

# 光の時空間ダイナミクスに基づく並列コンピューティング

## Parallel computing based on photonic spatiotemporal dynamics

金沢大<sup>1</sup>, JST さきがけ<sup>2</sup>, 埼玉大<sup>3</sup> ○砂田哲<sup>1,2</sup>, 菅野円隆<sup>3</sup>, 内田淳史<sup>3</sup>

Kanazawa Univ.<sup>1</sup>, JST PRESTO<sup>2</sup>, Saitama Univ.<sup>3</sup>

S. Sunada<sup>1,2</sup>○, K. Kanno, and A. Uchida<sup>1</sup>

E-mail: sunada@se.kanazawa-u.ac.jp

ニューラルネットワーク (NN) は神経回路網の機能に基づく学習モデルであり、その並列分散的な処理機能が高情報処理能力の獲得に極めて重要な役割を担っている。その並列分散処理性は、現在の von Neumann 型の計算アーキテクチャと異なるため、その効率性を飛躍的に高めた NN ハードウェアの開発が進んでいる。特に、情報の担い手を電子から光に変えた光 NN ハードウェアは高速性と高効率性を併せ持つ処理が可能となると期待されている [1]。

これまで著者らは、NN の亜種である“リザーブ計算”のハードウェア化に関して研究してきた [2]。リザーブ計算は、NN のような大自由度力学系の非線形応答に基づく計算モデルであり、入力情報は力学系による高次元特徴空間への非線形マッピングによって処理される。よって、高次元性と非線形性を併せ持つ力学系の利用が重要な鍵となる。本研究では、多モード光ファイバを利用して、その高次元・非線形マッピングが簡単に実行可能となることを示す。そのマッピング処理は、光速度で実行されるため、高速な時系列データ処理が可能となることを報告する。また、本提案システムは、光の並列処理性を活かし、複数の独立した情報を 1 つの光デバイスにて並列的に処理 (すなわち、マルチタスキング) が可能となることも報告する。

多モードファイバでは複数の伝搬モードの干渉の結果として、その出力ポートではスペックルと呼ばれる極めて複雑な光パターンを形成する。スペックルの重要な特徴の一つは、その入射光波長に依存してパターンが複雑に変化することである。これは光通信の観点ではノイズとみなされているが、情報処理の点では、入力波長にコードされた情報をスペックルという高次元空間へ効率的にマッピングしているといえる。本研究では、そのスペックルの波長依存性を利用する。つまり、入力情報で光位相 (その結果として周波数・波長) 変調して、スペックルダイナミクスにマッピングする。その結果の一例を図 1 に示す。入力情報としては、カオス信号を用いた。その入力情報に応じて変動する多モードファイバからの出力強度変動を示している。その出力変動分布から 150 点をサンプリングして空間ノード (ニューロン) としてリザーブ計算的処理により時系列予測も行い、規格化平均二乗誤差 (NMSE) 0.09 での予測処理に成功した。従来の光リザーブ計算と異なり、本提案方法はスケーラビリティが高いため、コア径、NA が大きいファイバを用いることで、更に大規模の実装ができる。また、スペックルのマッピング効率は、変調速度が高いほど高くなる特徴もあるため、高速処理に適しているといえる。

本提案の多モードファイバスペックルの利用は、波長ごとに異なる入力情報をコードすることで、独立した情報の同時・並列処理が可能となる (図 2)。当日の発表では、nonlinear channel equalization (非線形・ノイズ通信路を通して受信した信号から元信号を復元するタスク) の同時処理の結果について報告する。

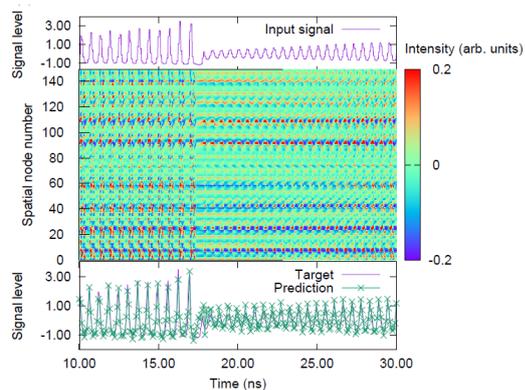


Fig. 1: Input signal (upper part), the intensity dynamics responding to the input signal (middle part), and the prediction result.

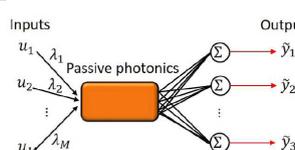


Fig. 2: Schematic of multitasking operation in the proposed system.

### References

- [1] M. A. Nahmias et al. *Optics & Photonics News* 29, 34 (2018).
- [2] S. Sunada and A. Uchida, *Sci. Rep.* 9, 19078 (2019).