

H-029

時間遅れをもつカオスニューロンと カオスニューロコンピュータに対する効果

Chaos Neuron with Time Delay

and it's Effect on Chaos Neuro-Computer

田中 稔次郎[†] 栗原 徹哉[†] 広岡 繁[‡]
Toshijiro Tanaka Tetsuya Kurihara Shigeru Hirooka

1. はじめに

ニューラルネットワークの研究は、1943年のMcCullochとPittsのニューロンの数理モデルの提案に始まり、今日まで様々なニューラルネットワークモデルが考察されている。ニューラルネットワークは、学習や連想記憶、最適化問題といった軟らかい情報処理が可能なニューロコンピュータへの発展が期待される。近年、合原達 [1] や井上達は、新しいニューロンモデルとしてカオスニューロンを考案し、カオスニューラルネットワークの研究が非常に注目を浴びるようになった。

井上と永吉によるカオスニューロンは、内部に結合した2個のカオス振動子を含んでおり、それらの運動状態によって出力が決定される。彼らは、それを用いたカオスニューロコンピュータの情報処理機能を研究した。以後、これを井上モデルと呼ぶ [2]。

本研究の目的は、カオスニューロンの井上モデルに時間遅れの効果を導入し、それがカオスニューロコンピュータの性能にどのような効果を及ぼすか調べることである。シミュレーションでは、巡回セールスマン問題 (TSP) を解き、井上モデルとの比較・考察を行う。時間遅れを考慮した拡張井上モデルは、従来のカオスニューロコンピュータよりも最適解の検索率が向上することがわかった。

2. カオスニューラルネットワーク

井上と永吉は、1991年にカオス結合振動子を用いたカオスニューロンを提唱した。このニューロンの特徴は、決定論的でありながら確率的な振る舞いをするところにある。このニューロンから構成されたカオスニューラルネットワークは、ホップフィールドモデルやボルツマンマシンとは異なる時間発展を示す。カオスニューロンは内部状態と外部状態の2つの状態を持つ。まず、内部の結合振動子系は次式によって表される。

$$\begin{matrix} \mu \\ \mu \end{matrix} \begin{matrix} x_i(n+1) \\ y_i(n+1) \end{matrix} = \frac{1}{1+2D_i(n)} \begin{matrix} \mu \\ \mu \end{matrix} \begin{matrix} 1 \\ D_i(n) \end{matrix} \begin{matrix} \mu \\ \mu \end{matrix} \begin{matrix} f[x_i(n)] \\ g[y_i(n)] \end{matrix}, \quad (1)$$

ここで、 $D_i(n)$ は2つのカオス振動子間の結合係数で

あり、

$$D_i(n) = \begin{cases} I_i(n) & \text{if } I_i(n) > 0, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2)$$

で与えられる。ここで、線型和 $I_i(n)$ は次のように表される。

$$I_i(n) = \sum_{r=0}^{\infty} \sum_j w_{ij} u_j(n) + s_i(n) - \theta_i, \quad (3)$$

ここで、 w_{ij} は素子 u_i, u_j 間の結合荷重、 s_i は外力、 θ_i は閾値を表す。 $x_i(n) (0 \leq x_i(n) < 1)$ と $y_i(n) (0 \leq y_i(n) < 1)$ は、それぞれ離散時間 n ステップにおける i 番目のニューロンの振動子を表す。この系は結合係数 $D_i(n)$ が定数のとき、山田-藤坂モデルと一致する [3]。また写像として、

$$f(x) = ax(1-x), \quad (4)$$

$$g(y) = by(1-y), \quad (5)$$

というロジスティック写像を採用する。ここで、 a, b はコントロールパラメータであり、同調状態をぬけるために $a \cong b$ とする。次に、外部状態 (出力) について述べる。ニューロンの出力は、ニューロン内部における2つの振動子の同調、非同調によって決定する。 $\Delta_i(n)$ を次のように表すと

$$\Delta_i(n) = |x_i(n) - y_i(n)|. \quad (6)$$

カオスニューロンの出力値は次式で定義される。

$$u_i(n+1) = \begin{cases} 1 & \text{if } \Delta_i(n) \leq \epsilon, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (7)$$

ここで ϵ は同調判定パラメータである。この値が大きければ同調、すなわちニューロンは発火しやすくなり、そうでなければ発火しにくくなる。

3. 時間遅れの導入

これまで研究されてきたカオスニューラルネットワークの内部状態の線型和 $I_i(n)$ は、現在の時刻だけから決まる量であった。しかし、一般的には内部状態は時間に依存し、過去のニューロンの更新状況に依存すると考えるのが妥当である。本論文では、現実のニューロン

