

氏名	ASAAD MUSAED AHMED ANAAM		
授与した学位	博士		
専攻分野の名称	統合科学		
学位授与番号	博甲第	6737	号
学位授与の日付	2022年 9月 22日		
学位授与の要件	ヘルスシステム統合科学研究科 ヘルスシステム統合科学専攻 (学位規則第4条第1項該当)		
学位論文の題目	Advanced Deep Learning Techniques for Efficient HEp-2 Computer-Aided Diagnosis Systems (効率的な HEp-2 細胞に対する計算機支援診断システムのための先進的深層学習手法)		
論文審査委員	教授	阿部 匡伸	教授 呉 景龍 教授 五福 明夫
学位論文内容の要旨			
<p>Anti-Nuclear Antibody (ANA) test using the Indirect Immunofluorescence (IIF) method on Human Epithelial (HEp-2) cells is considered as the gold-standard method to identify the presence of autoimmune diseases such as Systemic Lupus Erythomatus, Sjorgren's syndrome, etc. Unfortunately, this protocol is time-consuming, labor-intensive, and highly subjective to the experience of the practitioners, which increases the variations across personnel/laboratories. Therefore, there has been a steady ongoing effort to develop image-based Computer-Aided Diagnosis (CAD) systems to automate the processes of the IIF test. Whereas, developing an efficient HEp-2 CAD system is required to support human experts in making better diagnosis responses, increase the test throughput, and provide an educational tool for medical specialists. However, due to the HEp-2 patterns classification task's complexity, there is still a need to improve the performance of the HEp-2 cell images automatic classification frameworks in order to construct an efficient HEp-2 CAD system. Recently, deep learning-based image classification methods demonstrated a significant improvement in the HEp-2 cell image classification tasks, which encouraged further studies to investigate more advanced techniques for solving these tasks. However, deep learning-based approaches require a large number of training data to avoid overfitting. Furthermore, there is a need to ensure that the deep learning model learned the correct association between the regions of interest (ROIs) in the input image and the classification results.</p> <p>In this research, we proposed employing the contemporary generative adversarial networks (GANs) algorithms to synthetically generate new HEp-2 cell images to enlarge the training data. Different types of GANs were used to synthesize HEp-2 cell images to address the data scarcity problem. For systematic comparison, empirical quantitative metrics were implemented to evaluate the performance of different GAN models. Using GANs for HEp-2 data augmentation was assessed using five state-of-the-art convolutional neural networks (CNNs) classifiers in the HEp-2 cell image classification literature. On the other hand, we proposed an improved self-attention deep cross residual network (Att-DCRNet) for solving the HEp-2 cell image classification tasks. We incorporated the baseline DCRNet architecture with a self-attention mechanism to enhance the model awareness of the class-relevant regions of interest (ROIs) among the channel and spatial dimensions of the intermediate feature maps. The impact of this modification is to enhance the network's representation power and improve the discriminability of the classification model.</p> <p>The evaluation results showed that GANs were able to generate HEp-2 cell images with high visual similarity with the real images even though their capacity to generate diverse data is still limited. Using GAN-generated data in combination with classic augmentation methods improved the classification performances among all CNNs understudy. Furthermore, the experimental evaluation results demonstrated the superiority of the proposed Att-DCRNet classification framework, achieving a competitive state-of-the-art for both HEp-2 cell image classification and the mitotic-interphase HEp-2 cell-cycle imbalanced classification tasks. The proposed framework proves to be efficient for practical applications for automatically providing accurate diagnosis decision support regarding the HEp-2 cell patterns and cell-cycle phase. A potential extension of this work is to solve a unified multiclass classification problem of HEp-2 cell image classification along with the mitotic cell patterns by utilizing GANs for synthetically balancing the training data. Developing such a framework could support designing an end-to-end HEp-2 cell-detection-based CAD system.</p>			

論文審査結果の要旨

HEp-2細胞に対する間接免疫蛍光法を用いた抗核抗体（ANA）検査は、自己免疫疾患の有無の判別に標準的に用いられている。この検査法は、時間がかかることや検査師の経験に影響することが欠点である。このため、画像処理を応用したコンピュータ支援診断システムの開発が盛んに行われている。しかしながら、HEp-2細胞パターンの分類タスクの複雑性のために、画像処理による自動分類手法の性能向上が求められている。近年、深層学習に基づいた画像分類手法により分類性能が格段に向上したが、深層学習では大量の訓練データが必要であり、入力画像において注目する領域と分類結果とが正しく対応していることを確認する必要がある。

本研究では、generative adversarial network（敵対的生成ネットワーク：GAN）を応用して、訓練データを増加させることを提案した。データの希少性の問題を解決するために、異なるタイプのGANアルゴリズムをHEp-2細胞に適用し、HEp-2細胞分類に応用されている5種類の畳み込みネットワーク（Convolutional Neural Network）分類器により分類性能を評価した。また、本研究では、細胞形態の特徴的な領域に注目できる改良自己注意深層残差ネットワーク（Att-DCRNet）を提案した。HEp-2細胞の公開データベースを用いた評価結果により、GANにより視覚的に類似した訓練データを生成できること、Att-DCRNetは高い分類性能を示すことを確認した。

以上の成果は学術的に高く評価されて、IEEE Access 誌に学術論文として掲載された。また、本成果を応用して実用的なコンピュータ支援診断システムの開発が可能になると期待される。これらのことにより、本学位論文は「統合科学」の学位授与に値すると判定する。