

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：13701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500118

研究課題名(和文)大規模医用画像データベースの学習と類似画像検索に基づく汎用臓器抽出手順の開発

研究課題名(英文)Development of a universal organ segmentation method based on similar image retrieval and machine-learning by using a large database of medical images

研究代表者

周 向荣(ZHOU, Xiangrong)

岐阜大学・医学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：00359738

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円、(間接経費) 1,110,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的である「一つの汎用手順で異なる臓器領域を医用画像から自動的に抽出すること」を概ね達成した。そして、本研究が推進している「画像処理の手順設計を観察者の経験の依存から計算機の機械学習への変更」という方向性が正しく、医用画像からの臓器自動抽出問題の解決に有効であることを明らかにした。「十分な画像データと厳密な事前準備があれば、比較的単純な処理手順でも良い抽出結果を出せる」と結論を付けても良い。さらに本研究が考案した「数十秒で臓器の自動抽出を完成できるアルゴリズム」を実装し、その性能を検証した。実際に体幹部CT画像から1分以内で腎臓、脾臓などの主要な臓器の自動抽出が可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research (one procedure solves different organ segmentation problems on medical images) was almost realized. Our research policy for procedure design by using (machine learning and data driven based approach instead of transferring the human experience to computer program directly) was proved to be efficient to solve organ segmentation problems on medical images. We reached a conclusion that (image processing procedures such as organ segmentation can be greatly simplified under the supporting of a large database and well preparations). The algorithm that proposed to (accomplish the automatic organ segmentation within several tens of seconds) was implemented. We evaluated the performance of the algorithm and confirmed that the major organ such as kidney, spleen, and so on can be segmented automatically within one minute from the torso CT images.

研究分野：総合領域

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：データベース 情報システム 学習と知識獲得 画像情報処理 医用・生体画像

1. 研究開始当初の背景

(1) CT 画像による人体の精密な画像診断は必要不可欠な検査法として幅広く使われており、病変部の早期発見に役立っている。しかし、一度の CT 撮影で得られる画像の枚数は非常に多く、読影医師に大きな負担を与えている現状である。よって、計算機による CT 画像の読影支援 (CAD:Computer-aided diagnosis) が強く要求される。特に、全身範囲で複数の病変を同時に発見できるような汎用 CAD が望まれている。

(2) 海外では、全身 MRI に基づく Whole-Body-CAD の開発が大手メーカーによって進められている。国内では、科研・特定領域研究 (多次元医用画像の知的診断支援、平成 15 年度～平成 18 年度) が立ち上げられ、多臓器・多疾病にも対応できる次世代の CAD (FUTURE-CAD) の開発が進められてきたが、実用的なレベルには至っていない。その原因の一つは、全身範囲での人体の複雑な解剖学的構造 (複数の臓器・組織) を計算機によって自動認識することが困難であったためである。

(3) 解剖学的構造の自動認識は、物体 (臓器・組織の中心と範囲) 検出と物体の形状抽出と分析 (レジストレーション、形状モデル) の二つの処理段階に大きく分けられる。これまでの研究は観察者が経験に基づいて、試行錯誤で計算機アルゴリズムを作成することが一般である。しかし、各対象臓器・組織に、専用の処理手順を個別に設計する必要があるため、設計者に大きな負担を与える。また、観察者の経験に大きく依存するために、設計手順が未知の医用画像に適用する際の性能の劣化が多く見られる。観察者の経験に依存しないかつすべての臓器認識・抽出に適用する処理手順の設計法が望まれている。

(4) 一方、機械学習の技術は、観察者の経験に依存しない手順の設計法として、自然画像処理の研究分野で発展が目覚しく、特に自然画像からの顔検出問題の解決に大きな成功を収めた。類似するアルゴリズムを用いて、臓器の検出問題に適用した結果から、学習された手順の検出精度が低いことが示された。それは学習に必要なとされる大量な医用画像の収集は困難であり、特に CT 画像の次元数は高く、対象臓器が画像上で不明瞭であることが主な原因であると考えられる。そこで、医用画像からの臓器認識・抽出するためには、新たな機械学習のアプローチの改善が必要である。また、複数の臓器・組織を同じアルゴリズムで自動的に抽出する方法は、全く報告されていない状況である。

