アナログ電子アメーバにおける遅延による不安定状態の解探索性能への影響評価

Influence of Delay in an Analog Electronic Amoeba on Solution-Searching Performance

北大量集センター[1]，アメーバエナジー[2]，慶大[3]，○斉藤健太[1]，葛西誠也[1]，青野真士[2,3]

RCIQE, Hokkaido Univ.[1], Amoeba Energy Co., Ltd.[2], Keio Univ.[3] ○K. Saito[1], S. Kasai[1], M. Aono[2,3]

E-mail: k-saito@rciqe.hokudai.ac.jp

【はじめに】膨大なデータの組合せから最適な解を探索する解探索システムの必要性が高まっている[1]。我々は生物粘菌アメーバの高度な計算能力に着想を得たアメーバ電子計算システム「電子アメーバ」を開発した[2]。これまでに全てアナログ回路で物理実装した電子アメーバにより、巡回セールスマン問題（TSP）を解けることを実証した[3]。物理実装した電子アメーバの状態変数は、回路シミュレーション結果と異なり、予期しない振動を伴いながら解へと収束した。この振動は物理実装回路上の寄生容量による信号遅延に起因する。本研究の仮説は、遅延による変数の振動はより良い解を探すための試行錯誤であり、この振動によって電子アメーバの得られる解の質は向上する、である。本研究では仮説を検証するために数値シミュレーションを行った。

【シミュレーション方法と結果】電子アメーバの挙動を再現する漸化式を(1)、(2)式に示す。

$$X_{Vk}(t+1) = \begin{cases} X_{Vk}(t) + \Delta_{in}/L_{off}(t+1) & (\text{if } L_{Vk}(t+1) = 0) \\ X_{Vk}(t) - X_{Vk}(t)/\Delta_{out} & (\text{if } L_{Vk}(t+1) = 1) \end{cases}, \quad (1)$$

$$L_{Vk}(t+1) = \sigma_{\alpha_1,\beta_1}\left(\sum_{Ul} W_{Vk,Ul} \cdot \sigma_{\alpha_2,\beta_2}\left(X_{Ul}(t-\tau)\right)\right), \quad (2)$$

ここでX_{Vk}は状態変数であり、$X_{Vk} = 1$のとき都市Vにk番目に訪問することを表す。またL_{Vk}はX_{Vk}が増加するか減少するかを、TSP の制約条件が定式化された重みWと他の変数との積和演算から決定する。Δ_{in}とΔ_{out}はそれぞれ、変数の増加、減少量を決定する定数であり、$L_{off}(t+1)$は時刻tにおける$L_{Vk}(t) = 0$の数、$\sigma_{\alpha,\beta}$は傾きαでしきい値βのシグモイド関数、τは遅延の大きさである。$\tau = 0$のとき遅延のない漸化式である。図 1 に (1)、(2)式を繰り返し解いたときのシミュレーション結果を示す。解いた問題は 10 都市 TSP で初期値を変えながら 100 回試行した。各種パラメータは$\Delta_{in} = 0.1$、$\Delta_{out} = 700$、$\alpha_1 = 1000$、$\alpha_2 = 35$、$\beta_1 = \beta_2 = 0.5$に設定した。図 1a に示すように遅延を導入（$\tau = 200$）すると変数は振動を伴って時間発展し、解を発見したとき定常状態になった。図 1b に示すように遅延を大きくするとルート長は短くなり、解の質は向上した。一方で、反復回数は増加（図 1c）した。これらの結果から仮説が正しいことが実証された。

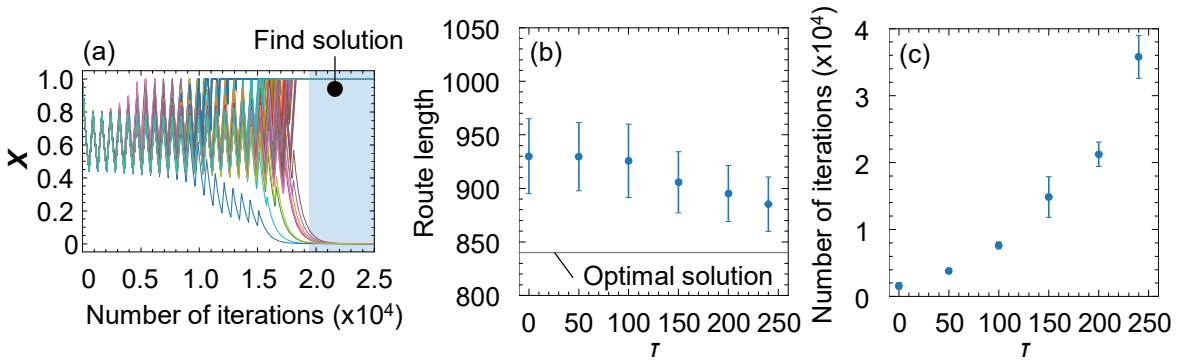

Fig. 1 (a) Time evolution of all state variables when τ=200. (b) Solution quality. (c) Number of iterations to find a solution.

【参考文献】[1] M. W. Johnson *et al.*, Nature **473** (2011). [2] S. Kasai *et al.*, App. Phys. Lett. **103** (2013).

[3] 斉藤ら、第 66 回応用物理学会春季学術講演会、12a-PA4-9 (2019).

© 2020年 応用物理学会