

令和元年5月30日現在

機関番号：33910

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00342

研究課題名(和文) 特異領域を利用するニューラルネット深層学習法

研究課題名(英文) Neural Networks Deep Learning Methods Utilizing Singular Regions

研究代表者

中野 良平 (NAKANO, Ryohei)

中部大学・工学部・客員教授

研究者番号：90324467

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：ニューラルネットの特異領域を利用して系統的に一連の良解を求める特異階段追跡(SSF:singularity stairs following)原理を開発し、実多層パーセプトロン(MLP)にはSSF1.4法を、実RBF(radial basis function) ネットにはRBF-SSF-pH法を、複素MLPにはC-SSF1.3法をそれぞれ完成し、優れた性能を確認した。そうした優れた学習法を特異モデル選択とカオス軌道予測に適用して有用性を示すとともに、深層モデルに繋がる混合非線形回帰の実現性とヘテロデータ(複数の生成源から得られたデータ)に対する優れた適合性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義：深層学習の成功により、ニューラルネットの有用性が再認識されているが、本研究で技術確立した特異階段追跡(SSF)原理は、ニューラルネットの学習性能、特に解品質を著しく向上させるものである。深層学習と併用することにより、全体性能の一層の向上が期待される。また今後、SSF原理を他のニューラルネットモデルに適用する研究の展開も期待される。

社会的意義：近年の人工知能は多分野に導入されて大ブレイクした。その中核には機械学習があり、特に、深層学習の成功が大きい。本研究は深層学習の性能に磨きをかけて有用性拡大に貢献すると期待される。

研究成果の概要(英文)：For neural networks learning, we have established SSF (singularity stairs following) principle, which enables us to find excellent solutions by utilizing singular regions. By applying SSF principle, we developed three very powerful learning methods: SSF1.4 for real-valued multilayer perceptron (MLP), RBF-SSF-pH for real-valued RBF network, and C-SSF1.3 for complex-valued MLP. In our experiments these methods showed quite excellent performances. Moreover, they were successfully employed for singular model selection using WAIC and WBIC, and for prediction of deterministic chaos behavior. Finally, we have also investigated and implemented mixture of non-linear regressions to find underlying functions for heterogeneous data.

研究分野：知能情報学、ニューラル情報処理

キーワード：多層パーセプトロン 特異領域 特異階段追跡法 複素ニューラルネット 深層学習 モデル選択

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年の多層ニューラルネット研究において、深層学習が一般物体認識などで従来法を圧倒する性能を出したことから、深層モデルは未知の機能や性能を秘めると期待される。本研究開始当時の深層学習は事前学習や畳込みにより実現されたが、深層学習の方式は他にもあると考えられる。

(2) ニューラルネットの主要モデルである実多層パーセプトロン(実 MLP)の学習法は長年研究され、その探索空間に特異領域があることが知られている。特異領域は学習を停滞させるため、学習法はそれを避けようとするが、代表者は、特異領域を積極的に活用する特異階段追跡(SSF: Singularity Stairs Following)の原理を提案し、実多層パーセプトロンに実装し、改良して、高速かつ安定して良解を系統的に求めることができる SSF1.4 を完成したばかりであった。

(3) 入出力や重みが複素数となる複素多層パーセプトロン(複素 MLP)は、実 MLP にはない周期性や非有界性という魅力的能力を有する。複素 MLP も実 MLP と同様に、その探索空間には条件数が巨大な特異領域が存在する。Wirtinger 微分を用いて、準 Newton 法の枠組みで BFGS 更新を行う学習法を軸に、特異領域を積極的に利用する SSF 原理を複素 MLP 学習法に応用して、C-SSF1.3 を完成したばかりであった。

(4) 多層ニューラルネットや混合正規分布、隠れマルコフモデルなどの有力な学習モデルの多くは、Fisher 情報行列が縮退するため漸近正規近似が適用できない特異モデルである。特異モデルのモデル選択には、正則モデル用のモデル選択基準(AIC、BIC など)は適用できない。Watanabe が渡辺理論の中で特異モデル用に提案した WAIC、WBIC を使うのが望ましい。代表者は WAIC、WBIC をフォローしており、それらを適用するに当たっては、特異領域を用いた学習法をサンプリング法として用いるのが最も望ましいと考えており、本研究の中で研究する。