(5) 本研究では、以上の問題点を根本的に解決することを目指し、体幹部 CT 画像から複数の臓器・組織の自動抽出問題を、一つの汎用的アルゴリズムで解決する方法を考案する。異なる臓器・組織の自動抽出は、完全に CT 画像データベースに依存するアプローチで設計する。技術的には、機械学習による物体認識と CT 画像類似症例の検索・参考技術 CBIR (Content-based image retrieval) に重点を置く。

2. 研究の目的

(1) 本研究は、人体解剖学で定義されている主要な臓器 (心臓、肝臓...) と組織 (大腰筋、大腿骨...) の中心座標、存在範囲、輪郭を、診療用に撮影された CT 画像から、一つの汎用的アルゴリズムで高速 (十数秒) で自動抽出できる計算機システムを構築する。

(2) 未知の CT 画像 (自然画像と比較して低コントラストかつ内部構造の認識が困難) から複数の臓器・組織の位置抽出という難題を、大規模 CT 画像データベースに基づく機械学習と類似症例検索と参考によって解決するアプローチを提案し、その有効性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 体幹部 CT 画像の収集、解剖学的構造を獲得し、機械学習方法を考案する。具体的には、人体の解剖学的構造のデータベースを構築し、各 CT 画像内の全ての画素を解剖学的定義に従って分類する。これらの情報を学習のサンプルと検出性能の評価基準として利用できる。また、既存の学習方法の特性を把握する。CT 画像の特性に合わせて、各臓器を識別するための最適な特徴量、適切な分類法及び学習法について検証実験を行う。

(2) 画像データベースの構築を行う。解剖学的構造に基づいて、大規模な医用画像データベースを構築する。具体的には、大量な体幹部 CT 画像と画像上にある解剖学的構造データを整理し、解剖学的な構造に基づいて、画像情報を引き出すための合理的なデータベース構造と画像検索の目次を作成する。

(3) 人体の体幹部における主要な臓器と組織 18 個に絞って、CT 画像からこれらの対象物を汎用的に抽出する画像処理手順を開発する。汎用手順は、「対象臓器の自動検出」、「類似画像の自動検索」、「輪郭の自動抽出」の三つの汎用アルゴリズムから構成される。異なる対象臓器・組織に対して、データベースの機械学習に基づいて、アルゴリズムのバ

ラメータを決定する。各アルゴリズムの詳細を以下に示す

臓器・組織の位置と存在範囲(ROI: Region of Interest)の自動検出は、医用画像処理の研究分野で使われている「確率的な電子アトラス」と自然画像の研究分野で提案されている「物体検出技術」を融合して、ハイブリッドな検出法を提案する。

対象画像から検出された臓器・組織領域(ROI)に類似している他の症例の同種類の臓器・組織領域をCBIR方式で画像データベースから検索する。本研究は、画像間の相互相関を高速で計算できる位相相関法を3次元画像用に拡張して、症例間の臓器の類似度を測定すると同時に、二つの臓器領域の空間位置のずれをSub-voxelの高精度で推定する方法を開発する。

検索された類似症例に付けられている解剖学的構造情報をアトラスとして利用し、抽出対象となるROI上で臓器領域の尤度を推定する。画素単位での臓器存在の確率と画像エッジの情報を利用して、グラフカットアルゴリズムによって、臓器の輪郭を精密に抽出する。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

本研究は、岐阜大学病院の倫理委員会の審査を受け、医用画像の使用許可を得た。岐阜大学病院内で、CT画像を収集するための専用な計算機システムを開発し、放射線科に設置した。このシステムを使用して、数千例の体幹部CT画像を収集した。

体幹部における人体の解剖構造を細分化して、医師の指導を受けて18種類の臓器・組織の領域を300例のCT画像から手動で抽出した。手作業の効率性を向上するために、専用なユーザインタフェースを開発した。このユーザインタフェースは、医用画像の表示機能、手動で臓器領域を指定する機能、ユーザの手入力結果を補完するための半自動抽出機能を備えている。このユーザインタフェースの実現によって、CT画像からの人体の解

