

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11992

研究課題名（和文）Reservoir Self Organizing Mapとその応用

研究課題名（英文）Reservoir Self Organizing Map and Its Application

研究代表者

堂 蘭 浩（Dozono, Hiroshi）

佐賀大学・理工学部・准教授

研究者番号：00217613

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、計算量の少ない時系列処理手法であるReservoir Computingの性能向上のために、自己組織化マップを用いて状態分類を行い、各状態について出力行列を学習させるアルゴリズムを開発した。また、そのアルゴリズムの有効性を、実験により確認し、従来のReservoir Computingでは大きく性能低下が見られる、教師入力なしの状態（学習終了後）においても、時系列の予測が可能となった。また、本アルゴリズムを、KDDCUP2021、2022のデータに対して適用し、その効果を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年IoT機器の普及により、様々なデータが収集され、その解析や応用が行われているが、従来のAIの手法を用いて大規模な時系列データの処理を行うにはIoT機器は計算能力が低く、また、ネットワークを用いてクラウドで処理するのにも、データ通信量が大きくなり、そのための電力消費が大きい、そこで、IoT機器などでも実行可能な、軽量で性能が良い時系列処理手法が求められ、その一つがReservoir Computing(RC)である、本研究課題では、自己組織化マップとRCを組み合わせたReservoir自己組織化マップを開発し、その有効性を実験により確認した。

研究成果の概要（英文）：To improve the performance of Reservoir Computing, a computationally inexpensive time series processing method, we developed an algorithm that classifies states using self-organizing maps and learns an output matrix for each state. The effectiveness of the algorithm was verified through experiments, and the algorithm was able to predict time series even in the unsupervised state (after learning), where the performance of conventional Reservoir Computing is significantly degraded. The effectiveness of this algorithm was also confirmed by applying it to the KDDCUP 2021 and 2022 data.

研究分野：ソフトコンピューティング

キーワード：時系列処理 自己組織化マップ IoT機器

1. 研究開始当初の背景

近年、第4次産業革命とも呼ばれている空前の AI ブームとなっている。その中で数多く使われている手法が深層学習 (Deep Learning; 以降 DP と略) である。DP は 1990 年代に発展した階層型ニューラルネットの発展形である。1990 年代のニューラルネットブームにおいては、3 層から 4 層の浅いニューラルネットが主に使われ、家電製品や自動車など多くの機器に応用された。当時のそのようなアプリケーションにおいては、浅い階層のニューラルネットでも十分な能力があったが、現在 DL が適用されているような高度な推論が必要な分野においては能力が不足していた。当時より、階層を増やすことで能力を向上させる可能性は指摘されていたが、学習アルゴリズムやコンピュータの計算能力の問題により、深いネットワークを効率よく学習させることは難しかった。

2000 年代に入り、学習アルゴリズムの改良やコンピュータの処理能力の向上、GPU コンピューティングなどの新しいコンピューティングパラダイムの開発などにより、深い層のニューラルネットワークが効率よく学習できるようになり、DL の応用が進んだ。ネットワークの規模は 100 層以上となり、各層のニューロン数も数千から数万となり、実際に学習を行う層間の重みも数百万と膨大な数となった。この膨大な数の重みを効率よく学習させるためには、学習アルゴリズムの改良も重要であるが、コンピュータの計算能力が重要である。先に述べた GPU コンピューティングなどの応用はもちろんであるが、そのようなコンピュータを複数用いたクラスターやスーパーコンピュータが学習に必要となる。また、一般的な階層型ネットワークは静的なデータを学習するように設計されているが、時系列データなどの動的なデータを学習するように拡張を行うことも可能である。しかし、動的データの学習はアルゴリズムが複雑になり、さらに計算量が増えることになる。

