

粘菌型解探索システムにおける自発的解探索の検討

Study on Spontaneous Solution Searching in Amoeba-inspired Solution Searching System

北大情報科学および量子集積センター¹, 東工大地球生命研², NICT 光ネット研³, 関学大工⁴○若宮遼¹, 葛西誠也¹, 青野真士², 成瀬誠³, 巳波弘佳⁴Graduate School of Info. Sci. Tech. and RCIQE, Hokkaido Univ.¹, ELSI, Tokyo Inst. of Tech.²,Photo Net. Res. Inst, NICT³, Faculty of Eng., Kwansei Gakuin Univ.⁴,°Ryo Wakamiya¹, Seiya Kasai¹, Masashi Aono², Makoto Naruse³, Yoshihiro Miwa⁴

E-mail: wakamiya@rciqe.hokudai.ac.jp

【はじめに】粘菌のダイナミクスが組合せ最適化問題の解探索に有効であることが指摘されている[1,2]。本研究では、キャパシタネットワーク中の電荷ダイナミクスによって生物粘菌のダイナミクスを模倣し解探索を行う新しい計算システムの実装と、解空間探索について検討を行った。

【方法】粘菌の解探索における重要な要素は、①粘菌は等方的に広がるように変形する、②光を回避する、③体積を一定に保つ、④カオス的な挙動の 4 点である。これをキャパシタネットワーク中の電荷のダイナミクスで模倣すると、①スター型ネットワーク回路でのハブから各枝への電流の等分配、②キャパシタの放電、③キルヒホッフの電流則（電荷保存）、④デバイスのゆらぎやエラーがそれぞれ対応する[3]。図 1(a)に粘菌を用いた解探索のための構成、図 1(b)にそれを模倣した回路を示す。図 1(b)において、回路のハブに供給された電流は等方的に流れ、各ユニットのキャパシタを充電する。各ユニットに割り振られた変数 x_i は、キャパシタ充電状態で $x_i = 1$ 、放電状態で $x_i = 0$ とみなす。 $y_i = 1$ になると FET がオンになり、キャパシタは放電される。変数ベクトル $\mathbf{x}$ をもとに制約論理式を評価し、 y_i の値を随時更新する。各ユニットの FET がオン・オフするうちに全ての変数のつじつまがあい、回路の状態は安定化する。この状態が解を与える。

【実験】制約条件が $x_i = \text{NOR}(x_{i-1}, x_{i+1})$ である 8 変数の制約充足問題を解く回路を構成した。制約条件は CMOS 論理回路で与えた。これら回路を組み合わせると動作させると、10 通りある解のうち 1 つの解を安定的に得た。次に、すべての解を探しだす解空間探索のため、擬似乱数によるエラーを 1 秒毎に導入して時間経過を観察した。測定した各ユニットの出力に接続されているインバータの電圧値を図 2 に示す。背景白の時間がエラー入力状態（1 秒間）、背景黒の時間が安定化状態（1 秒間）を表している。エラー導入により解が次々に遷移している。ユニット i の安定化状態の電圧値が Low のとき $x_i = 1$ 、High のとき $x_i = 0$ を表すことに注意すると、図 2 において①から⑩で示す箇所まで 10 通りの解を得ており、与えた問題の全ての解を探し当てたことがわかる。本システムがゆらぎによって自発的に解空間探索可能であることが実験により明らかになった。

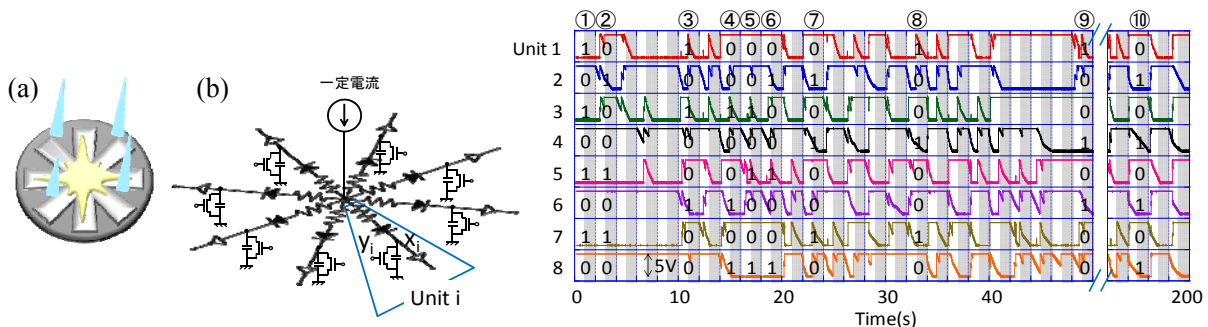
[1] M. Aono *et al.*, Complex Communication Sciences **24** (2011) 29.[2] M. Aono *et al.*, Langmuir **29** (2013) 7557.[3] S. Kasai *et al.*, Applied Physics Letters **103** (2013) 163703.

図 1 (a)生物粘菌による 8 変数解探索構成模式図、(b)電子回路実装

図 2 8 変数 NOR 制約 CSP 回路の出力波形（反転）