

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

学位論文題目	一般化多層カオスニューラルネットワーク動的連想記憶モデルと時系列パターン連想への応用
--------	--

氏 名	渡 邊 駿
-----	-------

脳は高度な情報処理システムであり、脳の識別や計算、学習などを行う認知機能やメカニズムなどを模倣した数理モデルや計算機システムを提案することにより、ヒトと同等かそれ以上の知能を有する人工知能の実現が期待されている。私たちが旅行中の出来事を記憶し、旅行写真から、見た風景や食べた物、観光した場所とその順序などを思い出す能力は、連想記憶と呼ばれる。そして、この連想記憶を実現する数理モデルは、脳の基本的機能である情報の貯蔵と再生（想起と呼ばれる）を模倣するモデルとして研究されており、記憶貯蔵量の解明や高度な認知機能を有する情報処理プロセスの実現が試みられている。

連想記憶モデルは、神経細胞網全体における神経細胞の発火関係をパターンとして貯蔵（記銘と呼ぶ）・想起する。そして、一連の発火活動において記銘した複数の発火パターンから一つの発火パターンを想起し、発火状態が収束する連想記憶モデルは、静的連想記憶モデルと呼ぶ。一方で、一連の発火活動において記銘した複数の発火パターンから一つから全てのパターンを想起するように、発火活動が周期的・カオス的に変化する連想記憶モデルは、動的連想記憶モデルと呼ばれる。

まず、本研究では、記銘パターンを数多く頻繁に想起可能な動的連想記憶モデルの実現に向けて連想記憶モデルの状態制御手法を提案した。制御対象として用いた連想記憶モデルは、静的連想記憶モデルである Hopfield ネットワーク (HN) と動的連想記憶モデルである Adachi らのカオスニューラルネットワーク (CNN) と Kuremoto らの多層 CNN (MCNN) である。MCNN は HN や CNN と異なり、発火パターンの時間的順序関係も記銘でき、記銘時系列パターンを動的に想起することが可能である。それぞれの問題点として、HN は一連の発火活動において複数の記銘パターンを動的に想起することが困難であり、従来の CNN と MCNN はネットワーク状態などに応じてパラメータ値を経験的に設定しなければならない問題があった。そこで、HN は複数の記銘パターンを動的に想起させるために発火状態を制御することにより、CNN と MCNN は記銘パターンを数多く頻繁に想起させるために発火活動変化のパラメータ制御することにより、想起性能の向上を試みた。次に、CNN とパラメータ設定関係からパラメータ制御がどのように影響しているかを調査するために、CNN のダイナミクスを解析する手法を提案した。この提案解析手法は、CNN とパラメータ関係を調査するために、各ニューロンの状態と変化関係を比較することで、ニューロンとパラメータがどのような関係で影響するかを調べることを可能にしている。そして、Kuremoto らが改良した脳が行う記憶の形成機能を実現する海馬-新皮質の MCNN に対してパラメータ制御手法を適応し、モデルの性能向上を試みた。Kuremoto らの海馬-新皮質モデルは、脳の海馬に記銘された記憶から永続的な記憶として新皮質へ転写するプロセスを模しており、外部刺激から海馬がある時系列パターンを繰返し想起することで、想起時系列パターンを新皮質することが可能である。しかし、モデルを構成する MCNN の性能が低い問題があることから、MCNN に対してパラメータ制御手法を適応することにより、海馬-新皮質モデルの性能向上を試みた。最後に、単純な時系列パターンではなく実環境に向けた動画像を記銘・想起可能な動的連想記憶モデルとして MCNN と自己組織化マップを組

合せた新しい連想システムを提案した。この連想システムは、動画像を自己組織化マップにより2値パターンへ変換し、MCNNにより記銘と想起を行い、そして、自己組織化マップにより動画像へ再変換する記憶システムである。

本研究の結果として、性能の高い動的連想記憶モデルの実現は、脳のような実環境に対応した高度な情報処理システムの実現への貢献と可能性が期待できることを示した。まず性能の高い動的連想記憶モデルとして、制御手法を提案することで、記銘パターンを数多く頻繁に想起可能な動的連想記憶モデルの実現が可能であることを示した。そして、脳で行われる記憶の形成プロセスとして、海馬-新皮質モデルの動的連想記憶モデルにパラメータ制御手法を適応することで、動的連想記憶モデルの性能向上が記憶の形成性能の向上に貢献することを示した。最後に、実環境へ向けた情報処理システムとして、MCNNと自己組織化マップを組合せた新しい連想システムを提案することにより、実環境に対応した動画像の記銘と動的想起の実現が可能であることを示した。