2. 研究の目的

代表者は、多層パーセプトロンの特異領域を利用してその良解を系統的に求める学習法の研究を進め、実と複素の一連の SSF 法を開発してきた。特異領域を利用した探索法は多層パーセプトロン以外の特異モデルにも適用可能である。そうした成果を踏まえて、本研究の目的を以下とする。

(1) 実と複素の多層ニューラルネットの深層モデルを対象として、特異領域を利用する学習法のアイデアを基に、新しい深層学習法を実現する。

(2) 特異領域を用いた学習法をサンプリング法として用いたモデル選択法を研究するとともに、特異領域を利用した深層学習法の新しい応用を開拓する。

3. 研究の方法

研究の方法として以下の研究項目に分解して研究を進める。なお、本研究では、深層モデルとして、入力層、出力層の他に、複数の動作モードを可能にするための振り分け層を間に挟んだ 4 層のモデルをベースに考える。

(1) 特異領域を利用して実の深層学習法を実現する研究

(2) 特異領域を利用して複素の深層学習法を実現する研究

(3) 上記の深層学習法をサンプリング法とするモデル選択法の研究

(4) 上記の深層学習法を適用して深層学習の新しい応用を開拓する研究

4. 研究成果

(1) 特異領域を利用して実の深層学習法を実現する研究：データが複数の生成源から来ているとき、モデルの切り分けが必要となり、本研究で想定した深層モデルの深層学習は混合回帰に繋がる。そこで、2016 年度は混合回帰の基本方式を模索し、ハード混合よりも連続的で自然な解が得られるソフト混合を採用した上で、基本解法とし

て EM アルゴリズムを利用する方針を策定した。2017 年度は混合線形回帰の解法を考案して実装し有効性を確認して、国際会議 ICAIA2018 で発表した（学会発表 ）。2018 年度は線形回帰を非線形回帰に拡張して、強い適合力を持つ多層パーセプトロン (MLP) から成る混合 MLP 回帰の解法を考案して実装し有効性を確認して、国際会議 ICPRAM2019 で発表した（学会発表 ）。

(2) 特異領域を利用して複素の深層学習法を実現する研究：複素 MLP において、周期性と非有界性を有する複素シグモイド関数を採用して、複雑な周期関数の近似を目指した。2016 年度は優れた解品質と高速学習を実現する複素 MLP 学習法 C-SSF1.3 の開発を完成し（学会発表 ）、カオス時系列予測に適用し良好な結果を得て国際会議 IJCNN2016 で発表した（学会発表 ）。さらに、多様なデータを用いた実験を行い、従来解法に比べて C-SSF1.3 の有意な優位性を確認したので、その成果を信学論に投稿し採録され（雑誌論文 ）、国際会議 IJCCI2017 で発表した（学会発表 ）。

(3) 深層モデル選択法の研究：MLP のような特異モデルのモデル選択に近年 WAIC と WBIC が提案された。それらを利用するにはサンプリング法（図書 ）が有力であり、実 MLP 学習法 SSF1.4 を MCMC (Markov Chain Monte Carlo) サンプリング法として用いた実験を続け、他のモデル選択法に比べて、WAIC と WBIC が安定して優れた結果を出したので、国際会議 ICPRAM2017 で発表した（学会発表 ）、最優秀論文賞を受賞。

(4) 深層学習の新しい応用を開拓する課題：新応用として長期予測が至難とされるカオス軌道予測を取り上げて研究を進めた（学会発表 ）。カオスの軌道予測では精度劣化が驚くほど急速に拡大するので、学習法には、高精度予測を実現するだけでなく、入力誤差に対するロバスト性が強く要求される。その特性を有すると目される RBF ネットに着目し、そのモデルに SSF 原理を適用して RBF-SSF 法を開発し（学会発表 ）、良好な結果を得たので国際会議 ICAISC2018 で発表した（学会発表 ）。さらに、解品質の良好性を保持しつつ最大 3.6 倍の高速化を実現する RBF-SSF-pH を開発したので、国際会議 ICPRAM2019 で発表した（学会発表 ）。

