

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25420452

研究課題名(和文) 利用しやすい構造を有する準線形サポートベクターマシンの構成と応用に関する研究

研究課題名(英文) Study on Quasi-Linear Support Vector Machine and Its Applications

研究代表者

古月 敬之 (FURUZUKI, TAKAYUKI (HU, JINGLU))

早稲田大学・理工学術院(情報生産システム研究科・センター)・教授

研究者番号：50294905

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、制御系設計などに利用しやすい構造を持つニューラルネットワークモデルを構築し、そのパラメータを推定するための体系的な学習法の確立を行った。具体的に、回帰または分類のための利用しやすい線形構造を有する準線形サポートベクターマシン(SVM)の構築およびそのオンライン学習法の開発を行い、スイッチングが適応制御法や高性能分類器の開発等への応用研究を行った。

研究成果の概要(英文)：In this research, a quasi-linear support vector machine (SVM) is proposed. The quasi-linear SVM, on one hand, can be seen as a nonlinear SVR model with easy-to-use structure; on the other hand, it is a nonlinear SVM with data-dependent kernel, which can be composed by using machine learning methods, kernel learning methods and even deep kernel learning methods. The quasi-linear SVM is applied to switching adaptive control and high-performance pattern recognition.

研究分野：工学・電気電子工学・制御・システム工学

キーワード：サポートベクターマシン ニューラルネットワーク 機械学習 適応制御 パターン認識

1. 研究開始当初の背景

実世界の多くのシステムは複雑な非線形特性を持っている。従来、このような複雑な非線形システムのモデルとして大脳・小脳をモデル化した人工ニューラルネットワークなどが提案されている。しかし、分類や予測・制御などの応用観点からみれば、ニューラルネットワークはブラックボックスモデルであり、パラメータ推定に工夫する必要だけでなく応用に利用しにくい問題点がある。

2. 研究の目的

制御系を容易にするための線形ネットワーク構造をニューラルネットワークに取り入れることにより準線形回帰モデルを構築する。また、そのパラメータを推定するための体系的な学習法を確立することを目指して、回帰または分類のための利用しやすい線形構造を有する準線形サポートベクターマシン(SVM)を構築する。準線形 SVM では、線形カーネルと非線形カーネルの間に調整できる準線形カーネルを持っており、機械学習により応用対象ごとに最適なるようにカーネルを自動的に合成する。さらに、これらの基本技術をベースにして、スイッチング適応制御および高性能分類器への応用展開を行う。

3. 研究の方法

まず、応用対象の物理法則などの数式で表せる先見情報や応用に望ましいネットワーク構造(例えば、制御系設計を容易にするための制御入力変数に関し線形なるようなネットワーク構造)という利用しやすい構造を Macro-Net として取り入れた利用しやすい準線形回帰モデルを構成する。次に、放射基底関数(RBF)を用いて準線形回帰モデルをマルチ局所的線形化し、SVM 学習法を適用することによって、線形カーネルと非線形カーネルの間に調整できる準線形カーネルを持つ準線形 SVM の構築を行う。さらに、機械学習技術を適用して準線形カーネルの合成法を開発し、準線形 SVM をスイッチング適応制御および高性能分類器への応用展開を行う。

4. 研究成果

研究の目的を達成するため、機械学習による準線形カーネルの合成を行う準線形 SVM の学習技術の開発、利用しやすい構造を有する準線形 SVM の構築技術の開発、準線形 SVM に基づいたスイッチング適応制御および高性能分類技術の開発を行い、当初の計画の通り、研究が順調に進展し、次の研究成果を上げている。

(1) 機械学習によるカーネルを合成する準線形サポートベクターマシン(SVM)を提案した。まず、準線形回帰モデリング法を活用し RBF ネットワーク補間による線形化し、これにより、Nonlinear-in-nature でありながら Linear-in-parameter である準線形モデルを構築する。次に、モデルにおける線形パラメータを従来の最小二乗法のかわりに SVM 学習法を適用することにより誤差最小化では