剖学的構造データの獲得が可能となり、CT画像と関連する解剖構造を両方備えるデータベースの構築が可能となった。

CT画像、人体の解剖学的構造データ、医師の診断レポート、計算機の処理結果などの情報を統合して、体幹部CT画像データベースをMySQLサーバに基づいて構築した。研究室内のWebとプログラミングに經由して、簡単に関連情報を検索、追加、変更できる環境を実現した。これによって、大規模な医用画像を用いて、計算機の自己学習を行える研究環境を整えた。

計算機の自己学習によって、CT画像からそれぞれの臓器位置を正確に識別できる判別ルールと最適な特徴量を纏めた。これによって、任意のCT画像から医師の関心領域(ROI)を高速で検出できるようになった。本研究は、3000例のCT画像から18種類のROIの位置検出を行い、平均的に90%以上の成功率を得た(図1を参照)。

画像データベースからの類似画像検索と類似画像上の解剖学的構造の参照によって、未知のCT画像から異なる臓器の自動抽出を行った。同一処理手順を用いて、CT画像から心臓、肝臓、脾臓、左右腎臓、大腰筋などの臓器領域を自動的に抽出した(図2を参照)。自動的に抽出された臓器領域を医師の手動抽出結果と比較した、その平均的一致度は約80%であった。臓器の抽出結果は他のCADシステムの開発に有用であると確認された。

(2) 得られた成果の国内外における位置づけ

本研究で構築した医用画像データベースは、撮影範囲が広く(体幹部)、画像が高解像度(0.6mmの画像解像度)、様々な病変を含む広い年齢層の患者データであり、国内の医用画像研究分野では、貴重かつ唯一のものである。

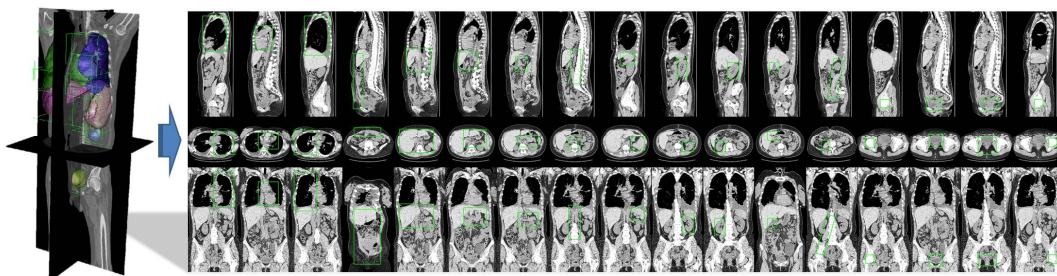


図1 体幹部CT画像における複数の臓器と組織の位置検出の結果

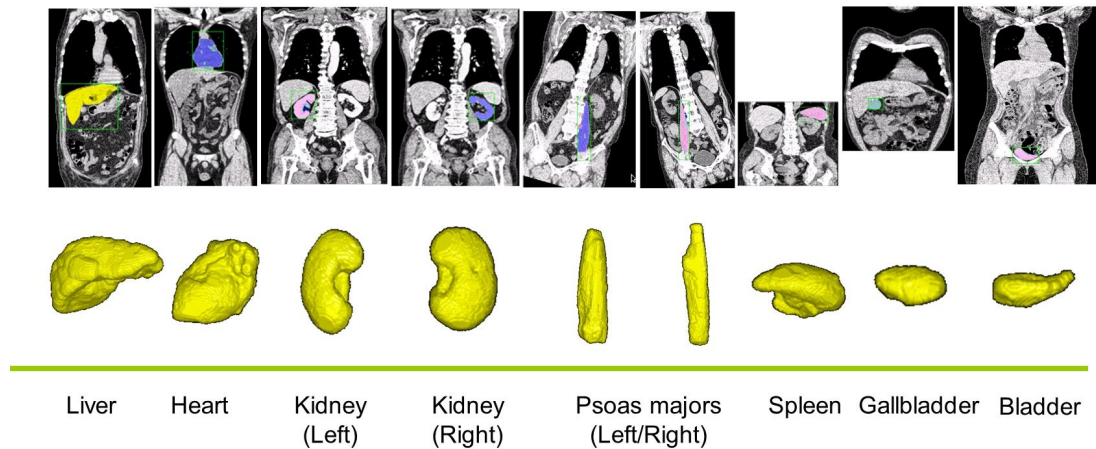


図2 体幹部 CT 画像から複数の臓器と組織の自動抽出結果 .

