

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2010

課題番号：18300078

研究課題名（和文） 情報幾何学および情報理論を用いた学習機械の特性解析

研究課題名（英文） Analysis of learning machines with information geometry and information theory

研究代表者

池田 和司（IKEDA KAZUSHI）

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：10262552

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：機械学習，学習理論，情報幾何学，情報理論

1. 研究計画の概要

サポート・ベクター・マシン（SVM）をはじめとした学習機械が、パターン分類，音声認識などの従来からある分野のみならず，データマイニング，テキストマイニング，バイオインフォマティクスなどの最先端分野にいたる幅広い応用分野で注目を集めている．本研究では，最新の数学的手法を駆使することにより，これらの性質を理論的に解明することを目的としている．

具体的には，情報幾何学や情報理論の手法を応用し，SVMなどの学習機械の性質を明らかにする．情報幾何学は甘利らによって創設され，統計科学やシステム理論，最適化理論，ニューラルネットワークなど多くの分野で応用されている．学習理論でも booting など多くの分野で応用されているが，SVMへ応用した例はほとんどないに等しい．また，Hanらによって創設された情報スペクトルを学習理論に応用した例もない．研究代表者は情報幾何学を用いた手法に熟知しており，研究分担者は情報理論を用いた手法に熟知しているので，それらを学習理論に応用することは可能であると考えられる．

2. 研究の進捗状況

情報幾何学や情報理論などの高度な数学的手法を駆使することにより，SVMをはじめとした学習機械の性質を理論的に解明するという本研究の目的に沿って，これまで以下の

ような成果を挙げている．

- (1) 計算量が多いというSVMの欠点を克服するため，解のスプース性を利用して，例題数に比例という少ない計算量を持つアルゴリズムを開発し，その性能を理論的に導いた．
- (2) バッチであるSVMを改良し，時変であっても追従できる忘却機能を有するSVMを提案した．またその性能を理論的に解明した．
- (3) パーセプトロン学習を一般化した準法的アルゴリズムについて，情報幾何学的な意味を明らかにした．
- (4) 神経スパイク時系列から神経細胞の特徴を特定するのに最適な特徴量を，セミパラメトリック推定の情報幾何学を用いて導出し，その有効性を計算機実験で確認した．
- (5) 情報理論の手法を用いることで，マルチエージェントの強化学習問題をマルコフ決定過程とみなし，その性能向上の限界を導出した．また，定常エルゴードマルコフ決定過程でない場合の収益最大化の条件を導出した．
- (6) パターン分離問題における新しい“非類似度”を情報理論に基づいて提案し，その合理性および有効性を示した．さらに，クラス間の非類似度へと拡張し，その理論的裏付けを行った．
- (7) 非類似度を曲線整合問題に応用し，理論的裏付けを持つサンプリング法を開発した．

以下は，当初の予定にはなかったが，本研究の過程で附随的に得られた成果である．

(8) スモールワールドやスケールフリーなどの性質について議論するネットワーク科学を用いて遺伝的アルゴリズムの性質を解析した.

(9) 自己組織化マップの一手法であるmn-SOMについて, その学習特性を理論的に導出した.

(10) 機械学習手法を自動車のブレーキ警告システム構築やオフィスログデータ解析に応用した.

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している.

当初計画では, 情報幾何学や情報理論による機械学習アルゴリズムを行うことになっていたが, それらを達成するだけでなく, 遺伝的アルゴリズムやSOMなど他の分野の解析も進み, さらに工学的応用の研究にも着手している.

4. 今後の研究の推進方策

順調に進んでおり, 研究計画を変更する必要はない.

5. 代表的な研究成果

(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9件)

① K. Iwata, A. Hayashi, A redundancy-based measure of dissimilarity among probability distributions for hierarchical clustering criteria, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **30**, 76-88, 2008, 査読有

② K. Ikeda, T. Yamasaki, Incremental support vector machines and their geometrical analysis, *Neurocomputing*, **70**, 2528-2533, 2007, 査読有

③ K. Iwata, K. Ikeda, H. Sakai, A statistical property of multi-agent learning based on Markov decision Process, *IEEE Trans. on Neural Networks*, **17/4**, 829-842, 2006, 査読有

[学会発表] (計42件)

① K. Iwata, An information-theoretic class of stochastic decision process, IEEE/WIC/ACM Int'l Conf. on Intelligent Agent Technology, 2008.12.11, シドニー (オーストラリア)

② H. Funaya, Y. Nomura, K. Ikeda, A support vector machine with forgetting factor and its statistical properties,

Int'l Conf. on Neural Information Processing, 2008.11.27, オークランド (ニュージーランド)