

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月31日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22700115

研究課題名（和文） 3次元生体画像の直観的な観察・処理環境の研究

研究課題名（英文）User Interface for 3D Bio-medical Image Visualization and Segmentation.

研究代表者

井尻 敬 (IJIRI TAKASHI)

独立行政法人理化学研究所・生物情報基盤構築チーム・特別研究員

研究者番号：30550347

研究成果の概要（和文）：本研究では、3次元生体画像のための使いやすい可視化・処理環境の実現を目指し、新しいユーザインタフェースとアルゴリズムの研究を行った。具体的には、自由曲面を利用した可視化法、臓器部分切除時の切除面可視化法、軸指定に基づく曲線状領域抽出法、輪郭線を用いた領域修正法、を開発した。全ての開発成果はV-Tracerという一つのソフトウェアに統合され、このソフトウェアの臨床応用に関する共同研究が、複数の医療機関において開始されている。

研究成果の概要（英文）：We have presented novel user interfaces and algorithms for intuitively visualizing and segmenting three dimensional bio-medical images. We have developed a curved cross sections-based visualization tool, an axis-based segmentation tool for linear-shaped organs, and a contour-based tool for refining segmentation data. All tools are integrated into one software application, named V-Tracer. We have begun using it in medical institutions for several collaborative projects.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：コンピュータグラフィクス

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：コンピュータグラフィクス、ユーザインタフェース、画像処理、可視化

1. 研究開始当初の背景

人体や細胞等の空間領域を撮影できる、CT・MRI・共焦点レーザ顕微鏡といった3次元画像撮影デバイスは、医療や生物学研究に欠かせない存在となっている。撮影されたデータの観察には、3次元画像を2次元ディスプレイに効果的に表示する必要があり、データをシミュレーションに利用するには、画像を意味のある領域に分割する必要がある。近年の画像撮影技術の発展・普及に呼応して、

この3次元生体画像の観察・処理に関する研究には、益々注目が集まっている。

3次元画像の可視化には、x-y・y-z・z-x平面断面の表示や、画素の透明度を伝達関数により調節する手法が広く用いられている。しかし、平面断面表示には湾曲した臓器を観察し難いという問題がある。また、伝達関数による透明度編集は熟練を要するため、初心者ユーザには利用し難いという問題がある。**領域分割**の手法として、全ての断面上で全ての

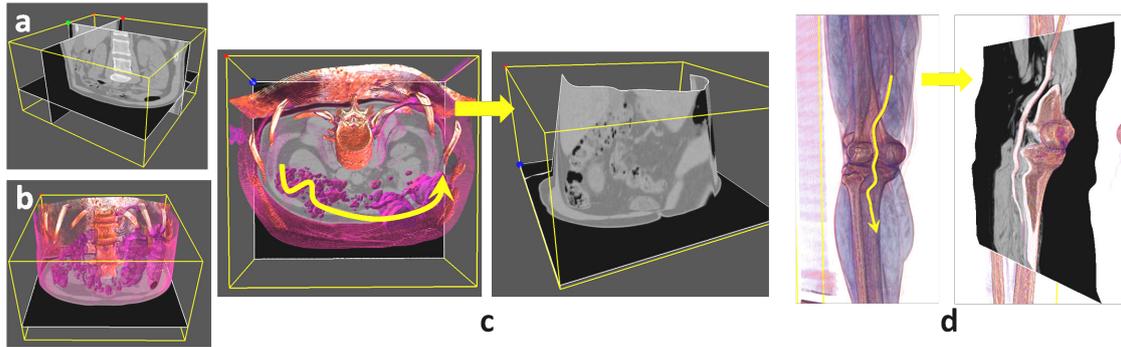


図 1. ストロークによる観察用曲面断面生成

前景画素を指定し領域分割をする手法が開発されているが、これは多大な手作業を必要とする。負担削減のため、少ない前景・背景制約から領域境界を自動計算できる **Graph cut** や **Active contour** といった手法が開発されている。これら手法は効率的に領域分割を行えるが、完璧な精度を出すには至っておらず、結局、画素ごとの手直しが必要になる事も多い。

