

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 2 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21500217

研究課題名（和文） 競合連想ネットの統計学的学習法による性能向上と工学への応用

研究課題名（英文） Performance Improvement of Competitive Associative Nets via Statistical Learning Schemes and Its Engineering Applications

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

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に統計学的学習法を適用して性能向上を行い、工学応用における有効性を示した。具体的には、(1)競合連想ネットの統計学的学習法の構築とその解析、(2)非線形時変プラントの制御への応用、(3)音声時系列の区分的線形モデルによる解析と認識への応用、(4)移動ロボットのための距離画像処理への応用、を行い、本研究で開発した手法が、様々の変動するパラメータをもつ応用例においてロバスト性、汎用性、有用性をもつことを示した。

研究成果の概要（英文）：This research study has improved the performance of competitive associative nets called CAN2 by means of statistical learning schemes and shown its effectiveness in engineering applications. Here the CAN2 is an artificial neural net for learning efficient piecewise linear approximation of nonlinear function. We have (1) constructed and analyzed statistical learning algorithms for the CAN2, (2) applied to control of nonlinear time-varying plants, (3) applied to speech processing, and (4) applied to range image processing. The improved methods are shown to have flexibility, robustness, and effectiveness in many practical applications.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：競合連想ネット、統計的学習、制御、音声処理、距離画像処理

## 1. 研究開始当初の背景

当該研究代表者等が開発研究してきた競合連想ネットは、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]-[7]は後述の「3. 研究の方法」の後方に記載）。

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してきたが、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2位[4]、(ii)国際会議 IJCNN2004 の時系列予測コンペティション第3位[5]、(iii)国際会議

NIPS2004 の不確実性予測コンペティション  
回帰部門総合第 1 位 [6], (iv) 国際会議  
ESTSP2007 時系列予測コンペティション第  
2 位 [7] 等の成績を得ていることから理解  
できると考える。

一方、近年、複数のニューラルネットを統  
合してその性能を向上させる手法として、バ  
ギング法、ブースティング法、ベイズ学習法、  
などの統計学的学習法の研究が進み、それら  
の有効性や理論的側面が徐々に解明されて  
いる。上記コンペティション等でもこれらの  
手法は比較的良い成績をあげているが、競合  
連想ネットに適用すればさらに高性能な学  
習機械が構成できると考えられる。我々も上  
記(iv)のコンペティションでバギング法を用  
いているが、まだ本申請研究の準備段階に相  
当し、検討が不十分であった。

## 2. 研究の目的

以下の 4 つの課題の解決を試みた。

(1) 競合連想ネットの統計学的学習法の構築  
とその解析: 当該研究者らはこれまでに競合  
連想ネットを構成するユニット数が非常に  
多い場合の学習の最適性(漸近最適性とい  
う)に基づく学習法を構築し、上記コンペ  
ティション等でその有効性を確かめてきた。こ  
の学習法は訓練データに対する誤差(経験誤  
差)を最小化するための手法であり、訓練デ  
ータに対する過学習を抑え未学習データに  
対する誤差(汎化誤差)を小さくする汎化能  
力を得るためにはクロスバリデーション法  
等を用いてきた。一方、従来の統計学的学習  
法の研究によると、バギング法は訓練デー  
タ中のノイズ等に起因する予測誤差のバラツ  
キ(バリエーション)を小さくする能力、ブ  
ースティング法は予測誤差の偏り(バイアス)  
を小さくする能力、ベイズ学習法は学習特異  
点(学習がうまく行えないパラメータ値)の影  
響を解消する能力があると考えられるが、そ  
れらを統合した理論や学習法はまだ構築さ  
れていない。本課題では、競合連想ネットに  
バギング法、ブースティング法、ベイズ学習  
法の知見を組み入れた統計的学習法を構築  
して、過学習、バリエーション、バイアス、お  
よび学習特異点を抑制あるいは解消する能  
力の関係を明らかにするとともに、汎化能力  
を高める手法を開発する。