なくモデル構造リスクを最小化するように推定を行う。さらに、機械学習法で合成する準線形カーネルを導入して準線形 SVM を構築した。

(2) 機械学習法による準線形カーネルの合成法を開発した。Original Space の局所的線形性をベースにした情報で準線形カーネルを合成する場合、分界線に沿ってクラスタリングを行う必要があり、これを実現できるような改良型 K-means をベースにした準線形カーネル合成法を開発した； 複雑な入力空間に適用できるような Geometry-Based 分界線に沿った局所的線形情報を抽出する技術を開発し、それをベースにした準線形カーネルの自動合成技術を開発した； Original Space の局所的線形性を利用せず、Winner-Take-All ニューラルネットワーク学習による準線形カーネル合成技術を開発した。さらに、学習済み深層ニューラルネットワークから深層準線形カーネルの合成技術を検討した。これにより、準線形 SVM に基づいた分類器を画像識別問題に直接的に適用することができる。

(3) 準線形 SVM をベースにして、スイッチング適応制御および高性能分類器への応用展開を行った。準線形 SVM に基づいた改良型 SMOTE を提案し不均衡分類技術、改良型 Label-Spreading 法を提案し Semi-Supervised 分類などを開発した。準線形 SVM から線形予測器と非線形予測器を同時に構築し、安定性と高い制御精度を同時に実現するスイッチング適応制御を行い、リャプノフ安定性理論に基づいたスイッチング機構の構築技術を開発した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者には下線)

[雑誌論文](計 45 件)

- 01 W.Li, B.Zhou, B.Chen and J.Hu, "A Geometry-Based Two-step Method for Nonlinear Classification Using Quasi-Linear Support Vector Machine", *IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering*, 12(6), 2017. (査読付)
- 02 B.Zhou, W.Li and J.Hu, "A New Segmented Oversampling Method for Imbalanced Data Classification Using Quasi-Linear Support Vector Machine", *IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering*, 12(6), 2017. (査読付)
- 03 Z.Shi and J.Hu, "A Kernel Approach to Implementation of Local Linear Discriminant Analysis for Face Recognition", *IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering*, 12(1), 60-70, 2017. (査読付)
- 04 P.Liang, W.Li, D.Liu and J.Hu, "Large-Scale Image Classification