これらの問題に対し、別のタイプのニューラルネットワークとして Reservoir Computing (以下 RC と略) という手法が提案された。RC は図 1 のような構造を用いており、入力層とレザーバ層と出力層からなる。レザーバ層は大量のニューロンが相互接続したネットワークとなっており、層内の結合も許されているため、時系列などの動的なデータも処理することができる。RC の特徴は、入力層の重み、レザーバ層の重みは初期化時にランダムに与えて、学習は行わず、出力層の重みのみを学習させるという点である。DL と比較すると調整可能な重みの数が少ないため、計算量としては大幅に削減され、特別なコンピュータでなくても実装可能であると考えられるが、学習がうまく行われるのかが憂慮される。この点に関しては、以前から研究は行われていたが、まだ研究段階にあるニューラルネットワークであり、申請者が今年度参加したニューラルネットワークの国際会議である ICANN2019 にて、第 1 回の Workshop が開催され、IEEE (米国電気学会) の Computational Intelligence Society に最近 Reservoir Computing の Task Force が開設された段階であった。

また、本研究室では従来から自己組織化マップと呼ばれる、入力情報を 2 次元のマップ上に教師なし学習でクラスタリングを行う手法について研究を進めており、さまざまな分野への応用を進めてきた。

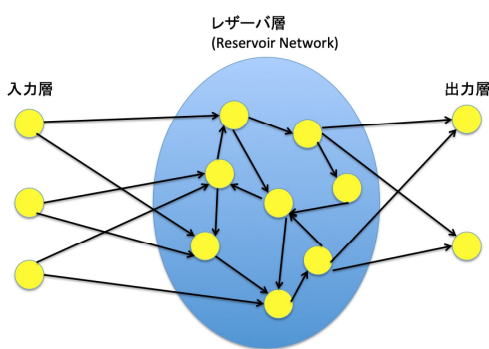


図 1 Reservoir Computing

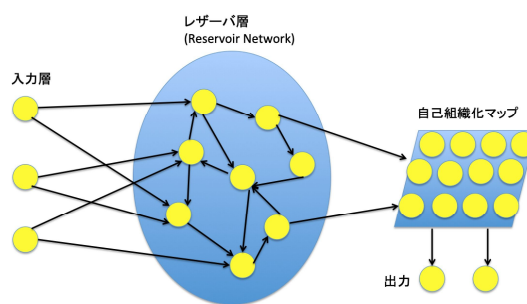


図 2 Reservoir Self Organizing Map

2. 研究の目的

本研究の目的は Reservoir Computing と自己組織化マップのアルゴリズムを組み合わせセルコトで、時系列処理における Reservoir Computing の性能の向上を図り、Deep Learning などを用いた手法に比べて、少ない計算量で、高性能な時系列処理手法を開発することである。

3. 研究の方法

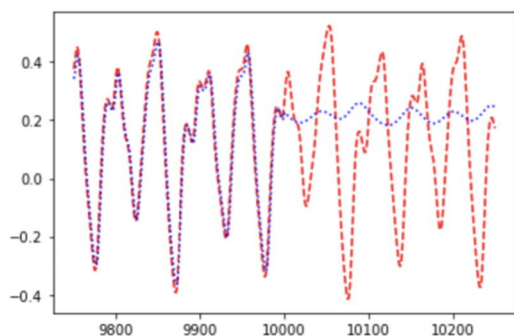
申請者も学会から帰国後に Reservoir Computing のプログラムを作成し実験を行った。その際最大の問題となったのが、Reservoir 層の設定である。基本的にはランダムな重みのネットワークで設定するが、ランダムな重みで変換された出力データの特性が不明である。この解析を行うために、

Reservoir 層の出力を出力層の代わりに自己組織化マップ (Self Organizing Map:以下 SOM と略) 図2のタイプの Reservoir Self Organizing Map(以下、R-SOM と略) を用いる。SOM は1990年代から使われている単層のニューラルネットで、入力データ間の関連性を出力のマップ(通常は2次元平面)に人間がわかりやすいように可視化することができる。この際、類似性の高いものほど近くに配置されるため、入力データのクラスタリングを行うことが可能となる。本研究ではリザーバ層の出力を SOM の入力とすることで、リザーバに入力されたデータがどのように変換されているかを SOM を用いて解析することが可能となる。また、実用面においては、時系列などの動的なデータをリザーバの出力に変換し、自己組織化マップを用いて解析を行えるようにできることになる。

