

画像生成 AI を用いた即時適応放射線治療支援システムの開発

Generative AI based planning system of on-line adaptive radiotherapy

尾崎翔

弘前大学大学院理工学研究科

1. 研究目的

近年、がんの放射線治療では、治療時に患者の状態に合わせて即時的に治療計画を最適化する即時適応放射線治療が注目されている。しかしながら、即時適応放射線治療の臨床的な適用は、医療従事者に大きな負担をかける。本研究課題では、近年急速に発展している画像生成 AI を用いた即時適応放射線治療の治療計画作成システムの開発を目的として、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に関する研究を行う。

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 Small FOV の 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 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。特に我々の手法は、FOV 付近の構造保存に優れていた。さらに、CT の画質改善の基礎的な研究として、拡散モデルのアンサンブル学習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、従来の拡散モデルベース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、骨盤部及び頭頸部領域で 3D U-Net の Dice 係数の値が統計的に有意に 2D U-Net モデルの Dice 係数値を上回った。眼球や耳下腺など、左右のある臓器に関しては、前処理及び後処理によって、Dice 係数の精度の向上が見られた。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。さらに、条件付き 2D 拡散モデルによる線量分布推定にも取り組んだ。U-Net や GAN では、分布が左右対称となり実際の臨床の分布を反映していなかったが、拡散モデルによって出力された分布では臨床で見られる左右非対象な分布が表現可能となった。

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 2D 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、3D 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。NVIDIA H100 GPU を複数搭載した Pegasus 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となった。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、Pegasus 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、Fov Matching を使った CT 画像再構成の開発を行う。さらに、その手法を位置照合用 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 3D 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] Idzuru Yoshinaga, Sho Ozaki, Hideki Obara, Masahiko Aoki, “Image quality enhancement of small FOV cone-beam CT by using a generative model”, 4th ICRPT, April 10-13, 2025, Yokohama Japan

[2] 尾崎翔, 鍛冶静雄, 今江禄一, 名和要武, 中川恵一, “拡散モデルのアンサンブル学習によるスパースビューCT 画像再構成”, 第 44 回日本医用画像工学会大会, 2025 年 8 月 28 日-30 日, 東京科学大学

[3] Sho Ozaki, Shizuo Kaji, Toshikazu Imae, Kanabu Nawa, Hideomi Yamashita, Keiichi Nakagawa, “Ensemble of different diffusion priors for sparse-view CT reconstruction”, IEEE NSS MIC 2025, November 1-8, 2025, Yokohama Japan

(3) その他

筑波大学計算科学研究センター 2025 年度学際共同プログラム利用報告書

使用計算機	使用計算機に○	配分リソース※		
		当初配分	移行*	一般利用による追加
Pegasus	○	10800		0
Miyabi-G				
Miyabi-C				
※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				