

令和 6 年 5 月 22 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K07674

研究課題名(和文) 3次元医用画像からの臓器自動抽出：人工知能が出力する確信度は精度改善に有用か？

研究課題名(英文) Automated organ segmentation in 3D medical images: Is uncertainty estimation by artificial intelligence useful for improving accuracy?

研究代表者

堀 雅敏 (Hori, Masatoshi)

神戸大学・医学研究科・特命教授

研究者番号：00346206

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：腹部3次元医用画像から、臓器領域を自動的に抽出するとともに、その精度の指標となるuncertainty値(「不確実性」あるいは「確からしさ」の値)を出力する人工知能(AI)システムを構築した。人が用手的に領域抽出した結果を正解として、AI自動抽出の精度を評価した。その結果、uncertainty値は、AIによる臓器領域自動抽出の精度と相関していた。本研究により、AIが出力した結果の信頼性を評価するための重要な知見が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

医学の様々な分野に人工知能(AI)の応用が進んでいる。しかし、臨床に導入する上で幾つかの課題もある。AIが示す結果の信頼性をどのように評価するかという問題はその一つである。本研究では、AIによる腹部医用画像からの臓器領域自動抽出を対象として、AIの出力結果がどの程度確からしいかを定量的に評価することに取り組んだ。本研究の成果は、AIを医療応用する上で重要な知見をもたらした。日常診療への有効的なAI活用に役立つものであり、今後の医療レベル向上に貢献することが期待できる。

研究成果の概要(英文)：We developed an artificial intelligence (AI) system that automatically extracts organ regions from three-dimensional abdominal medical images and outputs an uncertainty value as an indicator of accuracy. Using manually segmented regions as the ground truth, we evaluated the precision of the AI's automatic segmentation. The results demonstrated that the uncertainty value correlated with the accuracy of the AI's automatic organ region segmentation. This study provided critical insights for assessing the reliability of AI-generated outputs.

研究分野：放射線医学

キーワード：放射線診断 人工知能 セグメンテーション 不確実性 精度 コンピュータ支援診断 CT MRI

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在の医療において画像診断が果たす役割は大きい。2000年頃以降、大量かつ高精度の診療用画像が取得され、院内画像サーバーにデジタルデータとして保管されるようになった。これにより、医師が診療用画像を視覚的に評価するという従来の方法から脱し、情報工学を応用した医療画像活用が盛んに試みられるようになった。2012年、深層学習技術を用いて、大量の非医用画像データをコンピュータに学習させることで、猫の顔や人体の概念をコンピュータが獲得したことが報告された。以来、放射線診断学分野でも人工知能(AI)を応用して臨床に有用な技術開発を目指す多くの研究が試みられ、成功を収めている。しかし、その一方で課題も残っている。その中には、1) AIが示す結果の信頼性に対する疑問、2) 多数の教師データの必要性などが含まれる。AIの信頼性については、二つの取り組みが考えられる。一つは、AIの判断の根拠を示す「ホワイトボックス化」のアプローチである。これは現在のAIが判断根拠の分からないブラックボックスになっていることからの脱却を目指す。もう一つはAIの判断がどの程度確からしいのかを定量的に評価する取り組みである。2016年には、AI出力の「確からしさ」評価について、学習済みAIのノードの一部をランダムに無効化する手法(Monte Carlo dropout)が提唱されていた。

本研究グループは、放射線診断専門医と画像解析を専門とする工学者との密接な協力のもと、医用画像処理を用いて診療に有用な情報を得る手法を探求してきた。特に、3次元医用画像から解剖学的構造を自動的に抽出し、診断に活用する研究で成果を挙げてきた。また、多数の腹部3次元CTデータを対象に研究を行い、AIの有用性を確認してきた。しかし、上述した「AIの信頼性」や「多量の教師データ準備」が大きな問題であることも痛感してきた。こうした中、本課題の分担研究者らは、AIを利用したCT画像からの下肢骨格筋自動抽出を対象に、前述のMonte Carlo dropoutを組み入れたAIシステム"Bayesian U-Net"を考案し、AIによる骨格筋自動抽出の精度を見積もることに成功していた。一方、腹部3次元医用画像(CT, MRI)には多くの実質臓器と管腔臓器が含まれており、下肢骨格筋に比べて構造が複雑である。このため腹部3次元医用画像を対象にした臓器自動抽出において、Monte Carlo dropoutを組み入れたBayesian U-NetがAI出力の「確からしさ」判定に有用なのか明らかと言えない。この手法が有用であれば、AI出力の「確からしさ」が低い症例を自動的に選ぶことが可能である。「確からしさ」の低い症例を選択してその教師データを作成し、優先的にAIの学習に供することで、AIの精度を効果的に高めることも期待できる。

