

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 1 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500276

研究課題名(和文)競合連想ネットの区分的線形近似と統計的学習法の工学応用のための理論解析と性能向上

研究課題名(英文)Theoretical Analysis and Performance Improvement of Piecewise Linear Approximation and Statistical Learning Method of Competitive Associative Nets in Engineering Applications

研究代表者

黒木 秀一(Kurogi, Shuichi)

九州工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40178124

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：関数の区分的線形近似を行うことのできる競合連想ネットの区分的線形近似能力と計学的学習法の理論解析と性能向上を、次の4つの工学応用課題において検討した。すなわち、(1) 区分的線形近似と統計的学習法の理論的解析と性能向上、(2) 非線形プラントのロバスト制御への応用、(3) 音声話者認識への応用、(4) 距離画像処理への応用、について検討した。本研究により、区分的線形近似能力と統計学的学習法であるバギング法の有用性についてより詳細に理論解析を行うことができたとともに、その解析に基づく新しい手法の開発と有用性の検討および性能向上を行うことができた。

研究成果の概要(英文)：This research study has aimed to analyze and improve the performance of piecewise linear approximation and statistical learning method of competitive associative nets called CAN2 in engineering applications. Here the CAN2 is an artificial neural net for learning efficient piecewise linear approximation of nonlinear function. We have (1) analyzed the piecewise linear approximation and statistical learning method for performance improvement, (2) analyzed and improved multi-objective robust control of nonlinear plants, (3) proposed and analyzed a new method of text-prompted speaker identification, and (4) analyzed and improved range image processing methods. We have shown the effectiveness of the analysis and the methods improved in this research.

研究分野：知能制御工学

キーワード：競合連想ネット 区分的線形近似 統計的学習 工学応用 理論解析 性能向上

1. 研究開始当初の背景

競合連想ネット (Competitive Associative Net 2, 略して CAN2 ともいう) は, 競合学習[1]と連想記憶[2]の機能を融合したニューラルネットであり, 非線形関数を学習して区分的線形関数として近似する能力をもつ[3]. (参考文献[1]~[8]は「3. 研究の方法」の後部に記載.) このネットの有用性は, 関数近似, 予測制御, 降水量推定, 時系列予測, 距離画像処理等への応用研究で示され, その性能の高さは, (i) 2000 年度電子情報通信学会総合大会シンポジウム降水量推定コンテスト第 2 位, (ii) 国際会議 IJCNN2004 時系列予測コンペティション第 3 位, (iii) 国際会議 NIPS2004 予測不確実性評価チャレンジ回帰部門総合第 1 位, (iv) 国際会議 ESTSP2007 時系列予測コンペティション第 2 位, 等の成績を得ていることから理解できると考える. さらに, 最近, 複数の競合連想ネットを統合して学習や予測の性能を向上させる手法として, バギング法, ペイジアンバギング法等の統計的学習法の適用や構築を行い, 計算機実験結果等を通してそれらの有効性を確かめている. しかし, 競合連想ネットの区分的線形近似や統計的学習法の工学的有用性についての理論的な検討や解析は十分には行われていなかった.

2. 研究の目的

本研究期間内において, 以下の 4 つの課題の解決を目的とする.

(1) 区分的線形近似と統計的学習法の理論的解析と性能向上: これまでに, 競合連想ネットを用いるバギング法については, 非線形関数の回帰問題における汎化誤差 (未知データに対する平均二乗予測誤差) を小さくするパラメタをバグ外推定 (out-of-bag estimation) により求める手法を提案し, 計算機実験を行い, 区分的線形近似と統計的な諸性質を用いてその理論解析を行っている[4]. 本課題ではバギング法等の統計的学習法を理論的に解析するとともに, 下記の工学応用における区分的線形近似と統計的学習法の有用性について理論的に解析し, 各応用における性能向上を行うことを目的とする.

(2) 非線形プラントのロバスト制御への応用: 一般に, 非線形プラントの入力 $u(t)$ と出力 $y(t)$ から状態 $x(t)$ を構成すると, 出力は $y(t) = f(x(t))$ と表され, その一次差分は $\Delta y(t) \approx J \Delta x(t)$ となる. ここで $J = \frac{\partial y(t)}{\partial x(t)}$ はヤコビアンである. 従って, 状態と出力の一次差分の組 $(\Delta x(t), \Delta y(t))$ を競合連想ネットに学習させると, ヤコビアン J の区分的線形近似が得られると考えられる. さらに異なるパラメタ値に対するプラントを学習させた複数の競合連想ネットを切り替えて, プラントのパラメタ変動にロバストな制御を行うことができることを数値実験により確認している[6]. しかし, 以上の結果は単一の競合連想ネット

の学習法を用いて得られたものであり, 以上の結果を得るためには学習と制御を繰り返して, 制御性能が高い結果が得られるネットを用いる必要があった. そこで, 本課題では複数の競合連想ネットの統計的学習法を導入して汎化能力を向上させ, 以上の手法 (競合連想ネットと一次差分入出力を用いるロバスト制御手法) の諸性質を, 区分的線形近似と統計的学習法の理論的解析により明らかにし, さらに高性能で信頼性のある制御手法を構築することを試みる.