また、2つ目の問題として、Reservoir 層の表現能力の問題がある。Reservoir 層はランダムに設定されるため、時系列データなど複雑なデータを学習する際は、リザーバ層を大きく取らないと、そのデータを表現可能なネットワークがリザーバ層に存在しないことがあると考えられる。そこで複数のリザーバを用意して最もよく表現しているリザーバ層を用いて学習を行う方法が考えられる。この際、複数のリザーバ-SOM を出力層において統合し学習を行うことで、自動的に適切なリザーバを使用するように学習されると考えられる。また、これまで SOM や HMM-SOM の研究で用いてきた 為替データなどを用いて、R-SOM とこれまでの手法の性能を比較する。さらに実世界データとして教育分野のデータおよび福祉分野のデータへの適用を考えている。

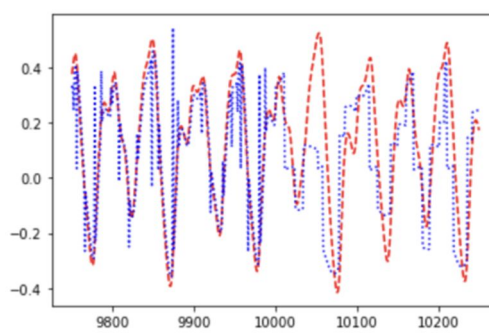
4. 研究成果

まず、Reservoir Self Organizing Map のアルゴリズム開発を進め、その有効性をさまざま時系列予測により確認した。図2に示す構造の Reservoir Self Organizing Map(以後 R-SOM と略)のアルゴリズムを開発し、出力ネットワークの学習法を変更しながら、さまざまな時系列について実験を行った。Reservoir Computing は基本的にはオンラインで学習を行いながら、時系列予測を行うものであるが、学習に必要な教師信号を用いないと、図1のように、教師信号が与えられなくなった10000ステップ以降は予測結果は大きく悪化する。R-SOM を用いることで、各状態毎に出力重みが適切に切り替えられるようになり、予測性能が向上することが確認できた。また、出力ネットワークの学習法を、Reservoir Computing で一般的に用いられているリッジ回帰から、階層ネットワークの学習に通常用いられている最急降下法に変更することで、図3のようにさらに性能が向上され、リッジ回帰が必要とされる逆行列の計算が不要になるため、計算時間も大幅に改善されることがわかった。ただ、最急降下法にすることで、出力ネットワークの更新の速応性は悪くなるが、数100ステップで学習されていることから、大きな問題にはならないと考えられる。



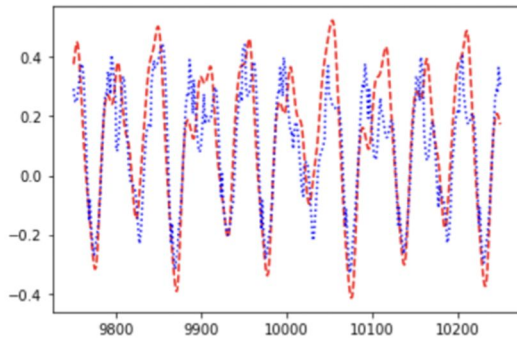
mse(Train)= 0.0007263253955432046
mse(Test)= 0.030593648285778624

