

# 可変OIPでの数値分類

戦略センター 三浦 瞬<sup>1</sup>・大竹 守<sup>2</sup>・日下 裕幸<sup>3</sup>・南原 孝啓<sup>4</sup>・九内 雄一郎<sup>5</sup>・  
柏木 正浩<sup>6</sup>・山田 由美<sup>7</sup>

## Classification of hand-written digits by variable OIP

S. Miura, M. Otake, H. Kusaka, T. Nambara, Y. Kunai, M. Kashiwagi, and Y. Yamada

高度情報化が進む現代社会において、データ処理の負荷も飛躍的に増大しつつある。より高速で消費電力の低いプロセッサを実現する新技術として、当社は光ニューラルネットワーク(ONN)の研究を進めている。液晶光変調器を用いた独自の構成により、入力および処理の切り替えが容易な光情報処理装置を実装し、MNIST分類タスクにおいて高い分類精度が達成できることを確認した。

In today's highly information-oriented society, the workload of data processing is also increasing dramatically. We investigate Optical Neural Network(ONN) as a new technology that realizes processors with higher processing speed and lower energy consumption. A new optical information processor with easy switching of input and processing was implemented using a unique configuration with a liquid crystal optical modulator, and showed high classification accuracy for the MNIST dataset.

### 1. ま え が き

近年の人工知能 (Artificial Intelligence, AI) の発展は目覚ましい。2023年はコンテンツを生み出すことができるAI (生成AI) の技術が発展し、広く普及した年であった。AI技術を支えているのはCPUやGPUなどのプロセッサであり、演算は電気的に行われている。AI技術の発展・普及は今後も加速的に進行し、それに伴って演算するデータ量も飛躍的に増加していくと想定される。このような高度な情報化社会を支えるため、より高速で消費電力の低いプロセッサの開発が望まれている。

そこで注目されているのが光で演算を行う技術である。光で演算を行う光コンピューティングは50年以上前から研究されてきたが、いまだ実用化に至っていない。近年の微細な構造の加工技術の発展や光変調デバイスの進化により、光の状態をより精密に操作できるようになり、光による演算の実現可能性が高まっている。特にAIの演算に光を利用することで、高速かつ低消費電力のプロセッサが実現できると期待されている。

光によって構成されたニューラルネットワークは光ニューラルネットワーク (Optical Neural Network, ONN) と呼ばれる。ONNにより動作するプロセッサは、例えばシリコンを微細加工して作製される導波路によって実装されてきた<sup>1)</sup>。当社は導波路を用いず空間内の光の伝搬・回折を利用するタイプのONN<sup>2)</sup>によって、画像処理を超高速で行うことを検討している。このように光によって実現するプロセッサのことを本稿ではOptical Information Processor (OIP) と呼ぶ。本稿では、可変型の光変調器をベースとするOIPを構築し、AIの評価用タスクとして一般的なMNIST分類タスクについて高い分類精度を達成したので報告する。

---

1 アドバンストリサーチコア 主査, 博士 (理学)  
2 アドバンストリサーチコア 主査  
3 アドバンストリサーチコア 主席研究員, 博士 (工学)  
4 アドバンストリサーチコア 主席研究員  
5 アドバンストリサーチコア 上席研究員  
6 アドバンストリサーチコア 所長, 博士 (工学)  
7 戦略センター センター長

略語・専門用語リスト

略語・専門用語	正式表記	説明
ONN	Optical Neural Network	光により構成されたニューラルネットワーク
OIP	Optical Information Processor	光により情報処理を行う装置
LCoS	Liquid Crystal on Silicon	反射型液晶素子
SLM	Spatial Light Modulator	空間光変調器

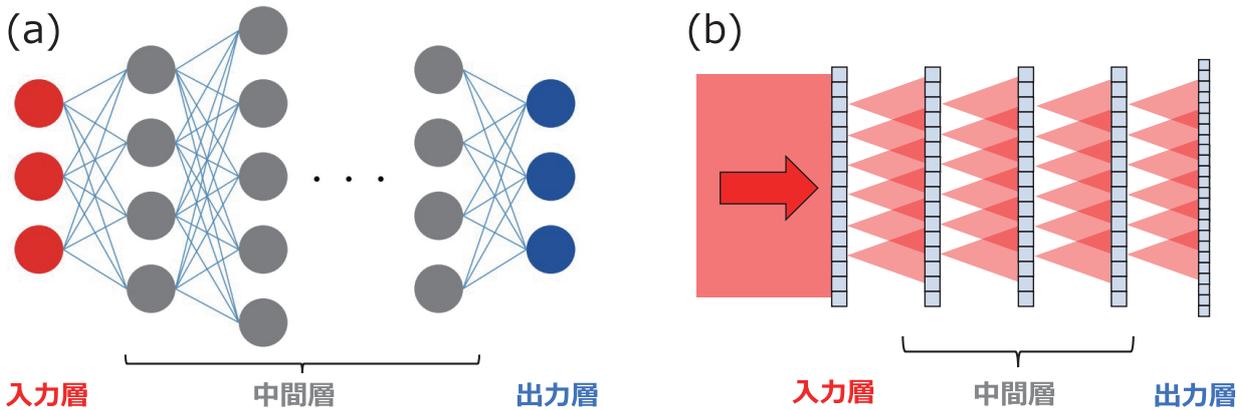


図1 (a) 従来のニューラルネットワークと (b) 本研究における光ニューラルネットワークの概念図

Fig. 1. Conceptual diagram of (a) a conventional neural network and (b) the optical neural network of this study.