【論文審査結果の要旨】

脳の優れた情報処理機能を数理的モデルによって工学的に実現する、いわゆる脳型情報処理に関する研究は、1940年代以降に始まり、これまで多くの理論及び応用成果が挙げられている。特に本世紀に入り、脳科学及び人工脳の研究は目覚ましい速さで進展している。本論文では、脳の高次機能である記憶・想起に対して、複数の従来の人工神経回路網モデル、特に多層カオスニューラルネットワーク(MCNN)に基づき、その想起状態の解析法を提案、その想起性能の向上を図り、次にMCNNを拡張・一般化を行い、新たな機能の付加、想起性能が向上した動的連想記憶モデルを提案し、最後に、提案の動的連想記憶モデルを利用した動画像の連想記憶システムを開発し、提案法の有効性を示している。具体的には、

- (i) 遺伝アルゴリズム (GA) や粒子群最適化 (PSO) などの進化的計算手法を利用して、従来の静的連想記憶モデル Hopfield Network において、発火関数のバイアスを最適化し、複数の記憶パターンの動的想起を実現した；
- (ii) 一般化多層カオスニューラルネットワーク(GMCNN)を提案し、複数の時系列パターンを動的に想起することを実現した；
- (iii) GMCNNを海馬一新皮質モデルに導入し、長期記憶形成モデルの記録・想起性能を改善した；
- (iv) 提案した GMCNN と教師なし機械学習モデルである Kohonen の自己組織化マップ(SOM)を用いて、実際の動画像を対象とした連想記憶システムを開発し、提案法の実際の応用の可能性を示したことが挙げられる。

本論文の構成と内容は以下の通りである。

第1章では、研究の背景と目的、及び論文の構成について述べている。

第2章では、従来のカオスニューラルネットワーク (CNN) の内部パラメータの設定問題について、GA や PSO などのメタヒューリスティクス (MH) 手法を用いて解決することを提案し、動的連想のシミュレーション実験より、提案法の有効性を確認している。

第3章では、従来の多層カオスニューラルネットワーク (MCNN) の内部パラメータの設定法及び入力層 (刺激層)・出力層 (想起層) の役割制御法について、ネットワークエネルギーを用いた評価関数を MH に導入する新たな手法を提案し、複数の時系列パターンを用いた計算機シミュレーションにより、提案法が従来法より優れた想起性能を持つことを確認している。

第4章では、従来の2層MCNNを一般化し、3層以上のCNNを持つGMCNNの構築を行い、複数の時系列パターンの想起シミュレーションを通して、その想起性能の向上効果を確認している。

第5章では、刺激パターン(入力パターン)、記録パターン及びパラメータがどのように動的連想モデルCNNの挙動に影響しているかを分析するため、CNNにおけるニューロンの内部状態を「分位数-分位数プロット(Q-Q plot)、最小二乗近似(LSA)、階層型クラスタリング(HC)、及びヒルベルト変換(HT)により分類し、また、状態遷移の同期関係を調べている。

第6章では、第2章から第4章で提案した一般化されたカオスニューラルネットワーク(GMCNN)を用いて、長期記憶の形成機能を実現する海馬-新皮質モデルへの応用を行っている。

第7章では、前述のGMCNNを用いて、特徴のあるパターンを分類できる自己組織化マップ(SOM)と併用した動画連想システムを開発し、ビデオシーンの記録・想起実験を行い、その有用性を確認している。

第8章では、本論文の結論を述べている。

公聴会には、30余名の参加者があり、活発な質疑応答がなされた。その主な質疑内容として、

- (i) 粒子群最適化(PSO)によって提案モデルの最適な想起ができたか。
 - (ii) 遺伝アルゴリズム(GA)とPSOには多くの改良法があり、どのような手法を用いたか。
 - (iii) 連想したパターンはどのように動画に復元したか。また、更なる改善法はないか。
 - (iv) 動画連想システム実験において、入出力画像の数、また種類はいくつあるか。
 - (v) 提案モデルとこれまでの時系列パターンを連想できるモデルとは、どのような差異があるか。
- 等の質問があり、いずれの質問に対しても申請者からの的確な回答がなされた。

以上より、本研究は、新規性、信頼性、有効性、実用性ともに優れており、博士(工学)の論文に十分に値するものと判断した。