図1 Reservoir Computing の結果
Mackey Glass 5 step 後の予測



mse(Train)= 0.0018492372823943593
mse(Test)= 0.016151054197405378

図2 R-SOM の結果



mse(Train)= 0.008310699913087473
 mse(Test)= 0.009398661562667119

図3 最急降下法を用いた R-SOM の結果

	RC	R-SOM(RR)	R-SOM(GD)
time[s]	3.745	4.025	0.952

表1 計算時間の比較

より実用的な時系列の応用として、データサイエンスの国際学会 KDD で行われている競技会、KDDCUP で用いられた時系列への適用を行った、まず、KDDCUP2021 で用いられた、マルチモーダルな時系列の異常検知問題への適用を行った、手法としては、正常値の部分を用いて R-SOM を 5~10 ステップ先を予測する R-SOM を学習させ、異常値を含む部分で同様に予測を行うことで、異常値の部分が予測信号と大きく異なる波形になることを利用した。

図4, 図5に KDDCUP で用いられたデータに対する実験結果を示す。入力波形(赤)と予測波形(青)が異常部分で大きく異なっており、異常検出が可能であると考えられる。

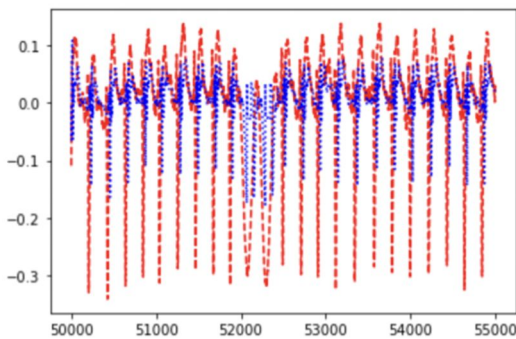


図4 KDDCUP2021 の実験例 1

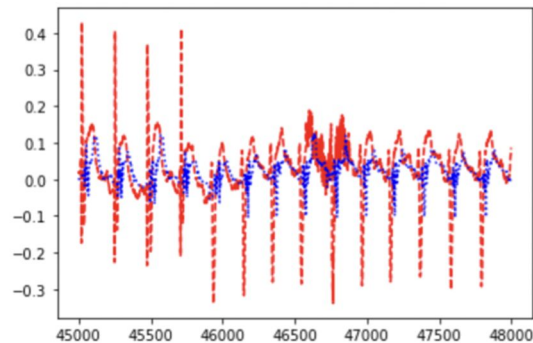


図5 KDDCUP2022 の実験例

以上は既発表であるが、その後、KDDCUP2022 で用いられた風力発電所の発電電力予測について取り組んでいる。この問題はある地域に配置された 134 基の風力発電所の 2 週間分の発電量、気象情報、発電機の機器情報などを用いて、引き続き 2 日分の 134 基それぞれの発電量を予測するものである。通常の方法では、発電機 1 基毎に LSTM などの手法を用いて学習し、予測を行うものが一般的であり、LSTM 自体が計算量が多いため、多くの計算量を必要とする。

そこで R-SOM を用いて、134 基分の発電データ、気象情報などを入力とし、2 週間後の発電量を 1 日毎に逐次予測する手法について実験を行った。図6、図7に、発電機番号 1 の学習期間の最後の 2 日間の実発電量と予測結果、及び、学習終了後の発電量と予測結果を示す。

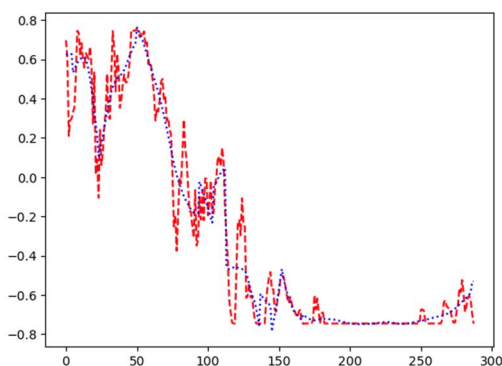


図6 KDDCUP2022 の実験結果 (学習期間)