## 2. 本研究におけるONNの構成

図1に従来のニューラルネットワークの概念と、当社のONNの模式図を示す。ニューラルネットワークは入力層・中間層・出力層からなり、各層のニューロンは隣の層のニューロンと結合している。演算時は入力層から出力層に向かってデータが処理されながら受け渡され、最終的な演算の結果が出力層から出力される。画像処理の場合、画像のデータを入力し、出力から分類や検出、超解像などの結果を得る。

当社が検討を行っているONNは、光の伝搬と光変調素子による光の強度・位相変調によってニューラルネットワークを実現する。入力データは強度マスクや位相変調素子によって強度分布または位相分布として光波に乗せられ、これが入力層に対応する。変調を受けた光波が中間層に伝搬する過程で、光の回折により強度分布や位相分布は変化し、中間層として用いられる光変調素子はさらに光波の位相分布に変調を与える。このような光変調素子による位相分布変化と伝搬による変化を繰り返し、最終的な光の強度分布が演算結果として出力層に出力される。

このとき、各中間層で光変調素子によって与える位相変調は所望の画像処理タスクを達成できるよう事前に設計したものである。この設計は光伝搬を再現したシミュレーションを行い、ONNをプログラム上で学習することで行われる。

当社のOIPの特徴の1つとして、可視光を用いることが挙げられる。可視光を用いることにより、光源は汎用の半導体レーザーを、出力部にはCMOSセンサやフォトダイオードなどを用いることができ、安価で小型かつ高速な処理が実現可能となる。また、人間の視覚で認知できる情報を直接OIPの入力とし、処理することも可能となる。しかし、光変調素子の製作及びアライメントに高い精度が要求されることが可視光域でのOIPの実現の障壁となっていた。当社は反射型液晶空間光変調素子 (LCoS-SLM) を用いた構成を新たに考案し、可視光域でのOIP実装を可能とした。

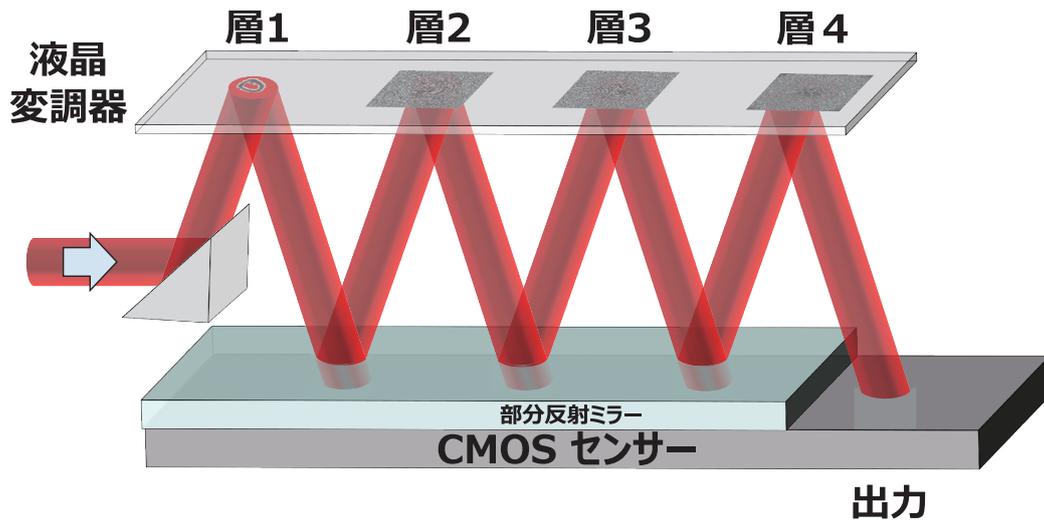


図2 当社の可変型光情報処理装置の概要

Fig. 2. Overview of our variable optical information processor.

