

平成 22 年 6 月 4 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19500083

研究課題名(和文) 2次元マップによる多次元画像情報の一覧表示に関する研究

研究課題名(英文)

Display of information in multi-dimensional images by two-dimensional maps

研究代表者

水田 忍 (MIZUTA SHINOBU)

京都大学・情報学研究科・助教

研究者番号：40314265

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、2次元マップによる多次元画像情報の一覧表示である。我々はまず、3次元濃淡画像を対象として、等値面の多次元空間中での分布を考慮した2次元マップ表示手法である Contour Structure Map(CSMap)を提案した。我々は次に、等値面に生じるハンドル・Concavity情報を2次元マップへ反映させる手続きとして、3次元2値画像からの微小な穴領域の抽出とCSMapによる可視化手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of our research is to display the information in multi-dimensional images by two-dimensional (2D) maps. In this research, we proposed a method named Contour Structure Map (CSMap) as a 2D map displaying the spatial distribution of isosurfaces in input three-dimensional (3D) scalar images. We also proposed a method to extract the hole regions from 3D binary images, and that to visualize the result using CSMap, as a procedure to display the information of handles and concavities in isosurfaces of input images.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：医用工学

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：多次元画像、可視化、等値面、一覧表示、医用画像

1. 研究開始当初の背景

特に医療分野において、X線CTやMRI(核磁気共鳴画像)、超音波画像など断層像で構成される種々の3次元画像は、撮影手法・装置の急速な発展と普及に伴って一般化し、またこれらの時系列による4次元画像も利用可能

になりつつある。これらの医用画像としては、人体内外の形状を表現する形態画像に加えて、血流や代謝の状態、組織の弾性率、神経走行に沿った水分子の拡散傾向などを表現する、種々の機能画像も用いられる。形態画像は多くの場合スカラ値を各画素に持つ濃

淡画像であるが、機能画像は画素値がベクトルやテンソルの形をとる場合も多い。また、種々の画像を重ね合わせて特徴間の相互関係を提示する場合もあり、これも一種のベクトル画像と考えられる。

これらの多様な医用画像は、撮影の高速化・高精細化に従い、膨大な患者の情報を医師に提供している。これは疾患の早期発見等に大きく寄与するが、一方で医師に対応困難なほどの負担を与える場合も起きつつある。従って、これらの画像を医師が効率的かつ見落としなく観察するための手続きの確立は、医療分野において早急に実現が求められている課題である。

2. 研究の目的

3次元以上の多次元画像を観察する場合には、直接観察できない対象内部の情報提示を行うことが必要となる。本研究では、このような処理を実現するための一つのアプローチとして、多次元画像全体にわたる画素値分布を、直接観察可能な2次元マップの形で一覧表示する手法の確立を最終的な目標とする。ここでは、多次元画像の各画素がマップ上のいずれかの位置に対応することを2次元マップに求める要件とし、これを満たす条件の下で、利用者が画素分布の特徴を直感的に把握可能な表示の実現を目指す。

スカラ値に基づく濃淡画像の画素値分布は、等値面集合により表現可能である。地形図や天気図などに見られる通り、等値面集合はスカラ値分布の特徴を記述する有効な手段の一つである。しかし多次元画像の場合、等値面は他の等値面に包含され直接観察できない場合が生じる。これに関し、等値面相互の並立・包含関係は木構造により記述できることが示されており、これに基づいて等値面の相互関係は2次元表示することが可能となる。本研究ではこのような2次元表示に着目し、まず濃淡画像について、(A)等値面相互の多次元空間中での位置関係、(B)各等値面が保有する幾何的特性、を反映した2次元マップの構築を、研究の第1の目的とする。次に、濃淡画像について得られた2次元マップの構築手続きをベクトル・テンソル画像へ拡張する手法の確立を、研究の第2の目的とする。本研究は医用画像を対象としており、医師が求める画像情報を如何に効率的かつ見落としなく獲得出来るかを、2次元マップ表示に関する有効性の指標とする。