2. 研究の目的

本研究は、前述の問題を解決し、使いやすい3次元画像処理環境の実現を目指すものである。本研究では、3次元画像処理においてとりわけ重要な、観察(可視化)と領域分割の2トピックに注目し、直観的かつ効率的なユーザインタフェースとアルゴリズムの実現を目指す。

一般的に、任意の画像に対して最適な結果を出せるオールマイティな画像処理アルゴリズムは存在しないため、システムを構築する際には、取り扱う画像の種類を限定しておく必要がある。本研究では、特にユーザが多いと考えられる、CT画像・MRI画像・共焦点レーザ顕微鏡画像を対象とした。

3. 研究の方法

研究活動の中心は、試験用アルゴリズム・ソフトウェアの開発とその検証である。上記の目的を達成するため、我々は、研究課題を以下の3つに分け、ソフトウェア開発とその検証を進めた。

(1) 3次元画像の直感的な観察法の実現

(1-i) 曲面断面による可視化ツール

(1-ii) 臓器切除面可視化ツール

(2) 3次元画像の効率的な領域分割法の実現

(2-i) 軸指定に基づく曲線領域抽出ツール

(2-ii) 輪郭編集に基づく領域修正ツール

(3) 開発成果の統合と公開

以下では、各課題の内容と開発成果を詳しく説明する。

4. 研究成果

(1) **3次元画像の直感的な観察法の実現**のため、本研究では、次の2種類のツールの開発を行った。

(1-i) **曲面断面による可視化ツール**。3次元画像の観察には、主に、平面断面表示(図 1a)や伝達関数により画素の透明度を編集する手法(図 1b)が用いられてきた。しかし、これらの手法では、湾曲した臓器を効果的に観察できないという問題があった。そこで本研究では、観察したい領域にストロークを描くと、そのストロークに沿った曲面断面が配置されるツールを開発した(図 1cd)。人体内部には湾曲した臓器が多くあり、提案手法は特に、大腸や血管の観察に効果的であった。また、この手法で生成した曲面断面は、後述する領域分割ツールにおいて、制約を配置する目的にも利用できる。

(1-ii) **臓器切除面可視化ツール**。臓器を部分的に切除する手術の際、臓器の切除面に重要組織(血管等)があるか否かは、手術の作業量を大きく左右する一つの要因である。また、切除面に重要組織がある場合、どのあたりにどのような組織があるかを術前に認識しておく事は、手術の安全性向上につながると考えられる。そこで我々は、臓器部分切除時の切除面を可視化できるツールを開発した。

本ツールの入力は、三次元画像と領域分割データである。図 2a の例では、腎臓・腎髄質・腎動脈・腫瘍の領域が分割されている。この領域分制作業は、後述の領域分割ツールを利用して行える。画像と領域分割データが入力されると、システムは、ある程度のマージンを取って腫瘍を切除した臓器断面を生成する。提案システムでは、切除面の形状(図 2b)だけでなく、切除面上の CT 画像も観察できる(図 2c)。図 2bc では、腎臓切除上に腎髄質が表れているのがひと目で分かる。また我々は、提案ツールと実際の腹腔鏡画像を比

較し、提案ツールは、切除面上の動脈位置の予測に有用である事を確認した。この課題は、横浜市立大学医学部泌尿器科と共同で行われたものである。

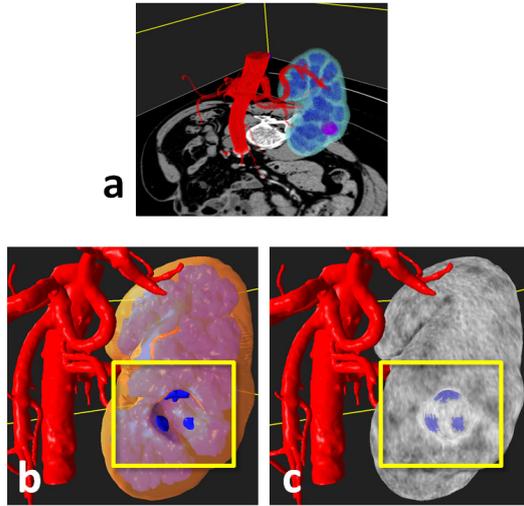


図 2. 臓器の切除面可視化ツール.

