

機械学習を用いたマルチモードファイバ波長計と そのポアソン強度揺らぎと暗計数に対する耐性

Multimode-fiber wavemeter using the machine learning and its tolerance against Poisson intensity noise and dark counts.

日大理工(院)¹, 日大量科研² ◯(M2)奥山 皓介¹, 西脇 大輔¹, 松野 裕¹,
行方 直人², 井上 修一郎²

CST, Nihon U.¹, IQS, Nihon U.², ◯Kosuke Okuyama¹, Daisuke Nishiwaki¹, Yutaka Matsuno¹,
Naoto Namekata², Shuichiro Inoue²,
E-mail:csko21010@g.nihon-u.ac.jp

マルチモードファイバ (MMF) の複数伝搬モード間干渉を用いた波長計・分光器は、小型かつ高効率であり、アトメートル級の波長分解能の実現可能性も示唆されている[1,2]。入力光波長と MMF 出力端で観測されるスペckルパターン (SP) の関係から MMF の伝達関数を再構築し、その逆伝達関数を用いる事によって、波長・分光計測を実現する。この解析的な再構築手法では、必ずしも MMF の SP が本来持つ高い波長分解能が得られるとは言えない。また、被測定光の強度が極端に弱い場合、その強度揺らぎや検出器の雑音に対しては、その解析的手法は脆弱である。

本研究では、SP から被測定光の波長・スペクトルを推定する過程を機械学習とすることを検討した。そして、今回機械学習 MMF 波長計の微弱コヒーレント光が持つ強度揺らぎと検出雑音に対する耐性を調べたので報告する。図 1 に機械学習 MMF 波長計の概念図を示す。波長 1550 nm 帯の外部共振器レーザーからの CW 光を温度安定化された長さ 1m の MMF に入射し、その出射端における SP をテレセントリック光学系と近赤外カメラによって取得した。CW 光の波長に対する SP を畳み込みニューラルネットワーク (CNN) に学習させた。この学習済 CNN は、 μW オーダーの被測定光 (SNR > 20 dB) に対して、波長ビン幅 0.1 nm、ビン数 10 の波長推定を $\sim 100\%$ の精度をもって実現した。被測定光の強度が極端に低い場合、光検出は光子計数モードとなり、その強度揺らぎはポアソン分布となる。また、雑音は暗計数となる。このような条件下においても上記 CNN (ただし、学習データの拡張を施した) は波長推定が可能かを調べた。光子計数モードにおける SP を、古典光で得た SP を確率分布とするモンテカルロシミュレーションによって得た。図 2 は全入力光子数 5×10^4 、測定時間あたりの各画素の暗計数確率を 0.8 としたときの SP である。最も明るい画素においても、検出光子数は 10 以下であり、強いポアソン強度揺らぎと暗計数の影響が大きい SP となっている。この場合においても波長推定精度は 98% (波長分解能 0.1 nm) を得た。当日は、より詳細な解析結果を示し、より少ない入射光子数、より大きい暗計数に対する波長推定精度についても報告する。

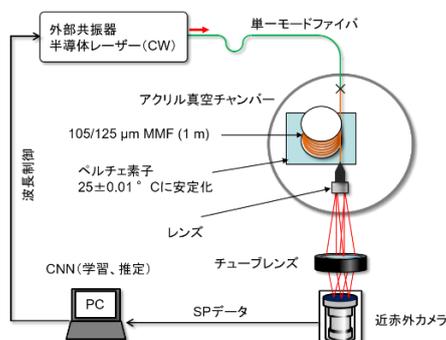


図 1. 機械学習 MMF 波長計

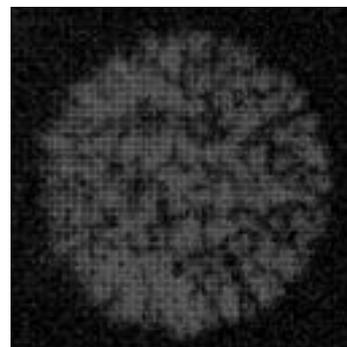


図 2. モンテカルロ法によるスペckルパターン

[1] B. Redding, et. al., Opt. Express **21**, 6584 (2013).

[2] D. Bruce, et. al., Opt. Lett. **44**, 1367 (2019).