

単電子階層型ニューラルネットワーク回路への展望

Study for single-electron multi-layer neural network circuit

○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、アナログニューラルネットワーク (NN) が優れた高速動作性・並列処理性を持つため、ナノエレクトロニクス分野で注目を集めている。NN は生物の脳の神経回路網の振る舞いを再現するように定義されたモデルである。生物の脳は多数の神経細胞(ニューロン)が結合荷重を介して相互に接続され、ネットワークを形成している。個々のニューロンは細胞体の細胞膜内外に電位差を持っており、ある一定以上の入力信号が与えられると活動電位が発生し、膜の電位差が急激に変化する。この現象を発火という。発火は確率事象であるため、個々のニューロンは確率動作を示す。脳は学習によって発火確率や結合荷重を制御することで高度な情報処理を行っている。アナログ NN ではこのニューロンの確率的挙動を回路で表現する必要があるが、CMOS 回路で作製すると回路規模が膨大になってしまい実用的ではない。

そこで、単電子回路を用いる。単電子回路は電子のトンネル効果を利用し、電子を一個単位で制御可能な回路である。トンネル効果は確率的な揺らぎを伴うため、この確率性をニューロンの発火確率に対応させることで、簡単な構造でニューロン回路を実現できる可能性がある。本研究では、単電子回路を用いて簡単な構造でアナログ NN を構築する方法を提案する。前回報告では、全てのニューロンが互いに接続された相互結合型 NN を単電子回路で構成する方法を提案した^[1]。今回は、層構造を持った単電子 NN 回路を提案する。

【研究内容】

本研究では、単位ニューロン回路として単電子箱と呼ばれる基本的な単電子回路を用いる。単電子箱の回路構造は Fig. 1 に示すように、トンネル接合 C_j とキャパシタ C 、ノードが直列に接続されたものである。ノード電位 V_n はバイアス電圧 V_d により調節する。トリガ入力によりノード電位が閾値を超えると、トンネル接

合において電子が接地点からノードへトンネルし、ノード電位が急激に下がる^[2]。この挙動をニューロンの発火に対応づける。Fig. 2 は単層パーセプトロンと呼ばれる NN を用いて、 4×4 ピクセルの白黒画像の認識を行う方法を示している。単層パーセプトロンは入力層と出力層からなる単純な構造だが、多層ネットワークへの基礎となる重要なモデルである。学習方法には Back Propagation(BP)法を用いる。BP 法は教師あり学習の一種であり、予め用意された教師データ(ラベル)と実際のネットワークの出力値を比較して求めた誤差をフィードバックし、それが小さくなるよう結合荷重 W_{ij} を逐次的に更新する学習方法である^[3]。これを単電子 NN 回路で行うためには、結合荷重を自動的に更新できる仕組みを単電子回路で実装する必要がある。今回はその方法を検討する。詳細については講演にて述べる。

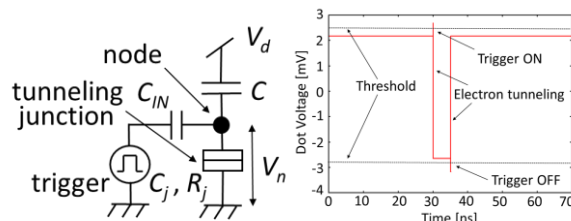


Fig. 1 Structure and characteristic of Single-Electron Box

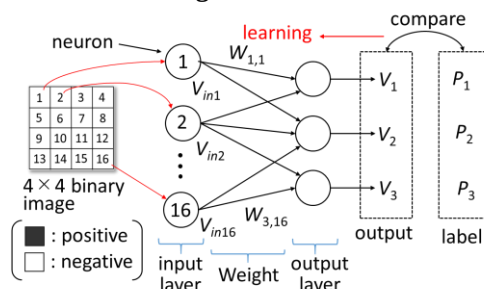


Fig. 2 Single layer perceptron

【謝辞】 本研究の一部は JSPS 科研費 25110015, 15K06011)の助成を受け実施された。

【参考文献】

- [1] 高野 他, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 20p-P8-2, 2016.
- [2] T. Oya. et al., International Journal of Unconventional Computing 1, pp. 177-194, 2005.
- [3] M. Prezioso, et al., Nature 521, pp. 61-64, 2015.