(2)3 次元画像の効率的な領域分割法の実現のため、本研究では、次の2種類のツールの開発を行った。

(2-i) 軸指定に基づく曲線領域抽出ツール. 人体内部には、血管や尿管等、曲線状の領域が多く存在する。この曲線状領域は、専門家が見れば明らかに連続した領域であるにも関わらず、撮影デバイスや被写体の状態によっては、その細さゆえ一部が途切れて撮影される事がある。このような画像に自動領域抽出手法を適用すると、不正確なモデルが生成されてしまい、後の作業(手術シミュレーション等)に悪影響が出る。そこで本研究では、曲線状領域を手作業で効率的に抽出できるユーザインタフェースを提案した。ユーザは、医師や技師などの専門家を想定している。提案ツールにおいて、まずユーザは、対象領域に沿ったストロークを描き、曲面断面を生成する(図 3ab)。生成された曲面上には抽出し

たい領域が現れる(図 3b の白い血管領域)。次にユーザは、抽出したい領域の中心をなぞるよう、曲面断面上に2本目のストロークを描く(図 3c)。すると、ストロークに沿って湾曲した cylinder が配置される(図 3d)。最後に cylinder の半径を指定すると、cylinder 内部の領域が抽出できる。このツールでは、既存アルゴリズムが機能しない微細な曲線領域でも、専門家が認識できれば、正確に抽出できる。

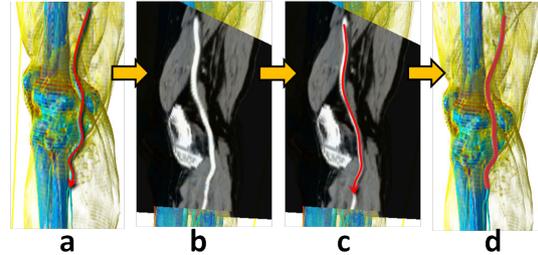


図 3. 曲線状領域の抽出ツール

(2-ii) 輪郭編集に基づく領域修正ツール. 前述の通り、3次元画像の領域分割は、情報科学分野における非常に重要なトピックであり、様々な全自動・半自動のアルゴリズムが提案され続けている。特に近年発表された Graph cut や Active contour に基づく手法などは、ほぼ全自動で高い抽出精度を実現している。しかし、一方で、低コントラスト部分や、エッジが複雑に入り組んだ部分では、局所的な抽出エラーが避けられない。また、自動アルゴリズムがいくら発展しても、任意の画像に対しユーザを完璧に満足させる抽出結果を出力するのは不可能である。

そこで本研究では、既存のアルゴリズムで荒く抽出した領域を、効率的かつ直感的に修正できるツールを提案した。概要を図 4 に示す。提案システムの入力は三次元画像と既存のアルゴリズムにより生成された初期抽出領域データである(図 4a)。修正作業の開始時、システムは初期領域の境界面(三角形メッシュ)を生成しておく。修正作業中、まずユー

