

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00333

研究課題名(和文)ビッグデータからルールを抽出する多元数ニューロファジィ・クラシファイヤーの構築

研究課題名(英文)Multi-Valued Neuro-Fuzzy Classifier for Extracting Rules from Real-World Data

研究代表者

村瀬 一之(Murase, Kazuyuki)

福井大学・学術研究院工学系部門・教授

研究者番号：40174289

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：ある写真に何が写っているかをコンピュータが判断したときに、どういう理由でそう判定されたのか知ることは極めて重要である。ニューロファジィではルールと呼ばれる判断規則の組み合わせで最終判断が下される。逆に与えられたお手本からルールを決定していく方法がニューロファジィ学習アルゴリズムである。しかしながら、従来の方法では非常に多くのルールが生成されてしまい理解に苦しむことになる。そこで本研究では、複素数や4元数を利用して、ルールやパラメータ数を減らす方法を開発した。その結果、実数の場合に比べて極めて少ないパラメータ数で高精度・高速度で学習できた。これによりルールの意味づけが容易になったと言える。

研究成果の概要(英文)：When computer tells you what the object is in a photograph, it is essential to know how and why the computer determined it. In the Neuro-Fuzzy, the decision is made with a combination of rules. In Neuro-Fuzzy learning algorithm, in contrast, the rules are generated from a training set of the given data. With the conventional methods, however, a large number of rules are generated and it is hard to understand. In this study, by using complex numbers and quaternions, new algorithms were proposed to reduce the total number of parameters to be determined during training. In real-world benchmark data, the multi-valued versions of Neuro-Fuzzy with reduced number of parameters converged much faster exhibiting equivalent or better accuracy than the real-valued counterpart. Understanding rules will be thus easier for given problems.

研究分野：ソフトコンピューティング

キーワード：ニューロファジィ 多元数 クラス分類 関数近似 深層学習 オートエンコーダー 畳み込みニューラルネットワーク

1. 研究開始当初の背景

(1)ビッグデータからルールを抽出する必要性

近年、あらゆる分野でデータが広く収集・蓄積され、ビッグデータを用いたモデル構築やパラメータ抽出、最適化などの必要性が高まり、種々の手法が盛んに試みられている。機械学習や人工進化などの計算アルゴリズム、クラスタやグリッドといった並列計算法などの観点からの研究も急速に進展しているが、計算速度や精度向上と共に如何にルールを抽出するかが課題である。これが可能になると、医療情報からの自動診断などにも If-Then ルールが得られて有効である。

(2)従来のニューロファジィ学習アルゴリズムの問題点

一方、ファジィ規則の自動生成あるいは微調整を行う方法としてニューロファジィ学習法がよく知られているが、最急降下法によるガウス基底型メンバーシップ関数を用いたニューロファジィ学習アルゴリズムでは、入力数の増加とともに、チューニングされるパラメータ数が膨大になるため、ファジィ規則表による表現が困難になり、計算（学習）時間が増加し、精度が低下する。

(3)枝刈（Pruning）法と構成（Constructive）法による最適ルール数決定

ニューラルネットワークでは不要な結合を削除する枝刈法や、必要な結合を追加していく構成法が広く知られているが、ニューロファジィではそれに類するルール数最適化法に関する決定的な報告はない。我々は、ニューラルネットワークあるいは集合ニューラルネットワークにおいて、枝刈法（IEICE Trans Info Syst E88D(10)2399-2490, E89D(3)1257-1269,2006）構成法（IEEE Trans NN 14(4)820-834,2003; IEEE Trans SMC B 39(6)1590-1605,2009）適応的増減法（IEEE Trans SMC B 39(3)705-722,2009）Bagging & Boosting 法（IEEE Trans SMC B 38(3)771-784,2008）などを開発してきた。

(4)多元数ニューロファジィ学習アルゴリズム

我々は、複素数ニューラルネットワークの誤差逆伝播学習アルゴリズム（Neurocomputing 72:945-955, 2009）複素ニューラルネットワーク集合（Neurocomputing 72:2227-2234, 2009）学習則（Neural Networks 32:257-266, 2012; Complex-Valued Neural Networks (A Hirose ed.) pp.75-102 Wiley-IEEE Press, 2013）を公表し、被引用数も多く、特にその実用性で高い評価を得ている。

