

単電子リザーバコンピューティング回路の学習機能に関する検討

Investigation of Learning Function in Single-Electron Reservoir Computing Circuit

○渡邊 隼弥, 大矢 剛嗣 (横国大院理工)

○Shunya Watanabe, Takahide Oya (Yokohama National Univ.)

Email: watanabe-shunya-cb@ynu.jp

1. 研究背景・目的

近年、ナノテクノロジーの発展により単電子回路を含め、さまざまなナノデバイスが登場している。単電子回路は電子を1個単位で制御できる回路である。単電子回路の非線形動作などの特徴を応用した研究が行われているが、未だ単電子回路に適した情報処理手法は確立されていない。

単電子振動子という単電子回路素子はニューロンに似た挙動をする^[1]。これを踏まえ本研究ではリカレントニューラルネットワーク(RNN)の一種であるリザーバコンピューティング(RC)^[2]に着目している。

RCは入力層、リザーバ層、出力層の3層で構成される。RCは出力層の重みのみが学習され、リザーバ層の重みは学習されないことが特徴である。そのためリザーバ層を非線形な物理系で置き換えることが可能で、様々な研究^[3]が報告されている。

ニューロンに似た動作をする単電子振動子と物理系で置き換えることのできるリザーバ層を持つRCの組み合わせは相性が良いと考えられる。本研究は単電子回路の情報処理手法の一つとして、単電子振動子をリザーバ層に用いた単電子RC回路の設計を目的とする。

2. 研究内容

前回、単電子RC回路(Fig. 1)に用いていた単電子振動子を多重トンネル接合型単電子振動子に変更したこと、それにより波形予測において学習性能が向上したことについて報告した^[4]。

今回は単電子RC回路の出力層における学習機能について検討したことを報告する。具体的には、次の2点について検討した。1) 出力層への接続本数の変更。2) デイレイ機能の導入による学習への効果。1) について、接続本数の増加によりリザーバ層からの信号の量が増えることで、より高精度な学習が期待できる。2) について、デイレイ機能はリザーバ層からの信号を

遅らせて出力に伝える機能である。タイミングが変化した信号を集めて出力することで、より複雑な出力を生成でき、より複雑な学習タスクへの対応が期待できる。詳細は講演にて述べる。

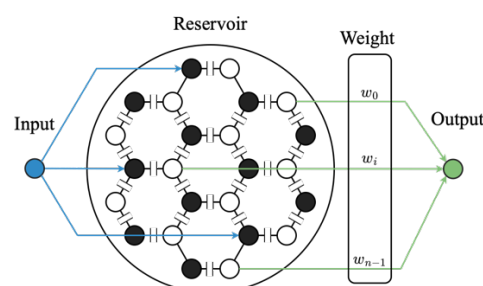


Fig. 1 Schematic of single-electron reservoir computing circuit. The reservoir layer utilizes positive-biased single-electron oscillators (SEOs) or multiple-tunnel-junction SEOs (MJSEOs), represented by filled circles, and negative-biased SEOs or MJSEOs, represented by empty circles. The input layer is equipped with voltage sources to apply trigger voltages. In the output layer, the signals from the reservoir layer are multiplied by their respective weights and then summed up using the following formula:

$$\text{Output} = \sum_i w_i x_i \quad \left(\begin{array}{l} w_i = \text{Weights} \\ x_i = \text{Signals} \end{array} \right).$$

【参考文献】

- [1] T. Oya, et al, Journal of Unconventional Computing, vol.1, pp. 177-194, 2005.
- [2] B. Schrauwen, et al, ESANN'2007 proceedings, pp. 471-473, 2007.
- [3] K. Nakajima, et al., Sci. Rep. **5**, No. 10487, 2015.
- [4] 渡邊隼弥, 大矢剛嗣, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 18a-D221-2, 2023.

【謝辞】

本研究の一部は JSPS 科研費・基盤研究(A)(JP23H00169), (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。