(3) 音声話者認識への応用: 当該研究者等の最近の研究においては, 統計確率的推論法として単純ベイズ法を用いた多段話者の手法を定式化し, 一段の話者認識よりも高い認識率が得られることを示している [7]. 本応用においては, 単純ベイズ推定の問題点を理論的に解析し, その問題点を解決するための統計学的推論手法を開発し, 話者認識の性能向上を試みる.

(4) 距離画像処理への応用: 当該研究者等は, レーザレンジセンサより得られる距離画像を競合連想ネットで学習させ, その区分的線形近似により得られる区分平面上の点と法線ベクトルを用いる複数画像の位置合わせを行う手法を提案した. これは, 従来の点間距離のみを用いる ICP (Iterative Closest Point) 法等による 2 枚の距離画像の位置合わせ (pairwise registration) の繰り返しによる蓄積誤差の問題を解決するものである [8]. 本課題では, 上記手法に CAN2 の区分的線形近似能力をさらに活用してさらに高精度な位置合わせを行って SLAM 問題や 3 次元復元問題に応用するとともに, この手法の理論的解析と性能向上を試みる.

3. 研究の方法

本研究は 3 年の期間内に「研究目的」で示した 4 つの課題に対する研究を遂行する.

(1) 区分的線形近似と統計的学習法の理論的解析と性能向上: 本課題では, まず, 統計的学習法であるバギング法の知見をもとに, 工学応用における区分的線形近似と統計的学習法についての理論的解析とまとめを行い, 種々の応用における性能向上を試みる.

(2) 非線形プラントのロバスト制御への応用: これまでパラメタ値が変動する非線形プラントとして, 初期温度によりパラメタが変動する RCA 洗浄システム (シリコンウエハの洗浄システム) やロープ長と荷重が変動する天井クレーン [6] について検討している. この応用事例においてはこれまで, 各パラメタに対する学習は, 単一の競合連想ネットで行っていたが, その学習能力を改善させるため, 統計的学習法としてバギング法を用いる計算機プログラムを開発し, 計算機実験と理論的解析を行い制御性能の向上を試みる.

(3) 音声話者認識への応用: 多段の話者照合を行うための統計的推論法として, ギブス分

布に基づく拡張ベイズ推定法を提案し、話者認識の理論解析と性能向上を試みる。

(4) 距離画像処理への応用: 距離画像を競合連想ネットで学習させ、その区分的線形近似により得られる区分平面上の点と法線ベクトルを用いる複数の距離画像の位置合わせを行う手法に、統計的学習法としてまずバギングを導入し、距離画像の3次元復元問題および SLAM 問題に応用する。

参考文献

- [1] A.C. Ahalt, A.K. Krishnamurthy, P. Chen and D.E. Melton: Competitive learning algorithms for vector quantization, *Neural Networks*, 3, 277-290 (1990)
- [2] T. Kohonen: *Associative memory*, Springer Verlag (1977)
- [3] S. Kurogi and S. Ren: Competitive associative networks for function approximation and control of plants, *Proc. NOLTA'97*, 775-778 (1997)
- [4] 黒木秀一: バグサイズを可変とするバグ外推定による汎化能力向上, *日本神経回路学会誌*, 16(2), 81-92 (2009)
- [5] S.Kurogi, K. Harashima, N. Shibata: An Analysis of Bayesian Bagging Prediction for Improving Generalization Performance, *Australian Journal of Intelligent Information Processing Systems (AJIIPS)*, 12(1), 46-51 (2010)
- [6] S. Kurogi, H. Yuno, T. Nishida, W. Huang: Robust Control of Nonlinear System Using Difference Signals and Multiple Competitive Associative Nets, *Proceedings of ICONIP2011, Part III, LNCS 7064*, pp.9-17 (2011)
- [7] S. Kurogi, S. Mineishi, T. Tsukazaki, T. Nishida: Naive Bayesian Multistep Speaker Recognition Using Competitive Associative Nets, *Proceedings of ICONIP2011, LNCS 7062*, pp.70-78 (2011)
- [8] S. Kurogi, T. Nagi, S. Yoshinaga, H. Koya, T. Nishida: Multiview Range Image Registration Using Competitive Associative Net and Leave-One-Image-Out Cross-Validation, *Proceedings of ICONIP2011, LNCS 7064*, pp.621-628 (2011)

4. 研究成果

課題(1)~(4)について以下の成果が得られた。

(1)区分的線形近似と統計的学習法の理論的解析と性能向上:競合連想ネット CAN2 を用いたバギング予測分布の高次モーメント(尖度と歪度)を用いて予測性能の評価に利用する手法を提案し、従来のホールドアウト法よりも平均としてより長期の予測を行うことのできるモデル選択が実現できることを示し

た。さらにカオス時系列の直接多段予測誤差をバグ外推定により評価してモデル選択する手法を検討した結果、カオス時系列の短期予測可能性と長期予測不能性に依存したバグ外誤差が得られ、バグ外推定によりモデル選択を行うことは一般には困難であるという知見が得られた。

