

## 単電子連想記憶回路の設計と評価

### Design and evaluation of single-electron associative memory circuit

○高野 誠、大矢 剛嗣 (横国大理工)

○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、既存のデバイスでは実現が困難な新しい情報処理システムを実現できる可能性がある。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) 間の結合重みや確率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、単電子回路の基本回路の一つである単電子箱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. 1)。バイアス電圧  $V_d$  によりドット電位  $V_n$  を調節する。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起り、ドット電位が急激に下がる[1]。

ネットワークの構成例を Fig. 2 に示す。この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定義する。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。動作例を Fig. 3 に示す。なお、Fig. 3 では記憶パターンを二次元的に表現しているが、実際には一次元ベクトルで表す。また、各マス

はニューロンの番号を表している。

パターン記憶には相関学習を用いた。この学習方法では、 $i$  番目のニューロンと  $j$  番目のニューロンの結合重みを  $W_{ij}$  と定義する。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。また、行列の対角成分は  $0$  とした。この  $W_{ij}$  に比例するように各  $C_{ij}$  を決定する。

今回、Fig. 2 の回路の動作シミュレーションを行い、この回路が連想記憶の機能を有することを見出した。結果等の詳細は講演にて報告する。

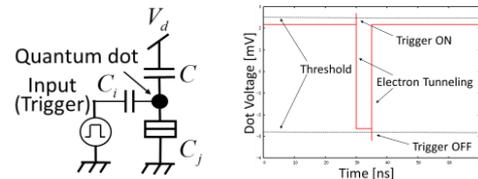


Fig. 1 Structure and Characteristic of Single-Electron Box

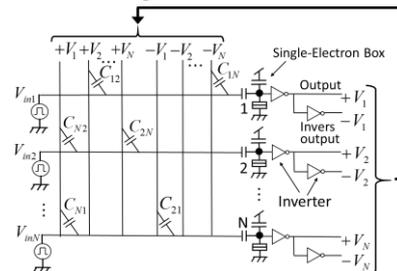


Fig. 2 Hopfield Network by Single-Electron

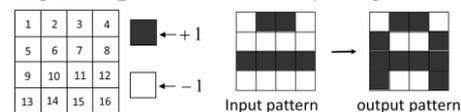


Fig. 3 Example of associative memory

#### 【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.