



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_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (情報科学) 氏名 大和 尚記

審査担当者 主 査 教 授 橋本 守
副 査 教 授 平田 拓
副 査 教 授 雲林院 宏
副 査 准教授 工藤 信樹

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コヒーレントアンチストークスラマン散乱 (CARS) 硬性内視鏡が開発されてきたが、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、CARS 硬性内視鏡による神経撮像速度の向上を実証した。

ノイズ除去による撮像速度の高速化の検討において、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、CARS 顕微鏡により多量なデータを取得し用いた事前学習を行った。この事前学習により、CARS 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が示された。なおこの際、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新しい指標を提案した。臨界撮像速度は、医用画像に必要とされる画質の基準 (PSNR=30、SSIM=0.8) を満たす撮像速度を Peak signal-to-noise ratio(PSNR) と structural similarity(SSIM) から算出し、それらの調和平均から得られる値である。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的に示した (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。医師にとって重要な神経の分布を、CARS 画像からどの程度抽出できるか評価した。また、少量のデータセットを補うために脂質染色した蛍光画像を事前学習に用いる手法を提案した。これは、CARS 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 CARS と同等な形状情報を有していると考えられるためである。また、既に一般画像で学習された VGG16 という特徴量の抽出に優れた深層学習モデルを神経抽出モデルの特徴量抽出部分に用いた。神経抽出の性能を F1 スコアによる定量評価を行い、VGG16 と蛍光画像を事前に学習したモデル、VGG16 を使用したモデル、CARS 内視鏡画像のみを学習したモデル、の順に F1 スコアが高く、有意差が確認されることを示した。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 CARS 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、神経抽出により高速に撮像できることを明らかにした。速い撮像速度で取得した低 SNR な CARS 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が明らかにした。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。この結果は、ノイズ除去による臨界撮像速度と比較し 5.6 倍速く、臨床に用いることができる撮像速度 (1.0 fps) に近づいた。

これを要するに、著者は、CARS 硬性鏡による無標識な神経の可視化を、深層学習を用いることで臨床に用いるに足る速度近くまで高速化でき得ることを示した。この際、撮像速度の限界を定量的に表す臨界撮像速度という指標をはじめて提案し、用いた。また、少ない CARS 硬性鏡像で神経抽出の精度を向上させるために、蛍光画像を事前学習に用いる手法をはじめて提案し、有効であることを示した。これらの結果は、顕微鏡下外科手術に用いる新しい眼の実現の可能性を示したものであり、生体情報工学に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (情報科学) の学位を授与される資格あるものと認める。