

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：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2009～2013

課題番号：21103007

研究課題名(和文) 計算解剖モデルに基づくオートプシー・イメージング支援

研究課題名(英文) Computer-Aided Diagnosis of Autopsy Imaging Based on Computational Anatomy

研究代表者

清水 昭伸(Akinobu, Shimizu)

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) 82,600,000円、(間接経費) 24,780,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、死亡時画像診断のための計算解剖学とそれを用いた診断支援についての研究を実施した。具体的にはまず、死亡後の臓器専用の計算解剖モデルを構築し、それを用いて死亡後のCT像から臓器領域を自動認識するアルゴリズムを開発した。次に、死亡後のCT像から、骨折部位を自動検出するアルゴリズムを開発した。さらに、実際の死亡時画像から臓器の認識や骨折の自動検出を行って、その性能を評価した。その結果、従来の生体用の計算解剖モデルを用いた場合よりも高精度に臓器を認識できること、骨折も精度良く検出できることが確認できた。

研究成果の概要(英文)：We carried out a study on computational anatomy and computer aided diagnosis of autopsy imaging. In practice, a computational anatomy model for an organ of autopsy imaging was constructed and a segmentation algorithm with the computational anatomy model for a postmortem CT volume was developed. Subsequently, we develop a bone fracture detection algorithm from a postmortem CT volume. Eventually we validated the performance of the segmentation algorithm and the bone fracture detection algorithm. It was confirmed from the validation results that the proposed algorithms were superior to conventional algorithms in terms of organ segmentation performance as well as bone fracture detection accuracy.

研究分野：医用情報工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：計測工学 機械学習 計算機支援診断 統計数学 オートプシー・イメージング 画像診断 解剖学

1. 研究開始当初の背景

日本における解剖の割合は、他の先進国と比較しても非常に低く、97%は体表の目視検査のみで死因が決定されている。そこで、死後に撮影した CT 像などを用いた死亡時画像診断 (オートプシー・イメージング; Ai) が提案された。同様の提案はスイスでは Virtopsy、ドイツでは Radio-autopsy、フランスでは Virtual Autopsy と呼ばれ、医学の分野で注目されている新しいトピックである。

しかし、死後の CT 像の読影は、腐敗などの死後変化のために、放射線科医でも容易ではなく、計算機を用いた画像解析による支援が求められていた。

2. 研究の目的

本研究は、死亡時画像診断であるオートプシー・イメージングに計算機による解析を導入し、世界初の死体を対象とした計算解剖学と画像解析の研究分野を立ち上げることを目標とした。具体的には、死体の臓器のための計算解剖モデル構築の基盤技術を開発し、それを応用して画像解析を行うアルゴリズムについて検討する。さらに、それらを組み合わせると診断支援システムを構築することも目標とした。

3. 研究の方法

研究期間内には、まず、死体の臓器の計算解剖モデルを構築した。続いて、開発した計算解剖モデルを用いた臓器の認識アルゴリズムも開発した。これらの認識結果は A03 の木戸班に提供することで、臓器内のテクスチャ解析と機械学習に基づいて死因の推定と死後経過時間の予測を行うアルゴリズムを共同で開発した。さらに、肋骨の骨折を自動認識するアルゴリズムを開発し、骨折検出支援システムを構築した。以下にそれぞれの方法について述べる。

(1) 死体の臓器の計算解剖モデル

死体の臓器は、形状や濃度の点で生体の場合と異なる。例えば、肝臓の場合は心肺停止後に肺が萎むことで肝臓の右葉の上部は上方に迫り出し、心タンポナーデなどによって左葉は下方に下がる(図1参照)。そのため、これまでの研究によって蓄積した生体の臓器のラベルやモデルをそのまま利用することはできない。しかし、死体のラベルの作成もコストが高く、容易ではない。そこで、生体用のラベルを使って死体の形状を模擬し、Ai 用の計算解剖モデルを構築する方法を提案した。具体的には、統計的アプローチと幾何的アプローチに基づく二つの方法を提案した。以下では、まず、これらの二つの方法について述べた後で、4 で実際の死体の 3 次元 CT 像に適用した結果について紹介する。