- Using Fast SVM with Deep Quasi-Linear Kernel", in *Proc. of 2017 IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'2017)* (Anchorage), May, 2017, pp.1064-1071. (査読付)
- 05 W.Li, B.Chen, B.Zhou and J.Hu, "A Mixture of Multiple Linear Classifiers with Sample Weight and Manifold Regularization", in *Proc. of 2017 IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'2017)* (Anchorage), May, 2017, pp.3747-3752.
- 06 W.Li and J.Hu, "A Multilayer Gated Bilinear Classifier: from Optimizing a Deep Rectified Network to a Support Vector Machine", in *Proc. of 2017 IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'2017)* (Anchorage), May, 2017, pp.140-146. (査読付)
- 07 W.Li, P.Liang, X.Yuan and J.Hu, "Non-Local Information for a Mixture of Multiple Linear Classifiers", in *Proc. of 2017 IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'2017)* (Anchorage), May, 2017, pp.3741-3746. (査読付)
- 08 W.Li, B.Zhou, B.Chen and J.Hu, "A Deep Neural Network Based Quasi-linear Kernel for Support Vector Machines", *IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, **E99-A**(12), 2558-2565, 2016. (査読付)
- 09 J.Zhang and J.Hu, "Surface Reconstruction of Renal Corpuscle from Microscope Renal Biopsy Image Sequence", *IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, **E99-A**(12), 2539-2546, 2016. (査読付)
- 10 I.Sutrisno, M.A.Jami'in, J.Hu, "A Self-Organizing Quasi-Linear ARX RBFN Model for Nonlinear Dynamical Systems Identification", *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*, **9**(2), 70-77, 2016. (査読付)
- 11 M.A.Jami'in, I.Sutrisno, J.Hu, N.B.Mariun and M.H.Marhaban, "Quasi-ARX Neural Network Based Adaptive Predictive Control for Nonlinear Systems", *IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering*, **11**(1), 83-90, 2016. (査読付)
- 12 W.Li, J.Hu and B.Chen, "A Deep Quasi-Linear Kernel Composition Method for Support Vector Machine", in *Proc. of 2016 IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'2016)* (Vancouver), July, 2016, pp.1639-1645. (査読付)
- 13 W.Li, B.Zhou and J.Hu, "A Kernel Level Composition of Multiple Local Classifiers for Nonlinear Classification", in *Proc. of 2016 IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'2016)* (Vancouver), July, 2016, pp.3845-3850. (査読付)
- 14 M.A.Jami'in, J.Hu and E.Julianto, "A Lyapunov Based Switching Control to Track Maximum Power Point of WECS", in *Proc. of 2016 IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'2016)* (Vancouver), July, 2016, pp.3883-3888. (査読付)
- 15 B.Chen, W.Li, Y.Zhang and J.Hu, "Enhancing Multi-label Classification Based on Local Label Constraints and Classifier Chains", in *Proc. of 2016 IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'2016)* (Vancouver), July, 2016, pp.1458-1463. (査読付)
- 16 J.Zhang and J.Hu, "A Novel Registration Method based on Coevolutionary Strategy", in *Proc. of 2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC'2016)* (Vancouver), July, 2016, pp.2375-2380 (査読付)
- 17 M.A.Jami'in, I.Sutrisno and J.Hu, "Maximum Power Tracking Control for a Wind Energy Conversion System Based on a Quasi-ARX Neural Network Model", *IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering*, **10**(4), 368-375, 2015. (査読付)
- 18 J.Zhang and J.Hu, "Context-based Segmentation of Renal Corpuscle from Microscope Renal Biopsy Image Sequence", *IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, **E98-A**(5), 1114-1121, 2015. (査読付)
- 19 I.Sutrisno, M.A.Jami'in, J.Hu and M.H.Marhaban, "Self-Organizing Quasi-Linear ARX RBFN Modeling for Identification and Control of Nonlinear Systems", in *Proc. of 2015 SICE Annual Conference (SICE'2015)* (Hangzhou), pp.788-793, July, 2015. (査読付)
- 20 B.Zhou, D.Fu, C.Dong and J.Hu, "A Transductive SVM with Quasi-linear Kernel Based on Cluster Assumption for Semi-Supervised Classification", in *Proc. of 2015 IEEE International Joint Conference on Neural Networks*

