

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28日現在

機関番号 12501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500158

研究課題名（和文） 画像理解の手法による3次元臓器の標準モデル生成とその診断支援への応用

研究課題名（英文） Computation of Mean Organs and Its Application to Clinical Diagnosis
研究代表者

井宮 淳（IMIYA ATSUSHI）

千葉大学・総合メディア基盤センター・教授

研究者番号：10176505

研究成果の概要（和文）：臓器形状の、時間変化の追跡、並びに、平均画像の計算法に関して基本的なアルゴリズムと計算コードを開発した。さらに、複数臓器の蓄積法に関する着想を得た。また、開発した手法を火星探査などの遠隔画像計測のようなまったく異なる分野へも適用可能であることが判明した。

研究成果の概要（英文）：We show that variational method for image registration provides a method for the computation of average of medical organ images. By selection criteria for the variational computation, the method yields the sharp average image. The method tracks the temporal motion of organs such as beating heart. This tracking method extracts evolution of cancers. The method is also usable to the up-conversion of video sequence observed in long-distance remote exploration.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学 知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：コンピュータビジョン

1. 研究開始当初の背景

わが国における生活習慣の変化により内臓疾患の患者が増加し、胃癌、脳溢血など次々と国民病になる可能のある内臓疾患が現れている。国民病の予防には胃の集団検診のように集団検診が有効である。多量のデータを扱う集団検診では、モデルデータを利用した疑わしいデータと健全なデータとの効率的な識別分類が必要となる。現状では判別

は、判読医の訓練と長年の経験によって行われている。しかし、対象となる臓器の種類、判別すべき病変の多様化に伴い、判読医の養成に長い時間が掛かることが問題となっている。そこで、医学教育用への利用と、高度診断支援として、臓器ごとの電子化された標準データの構築と検索技術が望まれている。モデルデータを利用する判別として、データを大量に蓄積する事例データベース利用型

識別、標準データを用意するモデル規範型識別の二つが代表的である。本研究では、臓器データの3次元標準モデル規範型による診断分別支援方式を構築することを目的とする。

臓器のような非剛体3次元形状は個人により異なっている。また、個人においても経年変化がある。そこで、標準的な形状に変換して、個人差や経年変化を記録する必要がある。1つ1つの臓器は、穴の開いた重なりのない曲面と考えることができる。このような形状を規格化して代表的なデータからの変化として個々のデータを表現する手法として、曲面を球面に変換する方法がある。この手法は人類学において頭骨の規格化データの表現のための一つの方法として利用されてきた。また、近年、アルツハイマー症候群の診断を目的として、脳の表面を球面に変換した球面規格化脳表現が利用されている。脳の診断、規格化はCT技術を中心と3次元映像化技術の発展により可能となってきた。一方、脳以外に医学診断において、検査の初期に行われる映像診断はX線透過による2次元透視画像診断が主流である。その後、必要に応じてMRIなどによる3次元診断に進む。したがって、3次元検査はもとより、初期検査である2次元透過画像から3次元分布の検索ができれば、3次元診断をさらに効率化できる。2次元透過像からの3次元形状の検索は、画像理解における見かけからの3次元理解と同様の手順で行うことができる。

本研究では、多数の臓器画像から、個人差による変化、年齢による経年変動を確率変動として、学習によって得られる平均化された規格化臓器を診断のためのモデルとすること提案するとともに、効率のよい照合法と検索法を構築する。そのために、

- ① 臓器形状の個人、経年変化の確率モデル化
- ② 学習による平均モデルの構築
- ③ 規格化臓器を標準蓄積モデルとした病変変化部分の検索

について、確率的固体変形理論の立場から、臓器形状の数理モデルに付いて研究した。

2. 研究の目的

通常の臓器は3次元空間に浮遊する変形形状と考えることができる。標準モデルを構築するためには個々の形状の違いを計る尺度を決定する必要がある。本研究では、集合間の食い違いを計る尺度であるグラモフ・ハウスドルフ距離を利用して、臓器間の距離尺度を構成する。グラモフ・ハウスドルフ距離は異なる次元に分布する二つの点集合を標準空間に変換してその間の食い違いを数量化する距離尺度である。標準空間への変換は、局所距離構造を保存したまま、曲面を変化させる曲

率流によって実現される。この変形は、脳の標準化に利用されている。しかし、個人差による形状の変動が大きい脳以外の臓器に適用するためには個々のデータならびにデータ集合の確率構造を保存する変換を取り扱う必要がある。また、実際に個々の心臓器の表面形状を標準空間に変形するためには、構造保存曲率流を数値計算する必要がある。

標準化されたデータを分類するためには、平面画像やユークリッド空間の点集合を分類する理論に変えて、抽象表現空間の分類理論を構築する必要がある。そこで、曲がった超曲面上の分布に対するパターン認識理論を開発する。

