

機関番号：21201
 研究種目：基盤研究 (C)
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20500425
 研究課題名 (和文) 医用画像診断のための三次元画像処理および可視化技術における基礎的研究
 研究課題名 (英文) Research for 3D image processing and visualization techniques for medical image diagnosis
 研究代表者
 土井 章男 (DOI AKIO)
 岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・教授
 研究者番号：60271839

研究成果の概要 (和文)：

本稿では、CT や MRI などの 3 次元画像処理と CG (Computer Graphics) 技術について述べた。また、我々が開発した 3 次元画像処理ソフトウェア Volume Extractor (VE) を用いて、その有効性を示した。CT や MRI などの 3 次元医用画像は、非常に多くの情報を有しており、人体を非侵襲で探査可能な有効な診断ツールである。VE は、実用的な 3 次元画像処理ソフトウェアであり、岩手県立大学で研究・開発された。VE は 1998 年から開発が始められ、現在、バージョン 3.0 が利用可能である。

研究成果の概要 (英文)：

In this paper, we have described several techniques based on 3 dimensional image and Computer Graphics (CG), and we have shown the effectiveness in medical fields by using 3 dimensional image processing software, which we called "Volume Extractor". 3 dimensional images, such as CT and MRI, have a lot of information for human body, and it is an effective diagnosis tool. Volume Extractor (VE) is a practical 3D image processing software which was researched and developed at Iwate Prefectural University, Japan. The development of VE was initiated in 1998, and Ver. 3.0 is presently available for use.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：計算機システム、ソフトウェア学、アルゴリズム、可視化、医用画像

1. 研究開始当初の背景

人体内部を非接触で検査出来る CT 装置や MRI は、高性能化しており、同時にコンピュータの計算処理能力や表示能力も各段の進

歩を遂げている。しかしながら、高齢化社会において、医療分野における医師、技師、看護師の負荷は大きくなり、医療費も年々、上昇している。これらの問題点を解決するため

には、病気の早期発見や予防医学が、健康な生活を維持する上で、必要不可欠である。そのためには、医師、技師の負担を軽減させるコンピュータ支援システムの研究は重要である。また、工学におけるモデリングやデザイン分野において、3次元曲面を含む複雑な形状や部品の試作品を迅速に作成するためにラピッドプロトタイピング (Rapid Prototyping) と呼ばれる成型技法が広く利用されている。ラピッドプロトタイピングを行う装置は低価格化しており、実物モデルを簡単に生成できる。そのため、デザインの確認や部品のチェックが容易になるので、広く使用されている。さらに3次元モデルから4面体や6面体メッシュを生成することで、有限要素法による応力解析や差分法による流体解析などを使用して、計算機上での十分な設計や動作確認などが可能になる。

2. 研究の目的

本研究では、容易に計測可能となったCT装置やMRI装置からの膨大な3次元画像に対して、診断支援や医師や技師の負担を軽減することを目的としたものである。

現状の診断医療で行われている、大量のCT画像やMR画像から1枚づつ症例をチェックする作業は膨大であり、誤診断や見落としが生じやすい。特に複数のモダリティ (例えば、CT画像、MR画像、MRA画像、DT-MR画像) を総合的に判断する場合、専門医においてもコンピュータの診断支援は必要不可欠である (例えば、くも膜下出血の診断の場合、CT検査とMR検査が併用されるが、出血が少量の場合、医師の誤診断から手遅れになることが問題になっている)。

このような問題を解決し、少しでも医師の負担を軽減するために、我々は、「脳の病気」(くも膜下出血、脳内出血、脳梗塞、脳神経障害、脳腫瘍、骨髄炎などを含む) を対象にした、臨床で使用可能な診断支援システムの構築を最終的な研究目的としている。この目標を実現するために、医用画像処理技術、可視化技術、領域認識技術、ソフトウェア技術などの基礎的な研究と、臨床用の医療システムに関する応用研究 (自動診断、診断支援、可視化ツールの開発) を並行しながら、研究を進めている。

3. 研究の方法

CT/MRI画像に対して、より領域の認識を高め

るために、分類手法の精度向上 (ノイズ除去や平滑化の改良)、セグメンテーション手法の確立 (ヒストグラムを利用した対話処理、変形モデル、あらかじめ用意したテンプレートによるモデル化など)、効果的な3次元表示手法の開発、3Dプリンタを用いた実体モデルの生成、などを行った。

特にエッジの保存が可能なbilateral filterなどの非線形画像フィルタを開発し、患者のCT/MR画像から、ノイズ除去や平滑化の改良を行う。これらの非線形フィルタリングを行った結果に対して、大脳領域 (白質、灰白質)、しわの領域、血管領域などの正確な抽出を試みる。症例としては、くも膜下出血に加えて、脳内出血や脳梗塞等にも対応可能とする。システムを構築する上での基盤技術としては、以下の機能強化に重点を置いた。

