

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500205

研究課題名(和文) 解剖構造と異常部位の時空間統計モデルと画像診断支援

研究課題名(英文) Statistical spatiotemporal model of anatomical and pathological structures and computer-aided diagnostic imaging

研究代表者

清水 昭伸 (Shimizu, Akinobu)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80262880

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：まず、医用画像内の主要な解剖構造の間に存在する空間的關係を記述した統計的空間モデルを構築した。次に、そのモデルを利用して、複数の構造物を同時抽出可能な新しいセグメンテーションアルゴリズムを考案した。続いて、新しい統計モデルを提案した。このモデルは、条件付モデルの一種であるが、条件による制約を緩和できる点と、学習データの誤差モデルに基づいて自動的に緩和量が最適化される点が従来とは異なる。さらに、層状構造物に注目した研究も進め、層間の統計的關係を考慮しながら、精度良く認識を行うアルゴリズムを考案した。その他、統計的画像データベースを用いて正常と異常の同時認識を行うアルゴリズムも開発した。

研究成果の概要(英文)：We proposed a statistical spatial model so as to describe the spatial relationship between anatomical structures in a medical imagery. A simultaneous segmentation algorithm of multiple structures based on the model was developed. Subsequently a novel conditional statistical model was proposed, in which a condition can be relaxed and it is automatically optimized based on an error model of the condition of training data. Further contributions are developments of a multi-layer segmentation algorithm with a statistical model of layers and simultaneous recognition algorithm of healthy and pathological structures based on an statistical image database.

研究分野：医用情報工学

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：医用画像 画像認識 統計モデル

1. 研究開始当初の背景

医用画像における臓器や組織などの認識は、コンピュータを用いた診断支援システムなどにおいて欠かすことのできない重要な処理である。疾病の検出処理における見落としを防ぐためには、臓器や組織の認識には非常に高い精度が求められる。そのため、これまで様々な方法が提案されてきた。研究の初期には二値化、領域拡張、Watershedなどの簡単な処理が利用されていた。しかし、臓器や組織のSN比やコントラストが低い場合には正確な認識が困難であった。そこで最近、臓器や組織の統計モデルを作成し、それを利用する方法が提案されるようになってきた。統計モデルは、一部には濃度などの他の特徴に注目したものもあるが、大部分は形状に着目したモデルである。例えば、Point Distribution Model (点分布モデル) を利用する Active Shape Model である。この方法は一定の成功を治めたが、トポロジーに関する問題があり、後に Level Set などに徐々に置き換わってきた。この方法は、最適化理論の枠組みを利用してセグメンテーション問題を定式化し、変分法により解く典型的な方法であり、トポロジー可変と言うそれまでにない特徴があった。さらに、統計モデルとの相性も良く、盛んに検討された。しかし、最適化の停留条件であるオイラー・ラグランジュ方程式が解析的に解けることはほとんど無く、勾配法を用いるために局所解に捕まるといった問題があった。そのため最近、グラフカットなどの離散最適化理論に基づく方法が有力視されている。この方法の特徴は、評価関数にある条件(劣モジュラ性)が成り立てば、真に最適解が得られることである。最近では、この方法に統計モデルを組み合わせる方法が提案されるようになった。

2. 研究の目的

本研究では、1で述べた背景を踏まえ、臓器や組織の統計モデルと、医用画像から臓器や組織を自動認識するアルゴリズムについて研究をする。具体的には、人体の臓器や組織構造は時間と空間の双方において相関構造がある点に注目し、この相関構造をモデル化することを目指す。また、そのモデルを利用して、臓器や組織などの認識を行うアルゴリズムを開発する。

本研究の特色は、

解剖構造と異常部位の間の空間的・時間的関係を表す統計モデル

モデルを用いた解剖構造と異常部位の同時認識処理

複数の病気の関係を考慮した診断支援アルゴリズム

にある。1では特に、幾何学的に固定した関係を持たず、時空間にわたって互いに相関を持ちながら統計的に変動する複数のパターンの統計モデル化を行う点が新しい。また、そのモデルを用いた同時認識処理(上記2)