3. 研究の方法

本研究の特色である、多次元画像全体の2次元マップ表現を実現するために核となる技術として、等値面間の並立・包含関係を木構造により記述する手続きと、木構造の2次

元表示が挙げられる。連続的なスカラ値分布の等値面構造を木構造記述する手続きには、Boyerらが提案したContourTree[1]があり、近年 Carrら[2]や Pascucciら[3]によりContour Treeの効率的な抽出手法が提案され、現実的な処理時間による木構造の抽出が可能となっている。[2]は処理対象分布の次元数について制約がないため、3次元以上の多次元分布についても等値面構造の記述が可能である。国内では、東京大・高橋らが同様の等値面構造記述手続きについて検討を進めている[4]。木構造の2次元表示については、Shneidermanら[5]や Chuarh[6]などにより幾つかの手法が提案されており、国内では例えば IBM・伊藤ら[7]による検討例がある。

上記のように、これら2つの技術は個別に検討が進められているが、両者を組み合わせて等値面構造を2次元表示し、多次元画像の効率的な特徴把握を実現する手続きについては検討されていないようである。研究代表者はこれまでに、離散的な多次元デジタル画像を対象とした等値面構造の木構造記述手続きである Region-based Contour Tree を提案している[8]。また、ここで得られた等値面構造を記述する木構造を矩形領域の入れ子構造により2次元表示する Contour Nest を提案している[9]。本研究では、これら2つの手法を基礎とし、各等値面の幾何特性の抽出と2次元表示への反映、ベクトルおよびテンソル分布への手法の拡張を技術的課題として研究を進めた。

本研究ではまず濃淡画像について、(A)等値面相互の多次元空間中での位置関係、(B)各等値面が保有する幾何的特性、を反映した2次元マップの構築を、研究の第1の目的とする。次に、濃淡画像について得られた2次元マップの構築手続きをベクトル・テンソル画像へ拡張する手法の確立を、研究の第2の目的とした。(A)については、等値面の並立・

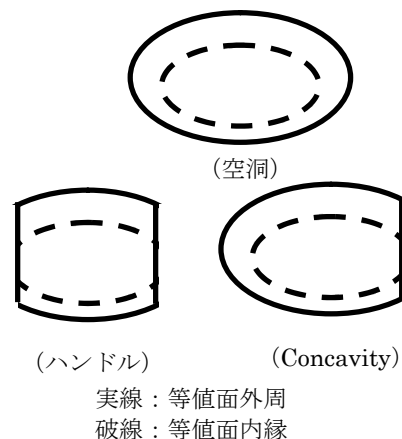


図1 3次元スカラ分布の空洞・ハンドル・Concavity

包含関係の他，並立する等値面の多次元空間中での相互配置なども考慮の対象とした。また，(B)については，3次元等値面におけるハンドル（ドーナツ状の形状における穴に相当）やConcavity（くぼみ）などに注目した。

3次元濃淡画像を対象として等値面の並立・包含関係を2次元表示する手続きについては現在既に検討を進めており，これを基礎として（A）並立する等値面の多次元空間中での相互配置を考慮した2次元マップ表示，（B）ハンドル・Concavity情報の2次元マップへの反映手続き，の2点を重点的な課題としてアルゴリズム開発を行った。図1に示す通り，3次元スカラ分布においてある等値面の内部に生じる空洞とハンドル・Concavityは互いに密接な関係にあると考えており，課題（B）ではこれらの関係を反映した2次元マップ表示の実現を図った。3次元濃淡画像を対象とした上記アルゴリズム開発完了の後，4次元画像およびベクトル・テンソル画像への手法の拡張について検討するものとした。