2. 研究の目的

3次元医用画像を対象にしたAIによる腹部臓器自動抽出について、Monte Carlo dropoutの手法を利用してAI出力の「確からしさ」を評価し、その応用可能性を探ることを目的とした。本研究を通じて、

- (1) AIの示す結果を利用すべきか否かの指標を確立
- (2) 教師データ作成の省力化
- (3) AIシステム精度の効率的な改善

を目指した。また、複雑な臓器構造を有する腹部領域での成果は、全身に拡張することが容易と期待した。

3. 研究の方法

AI を利用した腹部 3 次元医用画像からの腹部臓器自動抽出を対象に研究を行った。

(1) 腹部 3 次元医用画像からの臓器自動抽出 AI の「確からしさ」を評価する手法の開発

3 次元医用画像データの収集と整備：スライス厚 1mm 程度以下の 3 次元医用画像を収集した。腹部臓器自動抽出ソフトウェアの補助を用いながら、放射線診断医が腹部臓器の抽出を行うことで臓器領域の「正解」データを作成した。

AI 出力を臨床に利用できるか否かの指標開発：Monte Carlo dropout を組み込んだ AI セグメンテーション・システム "Bayesian U-Net" を作成した。研究分担者は、下肢骨格筋の CT 画像を対象にしたソフトウェア構築の経験があり、これらの成果を元に開発した。これにより、腹部 3 次元医用画像からの臓器自動抽出と uncertainty 値(「不確実性」あるいは「確からしさ」の値)を出力できるようにした。

(2) AI 出力を臨床に利用できるか否かの指標開発

前項で開発の AI システム (Bayesian U-Net) により、臓器自動抽出とその uncertainty 値が得られる。AI による臓器自動抽出は完全でなく、臨床に適用する際にそのまま使用できない場合がある。Bayesian U-Net の uncertainty 値と結果精度との関連を調べて、AI 出力を臨床に利用できるか否かの良好な指標の開発を図った。

4 . 研究成果

(1) ガドキセト酸ナトリウム (E0B プリモビスト) 造影 MR 画像 (3 次元グラジエントエコー T1 強調 MR 画像) を対象に、Bayesian U-Net アーキテクチャを用いて腹部臓器 (肝および脾) の自動抽出 (自動セグメンテーション) を行い、同時に uncertainty 値(「不確実性」あるいは「確からしさ」)を出力した。手動的にセグメンテーションしたデータを正解データとして、自動抽出の精度を評価した。精度の評価には、Dice 係数および平均表面距離 (average surface distance, ASD) を用いた。肝臓、脾臓のいずれにおいても、uncertainty 値は、Dice 係数とは負の相関、平均表面距離とは正の相関を示した (図 1、2)。これらの結果は、Bayesian U-Net により出力される uncertainty 値が、自動セグメンテーションの精度を反映することを示している。

