

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	敵対的生成ネットワーク(GAN)を用いたドメイン適用技術の医用画像処理への応用に関する研究
Title(English)	Study on Generative Adversarial Network (GAN) based Domain Adaptation for Advanced Medical Image Processing
著者(和文)	BISWASTanwi
Author(English)	Tanwi Biswas
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12576号, 授与年月日:2023年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小尾 高史,山口 雅浩,金子 寛彦,鈴木 賢治,飯野 裕明
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12576号, Conferred date:2023/9/22, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨 (案) 及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	BISWAS Tanwi		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	小尾 高史	准教授		飯野 裕明	准教授
	審査員	山口 雅浩	教授	審査員		
		金子 寛彦	教授			
鈴木 賢治		教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Generative Adversarial Network (GAN) based Domain Adaptation for Advanced Medical Image Processing」と題し、英文7章から構成されている。

第1章「Introduction」では、本研究の背景と目的について述べている。まず、深層学習を用いた医用画像処理は、様々な分野で高い成果を挙げているが、高い性能を得るためには、学習時に大量のラベル付きデータが必要になると述べている。特に、臨床の場においては、異なる特性を持つ画像や異なるモダリティ画像（異種画像）を統合して活用することが重要であるが、深層学習を用いて異種画像統合に必要な手法を開発するには、対応関係のあるラベル付き異種画像データが必要であり、このようなデータの入手には、膨大な手間とコストがかかると述べている。これに対して、本研究の目的は、対応関係のあるラベル付き異種画像データを必要としない教師無しドメイン適応技術である CycleGAN を用いた画像変換技術を、病理画像の染色変換や位置合わせ、肺のすりガラス状結節の検出能向上のためのデータ拡張といった様々な医用画像処理に適用するための手法を開発し、その有効性を明らかにすることであると述べている。

第2章「Theoretical Background」では、本論文で扱う用語についての説明を行っている。具体的には、ドメインシフト問題、ドメイン適応技術、GAN (Generative Adversarial Network)、Conditional GAN について、簡単な説明と本論文での定義を記載するとともに、詳細については、以降の章で説明すると述べている。

第3章「Domain Adaptation with CycleGAN」では、GAN をベースとした教師無しドメイン適応技術である CycleGAN の詳細を説明するとともに、既存の CycleGAN の課題を指摘している。まず、CycleGAN は、一般的な GAN における損失である敵対性損失の他に、サイクル一貫性損失、同一性損失を用いて、ソースドメインとターゲットドメインを相互に変換する生成器を学習するものであり、様々な医用画像処理に適用可能であると述べている。そして、既存の CycleGAN における同一性損失の計算にはソースドメインとターゲットドメインのチャンネル数が一致している必要があり、ハイパースペクトル画像から RGB 画像を生成する場合などチャンネル数が異なる画像の変換には用いることができないことを指摘している。

第4章「Staining conversion with CycleGAN」では、CycleGAN を用いてヘマトキシリン-エオジン (HE) 染色標本のハイパースペクトル画像 (HE-HS 画像) から Elastic van Gieson (EVG) 染色標本の RGB 画像 (EVG-RGB 画像) を生成する手法を提案している。提案手法では、CycleGAN を用いて 61 チャンネルの HE-HS 画像から 3 チャンネルの EVG-RGB 画像を生成する生成器を学習するが、同一性損失の計算には、HE-HS 画像のチャンネル数を 3 チャンネルに削減する必要があると述べている。そして、複数のチャンネル削減法を検討し、弾性線維と膠原線維に判別する線形判別関数とヘマトキシリン色素、エオジン色素の吸収スペクトルを用いてチャンネル数を削減する手法が有効であることを示している。さらに、CycleGAN により学習された HE-HS 画像から EVG-RGB 画像を生成する生成器に対して、少数の空間的に対応関係のある HE-HS 画像と EVG-RGB 画像を用いた追加学習を行うことで、既存の染色変換法である StainGAN を持ちいた場合と比較して、SSIM、PSNR、平均二乗誤差が最大 20% 程度改善することを示している。

第5章「Improving registration accuracy using CycleGAN」では、異なる染色法で染色された病

理画像間の位置合わせ精度を向上させる手法を提案している。提案手法では、まず CycleGAN を用いて HE 染色標本の RGB 画像 (HE-RGB 画像) から EVG-RGB 画像を生成する生成器を学習すると述べている。そして HE-RGB 画像と EVG-RGB 画像の位置合わせを行う際には、この生成器を用いて HE-RGB 画像から変換 EVG-RGB 画像を生成し、EVG-RGB 画像との間で SURF 特徴量を用いた位置合わせを行うと述べている。そして、提案手法は HE-RGB 画像と EVG-RGB 画像間で直接位置合わせを行う場合と比較し 4%程度の位置合わせ精度改善が図られることを示している。

第 6 章 「Domain Adaptation for Data Augmentation of Rare Cases (for GGO Nodule Detection)」では、CycleGAN を用いて肺のすりガラス状結節 (GGO) の検出能向上のためのデータ拡張手法について検討している。GGO は早期肺がんの可能性があり、これを検出する深層学習モデルの開発が望まれているが、学習に用いることができる GGO 所見を含む CT 画像 (GGO 画像) 数は、充実型結節等の GGO ではない結節の所見を含む CT 画像 (non-GGO 画像) 数と比較して少なく、学習データの偏りも大きいことから GGO の検出精度向上が難しいと述べている。これに対して、本研究では、CycleGAN を用いて、GGO 画像を non-GGO 画像に、non-GGO 画像を GGO 画像に変換することで、GGO 画像、non-GGO 画像の学習データ数を同数にし、データ拡張とともにデータの偏りを改善する方法を提案している。そして、得られた学習データを用いて肺結節検出に用いられる NoduleNet を学習した結果、データ拡張を行わずに学習した場合と比較して、1 検査画像当たりの擬陽性数が 0.25~1 である場合において 5%程度 GGO 検出精度が向上することを示している。

第 7 章 「Discussion and Conclusion 」では、本研究で得られた成果をまとめるとともに、今後の課題、展開について述べている。

以上を要するに、本論文は、CycleGAN を用いた画像変換技術を様々な医用画像処理に適用する際の課題を解決する手法を開発し、その有効性を明らかにしたものであり、提案手法は、医療分野で利用されるマルチモダリティ画像処理や学習データ拡張等に役立つと期待されるものであることから、工学上ならびに工業上寄与するところが大きい。よって本論文は、博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。