にも独自性がある。さらに3では、複数の病気の関係を考慮しながら診断することで、従来よりも大幅な性能向上が期待できる。その他、1と3において、処理の信頼性を向上させるために、統計解析法や推論ネットワークの構築法に、対象に関する事前知識を反映させる研究を実施する点にも特色がある。

3. 研究の方法

まず、医用画像内の主要な解剖構造の間に存在する空間的関係(隣接関係)を記述した空間的統計モデルを構築した。各々の解剖構造の位置、形、濃度値については、個人差が存在するが、共通性もあり、互いの位置関係には強い相関があることが多い。そこで、解剖構造をマークしたラベル画像を用い、ラベル間の空間的隣接関係を表す特徴量を定義して計測し、その統計分布のモデル化を行った。また、モデル化のための統計解析法としては、主成分分析や多様体学習について検討した。さらに、生成型学習についても検討した。ここで生成型学習とは、手元にある学習データと類似した特性のデータを人工的に生成し、それらを学習に用いる方法である。特に医用画像の収集は一般に困難であり、比較的少数のデータしか手に入らないことがあるが、そのデータ不足を補ってモデルの性能を強化する意味で意義が大きい。次に、それらの関係を記述したモデルを利用して、複数の構造物を同時抽出可能な新しい認識アルゴリズムを考案した。具体的には、複数の解剖構造の間の相対的な位置関係を守りながら、ある評価関数を最適化するアルゴリズムを考案した。

続いて、時空間の統計的モデル化のための新しいモデルを提案した。このモデルは、条件付モデルの一種であるが、条件による制約を緩和できる点と、その緩和を学習データの誤差モデルに基づいて自動的に行う点が従来とは異なる。このモデルを用いて複数の組織の形状と位置のモデル化を行い、実際の画像を用いてその有効性を検証した。さらに、モデルを用いて画像内の解剖構造を予測し、その予測結果に基づいて画像から複数の構造物を同時抽出するアルゴリズムの改良も行い、従来よりも精度良く抽出できることを確認した。

さらに、人体内の層状構造物に注目した研究も進めた。層状の構造は人体の様々な部位に存在し、重要な構造物であることが多いが、従来の認識アルゴリズムは層ごとに独立していることが多く、層間の関係を利用したアルゴリズムはほとんど無かった。そこで、層間の関係を考慮しながら、精度良く認識を行うアルゴリズムを提案した。

大量の画像統計データベースを構築し、それを用いて解剖と異常部位の同時認識を行うアルゴリズムを開発した。具体的には、異なる時間と空間で撮影された多様な症例画像を多数の部分画像に分解し、様々な特徴の

部分画像を含む画像統計データベースを構築した。次に、Sparse Modeling と Multi-Atlas 法を用いて、特定の時空間で撮影された未知症例のモデル化を行った。ここで、従来の方法とは異なり、正常解剖のみならず、異常部位も同時に認識可能な新しいアルゴリズムを考案した。

その他、手法の設計と評価のための画像データベースの作成や、モデル化のために必要な複数の解剖構造のラベル画像の作成も同時に進めた。上記の方法を実画像を用いて検証結果については以下に示す。

4. 研究成果

空間的關係（隣接關係）に着目したモデルは複数の対象に対して利用できるように拡張し、その精度を評価するために実際の医用画像を用いて評価した。まずはモデル単体の性能を評価するために、標準的な性能評価法である Generalization と Specificity を用いて性能を評価した。ここで、Generalization とは、未知形状に対するモデルの表現能力を計る尺度であり、Specificity は不自然な形状がモデルに含まれているか否かを計る尺度である。実験結果からは、いずれも従来の方法を単純に拡張したモデルに比べ、提案法を用いることで精度が向上することを確認できた。この結果を受けて複数の構造物の同時認識の実験も行った。そこではグラフカットにモデルを組み合わせた方法を検討し、抽出結果は手入力の組織との一致度を用いて評価した。比較のために、それぞれの臓器・組織単独で作成したモデルを単純に組み合わせて利用した結果も求めた。その結果、提案するモデルによる結果が優れていることが確認できた。

