

光ニューラルネットワーク実装に向けた光行列演算回路による分類試験

Classification test by photonic matrix operation circuit towards packaging of photonic neural networks

NTT ナノフォトニクスセンタ¹, NTT 物性研², NTT CS 研³, 産総研⁴, 北 翔太^{1,2}, 野崎 謙悟^{1,2},
高田 健太^{1,2}, 青山 一生³, 前神 有里子⁴, 大野 守文⁴, コン グアンウェイ⁴, 山本 宗継⁴,
山田 浩治⁴, 新家 昭彦^{1,2}, 澤田 宏³, 納富 雅也^{1,2}

NTT NPC¹, NTT BRL², NTT CSL³, AIST⁴, S. Kita^{1,2}, K. Nozaki^{1,2}, K. Takata^{1,2}, K. Aoyama³, Y. Maegami⁴,
O. Morihumi⁴, G. Cong⁴, N. Yamamoto⁴, K. Yamada⁴, A. Shinya^{1,2}, H. Sawada³, and M. Notomi^{1,2}

E-mail: syouta.kita.ue@hco.ntt.co.jp

機械学習の再ブームと Si CMOS フォトニクス技術の成熟により、多くの研究機関で光電融合演算基盤の研究開発が加速している。その推進力は「線形光学回路を用いた複素行列演算」が可能で、光回路に不揮発な移相器を用いることで文字通り光を通すだけで余計な電力消費を伴わずに所定の演算を実行できるという基本原理である¹⁾。米国ベンチャー企業である Lightmatter が電圧制御可能な微小機械移相器で本回路を大規模実装することで、各種推論の電力あたりの処理量が、NVIDIA の最新 AI アクセラレータの数倍となることをすでに発表している²⁾。我々はこのような光行列演算器にナノフォトニクスを適用することで、さらなる低遅延化・省電力化を図るとともに、光トランジスタ³⁾などの集積化などにより光の超高速性を生かした新機能の実証を目指している。これに向けた基礎的な取り組みとして、標準的なヒータ移相器による小規模な光行列演算器を試作し、移相器の校正、学習済みの重み実装による簡易な分類試験を実施したので報告する。

作製した 5 入力 5 出力の Clements 型光行列演算回路⁴⁾を Fig. 1(a)に示す。まず連続光を 5 つに等分配し、5 次元のアナログデータを各振幅変調器に入力して光アナログ信号に変換する。これらの光信号を重みが入力された光行列演算回路に入力し、光出力を観測する。本回路の全移相器を校正した後、行列演算回路としての動作の妥当性を検証するために、ランダムなユニタリ変換を実装した場合の測定値と理論値の相関を調べた。結果を Fig. 1(b)に示す。主に経路依存の過剰損失を加味した結果、忠実度 (Fidelity) 0.847 が得られた。本回路を用いて、Fig. 1(c)のキャプションに記載した通りの「簡易型 MNIST」⁵⁾を実施し、出力強度が最大のポートを分類結果として識別したところ、精度 69.4% が得られた (シミュレーション値 76.2%)。一方、Iris 分類 (入力 4 次元、出力 3 次元) の場合は精度 95% が得られた。校正した回路にチップ外で学習した重みを実装して、シミュレーションと遜色ない精度が得られたことが重要なポイントである。今後、行列規模を拡大し、より高度かつ多彩な演算をエミュレーション・物理実装していく。参考文献 1) Y. Shen et al., *Nat. Photon.* **11**, 441 (2017). 2) <https://lightmatter.co/products/> 3) K. Nozaki et al., *Nat. Photon.* **13**, 454 (2019). 4) W. R. Clements et al., *Optica* **3**, 1460 (2016). 5) Y. LeCun et al., *Proceedings of the IEEE* **86**, 2278 (1998).

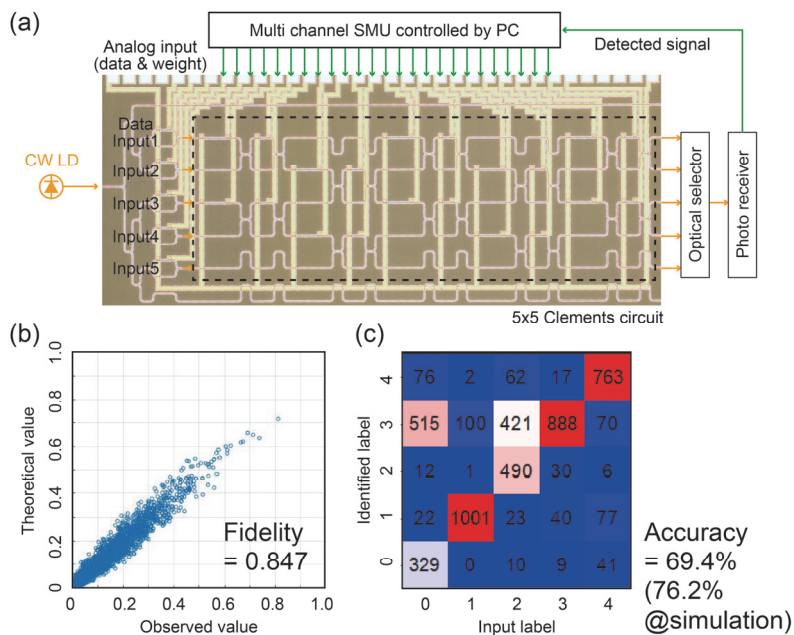


Fig. 1 Demonstration of Clements type 5 x 5 photonic matrix operation circuit. (a) Schematic of the system with the microscope picture of the packaged circuit. (b) Correlation of the observed values and the theoretical values against random unitary transformations after the calibration. (c) Confusion matrix for simplified MNIST (very famous image set of hand-written numbers for classification test). We took only 5 labels {0, 1, 2, 3, 4}. The input data is heavily compressed down to 5 elements through MAX pooling (2x2) and FFT).