

2024 年度年次報告書

情報担体を活用した集積デバイス・システム

2021 年度採択研究代表者

納富 雅也

日本電信電話(株) NTT 物性科学基礎研究所

フェロー

空間・時間・波長自由度を活用する光電融合演算基盤の開発

主たる共同研究者:

石原 亨 (名古屋大学 大学院情報学研究科 教授)

川上 哲志 (九州大学 大学院システム情報科学研究院 准教授)

林 和則 (京都大学 国際高等教育院 教授)

山田 浩治 (産業技術総合研究所 プラットフォームフォトニクス研究センター 総括研究主幹)

研究成果の概要

本計画では、光が持つ空間、波長、時間の自由度を最大限に生かした光電融合型のニューラルネットワーク演算回路技術の開発を目標としている。

昨年度までに空間自由度を活用した 16×16 の多ポート干渉型シリコン光積和回路を用いて、ニューラルネットワーク(NN)動作実証および波長依存性の低減を行ってきた。今年度は同積和回路に残存するクロストークを抜本的に較正する手法を新たに開発し、手書き数字認識において理論限界に近い推論正答率を達成した。さらにこの高い性能が幅広い波長で達成できていることも確認し、干渉積和による NN 処理の大規模な波長多重動作が可能であることを実証した。また、波長帯域をさらに拡大できる幅広導波路を用いた 10×10 光積和回路を作製し、初期的な動作実証も行った。これらの成果は、大規模な干渉積和回路において大規模な波長多重動作が可能であることを世界で初めて実証した成果となっている。

時間次元の利用に関しては、OEO 中継器の試作による性能調査を進めるとともに、OEO 中継器を用いた再帰型 NN(RNN)の設計を進め、再帰回路内に大きな RC 遅延が存在していても高繰り返し時間列データに対して機能し、さらに回路損失がある場合には RC 遅延により損失回復効果が働くことを見出した。また、波長次元と時間次元を組み合わせた分散再帰型の演算回路を提案、試作し、高速時間列信号に対して自己相関が生じることを確認し、RNN への応用可能性を見出している。昨年度、提案した畳み込み光 RNN に関して3値活性化による動作解析を行い、高いばらつき耐性を持つことを確認した。

また、将来的な空間次元のさらなる拡大を目指し、少ない重みの数で高次元のデータが処理できる光積和回路構成を提案し、定量的な効果の実証を行うとともに、同回路を使ったアーキテクチャを考えてエネルギー性能の評価を行い大きな性能向上が見込めることを確認した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) K. Ikeda, S. Kita, K. Takata, K. Aoyama, K. Suzuki, Y. Maegami, M. Ohno, G. Cong, N. Yamamoto, K. Yamada, A. Shinya, H. Sawada, M. Notomi, “A 16×16 Photonic Analog Vector-Matrix Multiplier with Machine-Learning-Based Tuning.” PSC&IEEE SUM 2024 TuH1.2, 2024.
- 2) S. Kita, B. Daniel, Y. Maegami, M. Ohno, G. Cong, N. Yamamoto, K. Yamada, A. Shinya, and M. Notomi, "Wide Waveguide Concatenated Euler Bends for Compact and Fabrication Error-Tolerant Pseudo-Single Mode Silicon Photonics," CLEO 2024, SF3F.3, 2024.
- 3) M. Arahata, S. Kita, K. Aoyama, A. Shinya, H. Sawada, M. Notomi “Investigation of recurrent photonic neural network using optical-electrical-optical converters with RC delay”, SPIE Optics+Photonics 2024, 13113-25, 2024.
- 4) H. Sawada, K. Aoyama, M. Notomi, “Layered-Parameter Perturbation for Zeroth-Order Optimization of Optical Neural Networks”. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 39(19), 20292-20301, 2025
- 5) G. Cong, R. Konoike, K. Suzuki, N. Yamamoto, R. Kou, Y. Maegami, M. Ohno, K. Ikeda, S. Namiki, K. Yamada, “Real-time Automatic Wavelength Alignment for Silicon Photonic AMZI Filter by Running Reinforced Q-Learning in Microcontroller”, 2024 IEEE Silicon Photonics

Conference, TuD3, 2024.