

非線形写像ネットワークによる情報処理

RA 田中剛平

新領域創成科学研究科複雑理工学専攻

概要

生物の脳のように、複雑ではあるが一貫して優れた機能を保つシステムの仕組みはいまだに明らかになっていない。しかし、実世界の様々なノイズ影響下においてロバストに機能する複雑系としての脳は、複雑なダイナミクスを利用してこの機能を維持している可能性があり、これを模倣したシステムはロバストで高度な計算原理を実現する可能性を秘めている。そのようなシステムの一つである人工ニューラルネットワークは、当初の偽の記憶パターンへの収束という欠点を補うため、実際の脳に観測されるような確率的な要素やカオス的なダイナミクスを付加されることによって改良されてきた。しかし、近年注目されている多値ニューラルネットワークにカオスダイナミクスを取り入れたシステムはほとんど提案されていない。そこで、カオスを利用した2種類の多値連想記憶システムを非線形サークル写像ネットワークによって実現し、あるパラメータ範囲で従来の多値ニューラルネットワークに比べて性能が良いことを数値実験により示した。

1 はじめに

生体における細胞集団の高度な情報処理機能を考えれば、それを模倣した人工的な新しい情報処理システムが実現できるのではないかと思うのは自然なことであろう。例えば人工ニューラルネットワークは、生理実験で明らかになった脳細胞の機構や細胞間のパルス伝達の性質を反映している。ニューラルネットワークの応用は、画像処理、パターン認識、パターン分類、連想記憶システムな

表 1: 決定論的ネットワークを構成する演算素子

	漸近収束	自己組織的カオス
2 値	2 値ニューロン [1]	サイン写像 [3]
多値	複素ニューロン [2]	サークル写像 [4]

どの広範囲に広がっている。生体の神経細胞は発火と非発火の2つの出力状態を持つので、従来の人工ニューラルネットワークを構成するニューロンは2値出力素子であることが多かった [1]。しかし近年、多値出力を持つニューロンによるネットワークも提案されている [2]。決定論的な離散時間系として表現されるネットワークは、非線形写像の結合系と見なせるので、個々の写像、ネットワーク構造、および相互作用を工夫することで、ネットワーク全体として特定の機能を持たせることが可能である。最近、サイン写像ネットワークによる2値ネットワークが提案され、各セルが白黒で表現される2値パターンの連想記憶に応用された [3]。これはカオスダイナミクスを利用しており、従来の Hopfield ネットワーク [1] よりもパラメータ値によっては性能が良い。我々は、サイン写像ネットワークの拡張として、サークル写像ネットワークによる多値連想記憶モデルを提案する [4](表 1 参照)。

連想記憶とは、あらかじめシステムが複数のパターンを保存(記憶)しており、あるパターンが入力されると、それに一番良く似た記憶パターンの一つを正しく識別して出力することを指す。非線形写像ネットワークでは、結合係数に記憶パター

ンが埋め込まれ、入力パターンはネットワークの初期値として与えられ、ネットワークは自律的に状態更新を繰り返し、収束状態を出力する。これが記憶パターンに等しければ、「正しい連想」、異なれば「誤った連想」、収束しなければ「非決定」とする。ネットワークの性能を、この連想記憶テストにおける正答率によって評価し、提案した2つのネットワークを複素ニューラルネットワークと比較した。記憶パターンに対してエネルギー関数値が最小となる保証があるので、これはネットワーク状態に依存したエネルギー関数の最小化問題と見なすことができる。

2 非線形写像ネットワーク 1

ネットワークのユニットとなる非線形写像として、複数のカオスアトラクタの融合クライシスを起こす1次元サークル写像を考えた。複数の局所アトラクタにシンボルをつけると、クライシス前は初期値のシンボルは写像の更新に対して保たれるが、クライシス後は保たれない。すなわち、離散化状態(シンボル)の更新則がクライシス前後で大きく異なる。

現在のネットワーク状態が記憶パターンに近ければシンボルが変化せず、記憶パターンに遠ければ変化するように、部分エラー関数を介して結合されるリカレント型ネットワークを構築した。このネットワークは、連想中のエネルギー関数が下がるにつれ状態変更の確率が低くなるという意味で、シミュレーテッドアニーリングの効果を有する。

3 非線形写像ネットワーク 2

ネットワークのユニットとなる非線形写像として、階段状の分岐図を示す1次元サークル写像を考えた。1つのパラメータを変化させると、交互に周期状態とカオス状態を繰り返し、その分岐図は多状態活性化(多段ステップ)関数と似ている。その時間平均をとったダイアグラムは、カオス領域におけるエルゴード性を仮定すると、空間

平均のダイアグラムであると思なすことができるので、これを活性化関数の代わりとして、従来の複素ニューラルネットワークに組み込んだ。

各非線形写像を重みつき入力とを介して結合したりリカレント型ネットワークを構築した。これは、カオスダイナミクスを取り入れているので、従来のネットワークとは異なり、偽の記憶パターンからの脱出を可能とする。

4 まとめと今後の課題

提案した2種類のネットワークを多値連想記憶テストで複素ニューラルネットワークと比較したところ、あるパラメータ範囲で誤り率がより低いことが分かった。これは、1つの素子で任意の離散多値状態を表せるという点で、サイン写像ネットワークの拡張であると考えられる。誤り率はパラメータ値に依存するが、これが最小となるような適切なパラメータ値を発見する方法を開発することは今後の課題の一つである。

参考文献

- [1] J. J. Hopfield. "Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities," *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 79, 2554, 1982.
- [2] S. Jankowski, A. Lozowski, and J. M. Zurada. "Complex-Valued Multistate Neural Associative Memory," *IEEE Trans. on Neural Networks*, 7(6), 1491, 1996.
- [3] G. Lee and N. H. Farhat. "Parametrically Coupled Sine Map Networks," *Int. J. Bifurcation Chaos Appl. Sci. Eng.*, 11(7), 1815, 2001.
- [4] G. Tanaka and K. Aihara. "Multistate Associative Memory with Parametrically Coupled Map Networks," *Int. J. Bifurcation Chaos Appl. Sci. Eng.*, 15(4), 2005.