我々は、同様の学習則で、複素および4元数ニューロファジィについて、ガウス基底型メンバーシップ関数からなるファジィ規則とパラメータをチューニングするアルゴリ

ズムを導出し、良好な関数近似を得た（IWACIII2013 GS1-3 最優秀論文賞受賞; RVSP2013 SA4-01; Neurocomputing submitted）最近、4元数ニューロファジィでクラス分類を行う予備実験にも成功した（SCIS&ISIS2014 in press）

(5)ビッグデータのための多元数ニューロファジィ・ルールベース・クラシファイヤー

本研究では、我々が提案する手法をクラス分類問題にも適用できるように改変するとともに、ルール数の最適化アルゴリズムを開発する。そして、実データで検証を行い、特にインバランスなビッグデータのための多元数ニューロファジィ・ルールベース・クラシファイヤーを構築する。

2. 研究の目的

1990年代に提案され種々の改良などが行われてきたニューロファジィ学習法では、入力数などに応じてルール数が爆発的に増大してしまい、計算（学習）時間が増加したり精度が低下する。我々はこれまでに収束が速く精度の高い複素および4元数への拡張した誤差逆伝播学習法を提案し関数近似問題で良好な結果を得た。そこで本研究では、実データを用いた数値実験などにより、多元数ニューロファジィでクラシファイヤーが構築できるのか、多数例（Majority）に対する少数例（Minority）の比が小さいインバランスなビッグデータなどからのルール抽出ができるのか、得られたファジィルールから有意義な IF THEN ルールが得られるのか、にチャレンジする。

これにより、ビッグデータからのルール抽出と、飛躍的な計算時間短縮や精度向上に貢献する。

3. 研究の方法

ビッグデータのための多元数ニューロファジィ・ルールベース・クラシファイヤーの構築を目指し、(1)クラス分類に適した多元数ニューロファジィのルール数最適化を含む学習法の確立する：既に提案している複素と4元数ニューロファジィ学習アルゴリズムを基に、ルール数最適化を加え、クラス分類用の8元と16元のを構築する。(2)インバランスなビッグデータを用いた数値実験による実証を行う：実データをベンチマークとして用い、入力数増加に対する構造、計算速度、精度、ルール抽出の適格性について比較評価を行う。(3)ファジィルールからの有意義な IF-THEN ルールの抽出を試み、最適な構造と学習法を見出す：チェーン推定問題やローン承認問題などのインバランスなビッグデータにも有効であることを確認し、ビッグデータのための新たなルールベース・クラシファイヤーを提案する。

4. 研究成果

(1) 複素および4元数ニューロファジィ学習アルゴリズムの確立

我々は複素ニューロファジィにおいて誤差逆伝播型学習アルゴリズムによる学習法を提案し、その論文は日本知能情報ファジィ学会 2015 年度論文賞を受賞している(Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics, Vol. 27, No. 1, pp.533-548)。

本研究ではそれを4元数に拡張し、その性能を種々のクラス分類と関数近似ベンチマークで検証した。その結果、実数あるいは複素数ニューロファジィでは収束しなかった問題でも収束し、決定すべきパラメータ数も少ないことから計算時間も大幅に短縮された。この成果は Neurocomputing 誌に採録された〔雑誌論文〕。

(2) 簡略化多元数ニューロファジィ学習アルゴリズムの開発

決定すべきパラメータ数(ルール数)を減らすと、学習が収束し学習時間も短縮できる。そこで、複素および4元数ニューロファジィにおいて、不要と考えられるものを予め削除した構造を考案し、その性能を種々のクラス分類ベンチマークで検証した。その結果、誤差を低く保ったまま計算速度や収束性を大幅に改善できた。その成果は論文誌に採録された〔雑誌論文〕。

(3) 多元数を用いた深層学習の開発

ニューロファジィのオルタネティブとして当初から提案していた、深層学習の多元数化についても検討した。

まず、オートエンコーダーを用いたクラス分類について、オートエンコーダーを複素あるいは4元数化する方法を提案し、クラス分類問題でその性能を検証した。その結果、はるかに少ない素子数で高速に収束することが明らかになった。また、クラスの特徴も抽出できた。その成果を論文誌〔雑誌論文〕と国際学会〔学会発表〕で発表した。