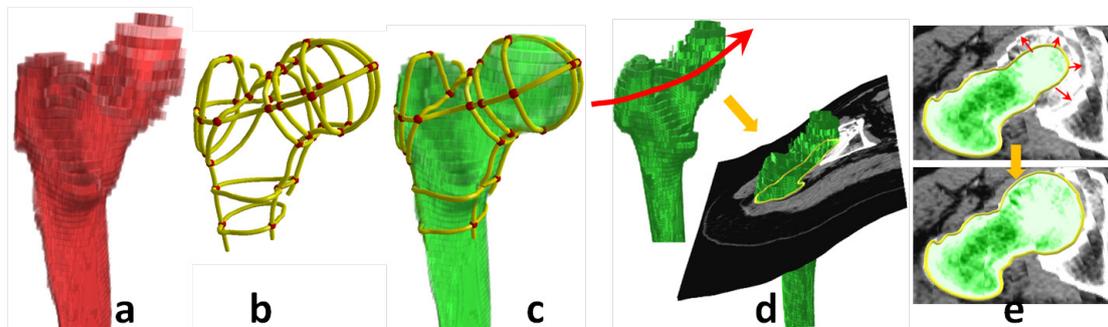


図 4. 輪郭指定に基づく領域修正ツール

ずは、抽出エラーが存在する部分を横断するようにストロークを描く。すると、ストロークに沿った切断面と輪郭線が配置される(図4d)。次にユーザは、正しく前景領域の境界を通るように、この輪郭線を変形する(図4e)。システムは、変形した輪郭線に追従するように境界面を変形する。この境界面の変形のため、我々は Laplacian surface deformation と呼ばれる手法を改良したアルゴリズムを提案した。ユーザは、この「輪郭線の配置」と「輪郭線の修正」を抽出エラーが無くなるまで繰り返す(図4abc)。

このツールでは、輪郭線形状を直接編集できるため、専門家にしか認識できないような曖昧な境界を持った領域でも、正確に分割できる。また、輪郭線編集は、境界面変形を通じて三次元的に影響するため、編集すべき輪郭曲線の数は比較的少なく、効率的な編集作業が可能である。

(3) 開発成果の統合と公開

本課題の最大の目的は、使いやすい、3次元画像観察・処理基盤の実現である。そのため、提案ツールをアクセスしやすくしておく事がとりわけ重要である。そこで我々は、全ての提案ツールを V-Tracer と名付けた一つのソフトウェア上に統合した(図5)。V-Tracer には、提案ツールに加え、Volume rendering や Graph cut segmentation など、近年発表された技術も実装されている。V-Tracer は現在、理化学研究所・横浜市大医学部・国立がん研究センター等の研究者に対し、共同研究の範囲で配布され、臨床応用に関する研究に利用され始めている。

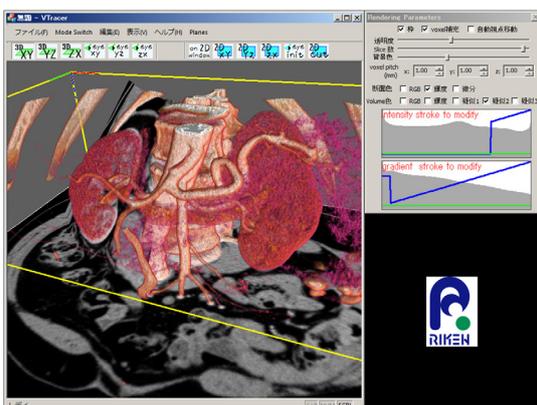


図5. V-Tracer の外観

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

① Takashi Ijiri and Hideo Yokota: Contour-

based Interface for Refining Volume Segmentation, *Computer Graphics Forum*, 29(2010), 7, 2153-2160. 査読有

② 井尻敬, 高山健志, 横田秀夫, 五十嵐健夫, "柔軟物体のためのアニメーションデザイン手法", 映像情報メディア学会誌, 64, 2(2010), 183-187. 査読無

[学会発表] (計13件)

① 井尻敬, 芦原貴司, 梅谷信行, 原口亮, 横田秀夫, 五十嵐健夫, 中沢一雄, "Shape Matching法を用いた心臓拍動の計算手法", 日本機械学会バイオエンジニアリング部門生物機械システム研究会, 2011/12/12, 大阪大学.

② Takashi Ijiri, Takashi Ashihara, Nobuyuki Umetani, Takeo Igarashi, Ryo Haraguchi, Hideo Yokota, Kazuo Nakazawa, "Am Efficient, Robust Framework For Simulating the Beating Heart", *23rd Conference of the Society for Medical Innovation and Technology*, 2011/9/13-16, Tel Aviv, Israel.

