌 D-II Vol. J76-D-II No.2 pp.350-358 1993年2月

[3] 斗澤秀亮, 野村行弘, 山下哲孝, 呂建明, 関屋大雄, 谷萩隆嗣 “モルフォロジー処理を用いたスペクトルサブトラクションにおけるミュージカルノイズ除去” 第18回回路とシステム 軽井沢ワークショップ 2005年4月

[4] RVエディタ

http://www.riken.go.jp/lab-www/V-CAD/katsudo/vcat_team/rveditor/

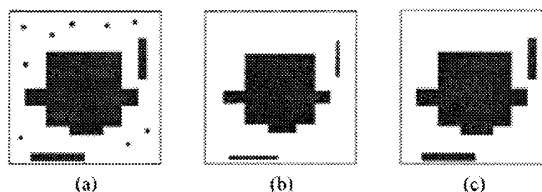


図1. モルフォロジ演算処理によるノイズ除去の例 ((a)→(b):収縮, (b)→(c):膨張)

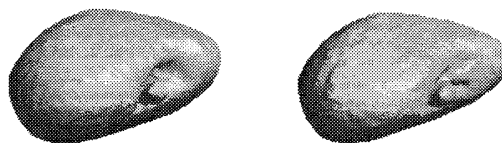


図2. 再構築したマウスの腎臓 (左:本研究での抽出, 右:専門家の手による抽出)

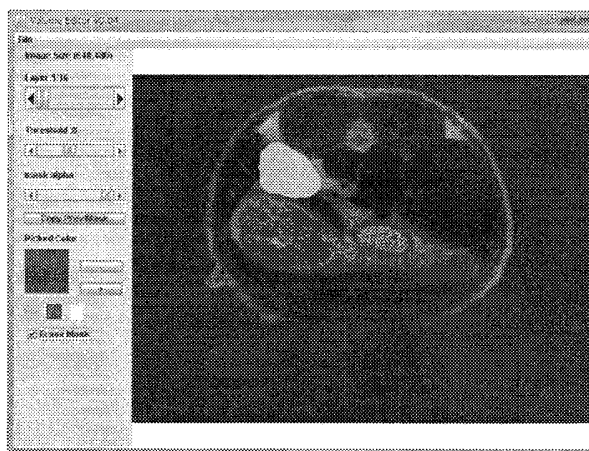


図3. アプリケーション概観