

アリの挙動に学ぶ単電子情報処理回路の新設計

Design of new single-electron information processing circuit mimicking behavior of ants

○岡田壮一、大矢剛嗣（横国大院理工）

○Soichi Okada, Takahide Oya (Yokohama National Univ.)

Email: okada-souichi-mn@ynu.jp

【研究背景・目的】

近年、ナノテクノロジーの発展によりデバイスの微細化が進み、様々なナノデバイスが誕生した。その一例として単電子回路が挙げられる。単電子回路は量子効果を利用することで文字通り電子を一個単位で制御することができる回路であり、低消費電力、確率動作性などの特徴がある。しかし、具体的な情報処理手法が未だ確立されていないという課題も存在する。そこで、情報処理の手本として自然界における蟻が餌を取る過程に注目する。

蟻は効率の良い餌探しを行うために、フェロモンを利用して巣から餌までの道のりを伝達しあっている。また、蟻のフェロモンは揮発性で時間とともに蒸発する性質がある。そのため、時間が経つと巣から餌までの最短経路上にフェロモン量が多くなり、蟻が行列を作ることになる。この蟻の情報処理システムを単電子回路上で表現し、新たな情報処理システムの実現を目的とする。

【研究内容】

先行研究^[1]では単電子振動子を用いることで蟻の動き（フェロモンの揮発現象）を表現した。ここで、単電子振動子とは、抵抗とトンネル接合を直列接続した回路であり、トリガ電圧がこの回路に加わると量子ドットにおける電圧がしきい値を超え、電子トンネルが発生し電位変化が起こる(Fig. 1)^[2]。この単電子振動子を二次元に配列し、ある単電子振動子で電子トンネルが発生すると、電位変化が隣接する単電子振動子のトリガとなり電子トンネルの広がりを見せる。更に、単電子振動子のバイアス電圧および抵抗を小さく設定すると、電子トンネルが発生する確率が下がり、ランダムな電子トンネルの広がりを見せる。この電子トンネルの広がりを蟻の歩行と見立てた。また、蟻が餌を探す「行きの回路」および巣に戻る「帰りの回路」を用意し、これらの回路上におけるそれぞれの地点にフェロモン濃度を示す単電子振動子を接続し、その値によって行きと帰りの回路上にある単電子振動子を制

御することでフェロモンを表現した。フェロモン濃度の分布を蟻の広がり方で見立てることにより、蟻がどのように動き、フェロモンによりどのように動きが変わるかを見ることができた。一方で解の導出確率が不十分といった課題もいくつか残されていた。

本研究では蟻の軌跡を表現するにあたって、新たにシミュレーテッド・アニーリング法^[3]を用いる。これは、解の導出過程において、一つ前の世代でフェロモンの軌跡の更新に使用された解、または現在の世代で見つかった最良の解を確率的に選択して更新する方法である。この確率は温度依存となっており温度が高いほど悪い解を選択する確率が高くなるが、更新するたびに温度を下げていくので、終盤になるとより良い解を選びやすくなる。これにより局所最適解に収束するのを防ぐことができる。本研究では、このシミュレーテッド・アニーリング法を利用する第一段階として、新手法に対応したフェロモンの回路表現を実現する。詳細は講演にて述べる。

【参考文献】

- [1] 小尾勇志, 他, 第 61 回応物学会春季学術講演会, 17a-F11-3, (2014).
- [2] T. Oya, et al., Int'l J. Unconv. Comp., **1**, 177, (2005).
- [3] P. Stodola, Nature Comp. **19**, 463, (2020).

【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。

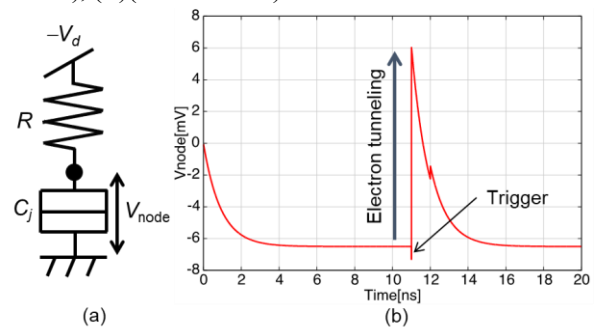


Fig. 1 (a) Schematic of single-electron oscillator and (b) its sample operation (simulation).