(2) 非線形時変プラントの制御への応用: 半  
導体製造プロセスにおけるシリコンウエハ  
洗浄の代表的手法である RCA 洗浄法におい  
ては、SPM(硫酸と過酸化水素水の混合液)  
等の非線形時変の発熱化学反応を生じる混  
合液の温度制御を行う必要があり、従来の制  
御手法の適用がかなり困難である。我々はこ  
れまで、非線形時変のダイナミクスを区分的  
線形近似する競合連想ネットを用いて要求  
仕様を満たす制御法を開発するとともに、最

近、バギング法を用いて従来より安定な学習  
法を開発している [2]。本課題では、さら  
に上記(1)で改良した学習法を適用し、より  
安定で汎用性の高い学習制御法を開発する。

(3) 音声時系列の区分的線形モデルによる解  
析と認識への応用: 音声時系列は、線形予測  
係数を用いてその解析や認識等を行う LPC  
(Linear Predictive Coding)に基づく手法が  
ほぼ確立されている一方、母音時系列が決定  
論的非線形カオスの挙動を示すことも最近  
明らかになってきている。当該研究者等の最近  
の研究 [4] においては、母音時系列をバギ  
ング競合連想ネットで学習して得られた連想  
行列の極を用いて従来の LPC 法よりも高い  
母音認識率が得られた。これはバギング法が  
非線形かつ時変の母音時系列の特徴をロバ  
ストに抽出できたことによるのではないかと  
考えられる。本課題では、より多くの音声  
データに対してロバストな音声認識手法の  
開発と検討を試みる。

(4) 移動ロボットのための距離画像処理への  
応用: 対象物までの距離を縦横にスキャンし  
て 2 次元配列に納めた距離画像は移動ロボ  
ットが対象物や床や壁などを認識するために  
有用である。またレーザレンジセンサは距離  
画像を高速に取得できる装置であるが、ブラ  
ックスポットと呼ばれる欠落点を含む、ジャン  
プエッジと呼ばれる距離が不連続に変化  
するデータを含む、距離計測解像度(10mm  
程度)に起因する誤差を含む、角度解像度  
が高いためデータ量が膨大であるなどの特徴  
をもつ。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に競合連想ネット  
のノイズ除去能力やデータ圧縮能力を応用  
し、さらに最近、その区分的線形近似能力を  
距離画像中の平面抽出に応用し、従来の平面  
抽出手法にない区分的線形補間能力の有効  
性を示した [10]。本課題では統計学的学習  
法による平面抽出のロバスト化と高精度化  
を行うとともに、移動ロボットの環境認識(移  
動経路面の抽出や周囲の 3 次元物体の認識)  
に応用する。

## 3. 研究の方法

「研究目的」で示した 4 つの課題解決を次  
の方法で行った。まず平成 21 年度に課題(1)、  
次の年度からは課題(2)~(4)について重点  
的に行った。

(1) 競合連想ネットの統計学的学習法の構  
築とその解析: 競合連想ネットの統計的学  
習法を理論的に検討し、計算機プログラムを  
構築する。次にこのプログラムの性能評価を  
種々の関数近似問題を用いて行い、その評価  
に基づき、理論検討とプログラムの改良を行  
う。なおバギング法を用いた競合連想ネット  
は国際会議 ESTSP2007 の時系列予測コン  
ペティション [1] で第 2 位の成績を得ている

が、使用したプログラムはまだ汎用性が低く、解析も不十分である。今後は、まずバギング法について再検討してプログラムを改良し、次にブースティング法、最後にベイズ学習法を検討しながら統合していく手順により本課題を解決する。