続いて、新しい条件付きのモデルについての検証を行った。条件付きモデルは信頼性の高い条件が得られる場合には有用であるが、そうでない場合には条件なしのモデルよりも精度が低くなることがある。例えば、自動処理によって臓器や組織を認識する場合、条件も画像処理などによって自動で抽出しなければならぬ場合があるが、このようなケースでは条件に誤差が含まれることがしばしばある。本研究では、この問題を扱うことが可能なモデルを提案し、性能を検証した。また、提案法では、条件の緩和量も学習データを用いて自動で決定できるように工夫した。実画像を用いた検証実験からは、従来の条件付きよりも提案する緩和条件付きの方が性能が高いことが確認できた。これは、モデル自身の性能だけでなく、モデルを用いた臓器認識結果においても確認できた。特に、従来は処理が困難な症例の認識問題において精度が大きく向上することがわかり、これまで難しくあまり扱われてこなかった難問の解決への道を拓いたと言える。

次に行った人体の層構造についての成果について述べる。特に有用な成果としては、

層の關係を考慮して自動で最適な認識を行うアルゴリズムの提案がある。実画像を用いた結果からは、層の順番や層の厚さなどに関する事前情報を正しく反映できることが確認できた、特にこのアルゴリズムは、グラフカットを用いて複数の層構造を最適に決定できる点で、従来の2値グラフカットに基づく認識処理の限界を超えることができたとも言える。

最後に、異なる時間と空間で撮影された多様な症例画像に基づいて、解剖と異常部位の同時認識を行った結果について述べる。この方法は従来のモデルの限界を超えるために大量の部分画像のデータを集め、それを組み合わせることで臓器や組織の認識を行う方法である。異なる時間と空間で撮影された部分画像のピックデータそのものが統計データであり、それを Sparse Modeling などを用いてコンパクトに扱うことのできるアルゴリズムを提案した点に重要な貢献がある。最終的にはグラフカットと組み合わせる認識するアルゴリズムを提案した。実際の画像を用いた実験からは、提案するアルゴリズムが有効に動作し、正常な解剖と疾病を同時に、しかも従来よりも高精度に認識できることを確認した。

上で述べたとおり、本研究では人体の臓器や組織の時空間に関する新しい統計モデルを構築し、それに基づいて臓器や組織を認識するアルゴリズムを提案した。実際の画像を用いた検証も行い、従来と比べて性能が優れていることを確認した。特に、従来は扱うことの難しかった問題の一部を解くことが可能になった点は興味深い。今後は、本研究の成果を更に発展させ、医用画像の認識における様々な難問の解決に結びつけることを予定している。

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3件)

Akinobu Shimizu, Takuya Narihira, Daisuke Furukawa, Hideo Kobatake, Shigeru Nawano and Kenji Shinozaki : Ensemble learning based segmentation of metastatic liver tumours in contrast-enhanced computed tomography. IEICE TRANSACTIONS on INF. & SYST., vol. E96-D, no.4, pp. 864-868, 2013.
DOI:10.1587/transinf.E96.D.864

〔学会発表〕(計3件)

稲垣和樹, 清水昭伸, 安野嘉晃, 生野恭司 : グラフカットによる黄斑部 OCT 画像上の脈絡膜抽出処理の改良, 信学技報, vol. 113, no. 410, MI2013-57, pp. 7-12, 2014/1/26, 沖縄ぶんかテンプス館、沖

縄

〔図書〕(計1件)

尾川浩一, 清水昭伸, 工藤博幸 編: 医用画像工学ハンドブック, 日本医用画像工学会(2012), pp414-451, pp572-575, pp682-686

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

該当無し

取得状況(計0件)

該当無し

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.tuat.ac.jp/~simizlab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

清水 昭伸 (SHIMIZU, Akinobu)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 80262880

(2) 研究分担者

該当無し

(3) 連携研究者

該当無し