A Study of Online Learning
with Multiple Kernels and Variable Metric

February 2017

TODA, Osamu

主 論 文 要 旨

報告番号	甲 第 号	氏 名	外田 脩

主論文題目 :

A Study of Online Learning with Multiple Kernels and Variable Metric
（複数の再生核と時変計量に基づくオンライン学習法の研究）

（内容の要旨）

　近年、広域センサ網やスマートグリッドなど、多数のセンサから大量のデータを取得し、価値ある情報（通信路情報、発電設備の磨耗状態、インフラ設備の破損有無など）を抽出する信号処理技術に注目が集まっている。大容量データ（ビッグデータ）を一括処理するには、高負荷の計算を長時間実行する必要があり、計算機故障の原因となる。また、時々刻々と最新のデータが取得される場合、その都度、再計算が必要となり、一括処理による学習は現実的に困難である。そのため、データを取得する毎に線形オーダの計算量で処理して最新の情報を抽出する信号処理技術が待望されている。しかし、このようなオンライン学習法では、学習アルゴリズムで用いる計量と再生核を適切に設計することは一般に困難である。本研究では、時変計量と複数の再生核を用いることで、適切な計量と再生核を適応的に推定する機能を備えたオンライン学習法の構築を目的としている。

本論文は6章で構成されている。

　第1章は、本論文の背景と概要を述べている。

　第2章は、本論文の主要成果を述べるための基礎事項（近接写像、時変計量射影、再生核など）を説明している。

　第3章は、時変計量に着目した新たな適応アルゴリズム metric-combining normalized least mean square (MC-NLMS)法を提案している。提案法は、異なる先験情報に基づく複数の計量行列の凸結合として適切な計量を設計することで、正規化LMS (NLMS) 法の収束速度を改善することができる。MC-NLMS法の具体例として、2種類の計量行列の凸結合を取ることで各計量の利点を適切に引き出す natural proportionate NLMS 法を導出し、improved proportionate NLMS 法に対する優位性を実証している。また、MC-NLMS法の音響エコーキャンセラへの応用例を示している。

　第4章は、有界な台を持つ再生核（compactly supported kernel, CSK）に着目し、再生核適応フィルタの計算量（乗算回数）の削減法を提案している。CSK は入力が台に含まれる時に限り非零値を取る。提案法は、(i) l_1-ノルムに基づく台推定を行った後に、(ii) l_2-ノルムに基づく厳密な台推定を行う。この2ステップ処理により、フィルタ係数の更新に必要な計算量が大幅に削減されることを示している。

　第5章は、generalized forward-backward splitting (GFBS) 法をオンライン型に拡張した適応アルゴリズム (adaptive GFBS) 法を導出し、多核適応アルゴリズムに基づくオンライン学習法を提案している。本章では、適切なガウス核に関する先験情報が事前に取得できない状況を想定している。そのため、オンライン学習法は、適切なガウス核をデータから推定する必要がある（モデル選択問題と呼ぶ）。データ忠実項（可微分）と2つの正則化項（非可微分なデータ選択項と再生核選択項）の和でコスト関数を設計している。非可微分な正則化項は近接写像の計算が容易であるため、adaptive GFBS 法が適用できる。これにより、モデル選択と関数推定を同時に行うオンライン学習法を実現している。実測の地形モデルを用いた数値実験により、提案法の有効性を実証している。

　第6章は、本論文で得られた結果を総括し、今後の研究に関する展望を述べている。

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School	Student Identification Number	SURNAME, Given name
Integrated Design Engineering		TODA, Osamu

Title

A Study of Online Learning with Multiple Kernels and Variable Metric

Abstract

In this thesis entitled ``A Study of Online Learning with Multiple Kernels and Variable Metric'', online learning schemes are considered. One of the recent topics in signal processing is how to deal with big data. Batch processing of big data involves high computational complexity. When data arrive sequentially, the batch learning needs to recompute the solution at each time. The batch learning is thus inappropriate to process such sequential data. Online learning, of which the complexity is linear order, adaptively processes sequential data and reflects recently observed information to learning. The existing online learning schemes need a priori information to design a proper metric and/or kernel. This thesis presents effective online learning schemes based on a variable metric and multiple kernels. The proposed schemes estimate a proper metric and/or kernel, and, at the same time, learn an unknown system to be estimated.

This thesis consists of six chapters.

Chapter 1 introduces the background and the outline of this thesis.

Chapter 2 introduces mathematical basics that will be used throughout this thesis, including proximity operator, variable-metric projection, and reproducing kernel.

Chapter 3 introduces a novel adaptive filtering scheme named the metric-combining normalized least mean square (MC-NLMS) algorithm. The proposed scheme is based on iterative metric projections with a metric designed by combining multiple metric-matrices convexly in an adaptive manner, thereby taking advantages of the metrics that rely on multiple pieces of information. This chapter compares the natural proportionate NLMS (NPNLMS) algorithm, which is a special case of MC-NLMS, with the improved PNLMS (IPNLMS) algorithm and it is shown that the performance of NPNLMS is controllable with the convex combination coefficient as opposed to IPNLMS. This chapter also presents another example of MC-NLMS with its application to an acoustic echo cancellation problem and shows the efficacy of the proposed scheme.

Chapter 4 investigates the use of compactly supported kernels (CSKs) for the kernel NLMS (KNLMS) algorithm. The use of CSKs yields sparse kernelized input vectors, offering an opportunity for complexity reduction. A simple two-step method to compute the kernelized input vectors efficiently is presented. In the first step, it computes an over-estimation of the support of the kernelized input vector based on a certain l_1-ball. In the second step, it identifies the exact support by detailed inspections based on an l_2-ball. Also, the proposed method employs the identified support given by the second step for dictionary construction, and then reduces the amount of l_2-distance evaluations, leading to the complexity reduction. The numerical examples show that the proposed algorithm achieves significant complexity reduction.

Chapter 5 investigates the online model selection and learning scheme, which is based on the multikernel adaptive filtering framework, for nonlinear-function estimation tasks. Designing a proper reproducing kernel is one of the major issues that arise frequently when one applies kernel methods particularly to online nonlinear estimation problems. The multikernel adaptive filtering framework gives a convex analytic recipe with multiple kernels employed simultaneously, offering a practical remedy to the challenging design issue. Here, a typical choice of multiple kernels is a set of Gaussian kernels with different scales (variance parameters); another choice is a set of linear/polynomial and Gaussian kernels. The present work takes one step further. This thesis presents a fully-adaptive all-in-one learning scheme that jointly makes the model-selection and learning (i.e., nonlinear estimation under the selected model).

Chapter 6 summarizes the results of this thesis and gives an outlook on future research.