

2023 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) 物性科学基礎研究所
センター長

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 16x16 の多ポート干渉型シリコン光積和回路を作製し、積和演算および分類処理に成功してきたが、今年度は多ポート干渉型光積和回路に波長次元および時間次元の自由度を加えるための研究を進めた。

干渉型積和回路に波長次元の自由度を加えるためには、干渉回路の波長依存性が問題となる。今年度は、まず石英平面光回路を用いた多ポート干渉回路を作製し、積和演算動作において非常に小さな波長依存性と小さな位相誤差を実証し、光行列行列積処理への適用可能性を確認した。一方、シリコン光積和回路は石英に比べて小型化が可能であるが、要素デバイスの波長依存性及び作製誤差による位相誤差の低減が重要となる。シリコン光回路の特長を失わずに位相誤差及び波長依存性を低減する手法として、幅広型導波路を用いた回路を考案し、実際に回路を作製し効果を実証することに成功した。

時間次元の利用に関しては、ナノフォトニクス化により高性能化が期待できる OEO 変換器を干渉型光積和器に集積する構成による再帰型光電融合演算回路を提案し、その基本性能予測を行った。さらに、外部電気帰還を組み合わせた非線形写像型光再帰演算回路により、多彩な時間序列データの処理が可能であることを確認した。また、本計画で提案し光電融合 RNN 回路を CNN に適用する構成を新たに提案し、小規模の光 RNN 回路で大規模な処理を行える可能性を示すことに成功した。

実光回路を用いた再帰型アナログ演算では雑音の影響が懸念されるが、雑音に強い構成として3値化回路を用いた RNN 回路の検討を行うとともに、圧縮センシングや具体的なアプリケーションにおける雑音の影響を調べ、アーキテクチャの検討を行った。また、実光回路を用いた新しい訓練手法の提案も行った。

【代表的な原著論文情報】

- 1) K. Ikeda, S. Kita, K. Nozaki, K. Takata, K. Aoyama, K. Suzuki, Y. Maegami, M. Ohno, G. Cong, N. Yamamoto, K. Yamada, A. Shinya, H. Sawada, and M. Notomi, “Integrated 16×16 Photonic Analog Vector-Matrix Multiplier with Task-Specific Tuning after Deterministic Calibration”, ECOC2023 We.C.4 (2023.10).
- 2) H. Sawada, K. Aoyama, and K. Ikeda, “Zeroth-Order Optimization of Optical Neural Networks with Linear Combination Natural Gradient and Calibrated Model”, DAC 2024 (2024.2 accepted).
- 3) Guangwei Cong, Noritsugu Yamamoto, Takashi Inoue, Yuriko Maegami, Morifumi Ohno, Shota Kita, Rai Kou, Shu Namiki, Koji Yamada, Implementing optical analog computing and electrooptic Hopfield network by silicon photonic circuits, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, E107-A-5, 2024
- 4) Guangwei Cong, Ryotaro Konoike, Keijiro Suzuki, Noritsugu Yamamoto, Rai Kou, Yuriko Maegami, Morifumi Ohno, Kazuhiro Ikeda, Shu Namiki, Koji Yamada, Reinforced Q-Learning Enabled Automatic Blind Working Wavelength Alignment Against Wide Input-Wavelength Shifts

and Temperature Variations for Silicon Photonic Vernier Ring Filters, Proceedings of OFC2024, Th1A.4, 2024/3/28

- 5) Chunlu Wang, Yutaka Masuda, Tohru Ishihara, “An Optoelectronic Pipelined Convolutional-RNN Architecture for Energy-Efficient AI Accelerator,” proc. Workshop on Synthesis And System Integration of Mixed Information Technologies (SASIMI), pp. 14-19, March 2024.