# オンチップ光畳み込み演算素子による機械学習

## Machine Learning with On-Chip Photonic Convolution Filters

NTT 先端集積デバイス研 ○中島 光雅，宮田 将司，田仲 顕至，橋本 俊和

NTT Device Technology Labs., Mitsumasa Nakajima, Masashi Miyata, Kenji Tanaka,

and Toshikazu Hashimoto, E-mail: mitsumasa.nakajima.wc@hco.ntt.co.jp

生体の視覚情報処理に着想を得た畳み込みニューラルネットワーク(CNN)は、種々のタスクで高い認識性能を誇り、近年の深層学習技術の根幹をなしている[1]。CNN は畳み込み層と呼ばれる層を有しており、入力系列に対して $k\times k$ のフィルタとの畳み込み演算を行う。各フィルタの $k$ の規模は 3-11 程度であり、学習変数としては少ないが、この演算が CNN の大半を占める。例えば、代表的な CNN である Alex-Net[2]や VGG16[3]においては、学習変数量としてはネットワーク全体の数%に過ぎない畳み込み層が、総演算数の 95-99%を占めることが知られている[4]。

近年、チップ上に形成された光干渉を用いた演算素子によって、種々の演算が高速かつ低電力に実行可能であることが報告されている[5,6]。光演算は、学習変数の数だけ干渉系を要するため、膨大な変数の学習・更新は困難であるが、畳み込み演算のような少数の変数を用いた膨大なフィルタ処理を高速に実行することが可能である。本稿では、畳み込み演算を行う光導波路チップを提案し、その動作を検証したので報告する。

Fig. 1 に提案する光畳み込み演算回路とそれを用いた単層 CNN 処理の概要を示す。本構成では、入力信号を時系列の光信号 $u(t)$に変換し、光畳み込み演算素子に入力する。畳み込みフィルタを動的に再構成することで、複数の出力（特徴マップ）を取得し、電気領域でプーリングと全結合処理を行う。光畳み込みフィルタは、多段マッハツェンダー(MZ)干渉系からなる $1\times N$ 可変スプリッタと遅延差 $\theta$ の $N$ 本の遅延線から構成され、各遅延線への結合効率と位相を制御することで $N\theta \leqq$ フィルタ長 $K$ の範囲で任意の時間領域の畳み込みフィルタを形成可能である。本畳み込みフィルタは一次元系列であるが、時系列信号の生成手法（画像の分割等）によって、2 次元系列の畳み込み演算も可能である。また、複数波長を入力することで並列演算をすることも可能である。

上記の構成の光チップを試作（$N$=32、$\theta$=8.3 ps）し、実験にて光回路で畳み込み演算処理が可能かを検討した。Fig.2(a)に試作した光畳み込みフィルタを示す。本チップを用いて、1 波長当たり 1.92T[回/秒]の畳み込み演算が可能である。検討には、機械学習分野で汎用的に用いられる手書き文字データセット MNIST[6]を利用し、各画素の輝度を時系列光信号(60GSa/s)に変換し入力データとした。畳み込みフィルタ枚数は 8 枚とし、各フィルタ係数は一様乱数で生成し学習は行わないものとした。本手法は LRF-ELM と呼ばれ、CNN 層が乱数であっても比較的高い性能が得られることが知られている[7]。Fig.2(b)に光フィルタをオフにした場合と、光フィルタの重み乱数を変化させた場合の出力応答例を示す。光フィルタを介することで各入力パルスが畳み込み積分され、異なる特徴へ写像されていることがわかる。得られた特徴マップを元に、電気領域でのオフライン処理にて、4×4 のプーリング処理及び全結合層での教師あり学習を行った。学習後の正答率は最大で 82%であり、提案回路によって CNN として動作することが分かった。

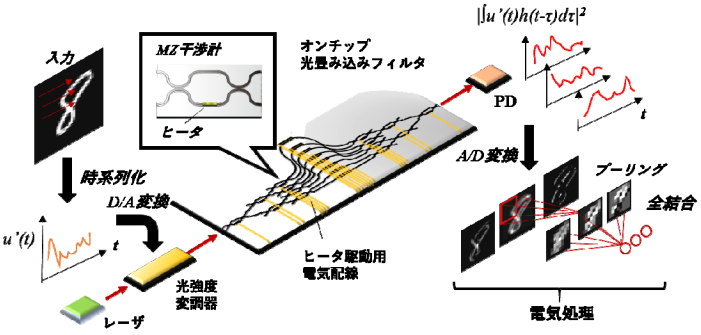


Fig. 1 CNN processing method with photonic convolution filter

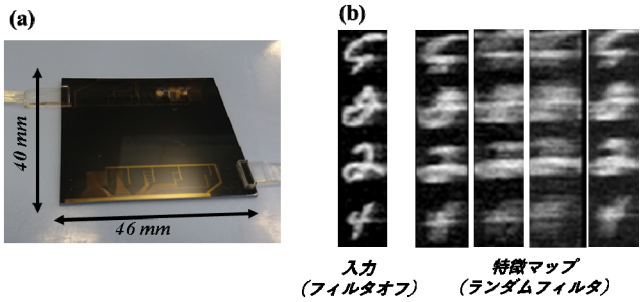


Fig.2 (a) Figure of fabricated optical chip, (b) Measured feature maps using photonic convolution filter

[1] LeCun *et al*., Proc. IEEE 86, 2278 (1998).
[2] Krizhevsky, *et al*., NIPS (2012)
[3] K. Simonyan, *et al*. https://arxiv.org/pdf/1409.1556.pdf
[4] 岡谷貫之，人工知能 31 巻 2 号 169 頁(2016).
[5] Y. Shen *et al*., Nat. photon. **11**, 441 (2017).
[6] J. Carolan *et al*., Science **349**, 711-716 (2015).
[7] G.-B. Huang et al., IEEE Computational intelligence magazine **10**, 18 (2015).

© 2019年 応用物理学会