### 3. 可変型光情報処理装置の実装

われわれのOIPの概要を図2に示す。波長640 nmのレーザーダイオード出力はプロセッサ部に導入される。プロセッサ部は部分反射ミラーを貼り付けたCMOSセンサとLCoS-SLMが向かい合わせに平行に設置して構成される。光波はこの2素子の間を反射しながら伝搬していく。LCoS-SLMには変調層1～4と呼ばれる4つの領域が設定され、それぞれ反射する際に光に位相変調を与える。本検討では各変調層は380×380ピクセルからなり、変調層1はデータの入力に、変調層2～4がデータの処理にそれぞれ用いられる。CMOSセンサに貼り付けた部分反射ミラーは光の10%を透過してCMOSセンサへ導く。この構成により、最終出力だけでなく、各層の間での光の強度分布をリアルタイムでモニターすることが可能となっている。

この構成は、2つの光学素子からなるシンプルな構成であるためアライメントが容易であり、また位相変調を可変の変調デバイスにより実装しているため単一の装置で様々なタスクを切り替えて行うことができるという利点がある。

### 4. MNISTデータセットに対する学習と検証

MNIST<sup>3)</sup>は人工知能の学習や評価に広く用いられる、0～9の10種類の手書き数字の画像データセットである。本検討では、60,000枚のMNIST学習データのうち47,995枚を学習に、残りの12,005枚を検証に用いた。28×28ピクセルの入力画像データは380×380ピクセルに変換され、変調層1における位相変調として光波に乗せられた。

光伝搬時の強度分布及び位相分布変化のシミュレーショ

ンは帯域制限角スペクトル法<sup>4)</sup>により行った。

図3に示すように、最終検出面には10個の領域が設定され、各領域が各分類クラスに対応している。各変調層における位相変調のパターンは、各学習データに対して正解のクラスに対応する領域の光強度が最も大きくなるように学習された。テストデータの分類においては、各入力データに対し、最終出力面において最も強度が大きくなる領域に対応するクラスを分類結果として得る。

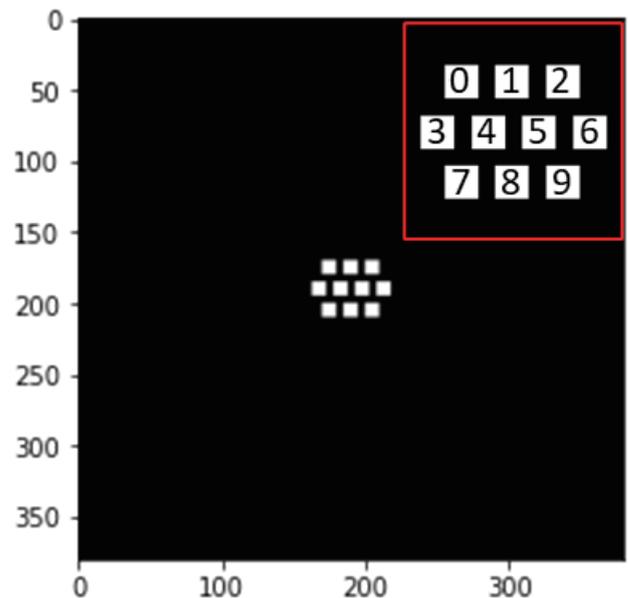


図3 最終検出面に設定した10領域

Fig. 3. Ten areas at the final detection plane.

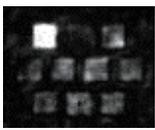
入力	0	4	8
検出面			
結果	0	4	8

図4 各入力に対する検出面分布と分類結果の例

Fig. 4. Examples of intensity distribution at the detection plane and the classification result for each input data.

学習の結果得られた位相変調パターンに対し、いくつかの入力に対する最終出力面での光強度分布の例を図4に示す。今回の当社のONNの構成においてMNISTの分類精度97%が達成できることがシミュレーションにおいて見積もられた。

実機での分類精度評価のため、上記学習により得られた変調層2～4の変調パターンを実機に適用し、各クラス100枚ずつ合計1,000枚の画像の分類を行った。その結果、実機においても95%程度の高い分類精度を得ることができた。

## 5. むすび

当社の光ニューラルネットワークによる画像処理技術の開発状況について報告した。MNISTの分類において、シミュレーションで97%、実機でも95%の分類精度を達成した。この成果は工場やインフラ検査など様々な現場における外観検査や異常検出などの実用的なタスクへ応用され、高度情報化社会における省エネルギーかつ高速な処理を支える技術となると期待し、研究開発を進めている。

## 参考文献

- 1) H. Zhang, et. al. : "An optical neural chip for implementing complex-valued neural network," Nature Communications, Vol. 12, 457, 2021.
- 2) X. Lin, et. al. : "All-optical machine learning using diffractive deep neural networks," Science, No. 361, pp. 1004-1008, 2018.
- 3) Y. Lecun, et. al. "Gradient-based learning applied to document recognition," in Processings of the IEEE, Vol. 86, No. 11, pp. 2278-2324, 1998.
- 4) K. Matsushima, T. Shimobaba: "Band-Limited Angular Spectrum Method for Numerical Simulation of Free-Space Propagation in Far and Near Fields," Optics Express, Vol. 17, No. 22, pp. 19662-19673, 2009.