(1) 画像処理および分類手法

① 分類手法の精度向上

FCM (Fuzzy C-Means) 法、K-means法による自動領域分割法の改良と評価を行い、その有効性を確認した。

② セグメンテーション手法の確立

具体的には、a) 領域限定型リージョン・グロウイング (Region Growing: RG) 法と、b) 画素の統計情報を用いたヒストグラムベースの手法、c) 変形モデルの研究開発を行った。特に変形モデルでは、単純なメッシュモデルではなく、制御点を持ったメッシュモデルの変形を試みた。

(2) GPU機能を利用した3次元画像表示

一般にボリュームレンダリングは、1) レイ上でサンプリング、2) サンプリングごとに色情報と透明度情報に変換、3) レイ上で色情報と透明度情報の積算計算、の処理により、画像生成される。この一連の処理は、GPUのテクスチャマッピング機能と α ブレンド機能を用いて、高速化することが可能である。3次元画像の各画素に対する色情報 (R、G、B値) と透明度情報 (α (アルファ) 値と呼ばれる) は、GPU側のビデオメモリー内部にテクスチャ画像として保存する。GPUの α ブレンド機能は、各画素値の透明度 α を使って、2次元画像を積算する機能であり、半透明なポリゴンの重ね合わせ演算をハードウェアで行える。これらの処理は、CPUに依存しないため、処理速度が速い。表示する際

は、最初に X、Y、Z 方向に対するテクスチャマッピングされたポリゴン列をあらかじめ作成しておく。視点が変更された際は、どの向きのポリゴン列を表示するかを、面の法線ベクトルおよび視線ベクトル情報を用いて、決定する（視線方向に対して、一番正面に向いているポリゴン列を使用する）。

(3) GPU (Graphics Processing Unit) の利用

ビデオメモリー上に、色情報と不透明度のテクスチャ画像（3次元画像）を保管する際、そのテクスチャ画像の画像圧縮を行って、ビデオメモリーを有効に使用することが可能である。この技術は、ゲーム業界やビデオ業界で業界標準となり、現在では、DirectX、OpenGL でサポートされている。この技術を用いると、比較的小さなビデオメモリーのグラフィックスアダプターでも3次元画像を表示することが可能になってくる。テクスチャ画像の圧縮アルゴリズムは、S3TC (Microsoft社の DirectX 6.0 で利用可能となり、DXTC (DirectX Texture Compression) とも呼ばれる) が使用されている。本アルゴリズムは、単純なメモリアクセスと固定レートによるデータ圧縮 (DXT5 の場合、32 ビットの 16 ピクセルを 128 ビットデータに変換するため、元画像は、4分の1に圧縮される) であるため、ハードウェア圧縮に向いており、広く使用されるようになった。

圧縮率や画像の種類によって、DXT1~DXT5の種類があり、DXT5 が一番高品質である。OpenGL でも、OpenGL Ver. 3 からその仕様が決められた。また、当初、2次元テクスチャを用いて、大理石や木目内部や霧などを表現することは困難であったため、表面だけではなく、内部情報も含んだ3次元テクスチャが考案された。この3次元テクスチャ技術を用いると、どの方向からもアクセスが可能になるため、必要とするビデオメモリーの容量は従来の方式に比べて、3分の1になる。そのため、3次元画像のボリュームレンダリング表示の場合、より効率的に行えるようになった。さらに S3TC と併用することで、大規模なボリュームデータの可視化にも適用可能となった。もともと、3D テクスチャや S3TC は、ゲームやビデオ業界におけるリアリティ向上とメモリー節約に対する強い要望から生まれた技術であったが、大容量のメモリー