形状を電子的に変形する技術はモーフィングと呼ばれ、変形後の形状に元の形状曲面上のパターンを貼り付ける技術はモザイクと呼ばれる。この二つの技術は、現在では商業映画の編集などに利用されており、芸術支援としては完成された技術である。しかし、境界形状が確率的に変動する臓器モデルに対応するためには、新たに、臓器表面の局所的な確率変動をするテンソル量に対するモーフィングとモザイク技術を開発する必要がある。また、当然、臓器表面の特徴点を、MRI再構成画像列から高精度計算する手法を開発する必要がある。画像列の中の局所構造を抽出する手法として画像理解の中で開発された境界抽出手法はそのままでは、確率構造を持つ成画像に適用することはできない。そこで、新たに、確率構造を考慮した3次元局所構造の記述法と、その計測値からの計算法を開発する必要がある。すなわち、画像理解で利用される点集合モデルからの局所幾何構造の計算法を、統計的に揺らぎのあるデータからの計算法に拡張する必要がある。すなわち、確率微分幾何学を構築する必要がある。

3. 研究の方法

本研究では、多数の臓器画像から、個人差による変化、年齢による経年変動を確率変動として、学習によって得られる平均化された規格化臓器を診断のためのモデルとすること提案するとともに、効率のよい照合法と検索法を構築した。そのために、(1)臓器形状の個人、経年変化の確率モデル化、(2)学習による平均モデルの構築、(3)規格化臓器を標準蓄積モデルとした病変変化部分の検索について、確率的固体変形理論の立場から、臓器形状の数理モデルに付いて研究する。

曲面画像処理は、脳画像、顔画像の認識など、静止形状の3次元認識には利用されている。しかし、本研究で取り扱う、確率構造を持つ曲面分布の認識分類はまったく例をみないものである。そこで、曲面上において定義された関数のパターン認識理論を構築す

るために、曲面上の関数の境界、骨格などの不変特徴量の抽出、球面上に描かれた形状パターンの整合など、通常の画像や平面状の形状処理に対して開発された特徴量抽出理論を球面画像に適用するために、球面上の拡散方程式による処理法、球面上の多重解像度解析について研究した。

離散データは標準化されているために解像度以下のデータ欠損としての穴や、突起が計測されない。これらの不完全データを、位相幾何学的に正しい形状に修正をすることは、均質で間違いの無い3次元画像を生成する上で重要な技術である。そこで、離散データから計算される物体の離散多面体表現を基に、情報統合によって生じる幾何学的欠損や幾何学的余剰を自動的に判定し修正する技術を開発する。欠損や余剰を自動的に判定する機能として、幾何学的に正しい局所形状の組合せ構造を解明し、その組合せとして、曲面の記述や生成を整数値の計算だけで高精度に実現する手法を構築した。

また、脳、心臓以外の臓器の形状には個人差が大きい。しかし、人体解剖図には夫々の臓器が典型的な形状で描かれている。これは、個々の臓器に関する多数の解剖例から、典型的な形状を医師や医学画家が構成してきた結果である。本研究では、MRI画像やX線透視画像から得られる非侵襲的解剖学見地に基いて、電子的に臓器の標準を構築し、構築された標準データに基く診断支援を目的とする。非侵襲的解剖学見地からの標準臓器構築問題は、確率的構造をもち統計的な揺らぎを持った観測値からの、情報源と、情報伝達過程の同次推定問題となる。信号処理の分野ではこの問題はブラインド逆重畳積分、あるいは、独立成分分析によって解くことが行われてきた。また、統計的パターン認識は、パターン空間に分布する、抽象パターン集合を分離、認識するために研究されてきた。しかし、抽象点集合の幾何構造に関しては深く研究されてこなかった。一方、臓器の認識は、構造を持った3次元点集合を分離する問題となる。さらに、点集合の幾何学的構造の差異が、診断支援のための重要な情報となる。そこで、本研究では、3次元に分布する点の集合として計測される臓器モデルを計測値として、情報源モデルとしての標準モデルと、情報伝達系としての個人差を分離するために、まず、形状解析のための独立成分分析を構築する。さらに、個人の経年変化、病変変化を推定するために、多数計測される個別データに対しても同様の手法を適用し、病変部を推定、分離する算法を構築する。さらに、統計的に分布した点集合として表される個々の臓器から、微分幾何学的特徴量を算出するために、確率微分幾何学を構築する。幾何学量の期待値を統計的分布から推算する

手法である。構築する確率微分幾何学的手法は、医療画像理解にとどまらず、ノイズの多い画像から、精度よく、3次元世界を理解する手法として捉えれば、画像理解の本質的問題も解決することが期待できる。そこで、(1)標準データの推定には、標準データからのずれを隠れマルコフ過程で表現しベイズの識別法で情報源を推定することが行われる。そこで、音声信号の処理で利用される時系列に対する隠れマルコフモデルを、3次元の点集合に拡張し、個々の情報が3次元に分布する点集合である場合に、局所構造の変動を隠れマルコフモデルで表現す手法と、情報源推定の方法を解明する。

(2)個人の時系列変化の中から変化を取り出すことができれば、病変の可能性のある部分を取り出すことができる。これは、パターン認識おける、以上部分の検出と同じ処理によって実現できる。この処理を高速に実行するためには、時系列データから、短期モデルを構築し、短期間モデルからの予測と計測値とのずれを検出することが行う必要がある。そこで、短期間モデルの自動構築法を、パターンの学習理論に基いて構築する。を中心に、3次元点集合のパターン認識理論を構築した。

