

光スパイキングニューラルネットワークにおける同期現象と 自発的な発火ダイナミクス変化

Synchronization and spontaneous modification of spiking dynamics of photonic neural network

NTT 物性研¹, 東京大学², NTT 先端集積デバイス研究所³

◦稲葉謙介^{1*}, 稲垣卓弘^{1*}, Timothée Leleu², 本庄利守¹, 生田拓也¹, 圓佛晃次³,
梅木毅伺³, 笠原亮一³, 合原一幸², 武居弘樹¹

NTT BRL¹, The University of Tokyo², NTT Device Technology Laboratories³

Kensuke Inaba^{1*}, Takahiro Inagaki^{1*}, Timothée Leleu², Toshimori Honjo¹, Takuya Ikuta¹,
Koji Enbutsu³, Takeshi Umeki³, Ryoichi Kasahara³, Kazuyuki Aihara² and Hiroki Takesue¹

*These authors contributed equally to this work. (E-mail: kensuke.inaba.yg@hco.ntt.co.jp)

神経細胞を模したスパイキングニューラルネットワーク(spiking neural network: SNN)は、高度な情報処理への応用の可能性から注目を集めており、物理システムを用いたニューロモフィックデバイスの研究開発が進められている。我々は、長距離光ファイバリング共振器中で時分割多重された 2000 個以上の縮退光パラメトリック発振器(degenerate optical parametric oscillator: DOPO)を用いて SNN システムを実現した[1]。ここでは、2 個の DOPO ペアの間に反対称光結合を導入することで、1 つのニューロンを実現する。先の講演では、単一の DOPO ニューロンの性質を解析して、挙動の異なる 2 種類の発火モード(ホジキンの分類で class-I、class-II と定義される)を、DOPO のポンプ光の振幅を変化させることで任意に制御可能であることを報告した。

本講演ではさらに、複数の DOPO ニューロンを結合させネットワークを形成した際の SNN のダイナミクスについて報告する。まず、図 1(a)に示すように、15 個のニューロンからなるクラスターが、4 つ結合するネットワーク構造について解析した。クラスター内はすべてのニューロンが互いに結合し(完全結合)、クラスター間は低密度に結合している。結合が無いときの各ニューロンの発振周期は、ポンプ光振幅を個別に調整することで、全体では正規分布となるが、クラスターごとに平均発振周期が異なるように設定した。図 1(b)に示すように、ニューロン間の結合強度を増加すると共に、発火のタイミングや発振周期が揃っていく同期現象が観測された。これは、完全結合した DOPO ニューロンが、蔵本モデル[2]と呼ばれる非線形振動子の典型的なモデルと類似の性質を持つと考えると容易に理解できる。我々は更に、同期が進むと、発火モードが class-II から class-I に移り変わると共に、発火頻度が大きく変化することを観測した。また、各クラスターの平均発振周期に差があることに起因して、動的に発火頻度が調整されるような複雑なダイナミクスがみられた。講演では更に、この同期現象に基づく自発的な発火頻度の変化を利用して、組み合わせ最適化問題を解いた結果についても議論する。

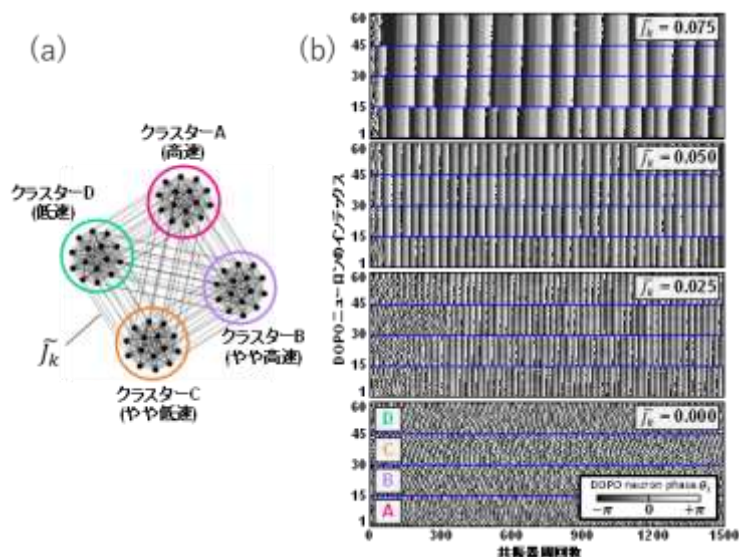


図 1 (a) ネットワーク構造の模式図 (b) DOPO ニューロンの同期実験

本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議により制度設計された革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) により、科学技術振興機構を通して委託されたものです。

[1] T. Inagaki et al., <https://arxiv.org/abs/2009.11454> (2020)

[2] Y. Kuramoto, Lecture Notes in Physics, 39. Springer, Berlin, Heidelberg (1975).