

アリの群行動に学ぶ単電子情報処理回路

Novel single-electron information-processing circuits mimicking behavior of ant groups

横国大工, °小尾 勇志, 大矢 剛嗣

Yokohama National Univ., °Yuji Obi, Takahide Oya

E-mail: obi@arrow.dnj.ynu.ac.jp

【研究背景・目的】近年、CMOS 集積回路は微細化による性能向上が見られる。その一方、微細化に伴う電子の量子的要因を無視できなくなるレベルまで達しつつある。そこで、既存の CMOS 集積回路に代わる新しいアプローチとして単電子デバイスが挙げられる。

本研究では、「自然界におけるアリが餌を取る過程」に学んだ情報処理を単電子回路上で表現するものである。アリはフェロモンを利用することで互いに餌の在処や巣までの道のりを伝えている。餌を探すアリは餌を見つけて巣に戻るアリが放出する道しるべフェロモンを、餌を見つけて巣に戻るアリは餌を探すアリが放出する帰巣フェロモンを頼りに行動する。また、アリのフェロモンは揮発性で時間とともに消失する性質がある。そのため、餌と巣の間における距離の短い経路は、単位時間あたりの交通量が多く、フェロモン量も多くなる。結果として、時間の経過とともに最短経路を通るアリが増え、そこにアリは行列を作ることになる^[1]。

本研究では、このアリの情報処理システムに注目し、単電子回路上でその動作を再現することで、新しい情報処理システムの実現を目指すものである。

【研究内容】アリフェロモンに学ぶ情報処理システムを単電子回路上で再現するために必要な要素は「アリの歩行」「フェロモンの扱い」「目的とする経路の表現法」である。

まず、アリの歩行を実現するために単電子振動子を二次元配列する。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、ある閾値を超すバイアス電圧がこの回路に加わると電子がトンネル接合をトンネルして電位変化が起こる。この時、振動子のバイアス電圧、及び抵抗を小さめに設定する。この操作により、各振動子のトンネル確率は下がり、二次元単電子振動子上でランダムなトンネル(動き)の広がり表現できる(図 1)^[2]。本研究において、この動きをアリの挙動と見立てることとする。

次に、単電子振動子のノード電圧をフェロモン濃度に見立てる。これは、振動子がトンネルした後、電圧が落ち込み徐々にチャージしていく様子で、アリが通った時フェロモンが溜まり徐々に揮発する様子を示せるためである。アリのフェロモンを再現するため、回路を行きと帰りの二層構造で表現する。一方の層におけるある地点でトンネルした際、他方の層における同じ地点でトンネルしやすいようにする。この操作により、餌を探すアリが通った道は巣に戻るアリを呼び、巣に戻るアリが通った道は餌を探すアリを呼ぶというフェロモン効果を実現できる。具体的には、層上の振動子にフェロモンを

示す振動子を隣接させ、それがトンネルした時、他方の層上における同じ地点を示す振動子のバイアス電圧を上昇させる。また、揮発性を表現するために、フェロモンを示す振動子の電圧に対応して、電圧の上昇値を減少させていく。

最後に、目的である経路の表現法として、回路における振動子のトンネル回数をカウントする。距離が短い経路ほどアリの交通量が多くなることより、回路においてはトンネル頻度の高い場所が解である経路を示す。トンネル頻度のある回路上でカウントした例を図 2 に示す。これより、確かに経路が短いほどトンネル回数が多くなっていることがわかる。

今後の方針として、フェロモンとして働く電圧の上昇値やその時間の最適値の考察、また別の回路における動作確認等を行なっていく。



図 1 二次元単電子振動子の挙動

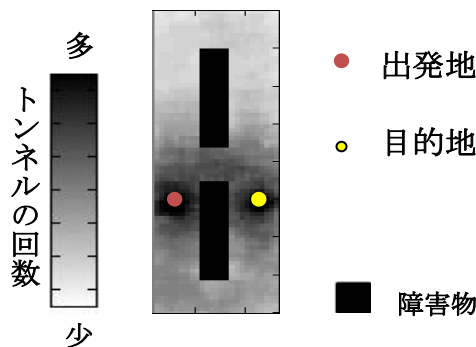


図 2 アリ行動を表現した簡易回路におけるトンネル分布

【参考文献】

- [1] Edward O. Wilson, Science vol. 149, No. 3688 pp. 1064-1071, (1965).
- [2] T. Oya, T. Asai, T. Fukui, and Y. Amemiya, International Journal of Unconventional Computing. vol.1 No. 2, pp. 177-194, (2005).

【謝辞】

本研究の一部は JSPI 科研費若手(B)(24710149)の助成を受け実施された。