4. 研究成果

(1)臓器形状の個人、経年変化の確率モデル化、(2)学習による平均モデルの構築、(3)規格化臓器を標準蓄積モデルとした病変変化部分の検索について、確率的固体変形理論の立場から、臓器形状の数理モデルを構築した。そして、臓器形状の、時間変化の追跡、並びに、平均画像の計算法に関して基本的な算法と計算コードを開発した。さらに、複数臓器の蓄積法に関する着想を得た。また、開発した手法を火星探査などの遠隔画像計測のようなまったく異なる分野へも適用可能であることが判明した。さらに、複数の臓器が存在する胸腹部の臓器画像から3次元内蔵モデルを構築するためには、臓器の空間分布を考慮した蓄積法が必要であるため、空間に分布するデータ間のグラフを利用した位相構造蓄積手法を構築する指針を得た。

医療機器で計測される臓器は、計算機の中では3次元に分布する3次元点集合として表現される。点集合画像処理は、脳画像、顔画像の認識など、静止形状の3次元認識には利用されている。しかし、本研究で取り扱う、統計的に分布からの幾何構造の計算原理まったく例をみないものである。そこで、診断を目的とした臓器画像の解析には、標準データを利用して、認識識別結果の比較研究が必要である。本研究では、カナダウエスタンオンタリオ大学医療画像診断センターで用意され、ウエスタンオンタリオ大学、英国マン

チェスター大学が標準データとして利用しているデータの供与を受けて、北米、EU、日本において、開発した算法の比較をおこなう。本研究で行う、規格モデルによる臓器に認識と分類を標準空間に写像して概念を図に示す。非剛体の局所トポロジーを保存して、標準空間に変換し、曲がった多様体である標準空間において定義された信号を基に、予測、認識、モデル化をおこなうことになる。

曲がった多様体としての標準面上に分布するデータとは、曲面上に分布するデータだけではなく、パターン認識における類似度のみを持つ分布を抽象化したものである。このようなデータは金融工学においても中心的なデータ構造である。したがって、多様体上に分布するデータの分類、認識は、規格化臓器の認識分類だけではなく、金融工学におけるデータ処理への波及効果が期待される。

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 5 件)

1. Tomoya Sakai, Masaki Narita, Takuto Komazaki, Haruhiko Nishiguchi, Atsushi Imiya: Chapter 5 Image Hierarchy in Gaussian Scale Space, *Advances in Imaging and Electron Physics*, 査読有, 165, 175-263, Elsevier, (2011)
2. Yoshihiko Mochizuki, Yusuke Kameda, Atsushi Imiya, Tomoya Sakai, Takashi Imaizumi: Variational method for super-resolution optical flow. *Signal Processing*, 査読有, 91(7): 1535-1567 (2011)
3. Koji Kashu, Atsushi Imiya, Tomoya Sakai: Multiscale Analysis of Volumetric Motion Field Using General Order Prior, *Lecture Notes in Computer Science*, 査読有, 6453, 561-570, (2010)
4. Koji Kashu, Yusuke Kameda, Masaki Narita, Atsushi Imiya, Tomoya Sakai: Continuity Order of Local Displacement in Volumetric Image Sequence, *Lecture Notes in Computer Science*, 査読有, 6204, 48-59, (2010)
5. Tomoya Sakai, Atsushi Imiya, Unsupervised cluster discovery using statistics in scale space. *Eng. Appl. of AI*, 査読有, 22(1): 92-100 (2009)

[学会発表] (計 3 件)

1. 伊東隼人・呂 爽・酒井智弥・井宮 淳
アフィン変換画像の局所線形性を利用した高効率グローバルイメージレジストレーション, 電子情報通信学会 医用画像研究会, 平成 23 年 11 月 29 日 (名古屋)

2. 森田景子・井宮 淳・酒井智弥 2 次元形状の中央値の計算とその医用画像解析への応用, 電子情報通信学会医用画像研究会, 平成 23 年 5 月 20 日(名古屋)

3. Shuang Lu, Hayato Ito, Tomoya Sakai, Atsushi Imiya. *Global Image Registration using Random Projection*, 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, 平成 23 年 5 月 19 日 (大阪)

[図書] (計 2 件)

1. Atsushi Imiya, Kousuke Sato: Chapter 11 Shape from Silhouettes in Discrete Space, *Geometry Algorithms: Theoretical Foundations and Applications to Computational Imaging in Lecture Notes in Computational Vision and Biomechanics*, Springer, (2012) 著者稿正終了
2. Tomoya Sakai, Masaki Narita, Takuto Komazaki, Haruhiko Nishiguchi, Atsushi Imiya: Chapter 5 Image Hierarchy in Gaussian Scale Space, *Advances in Imaging and Electron Physics*, 165, 175-263, Elsevier, (2011)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井宮 淳 (IMIYA ATSUSHI)

千葉大学・総合メディア基盤センター・教授

研究者番号 : 10176505