(左側から, 肝臓, 心臓, 左腎臓, 右腎臓, 左大腰筋, 右大腰筋, 胆嚢, 膀胱)

機械学習による処理手順の設計について, 3000 例以上の患者データに用いた実験は, 本研究以外には報告されていない. また, CT 画像から 18 種類の主要な解剖構造の位置を高速かつ自動的に検出できる本システムは, 現時点では世界中で唯一のものである.

画像データベースを活かして, CT 画像から同じ処理手順で異なる臓器領域を自動的に抽出する考え方は, 本研究によって国内で初めて実現し, その実用性を示した. この成果は, 今後の CAD の開発の効率性に大きく貢献できるといえる.

(3) 今後の展望

本研究は注目している課題「ビッグ画像データ」に基づく臓器の「位置検出」「アトラスの自動生成」, 「関連情報の検索」は, 医用画像に基づく計算機の診断(手術)支援の基礎技術である. これらの難題を完全に解決できれば, 医用画像による計算機支援も, 自動車のカーナビと同じように医療現場で大きく活躍できると予想する.

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] X.Zhou, R.Xu, T.Hara, Y. Hirano, R.Yokoyama, M. Kanematsu, H. Hoshi, S. Kido, and H. Fujita: Developments and evaluation of the statistical shape modeling for principal inner organs on torso CT images, Radiological Physics and Technology, 査読有, in press, 2014;
DOI: 10.1007/s12194-014-0261-6.

- [2] X.Zhou, S.Wang, H.Chen, T.Hara, R.Yokoyama, M.Kanematsu, H.Hoshi and H.Fujita: Automatic localization of solid organs on 3D CT images by a collaborative majority voting decision based on ensemble learning, Computerized Medical Imaging and Graphics, 査読有, Vol.36, No.4, 304-313, 2012;
DOI: 10.1016/j.compmedimag.2011.12.004.

〔学会発表〕(計 17 件)

- [1] X.Zhou, K.Ito, X.Zhou, T.Hara, R.Yokoyam, M.Kanematsu, and H.Fujita: A universal approach for automatic organ segmentations on 3D CT images based on organ localization and 3D grabcut, Proc. of SPIE Medical Imaging 2014: Computer-Aided Diagnosis, 9035, 90352V-1 - 90352V-7, San Diego, USA, Feb./16-20, 2014;
DOI:10.1117/12.2043507.
- [2] X.Zhou, A.Yamaguti, X.Zhou, T.Hara, R.Yokoyam, M.Kanematsu, and H.Fujita: Automatic organ localizations on 3D CT images by using majority-voting of multiple 2D detections based on local binary patterns and Haar-like features, Proc. of SPIE Medical Imaging 2013: Computer-Aided Diagnosis, 8670, 86703A-1 - 86703A-7, Orlando, USA, Feb./9-14, 2013;
DOI: 10.1117/12.2007466.
- [3] X.Zhou, A.Watanabe, X.Zhou, T.Hara, R.Yokoyama, M.Kanematsu, and H.Fujita: Automatic organ segmentation on torso CT images by using content-based image retrieval, Proc. of SPIE Medical Imaging, Vol.8314, 83143E-1 - 83143E-7, San Diego, USA, Feb./4-9, 2012;
DOI: 10.1117/12.912359.

〔図書〕(計 3 件)

- [1] X.Zhou and H.Fujita: Automatic organ localization on X-ray CT images by using ensemble-learning techniques, in Machine Learning in Computer-Aided Diagnosis: Medical Imaging Intelligence and Analysis, ed. by K.Suzuki, 403-418, IGI Global, USA, 2012, 500.
- [2] 周 向栄 (分担執筆) : 医用画像ハンドブック 2.3.4 距離変換(p.141-p.147) 6.4.8.1 体幹部 CT (p.717-p.721) , 日本医用画像工学会 , 東京 , 2012, 1571 .

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.fjt.info.gifu-u.ac.jp>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

周 向栄 (ZHOU, Xiangrong)

岐阜大学・大学院医学系研究科・助教

研究者番号: 00359738