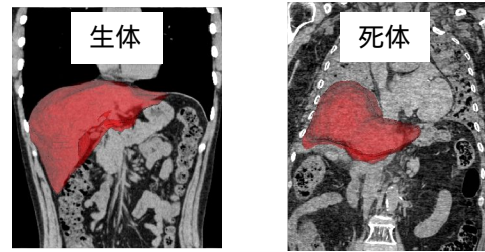


図1 生体と死体の肝臓の形状の違い

統計的変形法

ここでは、計算解剖モデルはレベルセット法などに基づく方法で作成されているとする。最初に説明する統計的変形法では、レベルセット空間における生体と死体の分布を次の二段階処理によって一致させることにより実現する。一段目では、レベルセット空間における分布の平均値を一致させる。次に、二段目では、分布から求められる形状部分空間を一致させる。具体的な方法としては、固有形状ベクトルによる座標系を回転させて分布を一致させる方法を採用した。これらの方法によって、右葉の上昇と左葉の低下といった、死体特有の形状特徴が表現可能であることを確認した。

幾何的変形法

幾何的アプローチでは、生体と死体の平均形状間の表面間距離を最小化するアフィン変換を求め、それを用いて生体のラベルを変換した。また、上記の統計的変形法との組み合わせについても検討した。これらの変形によって、統計的変形と同様に死体の特徴が原理的に表現可能であることを確認した。

(2) 死体の臓器の認識アルゴリズム

上記の計算解剖モデルを用いて CT 像から臓器を認識するアルゴリズムを開発した。以下には肝臓と肺の例について紹介する。

死体の肝臓認識

最大事後確率推定と、形状の事前情報を利用可能なグラフカットを組み合わせる方法を開発した。特に新しい点は、事後確率計算のための確率アトラスが、ダイナミックに移動しながら正しい位置を探索できるように拡張した点である。これにより、大きな変形にも対応できるようになった。

死体の肺認識

死体の肺の認識は肝臓の認識よりも困難である。その最大の理由は濃度値の変化である。症例によっては、正常であれば空気とほぼ同じ CT 値を持つ肺が、軟部組織と同程度の非常に高い CT 値を持つことがある。そのため、上記の肝臓の認識結果を利用するアルゴリズムを開発した。具体的には、抽出された肝臓を条件とする条件付の肺モデルを開発した。ここで、肝臓の抽出結果に誤差が含まれることを考慮して、条件緩和が可能な肺の計算解剖モデルを利用した。その後、推定した形状を用いたグラフカットによるセグメ

ンテーションを行う。

(3) 骨折検出支援システム

まず、アンサンブル学習を利用して肋骨を抽出する。次に、ポロノイ分割を用いて脊椎と分割する。さらに、トポロジーチェックにより大きな骨折を検出し、残った肋骨に対して断面を抽出し、Deep Convolutional Neural Network (DCNN) により微細な骨折を検出する。

4. 研究成果

以下では上記の3つのトピックについての成果についてそれぞれ述べる。

(1) 死体の臓器の計算解剖モデル

144症例の生体ラベルと32症例の死体ラベルを用いて、交差検定法により性能を評価した。具体的には144症例から提案手法によって擬似死体ラベルを作成し、それを用いて死体の臓器用の計算解剖モデルを構築した。その結果、提案する方法を用いることで、計算解剖モデルの性能が大きく向上することが分かった。また、統計的検定の結果からも擬似死体ラベルを利用したモデルが優れていることが確認できた。

(2) 死体の臓器の認識アルゴリズム

死体の肝臓認識

上記のモデルを用い、32症例のAi-CT像を用いた交差検定により、肝臓のセグメンテーションの評価実験を行った。まず、提案するダイナミックアトラスを用いた最大事後確率推定と構築した計算解剖モデルを組み合わせ臓器の形状を推定し、その結果に基づいてグラフカットによるセグメンテーションを行った。最大事後確率推定の精度は、正解領域を用いて計算したJaccard Indexでは、0.572から0.745へ向上することが確認された。また、グラフカットによる最終結果は、生体の計算解剖モデルを用いた場合が0.774であるのに対して、本研究で提案する死体の臓器の計算解剖モデルを使った場合には0.806まで、統計的にも有意に性能が向上することが確認された。

死体の肺認識

提案するモデルを用いて32例のAi-CT像を用いてLeave-one-out法により肺のセグメンテーションの評価実験を行った。その結果、従来の方法を用いた場合のJaccard Indexが0.784であるのに対して、提案法を用いることで0.845まで性能が向上することが確認された。特に、精度が低かった症例の改善が著しく、提案手法が有効性を示すことができた。