- (IJCNN'2015) (Killarney), July, 2015. (査読付)
- 21 W.Li and J.Hu, "Geometric Approach of Quasi-linear Kernel Composition for Support Vector Machine", in *Proc. of 2015 IEEE International Joint Conference on Neural Networks* (IJCNN'2015) (Killarney), July, 2015. (査読付)
- 22 D. Fu, B. Zhou and J.Hu, "Improving SVM Based Multi-label Classification by Using Label Relationship", in *Proc. of 2015 IEEE International Joint Conference on Neural Networks* (IJCNN'2015) (Killarney), July, 2015. (査読付)
- 23 C.Dong, B.Zhou and J.Hu, "A Hierarchical SVM Based Multiclass Classification by Using Similarity Clustering", in *Proc. of 2015 IEEE International Joint Conference on Neural Networks* (IJCNN'2015) (Killarney), July, 2015. (査読付)
- 24 I.Sutrisno, C.Che and J.Hu, "An Improved Adaptive Switching Control Based on Quasi-ARX Neural Network for Nonlinear Systems", *Artificial Life and Robotics*, 19(4), 347-353, 2014. (査読付)
- 25 I. Sutrisno, M.A. Jami'in and J.Hu, "An Improved Elman Neural Network Controller Based on Quasi-ARX Neural Network for Nonlinear Systems", *IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering*, 9(5), 494-501, 2014. (査読付)
- 26 B.Zhou, B.Chen and J.Hu, "Quasi-linear Support Vector Machine for Nonlinear Classification", *IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, E97-A(7), 1587-1594, 2014. (査読付)
- 27 I.Sutrisno, M.A.Jami'in and J.Hu, "Modified Fuzzy Adaptive Controller Applied to Nonlinear Systems Modeled under Quasi-ARX Neural Network", *Artificial Life and Robotics*, 19(1), 22-26, 2014. (査読付)
- 28 J.Lin, M.Song and J.Hu, "An SMO Approach to Fast SVM for Classification of Large Scale Data", in *Proc. of 2014 International Conference on IT Convergence and Security (ICITCS'2014)* (Beijing), Oct., 2014. (査読付)
- 29 Y.Luo, S.Huang, and J.Hu, "A Niching Two-layered Differential Evolution with Self-adaptive Control Parameters", in *Proc. of 2014 IEEE Congress on Evolutionary Computation* (CEC'2014) (Beijing), July, 2014, pp.1405-1412. (査読付)
- 30 C.Hu, B.Zhou, and J.Hu, "Fast Support Vector Data Description Training Using Edge Detection on Large Datasets", in *Proc. of 2014 IEEE International Joint Conference on Neural Networks* (IJCNN'2014) (Beijing), July, 2014, pp.2176-2182. (査読付)
- 31 W.Dou, and J.Hu, "A Half-Split Grid Clustering Algorithm by Simulating Cell Division", in *Proc. of 2014 IEEE International Joint Conference on Neural Networks* (IJCNN'2014) (Beijing), July, 2014, pp.2183-2189. (査読付)
- 32 B.Zhou, C.Hu, B.Chen and J.Hu, "A Transductive Support Vector Machine with Adjustable Quasi-linear Kernel for Semi-supervised Data Classification", in *Proc. of 2014 IEEE International Joint Conference on Neural Networks* (IJCNN'2014) (Beijing), July, 2014, pp.1409-1415. (査読付)
- 33 Y.Lin, Y.Fu, and J.Hu, "Support Vector Machine with SOM-based Quasi-linear Kernel for Nonlinear Classification", in *Proc. of 2014 IEEE International Joint Conference on Neural Networks* (IJCNN'2014) (Beijing), July, 2014, pp.3783-3789. (査読付)
- 34 Z.Shi and J.Hu, "A Modified Pulse Coupled Neural Network with Anisotropic Synaptic Weigh Matrix for Image Edge Detection", *IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, E96-A(6), 1460-1467, 2013. (査読付)
- 35 B.Li, Q.Wang and J.Hu, "Fast SVM Training Using Edge Detection on Very Large Datasets", *IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering*, 8(3), 229-237, 2013. (査読付)
- 36 B.Li, Q.Wang and J.Hu, "Multi-SVM Classifier Systems with Piecewise Interpolation", *IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering*, 8(2), 132-138, 2013. (査読付)
- 37 Y.Lin, W.Shih and J.Hu, "Development of Stock Evaluation System Based on Quasi-Linear Regression Model", *International Journal of Electronic Business Management*, 11(1), 23-32, 2013. (査読付)
- 38 M.A.Jami'in, I.Sutrisno and J.Hu, "Deep Searching for Model Parameters of Linear Time Invariant (LTI) system by Using Quasi-ARX Neural Network", in *Proc. of 2013 IEEE International Joint*

- Conference on Neural Networks* (IJCNN'2013) (Dallas), Aug., 2013, pp.2758-2762. (査読付)
- 39 Y.Lin, H.Guo and J.Hu, "A SVM-based Approach for Stock Market Trend Prediction", in *Proc. of 2013 IEEE International Joint Conference on Neural Networks* (IJCNN'2013) (Dallas), Aug., 2013, pp.237-242. (査読付)
- 40 B.Chen, X.Hong, L.Duan and J.Hu, "Improving Multi-label Classification Performance by Label Constraints", in *Proc. of 2013 IEEE International Joint Conference on Neural Networks* (IJCNN'2013) (Dallas), Aug., 2013, pp.1103-1107. (査読付)
- 41 B.Zhou, C.Yang, H.Guo and J.Hu, "A Quasi-linear SVM Combined with Assembled SMOTE for Imbalanced Data Classification", in *Proc. of 2013 IEEE International Joint Conference on Neural Networks* (IJCNN'2013) (Dallas), Aug., 2013, pp.2351-2357. (査読付)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

.氏名：古月 敬之

(FURUZUKI, Takayuki (HU, J.))

.所属研究機関：早稲田大学

.部局：理工学術院

.職名：教授

.研究者番号：50294905