



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Applications of deep learning to accelerate label-free nerve imaging rate using coherent Raman rigid endoscopy : Construction of transfer learning method with fluorescence images and evaluation method for maximum imaging rate [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	大和, 尚記
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第15545号
Issue Date	2023-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/89851
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Naoki_Yamato_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（情報科学） 氏名 大和 尚記

学 位 論 文 題 名

Applications of deep learning to accelerate label-free nerve imaging rate using coherent Raman rigid endoscopy – Construction of transfer learning method with fluorescence images and evaluation method for maximum imaging rate –

（非線形ラマン硬性内視鏡による無標識神経イメージング高速化への深層学習の応用—蛍光画像を用いた転移学習法と最大撮像速度の評価法の構築—）

近年の外科手術は、手術後における生活の質に着目した技術の開発が行われており、神経損傷による術後の身体機能障害が課題として挙げられる。術中の神経可視化による神経温存率向上を目指し、神経を無染色に可視化する非線形ラマン散乱硬性内視鏡が開発されてきた。しかしながら、遅い撮像速度が課題であった。本研究では、臨界撮像速度 (CIR; critical imaging rate) という指標を提案し、深層学習を用いた画像処理による撮像速度向上の定量評価法、および蛍光画像を事前学習に用いる学習方法の確立を行い、神経撮像速度の向上を実証した。

まずは、ノイズ除去による撮像速度の高速化を検討した。深層学習に必要とされる多量なデータ取得が困難であったため、非線形ラマン散乱顕微鏡により多量なデータを取得し、事前に学習するよう工夫した。この事前学習により、硬性内視鏡で取得した少量の神経画像に対しノイズ除去性能を有意に向上できることを示した。また、ノイズ除去の性能を定量評価する指標として Peak signal-to-noise ratio (PSNR) と structural similarity (SSIM) が一般的に使用されるが、撮像速度の評価が行えないことが課題であった。そこで、ノイズ除去による撮像速度向上を評価するため臨界撮像速度という指標を提案した。これは、医用画像に必要とされる画質 (PSNR=30、SSIM=0.8) を満たす撮像速度を PSNR と SSIM から算出し、それらの調和平均をとった値である。深層学習により臨界撮像速度を 5 倍高速化できることを定量評価した (0.023 fps から 0.12 fps へ向上)。

次に、深層学習による semantic segmentation を用いた神経抽出の検討を行った。医師にとっては神経の分布が重要であるため、非線形ラマン散乱画像から神経分布をどの程度抽出できるか検討を行った。ここでは、少量のデータセットを補うために脂質を染色した蛍光画像を事前学習に用いる手法を提案した。非線形ラマン散乱では脂質の分子振動を用いて可視化を行っており、脂質の蛍光画像は非線形ラマン散乱と同等な形状情報を有していると考えられる。また、また VGG16 という特徴量の抽出に優れたモデルを神経抽出モデルの特徴量抽出として用いた。神経抽出の性能を F1 スコアにより定量評価すると、非線形ラマン散乱内視鏡画像のみを学習したモデル、VGG16 を使用したモデル、VGG16 を使用し蛍光画像を事前に学習したモデル、の順に指標が高い値を示し、有意差が確認された。したがって、一般画像で学習された特徴抽出器や蛍光画像の事前学習は非線形ラマン散乱内視鏡の神経抽出において有用であることが示された。

最後に、神経抽出が撮像速度の向上に有用であることを明らかにした。速い撮像速度で取得した低い SNR を示す非線形ラマン散乱内視鏡画像に対し、神経抽出の学習を行い、撮像速度向上の定量評価を行った。低い SNR の画像に対しては、VGG16 の特徴量を利用することよりも蛍光画像の事前学習が神経抽出性能を大きく向上させることを明らかにした。神経抽出では F1 スコアが 0.8 以上を満たす場合を臨界撮像速度と定義し、神経抽出により臨界撮像速度が 0.63 fps まで向上できることを示した。これは、ノイズ除去による臨界撮像速度と比較し 5.6 倍速い結果であった。

本研究では、臨界撮像速度を提案し、深層学習による画像処理 (ノイズ除去、神経抽出) を導入した際の撮像速度向上を定量評価した。また、神経抽出においては蛍光画像の事前学習が非常に有用であり、他のモダリティ画像を組み合わせることで学習データが少ない状況においても高い性能を引き出せることが実証された。深層学習により視野の大きさと撮像速度の間に生じるトレードオフの関係を打ち破ることが可能であることを示した。