

学 位 論 文 題 名

構造化リカレントニューラルネットワークに関する研究

学位論文内容の要旨

一般にニューラルネットワークは大きく2つに分けられる。即ち、階層型ネットワークとリカレントネットワーク（Recurrent Neural Network）である。情報処理システムとして見た場合、前者は、入力パターンを出力パターンに変換する汎用的な非線形写像を実現する静的なシステムと考えることができる。一方後者は、各ユニットの非線形性とフィードバック結合のために複雑な非線形ダイナミクスを持っており、リミットサイクルやカオス（不規則な非周期運動）等、様々な時間的な振り舞いを示している。その動作が複雑な非線形力学であり、時空間的で動的な情報の処理に適すると考えられている。

従来、よく研究されている最も一般的な構造のリカレントニューラルネットワークは、 N 個のニューロンに対して N^2 個の全結合が存在する完全な相互結合型ネットワークである。実際、工業応用を視野において研究を行なう時、リカレントニューラルネットワークの理論的な検討と同時に、ネットワークの構造も VLSI 化しやすいものになければならない。

本研究は、並列計算及び VLSI ストラクチャに適する構造化リカレントニューラルネットワーク（SRNN と略す）を新たに提案する。また、ネットワークの構造化ストラクチャの特徴を利用して、生成学習法を提案する。このネットワークはいくつかの振動モジュールから構成され、ダイナミクスの学習と再生を行うのに有効である。振動モジュールは、お互いに全結合されている二つのニューロンによって構成し、各モジュールはそれぞれに適した学習係数を学習アルゴリズムによって与えられている。本ネットワークは、学習の収束した時点でネットワークのサイズが決められるという特徴を持つ。ネットワーク及び学習法の有効性を検証するため、いくつか非線形記憶・再生実験を行なった。ネットワークを力学系として捉えた場合、周期時系列を学習させる時、系には周期アトラクタを形成することができ、音声波形を憶えさせる時、系には弱カオスアトラクタを形成したことができるという結果が観測された。提案するネットワークは音声信号処理（音声合成など）、ロボット制御などの応用に可能であることを示唆している。

本論文は6章より構成されている。各章を要約すると以下のようなになる。

第1章は全体の序論である。第2章では、時系列の記憶に有効なモデルを要約した。いくつか階層型の拡張ネットワークモデル、特殊な目的を持たせたリカレントニューラルネットワークモデルなどを説明し、本研究で提案する SRNN を詳しく解説した。最後、SRNN の非線形近似能力を数学の立場で解説した。

第3章では、リカレントニューラルネットワークに関する学習方法を説明した。良く使われている実時間学習法、BPTT 学習法などを紹介してから、最近開発された実時間 BPTT 学習法を解説し、本研究で提案する生成学習法を紹介した。

第4章では、提案するモデルと学習法の有効性を検証するため、いくつかシミュレーショ

ンを行ない、その中から代表的なものを選び、その結果を分析した。周期波形の学習は、十分な学習を経てから、ネットワーク内には周期アトラクタを形成しており、教師信号を再生し続けることができた。非周期複雑な非線形ダイナミックスとして音源波形を選び、その学習の結果を報告した。揺らぎを含まれている音源波形の学習は、十分な学習を経てから、ネットワークはある非周期な弱カオスアトラクタに収束していくことが分かった。また、再生した音源波形の音声特性も解析し、SRNNは音声信号処理分野に応用することが可能であることを示唆した。これらの実験結果より、提案するモデルと学習法の有効性を検証した。

第5章では、第4章での音源波形の学習により得た系のカオス状態をより詳しく分析した。

第6章は結論として、本論文で述べた研究を総括し、今後の課題を述べる。

本研究の成果は以下のように要約される。複雑な非線形ダイナミックスの学習と再生の能力を有する構造化RNNを提案した。このネットワークはお互いに独立な振動モジュールから構成され、並列計算及びVLSIシステム化に向く構造を持っている。次に、このネットワークに適する新しい学習アルゴリズム、いわゆる生成学習法を提案した。この学習法の大きな特徴としては最適に近いネットワークのサイズが決まることのできることである。ネットワークの特徴と合わせて、高速に学習することができる。提案するモデルの有効性を検証するため、非線形ダイナミックスを近似するシミュレーション実験を行ない、実験の中から二つ代表的な例を選び、その学習過程及び特性を説明し、学習結果などを解析した。

以上より本研究によって、提案するSRNNを用いて複雑な非線形ダイナミックスを近似するができ、また、音源波形を学習させる時ネットワークがカオス的な振舞を示したことを明らかにした。

学位論文審査の要旨

主査	教授	栃内香次
副査	教授	小川吉彦
副査	教授	北島秀夫
副査	助教授	宮永喜一

学位論文題名

構造化リカレントニューラルネットワークに関する研究

ニューラルネットワークは、大別して階層型ネットワークとリカレントネットワーク (Recurrent Neural Network) に分けられる。前者は、入力パターンを出力パターンに変換する汎用的な非線形写像を実現する静的なシステムと考えることができ、後者は、各ユニットの非線形性とフィードバック結合のために複雑な非線形ダイナミクスを持っており、リミットサイクルやカオス (不規則な非周期運動) 等を示し、動的な情報の処理に適すると考えられる。しかしながら、従来から知られている一般的な構造のリカレントネットワークは、 N 個のニューロンに対して N の 2 乗個の結合が存在する完全な相互結合型ネットワークで、VLSI化が困難である等、応用面での問題があった。

本論文は、並列処理及びVLSI化に適した新しいタイプの構造化リカレントニューラルネットワークと、この特徴を利用した生成学習法を提案し、非線形記憶及び再生実験を行なってその有効性を確認したもので、その主な成果は以下に要約される。

(1) 相互に独立した、2 個のニューロンからなる振動モジュールによって構成され、並列処理及びVLSI化に適した構造化リカレントネットワークを提案し、その非線形近似能力の理論的解析を行った。

(2) 次に、このネットワークに適する新しい学習アルゴリズムとして、最適に近いネットワークサイズを決めることができ、また高速に学習することができる生成学習法を提案し、従来から知られている実時間学習法、BPTT学習法等と比較して優れた学習能力を有することを確認した。

(3) このネットワークの有効性を検証するため、周期波形の学習実験を行い、十分な学習を経てから、ネットワーク内には周期アトラクタが形成され、教師信号を再生し続けることができることを確認した。

(4) 揺らぎを含む複雑な非線形ダイナミクスを有する信号として音声波形の学習実験

を行い、十分な学習を経てから、ネットワークは非周期的な弱カオスアトラクタに収束していくという結果を得た。また、再生された音声波形の特性を解析し、本ネットワークの音声信号処理への応用可能性を確認した。

これを要するに、著者は、並列化、VLSI化に適した新しい構造のリカレントニューラルネットワークを提案し、このネットワークが複雑な非線形ダイナミクスを近似できることを理論的に解析すると共に、周期波形および音声波形を学習させる実験を行って実験的にこれを確認し、音声情報処理等への応用可能性を明らかにしたもので、ニューラルネット情報処理ならびに信号処理工学の発展に寄与するところ大である。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。