(2) 非線形時変プラントの制御への応用：上記課題(1)で構築した計算機プログラムをRCA 洗浄液温の制御アルゴリズムに組み込むための理論的検討を行うとともに、その計算機プログラムを構築し、シミュレーションを行う。さらにシミュレーションの結果を評価し、理論とプログラムの改良を行う。本課題(2)の最終目標は、RCA 洗浄液の温度制御における以下の状況に対処できる汎用性の高い制御法の開発である：(i)制御対象であるRCA 洗浄液(2種類の化学薬液の混合液であり、洗浄時に混合する)の温度のダイナミクスは、発熱化学反応等によりそのパラメータが時間的に変動する、(ii)異なる洗浄液では異なるパラメータ変動がある、(iii)初期状態、環境温度、湿度等の変動により制御対象のダイナミクスが変動する、さらに(iv)観測ノイズや大きな計測時間遅れがある。これらのうち本課題による統計学的学習法の適用に期待する点は、その汎用能力により、観測ノイズや制御対象のパラメータ変動に影響されにくい液温の推定と予測を行うことである。なお、本課題の準備研究として、当該研究者等はバギング法を用いて従来より安定な学習ができることを示すと同時に[2]、学習時と異なる設定温度の制御においても学習結果を整合性良く利用できる一次差分法を考案している[3]。

(3) 音声時系列の区分的線形モデルによる解析と認識への応用：上記課題(1)で構築した統計的学習法を音声時系列に適用し、母音認識と話者認識を行うことを試みる。当該研究者等の最近の研究[4]によると、バギング競合連想ネットでも音時系列を学習して得られた連想行列の極は非線形かつ時変の母音時系列の特徴をロバストに抽出し、従来より高い認識率で母音認識できることが示唆された。本課題では、より多くの音声データに対してこの性質を検討し、従来よりもロバストで高精度な音声認識手法の開発を試みる。

(4) 移動ロボットのための距離画像処理への応用：上記課題(1)で構築した計算機プログラムを、これまでに開発してきた区分的線形近似による平面抽出プログラム[5]に組み込み、よりロバストに平面抽出するプログラムを構築する。ロバストに抽出された壁や床などの平面情報は、対象物を多方向から計測した距離画像を融合して3次元復元することに利用でき、次年度以降、その応用研究を行う。

#### 参考文献

- [1] A.C.Ahalt, etc.: Competitive learning algorithms for vector quantization, Neural Networks, 3, 277-290 (1990)
- [2] T.Kohonen: Associative memory, Springer Verlag (1977)
- [3] S.Kurogi, S.Ren: Competitive associative networks for function approximation and control of plants, NOLTA'97, 775-778 (1997)
- [4]<http://www.ieice.org/iss/nc/jpn/contestr.html>
- [5]<http://www.cis.hut.fi/~lendasse/competition/competition.html>
- [6]<http://predict.kyb.tuebingen.mpg.de/pages/home.php>
- [7]<http://www.estsp.org/>
- [8]S.Kurogi, etc.: Model switching predictive control using bagging CAN2 and first-difference signals for temperature control of RCA cleaning solutions, WCCI2008, 2322- 2327 (2008)
- [9]佐当, 黒木, 根立: バギング競合連想ネットを用いた母音の極パターン抽出に基づく母音認識, 計測自動制御学会九州支部学術講演会論文集 (2009).
- [10]黒木, 西田: 競合連想ネットによる距離画像からの平面抽出, 日本神経回路学会誌,14(4),273-281 (2007)

#### 4. 研究成果

課題(1)～(4)についての以下の成果が得られた。

(1) 競合連想ネットの統計学的学習法の構築とその解析：バギング法とベイズ法を統合することにより性能向上できる場合を検討し、バグ数が非常に大きい時(5000以上)に性能向上が期待できることを示すことができた。またバグブースティングの一手法を開発して検討し、そのいくつかの性質を明らかにすることができた。

(2) 非線形時変プラントの制御への応用：シリコンウエハ洗浄液の温度制御においては、一次差分信号とバギングCAN2を用いるモデル切り替え型予測制御方式の開発とその有効性を検証した。さらに、この成果をもとに、非線形プラントとして、ロープ長や荷重が変動するクレーンの制御に適用し、よりロバストな制御手法として一時差分と複数の競合連想ネットを切り換える制御手法の提案と解析を行い、そのロバスト性、汎用性、および有効性等を示した。