【参考文献】

[1]R.W. Boyell, H. Ruston, “Hybrid techniques for real-time radar simulation,” IEEE Proc. Fall Joint Computer Conference 63, pp.36-37, 1963.
 [2]H. Carr, J. Snoeyink, J. Axen, “Computing contour trees for all dimensions,” Computational Geometry, Vol.24, pp.73-94, 2003.
 [3]V. Pascucci, K. Cole-McLaughlin, “Efficient computation of the topology of level sets,” Proc. IEEE Visualization 2002, pp.187-194, 2002.
 [4]S. Takahashi, Y. Takeshima, I. Fujishiro, “Topological volume skeletonization and its application to transfer function design,” Graphical Models, Vol.66, Issue 1, pp.24-49, 2004.
 [5]B.B. Bederson, B. Shneiderman, “Ordered and quantum treemaps: making effective use of 2D space to display hierarchies,” ACM Trans., Graphics, Vol.21, No.4, pp.833-854, 2002.
 [6]M. Chuarh, “Dynamic aggregation with circular visual designs,” IEEE information visualization '98, pp.35-43, 1998.
 [7]T. Itoh, U. Yamaguchi, Y. Ikehata, Y. Kajinaga, “Hierarchical data visualization using a fast rectangle-packing algorithm,” IEEE Trans. Visualization and computer graphics, Vol.10, No.3, pp.302-313, 2004.
 [8]S. Mizuta, T. Matsuda, “Description of digital images by region-based contour

trees,” Lecture Notes in Computer Science 3656, pp.549-558, 2005.

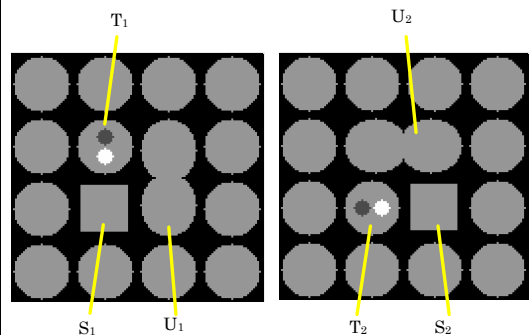
[9]S. Mizuta, T. Ono, T. Matsuda, “Contour Nest: A Two-dimensional Representation for Three-dimensional Isosurfaces,” Proc. Volume Graphics, pp.67-70, 2006.

4. 研究成果

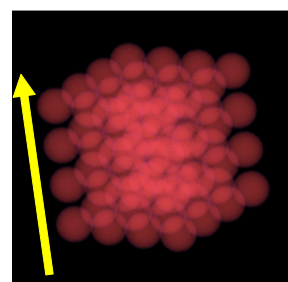
(1) 空間分布を反映した3次元画像中での等値面構造の2次元表示

①概要

並立する等値面の多次元空間中での相互配置を考慮した2次元マップ表示手法であるContour Structure Map(以後 CSMaP と略す)を提案し，3次元濃淡画像を対象とするシステムの実装を行った。本手法は，対象画像の注目する1軸について，等値面が囲む領域のこの軸に沿った分布を記述するものであり，他の軸については並立等値面相互の順序関係を記述する。CSMaPの縦軸が対象画像の注目軸に対応するものとする，横軸は注目軸と直交する対象画像の断面における，等値面内領域の面積に対応し，対象画像の各画素を，CSMaP上の対応位置と関連付けることが可能となる。提案手法では，並立等値面間の相互配置と共に，各等値面が囲む領域の形状を反映する，注目軸に沿った分布も可視化される。これにより，原空間での画素値分布を反映した2次元マップが得られる。



(a) cross-sectional image 1 (slice 0) (b) cross-sectional image 2 (slice 1)



(c) volume-rendering result

図2 処理対象画像

②処理結果

図2に示す処理対象3次元画像に対し、提案手法を用いて等値面構造の2次元表示を行った結果を図3に示す。対象画像は背景よりも高画素値の球状領域の集合からなり、図2(a)(b)の断面表示に示す通り、その一部に領域相互の連結(図の U_1, U_2)、立方体領域との置換(同 S_1, S_2)、領域内部に包含される高/低画素値領域(同 T_1, T_2)設定の操作を行っている。図2(c)は処理対象画像のボリュームレンダリング表示であり、矢印は提案手法で用いる注目軸の配置を示す。等値面領域に対応する矩形領域を入れ子構造で配置した、図3(a)に示すContour Nestでは上記領域の差異は観察困難であるのに対し、図3(b)に示すCSMapでは、注目軸に沿った等値面内領域の分布を表示することで、これらの差異が把握可能な形で2次元的に示されている。ここで、注目軸に対応するCSMapの軸はCSMapの垂直方向としている。図3(c)は図(b)の内、上記処理対象画像の操作に関わる部分を拡大したものである。

