

画像生成 AI を用いた適応放射線治療計画支援システムの開発 Generative AI based planning system of adaptive radiotherapy

尾崎 翔

弘前大学大学院理工学研究科

1. 研究目的

本研究では、適応放射線治療の治療計画作成支援システムの開発を行う上での3つの課題、1) 位置照合用 CT の画質改善、2) CT 画像上の腫瘍及び臓器の自動輪郭抽出、3) 放射線の線量分布推定を画像生成 AI を用いて解決することを目的とする。CT の画質改善においては、CycleGAN と拡散モデルと呼ばれる生成モデルを採用する。その際、それぞれのモデルをそのまま適用するのではなく、患者の解剖学的な構造を保存するための独自の損失関数を導入する。腫瘍及び臓器のセグメンテーションに対しては 3-D U-Net を用いて行う。さらに、3-D U-Net と条件付き GAN を用いて、放射線治療のための線量分布推定を行う。GAN の条件付けとして患者個別の CT 画像と腫瘍及び臓器の輪郭情報を用いて、線量分布推定を行う。

2. 研究成果の内容

弘前大学病院で前立腺がん及び頭頸部がんの患者に対して放射線治療を行なったそれぞれ 100 症例の CT 画像、腫瘍及び臓器の囲いデータ、さらに線量分布データに対して、80 症例を学習用データ、20 症例を検証用データとして使用した。

まず、CycleGAN を用いて、弘前大学病院で位置照合用 CT として使用されている Cone-beam CT (CBCT) の画質改善を行なった。この研究においては、位置ずれや変形を抑制するための損失関数を導入し、改良した CycleGAN を開発した。DIG と呼ばれる指標を用いて位置ずれ及び変形を評価した結果、我々の改良した CycleGAN は、オリジナルの CycleGAN と比べて統計的に有意に位置ずれ及び変形を抑制しつつ、CBCT の画質改善を実現した。さらに、CT の画質改善の基礎的な研究として、拡散モデルを用いた新しい画像再構成法を開発し、人工的に CT 装置の観測データ（投影データ）を削減した画像再構成によって、画質改善の効果を調べた。SSIM と PSNR という正解画像（投影データを削減する前の画像）との一致度を測る指標を用いて画質評価を行い、従来の画像再構成法を上回る画質改善効果を示した。

腫瘍及び臓器のオートセグメンテーションに関する研究では、医師による囲いデータを正解とし、3-D U-Net モデルの Dice 係数の値が統計的に有意に 2-D U-Net モデルの Dice 係数値を上回った。この結果は、身体領域（骨盤領域と頭頸部領域）に依らなかった。

放射線治療の線量分布推定では、医師によって作成された治療計画の線量分布を正解

とし、2-D, 3-D U-Net と条件付き 2-D, 3-D GAN の4つのモデルで性能を比較した。正解分布との一致度を SSIM 及び PSNR で測り、条件付き 3-D GAN がもっとも一致度の高い分布を生成した。

3. 学際共同利用プログラムが果たした役割と意義

U-Net や GAN は 2-D であれば、申請者が保有している民生の GPU で学習可能であったが、3次元解析においては、大きなメモリを搭載した GPU マシンを使って計算する必要がある。Tesla V100 GPU を複数搭載した **Cygnus** を用いて、本研究で用いる 3D U-Net や 3D GAN のアーキテクチャの改良や評価を繰り返し行うことが可能になった。また、拡散モデルは推論時には民生用の GPU でも計算可能だが、学習時には大きなメモリが必要であり、**Cygnus** を用いることで学習が可能となった。このため本研究において、学際共同利用プログラムの果たした役割は非常に大きい。

4. 今後の展望

CT の画質改善においては、拡散モデルをアンサンブル学習させることで、弱いノイズモデルと強いノイズモデルを組み合わせた手法を開発する。さらに、拡散モデルによる画像再構成法を位置照合用 CT の画質改善に応用する。セグメンテーションタスクでは、頭頸部領域の水晶体など小さい組織でも Dice 係数で 0.8 以上を実現し、臨床での実装を目指す。線量分布推定では、条件付き拡散モデルを用いた解析を行っていく。

5. 成果発表

(1) 学術論文

(2) 学会発表

[1] S. Ozaki, S. Kaji, K. Nawa, T. Imae, and K. Nakagawa, “Iterative CT reconstruction with diffusionmodel”, The 3rd International Conference on Radiological Physics and Technology (ICRPT)

[2] 尾崎翔、鍛冶静雄、名和要武、今江禄一、中川恵一、『デノイジング拡散確率モデルを用いた CT 画像再構成の研究』、第43回医用画像工学会大会

(3) その他

使用計算機	使用計算機に ○	配分リソース※		
		当初配分	移行*	追加配分
Cygnus	○	12000		
Pegasus				
Wisteria/BDEC-01				
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。 * バジェット移行を行った場合、「+2000」「-1000」のように記入				