(5) 今後の課題：

画像認識を始めとする多くの応用において有効とされている深層学習の最終調整の処理フェーズに、SSF 原理を適用して認識精度をさらに向上させる方式の研究

混合回帰モデルを始めとする混合モデルに SSF 原理を適用する際には、数多くのモデル拡張ルートが存在するので、その中から良い候補を適切に絞り込んで最良モデルを見つける方式の研究

実や複素の多層パーセプトロンや RBF ネットモデルにおいて、特異領域からの降下ルートは実験的には例外なく存在したが、降下ルートが存在することを理論的に保証する SSF 原理の理論面の研究

5. 主な発表論文等

<雑誌論文>（計 1 件）

佐藤聖也, 中野良平, 複素多層パーセプトロンの性能と学習法に関する実験評価, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol. J100-D, No. 6, pp. 649-660, 2017.

DOI: 10.14923/transinfj.2016JDP7109

<学会発表>（計 13 件）

Ryohei Nakano, Seiya Satoh, Mixture of multilayer perceptron regressions, 8th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods (ICPRAM 2019),

pp. 509-516, 2019.

Seiya Satoh, Ryohei Nakano, Faster RBF network learning utilizing singular regions, 8th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods (ICPRAM 2019), pp. 501-508, 2019.

Seiya Satoh, Ryohei Nakano, A new method for learning RBF networks by utilizing singular regions, 17th International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing (ICAISC 2018), pp. 214-225, 2018.

Ryohei Nakano, Seiya Satoh, Weak dependence on initialization in mixture of linear regressions, International Conference on Artificial Intelligence and Applications (ICAIA 2018), pp. 1-6, 2018.

Seiya Satoh, Ryohei Nakano, Performance of complex-valued multilayer perceptrons largely depends on learning methods, 9th International Joint Conference on Computational Intelligence (IJCCI 2017), pp. 45-53, 2017.

佐藤聖也, 中野良平, 特異領域を利用した RBF ネットワーク新学習法, 電子情報通信学会技術研究報告 ニューロコンピューティング(NC)研究会, NC2017-41, pp. 7-12, 2017.

佐藤聖也, 中野良平, 特異領域を利用した RBF ネットワーク探索法, 第 15 回情報学ワークショップ (WiNF 2017), PB-01, 2017.

小島久幸, 中野良平, 特異階段追跡法を用いたカオス二重振り子の軌道予測, 第 15 回情報学ワークショップ (WiNF 2017), PB-02, 2017.

Seiya Satoh, Ryohei Nakano, How new information criteria WAIC and WBIC worked for MLP model selection, 6th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods (ICPRAM 2017), 査読有, pp. 105-111, 2017. (ICPRAM 2017 Best Paper Award 受賞)

佐藤聖也, 中野良平, 複素多層パーセプトロンの学習法と非線形性に関する実験評価, 第 14 回情報学ワークショップ (WiNF 2016), C-37, 2016.

小島久幸, 中野良平, 多層パーセプトロンを用いたカオス二重振り子の軌道予測, 第 14 回情報学ワークショップ (WiNF 2016), C-38, 2016.

佐藤聖也, 中野良平, 複素特異階段追跡法の解品質と計算時間の実験評価, 第 9 回コンピューテーショナル・インテリジェンス(CI)研究会, pp. 1-7, 2016.

Seiya Satoh, Ryohei Nakano, How complex-valued multilayer perceptron can predict the behavior of deterministic chaos, International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), pp. 4118-4124, 2016.

<図書> (計 1 件)

中野良平, 確率的探索法, 人工知能学会編"人工知能学大事典", 共立出版, pp.23-24, 2017 年 7 月, ISBN978-4-320-12420-2

<その他>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし