

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2010

課題番号：19300051

研究課題名（和文）

情報量概念を基盤とした学習理論の展開

研究課題名（英文）

Development of Learning Theory based on Information Measure

研究代表者

竹内 純一（TAKEUCHI JUNICHI）

九州大学・大学院システム情報科学研究院・教授

研究者番号：80432871

研究代表者の専門分野：学習理論

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：学習理論，情報量，情報幾何，機械学習

1. 研究計画の概要

機械学習とその周辺分野を，記述長最小原理と情報幾何の視点で捉えて，一貫した理解を与えるとともに，工学的に有用な学習手法などを構築することを目標とする．特に以下の諸課題に取り組む．

(1) Markov モデルの情報幾何

Markov 情報源の表現系である木情報源モデルの幾何学構造を明らかにする．

(2) 確率的コンプレキシティとデータ圧縮
確率的コンプレキシティ(SC)を達成する minimax 学習アルゴリズムや，種々のデータ圧縮方式の冗長度について考察する．

(3) アンサンブル学習等

アンサンブル学習やカーネル法等について，情報量概念の立場から考察する．

(4) 機械学習の応用

ネットワークセキュリティ，ITS，カオスその他について，機械学習の観点から取り組む．

2. 研究の進捗状況

(1) Markov モデルの情報幾何

木情報源モデルの幾何学的構造を明らかにした．Markov 連鎖モデルの状態集合について木構造を仮定することにより，その部分空間を定義できる．このように定義した情報源モデルを木情報源モデルと呼ばれ，Markov 連鎖モデルの一般化とみなせる．Markov 連鎖モデルのもう一つの一般化である FSM(Finite State Machine)モデルは指数型であることが知られている．一般の木情報源モデルは FSM ではないが，木がある条件を満たせば FSM となる．FSM となる木情報源モデルを FSMX モデルと呼ぶ．FSMX でない木情報源モデルが指数型かどうかは不明

であったが，指数型でないことを証明した．すなわち，木情報源モデルについては，指数型であることと FSMX であることが同値であることを示した．

SC の定数項評価には，Fisher 情報行列の行列式を求めることが必要である．Markov 連鎖モデルの場合，Markov カーネルパラメータに関する Fisher 情報行列の行列式の計算は容易であるが，より重要な期待値パラメータについては，行列式の表式が知られていなかった．この問題に対して，Markov 連鎖モデルの拡大モデルの Fisher 情報行列を利用することで，この形を求めることに成功した．この過程で，Markov 連鎖モデルの拡大モデルとその Fisher 情報行列を定義しが，Fisher 情報行列が退化しており，奇妙な構造をもつことを明らかにした．

(2) 確率的コンプレキシティとデータ圧縮
ベイズ混合の方法により，SC の値を定数オーダーまで評価した．モデルが i.i.d.(独立同分布)の指数型分布族の場合には，Jeffres 事前分布を用いた Bayes 混合(Jeffreys 混合)が SC を定数オーダーまで達成することが知られていた．Markov 連鎖モデルは i.i.d.ではないが指数型分布族であることに着目し，Markov モデルの場合も Jeffreys 混合が定数オーダーまで SC を達成することを示した．

Context Tree Weighting(CTW)法および Lemple-Ziv(LZ)アルゴリズムについて解析した．特に後者について，Markov 情報源向けに修正された LZ78 アルゴリズムの冗長度を評価した．また，特異事前分布を用いたユニバーサル符号の符号長を解析し，従来得られていた符号長の上界評価式を改善する事前分布を提案し理論的な保証を与えた．

(3) アンサンブル学習等

SVM の効率的アルゴリズムとして知られる分割法の解析を行った。分割法を基に凸 2 次計画問題の新たな解法アルゴリズムを提案し、数値実験によってその有効性を確認した。これは、SVM アルゴリズムの改善のみならず、一般の最適化手法に資するものである。Boosting は弱学習器をモデルの外にシフトして改良する手法とみなせることに着目し、漸近的な解析を行っている。モデルが真の分布を含むケースに、実際のシフトが理想的なシフトと正反対になることを示した。また、これを利用して、シフトを逆向きにすることで理想的シフトの近似とする手法を提案し、最尤推定値を改善できる場合があることを実験的に示した。

(4) 機械学習の応用

ネットワークセキュリティにおけるインシデント検知、ITS(Intelligent Transport Systems; 高度交通システム)における旅行時間予測、一般物体認識、地震波解析、統計的手法による共通鍵暗号の解読、ユニバーサルポートフォリオなどに取り組んでいる。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由)Markov モデルの情報幾何、SVM 効率的アルゴリズムは目標を既に達成し、NML(Normalized Maximum Likelihood)などの新しい課題に着手した。また、機械学習応用については、一般物体認識、超解像など、既に新たなテーマの開拓に成功した。アンサンブル学習についてはほぼ予定通りである。未着手の課題もあるが、総合的にはほぼ予定通りの達成状況である。

4. 今後の研究の推進方策

(1) tree モデルの幾何学

tree model の指数曲率や体積要素について解析を進めてきたが、このテーマは Markov タイプの性質とも関連する。Markov タイプは、組み合わせ論的手法による tree モデルにおける NML(Normalized Maximum Likelihood)の符号長評価において重要な役割を果たすことが知られている。今後はこれら断片的に得られている知見を整理し、統一的視点を得ることを目標にする。

(2) 確率的コンプレキシティ周辺

確率的コンプレキシティ(SC)を達成するアルゴリズムとして、NML と Jeffreys 事前分布を用いた Bayes 戦略が知られている。前者については、最近効率的アルゴリズムが発見され、再び注目されているが、実用に供するまではまだギャップがある。このギャップについての考察を継続する。Bayes 戦略については、一般の smooth family について考察する。

(3) Bregman divergence に基づく幾何学

近年機械学習の分野で注目されている Bregman divergence の幾何学を考察する。Boosting の解析の文脈で幾何学的構造がいくつか明らかにされているが、より明確な理解を得ることを目標とする。

(4) 機械学習の応用

これまで取り組んできたテーマに加え、超解像に取り組む。特に、compressed sensing や MDL 原理との関連に着目する。

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 6 件)

① Takahashi, Guo, Nishi, Global Convergence of SMO Algorithm for Support Vector Regression, IEEE Trans. Neural Networks, Vol.19, pp. 971-982, 2008, 査読有

② Takeuchi, Kawabata, Barron, Properties of Jeffreys mixture for Markov sources, IEEE trans. Inform. Theory, (2007 年受理), 査読有

[学会発表] (計 32 件)

① Takeuchi, Fisher Information determinant and stochastic complexity for Markov Models, Proc. of 2009 IEEE Intl Symp on Inform Theory, 2009 年 6 月, 韓国ソウル市。

② Takeuchi, Kawabata, Exponential curvature of Markov models, Proc. of 2007 IEEE Intl Symp. Inform. Theory, 2007 年 6 月, Nice, France.

[図書] (計 1 件)

① 小西貞則, 竹内純一(著, 分担執筆), 若山正人(編), 統計的モデリング/情報理論と学習理論, 講談社, 2008 年, pp. 63-116.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 4 件)

名称: 変化点検出装置, 変化点検出方法および変化点検出用プログラム

発明者: 竹内純一, 山西健司

権利者: 日本電気株式会社

種類: 特許

番号: 特許公開 2005-4658

取得年月日: 2009 年 01 月 27 日

国内外の別: 国内

[その他]

ウェブサイト

<http://www-kairo.csce.kyushu-u.ac.jp/~tak/homepage.ja.html>