

## 審査の結果の要旨

氏 名 韓 昌熙

本論文は、「Pathology-Aware Generative Adversarial Networks for Medical Image Augmentation (医用画像拡張に向けた、病変部を意識した敵対的生成ネットワーク)」と題し、英文9章からなる。

医用画像解析においては、倫理的な問題や専門医によるアノテーションコストの高さなどから、十分な教師情報付き画像データを得難い傾向にある。この問題を踏まえ、本論文では、Generative Adversarial Network (GAN)によって所望の特徴を有する疾患画像を生成し、医療データ拡張と医師教育へ応用する研究について論じている。提案する医用画像生成法は、既存の実データ分布に従って生成を行う内挿と、疾患の位置や外観等の医学的な外部知識を事前情報として与える外挿の両文脈から体系的に設計・検証されており、実際に分類や検出等の診断タスクにおけるデータ拡張手法としての有効性が示されている。また、現場に携わる医師と協力しながら、提案手法に基づく医療データ拡張および医師教育の実用性や将来性について議論を深めている。

第1章「Introduction」では、本論文の動機と目的、および医用画像解析分野における位置づけと貢献をまとめている。

第2章「Background」では、医用画像解析およびディープラーニングの基本概念を整理し、解説している。また、両者を結ぶ上で最も重要となる、データ不足を補う手法について議論している。

第3章「Investigated Contexts and Applications」では、GANによる画像生成技術を医療データ拡張、医師教育の二つの文脈で応用することを本論文のフォーカスとすることを述べると共に、それぞれ関連する研究を網羅的に紹介し議論している。

第4章「GAN-based Medical Image Generation」では、実際にGANによってリアルな医用画像が生成可能であることを実証している。具体的には、noise-to-image GANにより、128×128サイズの脳全体のMagnetic Resonance (MR) 画像を生成している。これらの生成画像は、Visual Turing Testにおいて専門医ですら実画像と正確に見分けられていないことから、十分なリアルさを有することが裏付けられている。

第5章「GAN-based Medical Image Augmentation for 2D Classification」では、分類問題のためのデータ拡張手法を提案している。まず、noise-to-image GANの一つであるProgressive Growing of GAN (PGGAN) を使ってリアルかつ多様な256×256サイズの脳全体のMR画像を、腫瘍・非腫瘍画像のそれぞれについて生成する。さらに、この生成画像を入力としてimage-to-image GANを用い、テクスチャと形をリファインする。この

ような2ステップGANに基づくデータ拡張により、腫瘍・非腫瘍分類における感度を93.7%から97.5%に上昇させている。

第6章「GAN-based Medical Image Augmentation for 2D Detection」では、領域検出問題のためのデータ拡張手法を提案している。検出問題のためのデータ拡張では、任意の位置に対象物を配置するメカニズムが必要となる。本章では、荒いバウンディングボックス条件をnoise-to-image GAN (PGGAN) に漸進的に組み込むConditional PGGAN (CPGGAN) を提案し、所望の位置・大きさに腫瘍を配置した256×256サイズの脳転移MR画像を生成している。CPGGANは臨床的に受け入れられる偽陽性増加のもと、二次元腫瘍検出における感度を83%から91%に上昇させている。

第7章「GAN-based Medical Image Augmentation for 3D Detection」では、三次元画像からの領域検出問題のためのデータ拡張手法を提案している。具体的には、三次元の疾患を多面的に意識した条件づけを行う3D Multi-Conditional GAN (MCGAN)を提案し、望みの位置・大きさ・濃度を有しながらComputed Tomography (CT) スキャンに違和感なく溶け込む、リアルかつ多様な32×32×32サイズの肺結節3D画像を生成している。3D MCGANは結節の大きさ・濃度に関わらず、三次元結節検出における感度を上昇させている。また、生成した画像のリアルさは医師によるVisual Turing Testによって確認されており、所望の異常を有するリアルな医用画像を表示する医師教育ツールとしての応用も期待できる。

第8章「Discussions on Developing Clinically Relevant AI-Powered Diagnosis Systems」では、提案する医用画像生成法の臨床的な実用性や将来性を議論している。まず、9人の医師に対してアンケート調査を行い、医療データ拡張・医師教育の双方の文脈における提案手法の有効性や課題について意見をj得ている。さらに、5年後の臨床現場にフィットする医療Artificial Intelligence (AI) 開発に向けたワークショップを、AIと医療の両方またはいずれかの背景を持つ人物7名を参加者として実施しており、その際に得られた知見をまとめている。

第9章「Conclusion」では、本論文の貢献を総括し、今後の展望を述べている。

以上を要するに本論文は、医用画像解析において避けられない問題であるデータ不足に対処するために、既存データの内挿および外部知識を導入した外挿の双方の観点から、GANを用いた医用画像生成の枠組みおよび一連の手法を開発した先駆的な研究である。これらの技術のデータ拡張や医師教育への応用可能性を見出し、網羅的な実験的検証でその効果を示したことには高い研究的価値が認められる。さらに、実際に医療現場に携わる医師や研究者と密に連携し、社会実装へ向けた検証と議論を深めており、情報理工学における創造的実践の観点からの価値が認められる。よって本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。