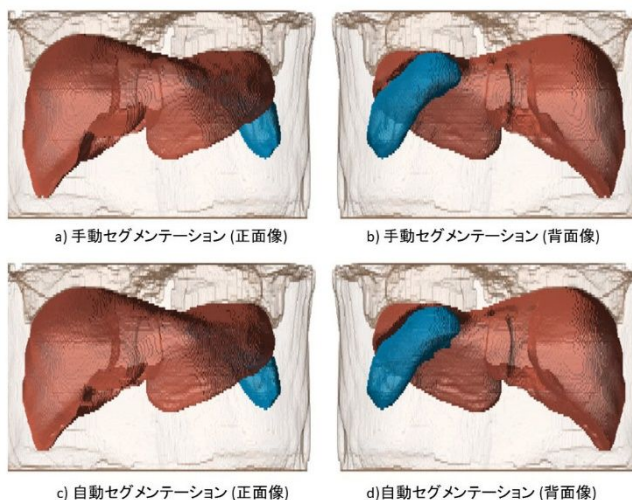


図 1. 自動セグメンテーションが良好だった例の 3 次元画像
肝臓 (赤)、脾臓 (青) とともに良好な自動セグメンテーション結果が得られている。Dice 係数は 0.9864 (肝)、0.9500 (脾)、平均表面距離は、0.2876 mm (肝)、0.5165 mm (脾)。Uncertainty は、 2.7×10^{-4} (肝)、 6.4×10^{-4} (脾)であった。

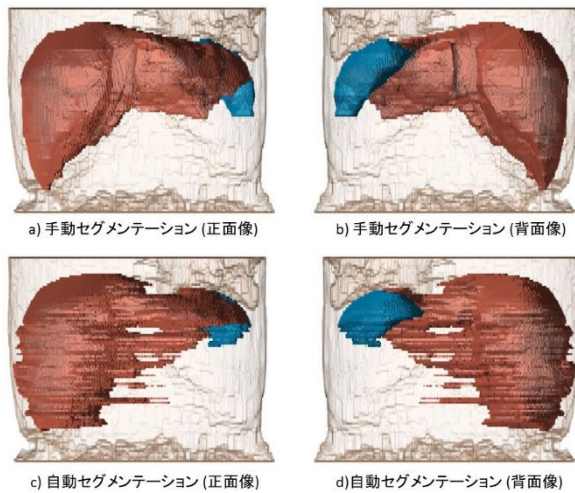


図 2. 自動セグメンテーションが不良だった例の 3 次元画像
 肝臓 (赤)、脾臓 (青) とともに自動セグメンテーションの結果は不良である。Dice 係数は 0.8385 (肝)、0.7318 (脾)、平均表面距離は、4.867 mm (肝)、3.489 (脾)。Uncertainty は、 2.3×10^{-3} (肝)、 4.1×10^{-3} (脾)であった。

(2) 研究成果のまとめ

AI の出力結果を信頼できるのか否かという問題 (信頼性評価) は、これから様々な AI を日常臨床に組み込む上で考慮すべき重要課題の一つである。本研究課題では、Monte Carlo dropout を採用した AI セグメンテーション・システム "Bayesian U-Net" により得られる uncertainty 値が、腹部 3 次元画像からの AI による自動セグメンテーション結果の精度を評価する目的で利用できることを明らかにした。すなわち、uncertainty 値が高ければ、AI が出力したセグメンテーション結果は信頼性が低いと判断できることを示している。自動セグメンテーションを臨床応用する上で有用な知見が得られた。

本研究課題で得られた成果は、AI の性能向上にも活かせる可能性がある。uncertainty 値の高い症例を選択してその教師データを作成し、重点的に学習することで、教師データ作成の省力化と AI システム性能向上の効率化を達成できるかもしれない。これは今後の検討課題である。腹部領域では臓器および疾患の多様性が大きい。腹部領域での成果は全身への拡張が比較的容易であり、あらゆる領域の医用画像に AI を臨床応用する上で重要な成果と考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Masaki Yuto, Otake Yoshito, Soufi Mazen, Hori Masatoshi, Onishi Hiromitsu, Tomiyama Noriyuki, Sato Yoshinobu	4. 巻 11792
2. 論文標題 Analysis of multiplanar integration based on uncertainty estimation in automatic segmentation of abdominal organs in 3D CT image using 2D Bayesian U-Net	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. SPIE 11792	6. 最初と最後の頁 1179208-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	大西 裕満 (Onishi Hiromitsu) (20452435)	大阪大学・大学院医学系研究科・教授 (14401)	
研究分担者	S O U F I M A Z E N (Soufi Mazen) (80823525)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教 (14603)	
研究分担者	大竹 義人 (Otake Yoshito) (80349563)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授 (14603)	
研究分担者	佐藤 嘉伸 (Sato Yoshinobu) (70243219)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授 (14603)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------