以上の肝臓と肺の認識結果は、A03の木戸班に提供することで、臓器内のテクスチャ解析と機械学習に基づいて死因の推定と死後経過時間の予測を行うアルゴリズムを共同で開発したが、その処理の性能を実際の画像を用いて検証した。具体的には、死因は心不全と呼吸不全に注目してAi-CT像28例を用いて分類したところ、分類精度は100%であった。また、死後経過時間の推定は、経過時

間の記録が残っている18症例に注目して実験したところ、ある程度はうまく推定でき、誤差は平均で20分程度であることも分かった。

(3) 骨折検出支援システム

9症例のAi-CT像を用いてLeave-one-case-out法により骨折の検出精度を評価した。この骨折検出処理で最も重要になる点はDCNNのパラメータである。具体的には、畳み込みカーネルのサイズなどである。本研究では、これらのパラメータを網羅的に探索し、最も優れた検出性能を与えるパラメータを実験的に決定した。また、肋骨の特徴が、肋骨の先端とそれ以外で異なることに注目し、それぞれ別々のネットワークを用いて検出を行った。その結果、従来の代表的な機械学習のアルゴリズムであるBoostingを用いた場合と比較して、性能が大きく向上(統計的にも有意に向上)することが確認できた。

最後に研究成果についてのまとめを述べる。本研究では、死体の臓器のための計算解剖モデル構築の基盤技術を開発した。また、それを応用してAi-CT像から死体の臓器を認識するアルゴリズムを構築した。これらの成果はA03の木戸班の成果と組み合わせ、死因や死後経過時間を推定するシステムを開発した。さらに、最新の画像処理アルゴリズムを用いてAi-CT像から肋骨の骨折を検出する支援システムを構築した。これらの成果を踏まえ、本研究によって、死亡時画像診断であるオートプシー・イメージングに計算機による解析を導入し、世界初の死体を対象とした計算解剖学と画像解析の研究分野を立ち上げることができたと考えている。

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13件)

Atsushi Saito, Akinobu Shimizu, Hidefumi Watanabe, Seiji Yamamoto, Shigeru Nawano and Hidefumi Kobatake, "Statistical Shape Model of a Liver for Autopsy Imaging, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery," Volume 9, Issue 2, pp 269-281, 2014

DOI:10.1007/s11548-013-0923-6

Sho Tomoshige, Elco Oost, Akinobu Shimizu, Hidefumi Watanabe, Shigeru Nawano, "A conditional statistical shape model with integrated error estimation of the conditions; application to liver segmentation in non-contrast CT images," Medical Image Analysis, vol.18, pp.130-143, 2014

DOI: 10.1016/j.media.2013.10.003

Keita Nakagomi, Akinobu Shimizu,

Hidefumi Kobatake, Masahiro Yakami, Koji Fujimoto, Kaori Togashi, "Multi-shape graph cuts with neighbor prior constraints and its application to lung segmentation from a chest CT volume," Medical Image Analysis, vol.17, pp.62-77, 2013
DOI: 10.1016/j.media.2012.08.002

〔学会発表〕(計45件)

平野靖, 時安竣一, 徐睿, 橘理恵, 木戸尚治, 齊藤篤, 清水昭伸 "死後CT像のテクスチャ解析による死因・死後経過時間推定", 日本医用画像工学会大会, 2014/7/26, 東京慈恵会医科大学 大学1号館

Atsushi Saito, Satoshi Okata, Akinobu Shimizu, Hidefumi Watanabe, Shigeru Nawano "Automated lung segmentation for autopsy imaging using graph cuts with a statistical shape model, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery," vol.9, supplement1, 2014/6/26, Fukuoka International Congress Center, Japan

Atsushi Saito, Akinobu Shimizu, Hidefumi Watanabe, Seiji Yamamoto, Hidefumi Kobatake, "Automated liver segmentation from a CT volume of a cadaver using a statistical shape model, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery," vol.8, supplement1, S48-S49, 2013/6/28, Heidelberg Convention Center, Germany

〔図書〕(計3件)

Elco Oost, Sho Tomoshige and Akinobu Shimizu "Condition Relaxation in Conditional Statistical Shape Models" In : Subspace Methods for Pattern Recognition in Intelligent Environment; Eds. Yen-Wie Chen, Lakhmi Jain, Springer-Verlag, Berlin, Germany (2014)

〔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.comp-anatomy.org/wiki/>

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

山本 正二 (YAMAMOTO, Seiji)
放射線医学総合研究所・重粒子医科学センター・医師
研究者番号: 40302567

(3) 連携研究者

該当無し