

熱雑音を味方につける単電子シナプス回路の開拓 (2)

Design of single-electron synaptic circuit harnessing thermal noise (2)

○小林 拓史、大矢 剛嗣 (横国大理工)

○Takuto Kobayashi, Takahide Oya (Yokohama National Univ.)

E-mail: kobayashi-takuto-nz@ynu.jp

1. 研究背景・目的

近年のナノテクノロジー分野の発展により量子効果を積極的に用いる様々なナノデバイスが登場している。本研究で注目する単電子回路もその一つである。単電子回路の特徴として、電子を1個単位で制御できること、並列計算、確率動作性といったことが挙げられる。ただ一方で、熱などのノイズの影響を受けやすく動作エラーが発生しやすいという課題がある。

本研究では、本来動作エラーの原因となる熱雑音について、その積極的な利用を検討する。加えて、ニューラルネットワークの情報伝達、特にニューロン同士の接合部であるシナプスの挙動と回路の挙動とを結び付ける。シナプスは可塑性によって大きさを変化させることで、ニューロン間の情報の伝わりやすさを操作しており、これにより生物の脳は記憶と学習を行うことができる。本研究では、熱雑音を積極的に利用しながら、単電子回路によってシナプスの挙動を表現することを目的としている^[1]。

2. 研究内容

前回報告から、熱雑音をいわば味方につけて動作する単電子シナプス回路(Fig.1)を提案している^[2]。本回路における信号強度は、出力結果を伝える信号の強さ(振幅)ではなく、信号の数(頻度)によるものとする。回路の構成は、順伝搬型ニューラルネットワークを模したものである。本回路の各素子は抵抗とトンネル接合を直列接続した回路である単電子振動子を用いて表現する。この振動子の挙動はニューラルネットワーク回路を構成するのに相性が良いことが知られる^[1]。入力信号を受けた入力層の単電子振動子において電子トンネルが発生し、中間層、そして出力層へと各振動子にトンネルを伝えることで信号が伝搬する。その過程

において信号強度を制御することによりニューラルネットワークにおけるシナプスの信号伝達を表現する。信号の強度は回路上のスイッチにより操作する。中間層と出力層間にスイッチを設置し、そのON/OFFによって中間層から出力層の振動子にトンネルを伝える中間層の振動子の数を操作する。出力の振動子のトンネル頻度を操作し、信号強度を段階的に表現することができる。また、単電子振動子は温度(熱雑音)によってトンネル頻度が変化する。前回報告^[2]では第一段階として熱雑音に対する要素回路の応答について評価を進めた。今回は提案回路全体について熱雑音環境下での応答について評価した。熱雑音の効果により、通常は離散的なスイッチによる信号強度の段階を、より連続的に表現することが可能となり、シナプスの接合強度の表現が容易になると期待できる。詳細は講演にて述べる。

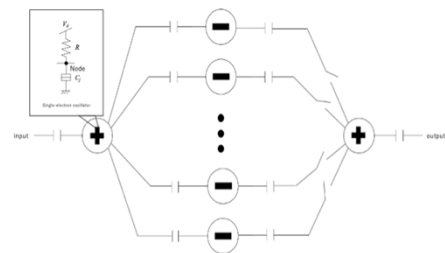


Fig. 1 Single electron synaptic circuit^[2].

【参考文献】

- [1] T. Oya. et al., Chaos, Solitons & Fractals, vol. 27, no. 4, pp. 887-894 (2006).
- [2] 小林 他, 第 83 回応物秋季講演会, 21p-A102-5 (2022).

【謝辞】

本研究の一部は JSPS 科研費・基盤研究(A)(JP18H03766), (B)(JP19H02545)、および(公財)栢森情報科学振興財団の助成を受け実施された。