

単電子箱による連想記憶回路の設計

Design of associative memory circuit by using single-electron box

○高野 誠、大矢 剛嗣 (横国大院工)

○Makoto Takano, Takahide Oya (Yokohama National Univ.)

E-mail: takano-makoto-nk@ynu.jp

【研究背景・目的】

近年単電子回路の研究が盛んに行われている。単電子回路は、動作に確率性を伴うという特徴を有する。この性質を利用することで、様々なユニークな情報処理システムを実現できる。その一つとして、連想記憶回路がある。連想記憶は生物の脳が行う高度な情報処理の一つである。

生物の脳は神経細胞(ニューロン) 間の結合重みやノイズを巧みに利用して情報処理を行っている。この動作を再現するように定義されたモデルがニューラルネットワークである。これを回路化することで、連想記憶回路を実現できる。

本研究の目的は単電子回路による連想記憶回路を実現することである。連想記憶回路は、多数のニューロン回路を必要とするため既存の電子デバイスを用いると回路規模が膨大になってしまう。しかし、単電子回路を用いれば簡単な構成で実現できる可能性がある。

【研究内容】

本研究では、単電子箱という基本的な単電子回路を単位ニューロン回路とした相互結合型ニューラルネットワーク (Hopfield ネットワーク) 回路 (Fig. 1) を提案する。単電子箱とは、トンネル接合 C_j とキャパシタ C からなる回路である (Fig. 2)。バイアス電圧 V_d によりドット電位 V_n を調節できる。トリガ入力によりドット電位が閾値を超えると接地点からドットへ電子トンネルが発生し、ドット電位が急激に下がる^[1]。提案回路では全ての単電子箱が結合容量 C_{ij} を介して接続されており、その大きさを結合重みとする。また、各単電子箱のドット電位を反転した値を単位ニューロン回路の出力と定義する。反転出力は負の結合重みを表現するために用いる^[2]。

連想記憶回路は、学習によりニューロン間の結合重みを変更することで複数のパターンを記憶し、入力パターンから正しい記憶パターンを出力する。ここでは各単電子箱の出力の正負を白黒のマスで表し、パターンを表現する。また、各マスの番号はニューロンの番号を表している (Fig. 3)。

提案回路では、 i 番目のニューロンと j 番目のニューロンの結合重みを W_{ij} と定義し、それに比例するように C_{ij} を決定した。 W_{ij} は次のように求

める。例えば m 個のパターンを記憶させる場合、記憶パターン $1 \sim m$ を $1, -1, 0$ を成分とする一次元ベクトル $s_1 \sim s_m$ とし、結合重み行列 $[W_{ij}]$ を

$$[W_{ij}] = \frac{1}{n} [s_1 \ s_2 \ s_3 \ \dots \ s_m] [s_1 \ s_2 \ \dots \ s_m]^T \quad (1)$$

と求める^[3]。但し、 n は各ベクトル $s_1 \sim s_m$ の成分の個数でありニューロンの個数に相当する。

前回の報告^[4]では提案回路を用いて、温度 $T=0K$ において動作シミュレーションを行った結果を示した。しかし、このときある入力パターンに対して記憶パターン以外のパターン (偽記憶) が想起された。今回は熱雑音を利用してこれを改善できるかどうかの検討を行う。

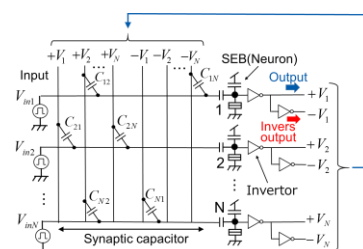


Fig. 1 Hopfield network by SEB

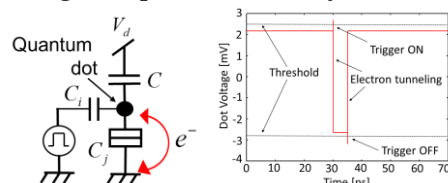


Fig. 2 Structure and characteristic of Single-Electron Box (SEB)

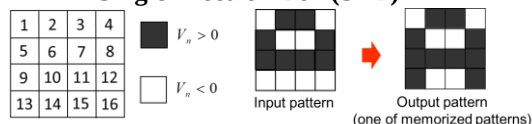


Fig. 3 Example operation of associative memory

【参考文献】

- [1] T. Oya. et al., Journal of Unconventional Computing, vol.1, pp. 177-194, 2005.
- [2] 山田 他, 電子情報通信学会技術研究報告, 673 号, pp.115-129, 1999-03-18.
- [3] 小嶋 他, 電子情報通信学会論文誌, D- II, vol. j76-D-II, pp. 2102-2108, 1993 年 9 月.
- [4] 高野誠 他, “単電子連想記憶回路の設計と評価,” 第 62 回応用物理学会春季学術講演会, 14a-A20-4, (2015).