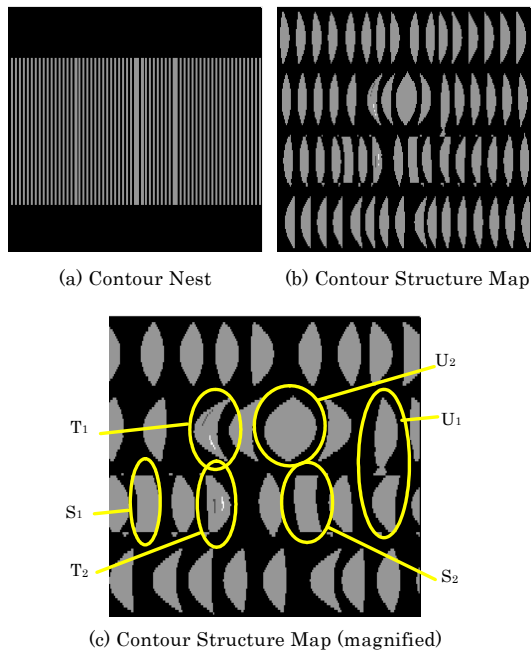


図3 等値面構造の2次元表示結果

③医用画像を対象とした処理例

図4(a)に、処理対象画像(正中面付近の矢状断面)を示す。また、原画像より求めたCSMapを図4(b)に示す。注目軸は原画像の足部-頭部方向に沿った軸とし、図に示すCSMapの垂直方向に対応するものとする。

図4(c),(d)に、心臓内腔およびその周辺の特徴的な部位について、等値面解析により得られた領域と対応するCSMapの2次元形状とを示す。X3D(原画像の足部-頭部方向)に

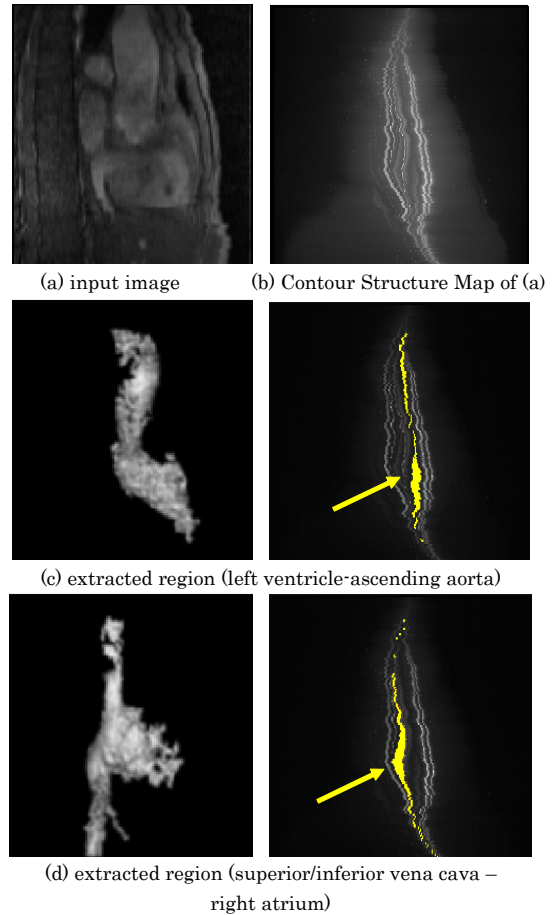


図4 心臓MRIを対象とした処理例

沿ったCSMapの分布について、図(c)では左心室周辺、図(d)では右心房周辺で対応する2次元形状の幅が大きくなる傾向が見られる。これより、原画像での分布の傾向がCSMapの対応する2次元形状の分布に反映していることが確認された。