を消費するボリュームレンダリング表示にも適している。

(4) ラピッドプロトタイプング技術の応用
究極の3次元表現を考えた場合、仮想空間の物体と同一の形状、模様、質感で、実際に触れることが可能な物体の再現が望ましい。この目標を達成する可能性がある技術の一つとして、3D プリンタや光造形機が挙げられる。3D プリンタや光造形機は、CAD (Computer Aided Design) から生まれた装置であり、物体表面を3角形のポリゴンデータで表現することで、その形状を再現する。そのため、3次元画像から、必要な3次元形状モデルを再構成する必要がある。この作業は、「3次元形状再構成」と呼ばれる。ユーザが任意に指定した輝度値に対して、その輝度値に等しい面を取り出して、その隣接する要素をつなぐ操作は、「等値面生成」と呼ばれており、作成した面はポリゴンデータとなるため、他のアプリケーションで使用可能である。骨など、他の領域に比較して、明確な輝度値の差がある場合は、2値化処理だけで分離が可能である。抽出する領域の輝度値が他の領域と余り変わらない場合（表面形状が明確でない場合）、対象領域の抽出作業（「セグメンテーション」と呼ばれる）が必要となる。特に、1) 対象とする領域の輝度値が他の領域の輝度値と類似している、2) 対象とする領域の輝度値が徐々に変化する、3) 使用する3次元画像にノイズや誤差が含まれている、などの場合、そのセグメンテーションは一般に困難な作業となる。セグメンテーション手法には、対話形式、画像処理フィルタ、変形モデル、統計的手法など多くのアプローチ、また、これらの手法を組み合わせた方式などが提案されている。

コンピュータ内の3次元形状データから実際の3次元的な造形物を迅速に作り出す技術は、「ラピッドプロトタイプング (Rapid Prototyping: RP)」と呼ばれている。その造形原理は、任意の3次元形状を高さ方向に一定間隔でスライスして得られる2次元輪郭（断面）を、順次、接合することで、3次元形状を復元する。この造形方式は「積層造形法」と呼ばれ、加熱して溶かした樹脂を積層する熱溶解積層方式、光に当たると硬化する樹脂を使用する光造形方式、粉末樹脂を積み重ね焼結させる粉末造形方式などがある。熱溶

解積層方式では、加熱して、溶かした樹脂を微細なノズルから出しながら、積層することで3次元形状を造形する。本方式では、造形と同時にサポート材を作成することで、積層した造形物をサポートする。光造形方式は、光に当たると硬化する特殊な樹脂（例えば、アクリル系紫外線硬化型樹脂）に紫外線などのレーザーを照射して、造形を行う。光造形方式は、早い段階から製品化されたが、一般に高価格である。各プリンタの造形方式は異なるが、その入力となる3次元形状の記述には、業界標準である STL (Stereo Lithography)、VRML (Virtual Reality Modeling Language)、PLY (Stanford Triangle Format) 等が使用されている。特に STL ファイルフォーマットは、単純な 3 角形集合の記述であり、ASCII 型（文字型）とバイナリー型の 2 通りのフォーマットが存在している。

現状の RP 技術は、材料も豊富であり、今後、リアルな 3 次元形状表現として、幅広い利用が可能である。そのため、よりコストが安く、高速で、リアルな表現が可能な造形手法が望まれる。例えば、3次元空間内で複雑な配置となる血管や腫瘍の表現には非常に有効である。現状では、その表示に対して、MIP (Maximum Intensity Projection) 法が一般的であるが、血管同士が重なり合うため、十分な奥行き感を得られない。そこで、我々は、3Dプリンタを用いて、以下の研究開発を行った。

- a) 3Dプリンタによる実体モデル作成とボリュームレンダリング表示との比較
- b) Z社のZプリンタを用いて、テクスチャや色情報を持った造形モデルの開発
- c) 断面テクスチャを正確に取得する方式の検討
- d) 実物モデルと造形モデルの色やテクスチャの客観的評価とリアルな色再現

4. 研究成果

本稿では、CT や MRI などの 3 次元画像処理と CG (Computer Graphics) 技術について述べた。また、我々が開発した 3 次元画像処理ソフトウェア Volume Extractor を用いて、その有効性を示した。CT や MRI などの 3 次元医用画像は、人体を非侵襲で探査可能な診断ツールであり、非常に多くの情報を有している。VE は、実用的な 3 次元画像処理ソフトウェアであり、岩手県立大学で研究・開発された。

VE は 1998 年から開発が始められ、現在、バージョン 3.0 が利用可能である。

現状では、静止画像を対象とした画像診断が主な用途であるが、今後、取得する画像数の増加に伴い、時系列を支援する様々な診断支援システムや診断ツールが必要となってくる。また、同時にグレースケール画像だけではなく、効果的な色画像を扱う医療データツールが開発されるであろう。

特に、医療分野におけるソフトウェアは、今後、汎用的なソフトウェアから臨床用途に特化したソフトウェアが開発され、診断支援や使い易さが向上すると思われる。特定の部位や症例に応じたソフトウェアの場合、機能が少ない分、患者への対応も明確であり、医師が使いやすいソフトウェアになる。例えば、人工関節置換手術に特化したソフトウェア、脂肪計測用ソフトウェア、歯科用のインプラントソフトウェア、乳がんの診断支援システムなどは、今後、大きな需要が望まれるであろう。

今後の傾向としては、少子高齢化による医療費の増大や患者に対する説明責任・インフォームド・コンセントにより、効率的な診断が、益々、重要となってくるであろう。そのため、今後、工学だけではなく、様々な分野（生物学、遺伝子学、数学、など）との連携が進むと思われる。

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 7 件)

- ① A. Doi, K. Noguchi, K. Katamachi, T. Ishii, H. Uno, Y. Mega, K. Mmatsui, "A Computer-assisted Internal Examination Training System Using Both Anatomical and Virtual Models", International Journal of Design & Nature and Ecodynamics on "Modelling in Medicine and Biology", 査読有, Vol. 5, No. 2, pp. 1-14, 2010.
- ② A. Doi, H. Fujimura, M. Nagano, T. Inoue, A. Ogawa, "A Method of Visualization of Brain Neural Pathway Using Critical Points and Target Regions", Journal of Fluid Science and Technology,

査読有, Vol. 3, No. 5, pp. 678-689, 2008.

③ 徳田正幸、土井章男、伊藤史人、鈴木昌彦、羽石秀昭、“X線CR下肢画像による膝関節の大腿骨と脛骨の骨軸の自動抽出法”、画像電子学会論文誌、査読有、第37巻、第4、pp. 486-494、2008.

④ 土井章男、高橋弘毅、伊藤史人、“下肢画像からの自動骨軸抽出法とその応用”、査読無、Medical Imaging Technology, Vol. 28, No. 5, 2010.

⑤ 土井章男、“医療分野におけるボリュームビジュアルライゼーションとその応用”、磁気科学学会雑誌、査読無、19巻1号、pp. 1-10、2010.

⑥ 土井章男、“3次元画像処理とRapid Prototyping(RP)技術の医療応用—Volume Extractorによる医療用造形モデルの構築—”、塑性と加工、査読無、第51巻、第590号、pp. 37-44、日本塑性加工学会、2010.

⑦ 土井章男、鈴木聡史、山佐史人、松井桂一、伊藤史人、女鹿幸夫、伊藤忍、“形状編集機能を包含した3次元画像処理システムVolume Extractor Ver. 3.0”、画像ラボ 2009 1月号、査読無、pp. 40-47、2009.

[学会発表] (計 6 件)

① A. Doi and K. Ono, “Digital Archiving of Archaeological Remains Using X-Ray CT”, 10th WSEAS International Conference on Applied Computer Science (ACS '10), pp. 204-209, 2010/10/04, Iwate.

② A. Doi, K. Noguchi, K. Katamachi, T. Ishii, H. Uno, S. Mega, K. Matsui, “An Internal Examination Training System Supporting Abnormal Labor Conditions”, Biomed 2009, pp. 303-312, 2009/05/26, Greek.

③ 土井章男、高橋弘毅、馬渡太郎、女鹿幸夫、“マルチボリュームデータ処理とその応用”、日本バーチャルリアリティ学会研究報告、Vol. 16, No. TTS01, TTS11-1-4, pp. 1-18, 2011/01/28, Iwate.

④ 土井章男、徳田正幸、伊藤史人、鈴木昌彦、羽石秀昭、“CT画像からの骨軸自動抽出とその応用”、日本バーチャルリアリティ学会研究報告、Vol. 14, No. 01, TTS09-1-4, 2009/02/27, Iwate.

⑤ 伊藤史人、土井章男、羽石秀昭、鈴木昌彦、徳田正幸、“TKAにおける骨参照情報を利

用した医用画像の位置合わせ手法の開発”、電子情報通信学会技術研究報告(医用画像)、Vol. 107, No. 461, pp. 259-264, 2008/01/28, Okinawa.

⑥ 土井章男、鈴木聡史、山佐史人、松井佳一、伊藤史人、女鹿幸夫、伊藤忍、“招待講演」Volume Extractor Ver. 3.0—3次元画像処理と形状再構成—”、画像電子学会第239回研究会、No. 461, pp. 259-264, 2008/07/31, Iwate.

[図書] (計 1 件)

土井章男、松井桂一、山佐史人、伊藤史人、鈴木聡、(株) アイプランツ・システムズ、“Volume Extractor Ver. 3.0 操作マニュアル、” <http://www.i-plants.jp/hp>”、2008、226.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：膝関節の大腿骨及び脛骨の骨軸自動抽出方法ならびに骨軸自動抽出プログラム
発明者：徳田正幸・伊藤史人・土井章男
権利者：岩手県立大学

種類：特許

番号：特願2007-183768、

公開2009-018065

出願年月日：2007. 7. 12

国内外の別：国内

[その他]

岩手県立大学先端可視化研究所：
<http://advancedvislab.com/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土井章男 (DOI AKIO)

岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・
教授

研究者番号：60271839