また、多元数畳み込みニューラルネットワークを開発した。すなわち、複素および4元数の誤差逆伝播学習アルゴリズムを開発し、クラス分類問題で評価し良好な結果を得た〔2017年度福井大学修士論文・小南佑樹〕。

(4) その他の関連する研究成果

ファジィ規則の適応的獲得法の開発：ファジィ規則の意味を理解する方法の一つとして、ルールを適応的に獲得させる方法についても検討し、実世界問題での有効性を検討した。その成果は論文誌に採録された〔雑誌論文〕。

複素ニューラルネットワークの応用：複素ニューラルネットワークによるクラス分類

として2次元骨格パタンの分類を試み良好な結果を得た〔雑誌論文〕。また、ビッグデータを対象とするオンラインクラシファイヤーの構築も試みた〔学会発表〕。

さらに、最適化手法についても検討した〔雑誌論文〕。

(5) 結言

本研究では、複素および4元数をニューロファジィ学習アルゴリズムの導入することにより構造の単純化やパラメータ数の削減を図り、また構造を見直すことによりさらに単純化できることを示し、実世界ベンチマークで収束性が高まり高速化も図れることを示した。実数による従来法に比べ、構造は単純化されルール数も激減していることから、本研究の最終目的としていたルールの抽出あるいはルールの理解に一歩近づいたと言える。今後は、この縮約されたパラメータに、問題それぞれの目的に沿って、どのように意味付けするかの方法論を検討する必要があると思われる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計11件)

Zahrul Jannat Peaya, M. A. H. Akhand, and Kazuyuki Murase (2018) Capacitated Vehicle Routing Problem Solving through Adaptive Sweep based Clustering plus Swarm Intelligence based Route Optimization, *Oriental Journal of Computer Science and Technology*, in press (査読有)

Pintu Chandra Shill, Animesh Kumar Paul, and Kazuyuki Murase (2018) Adaptive Fuzzy Logic Controllers Using Hybrid Genetic Algorithms, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, in press (査読有)

Ryusuke Hata, M. A. H. Akhand, Md. Monirul Islam and Kazuyuki Murase (2018) Simplified Real-, Complex-, and Quaternion-Valued Neuro-Fuzzy Learning Algorithms *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, Vol. 10, No.5, pp.1-13, doi: 10.5815/ijisa.2018.05.01 (査読有)

Sudipta Singha Roy, SK. Imran Hossain, M. A. H. Akhand, and Kazuyuki Murase (2018) A Robust System for Noisy Image Classification Combining Denoising Autoencoder and Convolutional Neural Network, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol.9, No.1, pp.224-235,

doi:10.14569/IJACSA.2018.090131 (査読有)

M. A. H. Akhand, Zahurul Jannat Peaya and Kazuyuki Murase (2017) Capacitated Vehicle Routing Problem Solving Using Adaptive Sweep and Velocity Tentative PSO, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 8, No. 12, pp.288-295, doi: 10.14569/IJACSA.2017.081237 (査読有)

Ryusuke Hata, M. A. H. Akhand and Kazuyuki Murase (2017) Multi-Valued Autoencoders and Classification of Large-Scale Multi-Class Problem, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 8, No. 11, pp.19-26, doi: 10.14569/IJACSA.2017.081103 (査読有)

Animesh Kumar Paul, Pintu Chandra Shill, Md. Rafiqul Islam Rabin, and Kazuyuki Murase (2017) Adaptive weighted Fuzzy Rule-based System for the Risk Level Assessment of Heart Disease, *Applied Intelligence*, Springer, 18 pages, doi: 10.1007/s10489-017-1037-6 (査読有)

Ryusuke Hata, Md. Monirul Islam, and Kazuyuki Murase (2016) Quaternion Neuro-fuzzy Learning Algorithm for Generation of Fuzzy Rules, *Neurocomputing*, Vol.216, Issue C, pp.638-648, doi: 10.1016/j.neucom.2016.08.022 (査読有)

M. A. H. Akhand, R. N. Nandi, S. M. Amran, and K. Murase (2015) Gene Regulatory Network Inference Using Maximal Information Coefficient, *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, Vol. 5, No. 5, pp.296-310, doi: 10.17706/ijbbb.2015.5.5.296-310 (査読有)