(2) 多次元画像中の穴領域抽出と可視化

①概要

多次元画像の等値面に生じるハンドル・Concavity情報を2次元マップへ反映させることが有効となる場合の一つに、等値面構造を大幅に変動させる穴領域への対応が考えられる。ここで、複数の背景領域を結合するこのような微小領域を穴領域と呼ぶものとする。例えば、空洞を包含する対象物に対し、空洞と外部領域を結合する穴領域が存在する場合、空洞領域と外部領域は同一の領域となり、空洞領域のみを単一の領域として扱うことが出来ない。1つの空洞と外部領域を連結する穴領域が1つ存在すればこの領域はConcavityとなり、2つ以上であればハンドルとなる。

穴領域の生じる要因としては、対象物を画

像化する際の雑音などの他，対象物が持つ穿孔や亀裂などが考えられる．これら対象物が持つ微小構造は画像の観察から同定することが困難と考えられることから，微小な穴領域の抽出は等値面構造の変動軽減と共に，人体器官の診断における穿孔の検出や部品検査における亀裂の検出などを行う上でも有用となる．抽出された穴領域については，その領域が前景であった場合の等値面構造，およびその構造と穴領域との関係を把握することが求められる．

本研究では，多次元 2 値画像を対象とし，微小な穴領域の抽出と可視化の手続きを提案した．提案する領域抽出手法では，まず原画像と closing により得られた処理画像との差分画像を求める．次に，closing による処理画像の等値面構造を，Region-based Contour Tree (RBCT) により記述する．最後に，記述された処理画像の等値面構造に基づいて，差分画像上の各連結領域が穴領域か否かを判定し，この結果から穴領域を抽出する．結果の可視化は，抽出された穴領域を適切な画素値で原画像上に配置した後，Contour Structure Map を求めることで実現する．

②処理結果

単純な形状を表現する 3 次元画像を対象として，提案手法の効果を検証した．処理結果を図 5 に示す．処理画像は 2 値 3 次元画像である．対象画像は，前景領域として近接する 2 つの楕円体を表しており，その一方は 1 つの，他方は 2 つの空洞領域を内部に含む．1 つの空洞領域を持つ楕円体には内外を結合する穴領域と，穴領域に起因しない concavity が存在し，他方の楕円体には 2 つの空洞領域を結合する穴領域が存在する．対象画像をボリュームレンダリングにより図 5 (a) に示す．楕円体中の穴領域および concavity は，同一の 2 次元断面上に配置されるものとしている．対象画像中のこの断面を図 (b) に示す．

対象画像の CSMaP は，穴領域により背景領域の結合が生じ，図 (c) に示す通り空洞領域が見られなくなっている．closing を行った場合は，図 (d) の様に穴領域が除かれると同時に，concavity が除去され，また 2 つの楕円体領域が結合されており，CSMaP が示す等値面構造もそれに準じて図 (e) の様に変化している．

提案法による処理の結果，図 (f) の様に穴領域のみが抽出され，CSMaP では図 (g) の様に空洞領域が適切に示された．また，図に矢印で示す通り，CSMaP 上に穴領域が表現されることが確認された．