(2)非線形プラントのロバスト制御への応用:複数のバギング CAN2 を用いて、複数の制御目的(整定時間とオーバーシュート)と複数のパラメタ値に対する非線形プラント制御(天井クレーンの制御)の入出力を学習し、多目的ロバスト制御を実現する手法を開発した。さらにこのプラントと類似の線形プラントの制御結果を比較検討し、解析した。その結果、CAN2 としてバギング法を用いることにより、オーバーシュートが大きなパラメタ値を持つプラントをうまく制御するバギング CAN2 を追加していくことにより、ほぼすべてのパラメタ値に対してオーバーシュートを小さくするロバスト制御を実現できることが分かった。この解析は CAN2 の区分的線形近似能力と統計的学習法であるバギング法の検討により可能になったと言える。さらに今後の研究課題として、提案制御系の安定解析も可能であることを示唆している。

(3)音声話者認識への応用:多段話者照合において従来の単純ベイズ推定を行うと未登録話者の照合がうまく行えないことを示し、ギブス分布に基づく拡張ベイズ推定を提案した。これにより、話者照合の安定性と照合率の性能向上が行えることを実データおよび理論解析により示した。

(4)距離画像処理への応用:対応関係が不明な3次元点集合(距離画像)の回転行列の推定法と区分的線形近似法および統計的手法を距離画像復元および SLAM 問題に適用した。特に SLAM への応用では、CAN2 による距離画像の区分的線形近似により得られる区分平面の中心ベクトルと法線ベクトルを用いる LOOCV (Leave One Out Cross-Validation) の手法により従来の ICP-SLAM による地図の精度向上ができることを示した。

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 1 件)

西田健, 黒木秀一: 対応関係が不明な 3次元点集合間の回転行列の推定, *日本ロボット学会誌*, 31(6), pp.624-627, 2013

〔学会発表〕(計 10 件)

Y. Mizobe, S. Kurogi, T. Tsukazaki, and T. Nishida: Multistep Speaker Identification Using

Gibbs-Distribution-Based Extended Bayesian Inference for Rejecting Unregistered Speaker, Proc. of ICONIP 2012, Part V, LNCS 7667, pp. 247-255. Springer, Heidelberg (2012)

K. Ono, S. Kurogi, and T. Nishida: Moments of Predictive Deviations as Ensemble Diversity Measures to Estimate the Performance of Time Series Prediction, Proc. of ICONIP 2012, Part V, LNCS 7667, pp. 59-66. Springer, Heidelberg (2012)

W. Huang, S. Kurogi, and T. Nishida: Robust Controller for Flexible Specifications Using Difference Signals and Competitive Associative Nets, Proc. of ICONIP 2012, Part V, LNCS 7667, pp. 50-58. Springer, Heidelberg (2012)

小野航平, 黒木秀二, 西田健: アンサンブル予測偏差モーメントを用いる時系列予測の性能評価, 第32回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集, pp.45-48 (2013)

平山光太郎, 黒木秀一: CAN2 を用いた SLAM システムと LOOCV による性能の向上, 第32回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集, pp.79-81 (2013)

植木琢也, 溝部祐太, 西田健, 黒木秀一: ギブス分布に基づく拡張ベイズ推定によるテキスト指定型多段話者照合, 第32回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集, pp.67-70 (2013)

Shuichi Kurogi, Takuya Ueki, Satoshi Takeguchi, and Yuta Mizobe: Properties of Text-Prompted Multistep Speaker Verification Using Gibbs-Distribution-Based Extended Bayesian Inference for Rejecting Unregistered Speakers, The 21st International Conference on Neural Information Processing (ICONIP2014), Part II, LNCS8835, pp. 35-43 (2014)

Shuichi Kurogi, Yoichiro Yamashita, Hikaru Yoshikawa, and Kotaro Hirayama : Accuracy Improvement of Localization and Mapping of ICP-SLAM Via Competitive Associative Nets and Leave-One-Out Cross-Validation, The 21st International Conference on Neural Information Processing (ICONIP2014), Part II, LNCS8835, pp. 160-169 (2014)

Shuichi Kurogi, Ryosuke Shigematsu, and Kohei Ono: Properties of Direct Multi-Step Ahead Prediction of Chaos Time Series and Out-of-Bag Estimate for Model selection, The 21st International Conference on Neural Information Processing (ICONIP2014), Part II, LNCS8835, pp. 421-428 (2014)

Weicheng Huang, Yuki Ishiguma, and Shuichi Kurogi: Properties of Multiobjective Robust Controller Using Difference Signals and Multiple Competitive Associative Nets in Control of Linear Systems, The 21st International Conference on Neural Information Processing (ICONIP2014), Part III, LNCS8836, pp. 58-67 (2014)

〔その他〕

ホームページ等

<http://kurolab.cntl.kyutech.ac.jp>

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

黒木秀一 (KUROGI SHUICHI)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号 : 40178124