[†] 広島県立大学 経営学部

[‡] 鹿児島大学 工学部

の特性を反映した新しい内部状態の線型和を考える．それには同期的に状態更新を行う i 番目のニューロンの線型和を次のように表す．

$$I_i(n) = \sum_{r=0}^{\infty} \sum_j \lambda^r w_{ij} u_j(n-r) + s_i(n) - \theta_i \quad (8)$$

ここで， r は時間遅れを表すパラメータである． $\lambda(|\lambda| < 1)$ はコントロールパラメータである．線型和の時間遅れの効果は，合原モデルにおいては考慮されている．

4. 巡回セールスマン問題

TSP とは，一人のセールスマンが，ある数 (N) の都市を重複することなく 1 巡する経路で，最短のものを求めるという最適化問題である．TSP の定義より，次の 2 つの制約条件が課される．

1. 全ての都市を重複することなく訪問する
 2. 最短の経路を通り，全ての都市を訪問し出発点に戻る
- 制約条件を表すエネルギー関数 E は，次式で表される．

$$E = \frac{A}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (u_{ij} - 1)^2 + \frac{A}{2} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N (u_{ij} - 1)^2 + \frac{B}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N d_{ij} u_{ik} (u_{jk+1} + u_{jk-1}) \quad (9)$$

係数 A, B はネットワークがうまく収束するように調整するためのもので，経験的に決定される．

5. 数値実験

シミュレーションでは，カオスニューロコンピュータを用いて小規模なネットワーク (10 都市配置) で TSP を解いてみる．カオスニューロンのパラメータは $a = 4.0, b = 3.9999$ とし，同調判定パラメータは $\epsilon = 0.0001$ とした．また，時間遅れは 2 時刻前まで考慮し $\tau = 2$ とする．エネルギー関数におけるパラメータは $A = 10, B = 1$ と置いた．従来の井上モデルとの比較を行うことでその効果を検証する．なお，TSP の制約条件を満たす解は有効解とし，平均は有効解の平均巡回距離をさす．表 1 には最適値を，表 2 には最適解の探索回数を示す．試行回数は 1000 回であり，初期状態は乱数で決め，ネットワークの時間発展は同期的に 1000 ステップまで行う．

	最適解
10 都市配置	35.75

表 1. 最適解の巡回距離．

	最適解	平均距離
井上モデル	471	37.66
拡張井上モデル ($\lambda = -0.1$)	573	37.27
拡張井上モデル ($\lambda = -0.12$)	600	37.12

表 2. 10 都市における実験結果．

表 2 より，時間遅れを考慮した井上モデルのほうが最適解の探索回数が増加していることがわかる．また，従来のモデルでは最適解の探索に比較的時間を要していたのに比べ，拡張井上モデルは短時間で最適解を得ることができた．次に，井上モデルと拡張井上モデルの巡回距離の時間変化を図 1 に示す．また，10 都市の配置とその最短巡回経路を図 2 に示す．

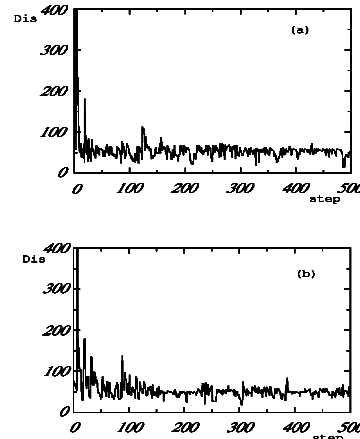


図 1. 井上モデル (a) と拡張井上モデル (b) の巡回距離の推移．

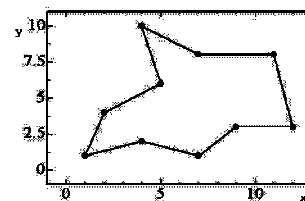


図 2. 最適巡回経路．

6. おわりに

本論文では，従来のカオスニューロコンピュータの線型和に時間遅れを導入し，巡回セールスマン問題を解くことによって，どのような効果が現れるかをシミュレーションによって調べた．その結果，時間遅れを考慮することによって，井上モデルよりも最適解の探索率が向上することがわかった．線型和に時間遅れを導入することはカオスニューロコンピュータの改良に有効な手段であると思われる．

参考文献

- [1] K.Aihara, T.Takabe, and M.Toyoda, Phys.Lett.A 144,333(1990).
- [2] M.Inoue and A.Nagayoshi, Phys.Lett.A 158,373(1991).
- [3] T.Yamada and H.Fujisaka, Prog.Theor.Phys.70 (1983)1240.