(3) 今後の課題

上記 (1) (2) に示す通り，本研究は 2 次元マップによる多次元画像情報の一覧表示

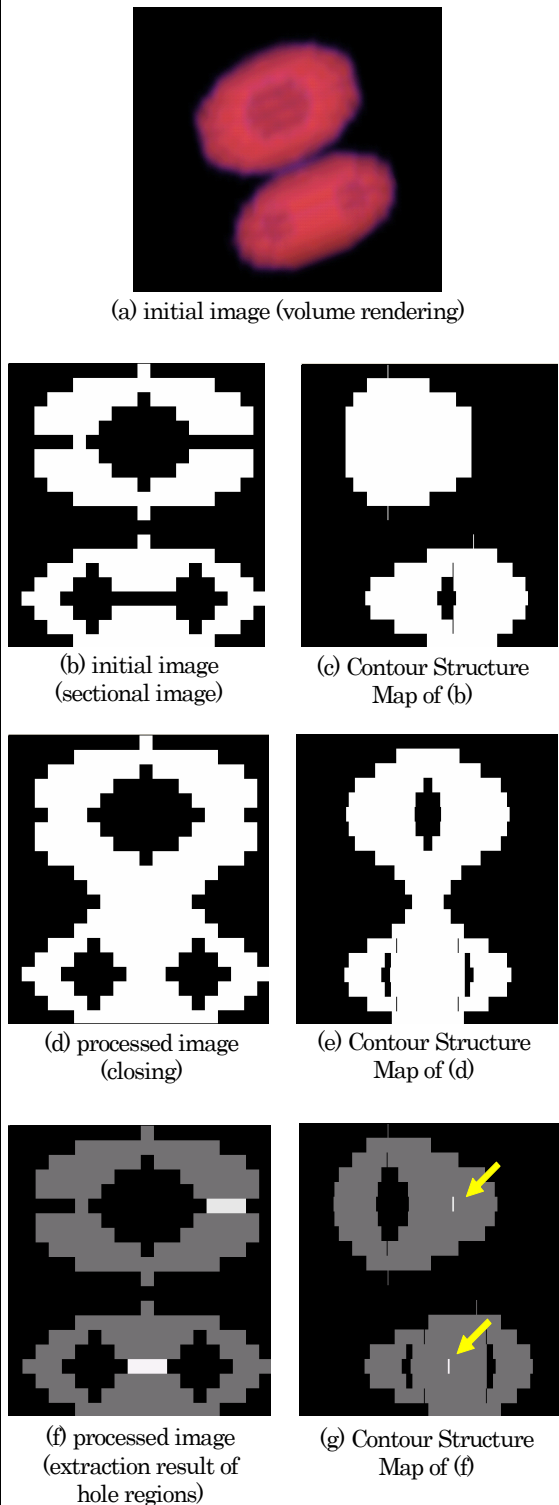


図 5 提案手法による穴領域の抽出と可視化

について，期間内に多くの進展を得た．しかし，当初計画していたものも含め検討すべき課題はいくつか残っており，ここではそれらについて示す．

①ハンドル・Concavity 情報の 2 次元マップへの反映手続き

上記(2)に示した穴領域抽出と可視化に関する提案手法は、2値画像を対象としたものである。濃淡画像を対象とした場合の手法の拡張について検討する必要がある。

提案手法はclosingにより原画像の穴領域が除かれることを前提としており、処理結果はclosingに用いる構造要素の設定パラメータに依存する。今後、このようなパラメータ依存性の軽減について検討する必要がある。

② 4次元以上の多次元画像への対応

本研究では、期間中に4次元以上の多次元画像への提案手法の対応について検討していない。3.に述べた通り、文献[2]より等値面構造の記述は可能であることから、4次元以上の画像への提案手法の拡張は容易と考えられるが、3次元以下の画像では見られない性質が現れる場合が想定されるため、この点を考慮して検討を進める必要がある。

③ ベクトル・テンソル画像への対応

本研究では、期間中にベクトル・テンソル画像への対応について検討していない。(2)に示した穴領域抽出と可視化手続きは、closing前後の画像を組み合わせて得られるベクトル画像の情報を2次元マップの形で表現したものと解釈できることから、この手続きを参考として、今後ベクトル・テンソル画像への対応手続きについて検討することが考えられる。

④ 手法の評価

本研究は医用画像を対象としており、医師が求める画像情報を如何に効率的かつ見落としなく獲得出来るかを、2次元マップ表示に関する有効性の指標としていた。しかし、提案手法が目的を達成しているか、医師により評価することは行っておらず、実際の臨床課題等を想定して評価法の検討と評価の実施を行う必要がある。

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2件)

[1] 水田忍, 松田哲也: Region-based Contour Tree を用いた多次元画像中の穴領域抽出と可視化, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, IE2009-186, 2010, pp. 41-46.

[2] 水田忍, 松田哲也: 空間分布を反映した3次元画像中での等値面構造の2次元表示, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, MI2009-33, 2009, pp. 181-186.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水田 忍 (MIZUTA SHINOBU)

京都大学・情報学研究科・助教
研究者番号: 40314265

(2) 研究分担者

松田 哲也 (MATSUDA TETSUYA)
京都大学・情報学研究科・教授
研究者番号: 00209561
(H19→H20: 連携研究者)

(3) 連携研究者

()

研究者番号: