

MMI スペクトルエンコーダを用いた単一ファイバ蛍光イメージング

Single Fiber Fluorescence Imaging with a MMI Spectral Encoder

東北大工¹, 東北大医工² ○(M1) 滝沢 佳樹¹, 片桐 崇史¹, 松浦 祐司^{1,2}Tohoku Univ., Graduate School of Engineering¹, Graduate School of Biomedical Engineering²○Yoshiki Takizawa¹, Takashi Katagiri¹, Yuji Matsuura^{1,2}

E-mail: yoshiki.takizawa.t8@dc.tohoku.ac.jp

1. はじめに

近年、内視鏡技術の発展により、体内の細部まで観察可能な細径内視鏡が開発されている。例えば、数千本の光ファイバ束から成る血管内視鏡カテーテルの外径は約 0.5 mm であり、急性冠症候群の発症予知や治療の指標に役立てられている。一方、内視鏡は本来、感染症などのリスクからディスポーザブルであることが望ましく、今後の医療費削減の課題解決のためには低コストな内視鏡システムの開発が重要である。

そこで我々は単一の光ファイバを用いたイメージング手法として、スペクトル符号化による画像再構成法^[1]に着目し、多モード干渉によるスペクトルエンコーダを提案し、画素ピッチ 270 μm、2×8 画素の画像再構成によりその有用性を確認した^[2]。本研究では、高精細な蛍光イメージングを目指した検討を行ったのでその結果について報告する。

2. 実験系と測定法

図 1 に実験系の概要を示す。スペクトルエンコーダは、長さ 1 m のシングルモードファイバの片端に、長さ 2 cm のマルチモードファイバ (SI 型, NA0.22, コア径: 105 μm) を融着接続することにより製作した。DPSS レーザからの励起光 (波長 532 nm) はマスクを介して撮像面に照射される。ここで、撮像面はガラス基板で挟んだ蛍光色素 (ローダミン B) により形成され、マスクパターンにより任意の形状を投影可能である。撮像面で発生した蛍光は撮像面から 3 mm の位置にあるファイバを介して分光器により検出される。投影パターンは励起光入射側に配置された CCD カメラによりモニタリングされる。

測定ではまずシステムの校正を行う。撮像面内に点光源を形成し、ファイバを介して分光器によりその強度スペクトルを検出する。ここで、ファイバ入射光はスペクトルエンコーダにより変調を受け、点光源の位置に対応したスペクトルが得られる。撮像面内の全ての位置座標においてスペクトル測定を行い、データを行列 A に格納する。次に、撮像面に対象となる像を投影し、ファイバを介して得られる強度スペクトルを取得する。得られたデータをベクトル b に格納する。ここで、測定した強度スペクトルは、点光源のスペクトルデータの線形結合で表わされることから、次の連立一次方程式が得られる。

$$Ax = b \quad (1)$$

波長サンプリング数が画素数よりも大きい場合、(1)式は優決定系となるため、最小二乗問題を解くことにより、測定対象の蛍光強度分布 x が再構成される。

3. 実験結果

構成した実験系により、画素ピッチ 5 μm、画素数 15×15 の蛍光画像の再構成を行った。図 2 はキャリブレーション時における任意の隣接するピクセルのスペクトルを比較したものである。隣り合うピクセル間のスペ

クトル形状に有意な差異を確認した。

直径 20 μm の円形パターンについて、CCD カメラで撮像した画像と再構成画像を比較したものを図 3 に示す。カメラ画像の白枠の領域は今回キャリブレーションを行った領域に対応している。両者を比較すると、再構成画像は光源の位置を精度良く再構成できていることがわかる。画素ピッチ 5 μm のイメージングは、角度分解能 0.1 deg. に相当し、ファイバの NA から換算すると、画素数 270×270 の画像取得が可能である。この結果から、生体組織の観察に十分な解像度が実現できる見通しを得た。

今後は、より広域かつ複雑なイメージングを実施し、実用における本手法の有効性を検討する。

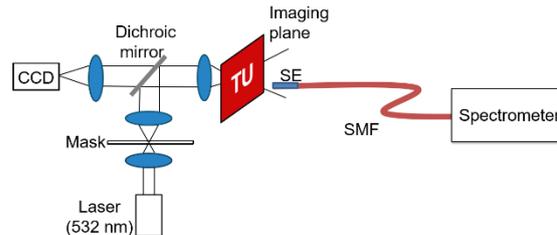


Fig. 1 Schematic of experimental setup.

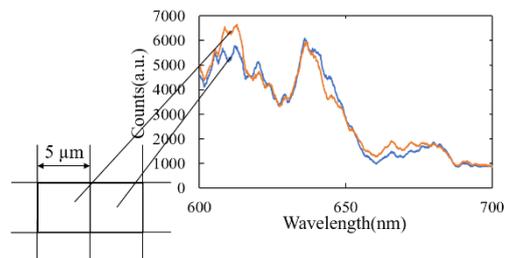


Fig. 2 Power spectra of adjacent pixels.

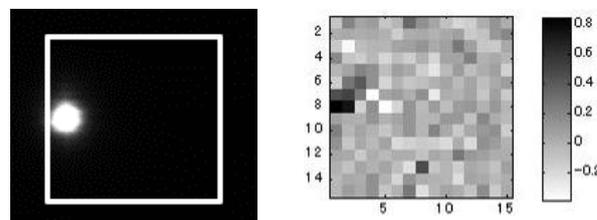


Fig. 3 CCD camera image (left) and reconstructed image(right).

参考文献

- [1] S. M. Maliszewska, et al., Opt. Lett. 40, pp. 534-537 (2015)
- [2] 滝沢佳樹, 片桐崇史, 松浦祐司, 電子情報通信学会総合大会, B-13-24 (2017)