(3) 音声時系列の区分的線形モデルによる解析と認識への応用：競合連想ネットのバギング学習結果を用いる手法と単純ベイズ予測法を融合した多段認識法を構築し、その性

質と有効性を示した。

(4) 競合連想ネットにより複数の距離画像から区分的平面を抽出し各距離画像を順次位置合わせするとともに、位置合わせの累積誤差を小さくする手法としてパーティクルフィルタを用いる手法と L00CV (Leave-One-Image-Out) クロスバリデーションを使用する手法を提案し、それらの性能評価を行い、従来より汎用性の高い手法であることを示した。

なお、上記課題(1)においては、統計的学習の汎化能力の推定や実現に重要であると考えられている diversity (多様性)の尺度として、従来から指摘されている分散 (variance) よりも歪度 (skew) や尖度 (kurtosis) が有効であることを示唆する結果が得られ、その根拠となる理論的枠組みの見通しもつづけることができた。この新しい知見に基づいて、今後、本研究課題をさらに進展させた新しい課題を検討中である。

## 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 3 件)

- ① 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、査読有、16 巻、2009、81-92
- ② 黒木秀一、越山陽平、湯野洋司、一次差分信号とバギング CAN2 を用いるモデル切り替え型予測制御による RCA 洗浄液の温度制御、査読有、45 巻、2009、305-312
- ③ Shuichi Kurogi, Kenta Harashima, Nozomi Shibata, An Analysis of Bayesian Bagging Prediction for Improving Generalization Performance、査読有、12 巻、2010、46-51

[学会発表] (計 10 件)

- ① S. Kurogi, S. Mineishi, T. Tsukazaki, and T. Nishida, naive Bayesian Multistep Speaker Recognition Using Competitive Associative Nets, ICONIP2011, 2011 年 11 月 14 日, Shanghai, China
- ② S. Kurogi, H. Yuno, T. Nishida, and W. Huang, Robust Control of Nonlinear System Using Difference Signals and Multiple Competitive Associative Nets, ICONIP2011, 2011 年 11 月 14 日, Shanghai, China
- ③ S. Kurogi, T. Nagi, S. Yoshinaga, H. Koya, and T. Nishida, Multiview Range Image Registration Using Competitive Associative Net and Leave-One-Image-Out Cross-Validation Error, ICONIP2011, 2011 年 11 月 14 日,

Shanghai, China

- ④ Shuichi Kurogi, Tomokazu Nagi, Takeshi Nishida, Range Image Registration Using Particle Filter and Competitive Associative Nets, ICONIP2010, 2010 年 11 月, Sydney, Australia
- ⑤ Shuichi Kurogi, Shota Mineishi, Seitaro Sato, An Analysis of Speaker Recognition Using Bagging CAN2 and Pole Distribution of Speech Signals, 2010 年 11 月, Sydney, Australia
- ⑥ Shuichi Kurogi, Seitaro Sato, Kota Ichimaru, Speaker recognition using pole distribution of speech signals obtained by bagging CAN2, ICONIP 2009, 2009 年 12 月, Bangkok, Thailand
- ⑦ Shuichi Kurogi, Hiroshi Yuno, Yohei Koshiyama, A method to switch multiple CAN2s for variable initial temperature in temperature control of RCA cleaning solutions, ICONIP2009, 2009 年 12 月, Bangkok, Thailand
- ⑧ Shuichi Kurogi, Seitaro Sato, Kota Ichimaru, Dynamic state estimation using particle filter and adaptive vector quantizer, CIRA 2009, 2009 年 12 月, Daejeon, Korea
- ⑨ S. Kurogi, H. Koya, R. Nagashima, D. Wakeyama, T. Nishida, Range image registration using plane extraction by the CAN2, CIRA 2009, 2009 年 12 月, Daejeon, Korea
- ⑩ Shuichi Kurogi, Kenta Harashima, Improving generalization performance of bagging ensemble via Bayesian approach, Improving generalization performance of bagging ensemble via Bayesian approach, CIRA 2009, 2009 年 12 月, Daejeon, Korea

[その他]

ホームページ等

<http://kurolab2.cnt1.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