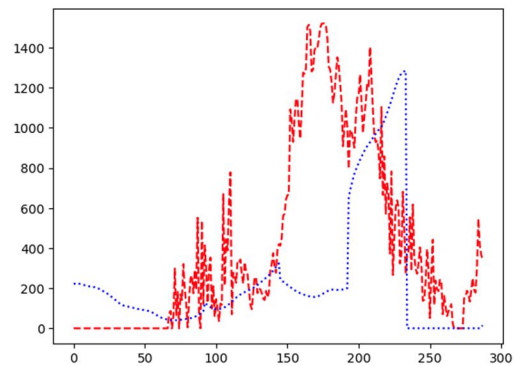


図7 KDDCUP2022 の実験結果 (未学習期間)

学習期間についてはよく追従しており、未学習期間については追従性が悪いように見えるが、KDDCUP2022 で定義された score では 42 となっており、45 以下が求められているため、ある程

度予測できていると考えられる。ただ、140組用意された実験データ全体に対して行くと、リザーバネットワークを生成する際の乱数と実験データに対するバラツキが大きく、スコアが15-70と安定しないため、全体の平均では49程度となり、今回の優勝スコアである44.5には及ばなかった。現在も研究を継続中である。

また、今回の自己組織化マップの応用分野である状態の分類については、球面 SOM が有用であることがわかっている。そのため、球面 SOM 自体に関する研究も本研究期間に進めた。特に木構造球面 SOM については、球面 SOM の勝者ノード探索の高速化に有効であることがわかった。

研究申請書にあげた応用例の、読唇システムについては、本研究の申請後コロナ禍により、マスクをつける生活が日常になり、唇自体が見えなくなり意味がなくなったために行わないことにした。その代わりに、オンライン授業などのビデオ動画が、聴覚障がい者には聞き取りが行いにくいということで、音声から唇動画を生成する手法について研究を行った。最初は R-SOM を用いる予定であったが、AI の普及により、簡単に音声から文字起こしができるようになり、その文字から唇動画を生成する方が有効であるため、R-SOM の応用は行わなかった。また、同じく学生のノート解析システムを応用例としていたが、コロナ禍のため最終年度まで学生を使った実験が行えなかったため、科研費自体を1年延長する予定であったが、申請者が延長の手続き期間を知らなかったため、延長の手続きが行えず、本件については科研費終了後に手持ちの機器などを用いて実験を進める予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hiroshi Dozono, Kenta Toyozumi, Koki Yoshioka, and Gen Niina	4. 巻 217
2. 論文標題 The Visualization System of Image Search Base on Convolutional Spherical Self Organizing Map Implemented Using WebGL	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of Sixth International Congress on Information and Communication Technology, Lecture Notes in Networks and Systems 217	6. 最初と最後の頁 493-502
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-981-16-2102-4_46	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Koki Yoshioka, Hiroshi Dozono	4. 巻 5/78
2. 論文標題 Spherical Tree-Structured SOM and Its Application to Hierarchical Clustering	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied system innovation	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/asi5040076	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Hiroshi Dozono
2. 発表標題 Reservoir Self Organizing Map
3. 学会等名 SCIS & ISIS 2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堂園 浩
2. 発表標題 リザーバ自己組織化マップとその応用
3. 学会等名 第38回 ファジィシステムシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Koki Yoshioka, Hiroshi Dozono, Gen Niina
2. 発表標題 Spherical Tree Structured Self-Organizing Map
3. 学会等名 ICMLC 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松尾隆平, 堂園 浩
2. 発表標題 Reservoir 自己組織化マップの改良及び検証
3. 学会等名 2021年 (第74回)電気情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堂園 浩
2. 発表標題 The Visualization System of Image Search Base on Convolutional Spherical Self Organizing Map Implemented using WebGL
3. 学会等名 7th International Congress on Information and Communication Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	中國 真教 (Nakakuni Masanori) (10347049)	福岡大学・公私立大学の部局等・准教授 (37111)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------