結合強度制御機能を導入した単電子リザーバコンピューティング回路

Design of single-electron reservoir computing circuit with weight control function

°渡邊 隼弥, 上野 正暉, 大矢 剛嗣 (横国大理工)

°Shunya Watanabe, Masaki Ueno, 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数々のナノデバイスが登場している。その中に電子 1 個単位で制御が可能な単電子回路がある。単電子回路は低消費電力、並列計算、高集積性といった特徴を持つ。しかし、単電子回路にはノイズの影響を受けやすい、素子のパラメータにばらつきが生じてしまうといった欠点がある。

そこで本研究ではリカレントニューラルネットワーク の一種であるリザーバコンピューティング[1]に着目する。リザーバコンピューティングとは入力層、リザーバ層、出力層の 3 つの層で構成されるニューラルネットワークである。リザーバ層は学習による調整を行わず、ランダム性が許容されるものとなっている。そのためリザーバコンピューティングは単電子回路のもつ欠点を解決できると考えられる。本研究では単電子回路を用いてリザーバコンピューティング回路を構成することを目的とする。

2. 研究内容

前回の報告では単電子リザーバコンピューティング回路に結合強度を表現する構造を追加し、ソフトウェアではなく回路内で結合強度の表現が可能になるようにした[2]。

今回報告する設計回路を Fig. 1 に示す。リザーバ層はキャパシタを介して接続された単電子メモリと単電子振動子をそれぞれ相互接続せずに一列に一万個並べた構造をもつ。単電子振動子[3]とは抵抗とトンネル接合を直接接続した回路であり、ニューロンに似た動作をすることが知られている。単電子メモリを用いて信号の通過の能否を決定し、信号を通す数によって結合強度を表現する。ダミー回路は単電子メモリと単電子振動子のトンネル接合をキャパシタに置き換えた回路である。この回路には正負を反転させた入力を加える。これにより電荷のチャージによる影響が打ち消され、電子トンネルによる変化のみを出力として取り出すことができる。この回路についてシミュレーションを行う。

この設計回路に入力信号としてパルス波を入力する。振幅の最大値を 1、最小値を 0 に対応させる。一例として$X = 1111_{(2)} = 15_{(10)}$を表す入力信号を Fig. 2 に示す。結合強度は回路上で信号を通す単電子メモリの個数であり、まず結合強度 0 の場合と 10000 の場合の 2 パターンをデータとして取得する。その後、以下の式(1)で $Z(X)=N\cdot X$ (N は定数)になるように結合強度の調整を行った。結果と機械学習の精度を確認した。詳細は講演にて述べる。

$$Z(X) = \sum_{i=0}^{n}\left\{\frac{x_i(X)}{10000}W_i + \frac{y_i(X)}{10000}(10000 - W_i)\right\} \quad (1)$$

(x:結合強度 10000 のデータ点の値,
y:結合強度 0 のデータ点の値, W:結合強度)

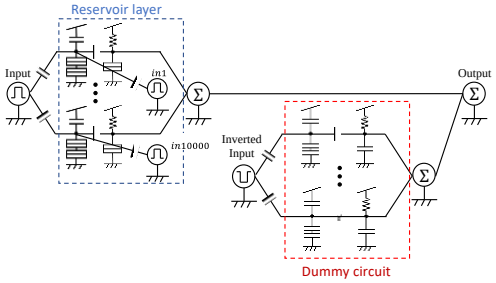

Fig. 1 Designed single-electron reservoir computing circuit

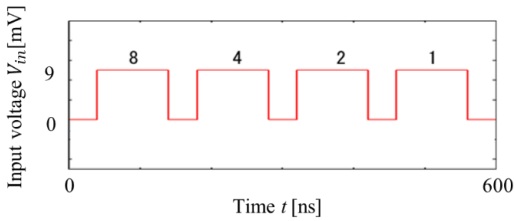

Fig. 2 Input signal ($X = 1111_{(2)} = 15_{(10)}$)

【参考文献】

[1] B. Schrauwen, et al, ESANN'2007 proceedings - European Symposium on Artificial Neural Networks, pp. 471-473, 2007.

[2] 上野正暉, 大矢剛嗣, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会, 13a-PA4-1, 2020.

[3] T. Oya, et al, Journal of Unconventional Computing, vol.1, pp. 177-194, 2005.

【謝辞】

本研究の一部は JSPS 科研費・基盤研究(A)(JP18H03766), (B)(JP19H02545)の助成を受け実施された。