③ Yu Sato, Takashi Ijiri, Tatsushi Kobayashi, Hideo Yokota, Masaaki Ito, Semi-automatic Segmentation Tool for Anal Sphincter Muscles, *23rd Conference of the Society for Medical Innovation and Technology*, 2011/9/13-16, Tel Aviv, Israel.

④ 上野大樹, 井尻敬, 井上雅弘, 田尻雄大, 大古美治, 榎山和秀, 山中弘行, 佐野太, 林成彦, 中井川昇, 小川毅彦, 上村博司, 矢尾正祐, 窪田吉信, "3D model 作成ツール (VTracer) の腹腔鏡下腎手術シミュレーターにおける有効性の検討", 日本 VR 医学会, 第11回大会 2011/8/27, 奈良先端科学技術大学.

⑤ 井尻敬, 芦原貴司, 梅谷信行, 原口亮, 横田秀夫, 五十嵐健夫, 中沢一雄, "幾何制約に基づく運動計算手法を用いた実時間心臓拍動シミュレーション", 第50回日本生体医工学会大会, 2011/4/29-5/1, 東京電機大学.

⑥ 井尻敬, 横田秀夫, 輪郭線編集による三次元抽出領域の修正インタフェース, VCAD シンポジウム 2011/3/2-3, 理化学研究所.

⑦ 井尻敬, 芦原貴司, 梅谷信行, 原口亮, 横田秀夫, 五十嵐健夫, 中沢一雄, "インタラクティブな心臓拍動シミュレーション", バイオメディカルインタフェースワークショップ, 2011/2/27-28, 宮古島.

⑧佐藤雄,井尻敬,小林達伺,横田秀夫,伊藤雅昭,“三次元肛門管の領域抽出法の開発”,バイオメディカルインタフェースワークショップ,2011/2/27-28,宮古島.

⑨井尻敬,横田秀夫,“輪郭編集による三次元抽出領域の修正インタフェース”,情報処理学会 グラフィクスとCAD研究会 第142回研究発表会,2011/2/8-9,慶応義塾大学.

⑩井尻敬,芦原貴司,梅谷信行,原口亮,横田秀夫,五十嵐健夫,中沢一雄,インタラクティブな心臓の拍動シミュレーション手法,日本医療情報学会,第30回連合大会,2010/11/19-21,アクトシティ浜松.

⑪梅谷信行,五十嵐健夫,井尻敬,後藤陽一,鍵崎泰治,黒崎健一,岩田倫明,谷昇子,原口亮,中沢一雄,“対話的な形状編集機能と血流予測機能を備えた先天性心疾患のための説明用シェーマシステムの開発”,日本医療情報学会,第30回連合大会,2010/11/19-21,アクトシティ浜松.

⑫ Takashi Ijiri and Hideo Yokota: Contour-based Interface for Refining Volume Segmentation, *Pacific Graphics2010*, 2010/10/7-9, Jeju, Korea.

⑬井尻敬,横田秀夫,牧野内昭武,“三次元画像における抽出領域修正のためのインタフェース”,MIRU 2010 サテライトワークショップ,細胞内画像処理 2010/7/26,釧路市観光国際交流センター.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

①名称:画像表示装置、画像表示方法、曲線特定装置、曲線特定方法、及び、記録媒体
発明者:井尻敬、横田秀夫
権利者:理研
種類:特許
番号:2010-149497
出願年月日:平成22年6月30日
国内外の別:国内

②名称:領域データ編集装置、領域データ編集方法、プログラム、及び、記録媒体
発明者:井尻敬、横田秀夫
権利者:理研
種類:特許

番号:2010-149462

出願年月日:平成22年6月30日

国内外の別:国内

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ

<http://www.riken.jp/briect/ijiri/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井尻 敬 (IJIRI TAKASHI)

独立行政法人理化学研究所・生物情報基盤構

築チーム・特別研究員

研究者番号:30550347