Abdul Rahman Hafiz, Al-Nuaimi Ahmed Yarub, Md Faijul Amin, and Kazuyuki Murase (2015) Classification of Skeletal Wireframe Representation of Hand Gesture using Complex-Valued Neural Network, *Neural Processing Letters*, Vol. 42, Issue 3, pp.649-664, doi: 10.1007/s11063-014-9379-0 (査読有)

Proteek Chandan Roy, Md. Monirul Islam, Kazuyuki Murase, and Xin Yao (2015) Evolutionary Path Control Strategy for Solving Many-Objective Optimization Problem, *IEEE Transactions on Cybernetics*, Vol. 45, No. 4, pp.702-715, doi:10.1109/TCYB.2014.2334632 (査読有)

[学会発表](計 7件)

Yuki kominami, Hideaki Ogawa, and Kazuyuki Murase (2017) Convolutional Neural Networks with Multi-valued Neurons, Proceedings of the 2017 International Joint Conference on Neural Networks (*IJCNN 2017*), Anchorage, Akaska, USA, May 14-19, 2017, pp.2673-2678, doi: 10.1109/IJCNN.2017.7966183 (査読有)

M. A. H. Akhand, Sk. Imran Hossain, Md. Fossil Habib, and Kazuyuki Murase (2016) Restriction site placement in virus genomes using Particle Swarm Optimization, Proceedings of 2016 The 1st International Conference on Medical Engineering, Health Informatics and Technology (*MediTec2016*), Dhaka, Bangladesh, December 17-18, 2016, pp.1-6, doi: 10.1109/MEDITEC.2016.7835367 (査読有)

Kentaro Matsuda and Kazuyuki Murase (2016) Single-layered Complex-valued Neural Network with SMOTE for Imbalanced Data Classification, Proceedings of the Joint 8th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 17th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (*SCIS&ISIS 2016*), Sapporo, Hokkaido, Japan, August25-28, 2016, pp.349-354, doi:10.1109/SCIS&ISIS.2016.190 (査読有)

Muhammad Ilias Amin and Kazuyuki Murase (2016) Link Prediction in Scientists Collaboration with Author Name and Affiliation, Proceedings of the Joint 8th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 17th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (*SCIS&ISIS 2016*), Sapporo, Hokkaido, Japan, August25-28, 2016, pp.233-238, doi: 10.1109/SCIS&ISIS.2016.151 (査読有)

Ryusuke Hata and Kazuyuki Murase (2016) Multi-valued Autoencoders for Multi-valued Neural Networks, Proceedings of 2016 International Joint Conference on Neural Networks (*IJCNN2016*), IEEE World Congress on Computational Intelligence (*WCCI2016*), Vancouver Canada, July 24-29, 2016, pp.4412-4417, doi: 10.1109/IJCNN.2016.7727776 (査読有)

Masaya Ishikawa and Kazuyuki Murase (2016) Complex-valued Online Classifier, Proceedings of 2016 International Joint Conference on Neural Networks (*IJCNN2016*), IEEE World Congress on Computational Intelligence (*WCCI2016*), Vancouver Canada, July 24-29, 2016, pp.4431-4437, doi: 10.1109/IJCNN.2016.7727779 (査読有)

M. A. H. Akhand, R. N. Nandi, S. M. Amran and K. Murase (2015) A Context Likelihood of Relatedness with Maximal Information Coefficient for Gene Regulatory Network Inference, Proceedings of 18th International Conference on Computer and Information Technology (**ICCIT2015**), MIST, Dhaka, Bangladesh, December 21-23, 2015. Pp.312-316, doi: 10.1109/ICCITechn.2015.7488088, **The Winner of the Third Prize in the Best Paper Award Competition** (査読有)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www5.fctv.ne.jp/~murase/en/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村瀬 一之 (MURASE, Kazuyuki)

福井大学・学術研究院工学系部門・教授

研究者番号：40174289

(2) 研究協力者

畑 龍介 (HATA, Ryusuke)

福井大学・大学院工学研究科・博士後期課程、日本学術振興会 DC2

M. A. H. Akhand

Kuhlna University of Engineering and Technology, Professor

Pintu Chandra Shill

Kuhlna University of Engineering and Technology, Professor

Md. Monirul Islam

Bangladesh University of Engineering and Technology, Professor