

平成23年 5月 30日現在

機関番号： 82401

研究種目： 若手研究(B)

研究期間： 2007~2010

課題番号： 19700153

研究課題名(和文)

カーネル部分空間法による学習理論の構築とその応用

研究課題名(英文) Learning methods for kernel subspace methods and their applications

研究代表者

鷲沢 嘉一 (WASHIZAWA YOSHIKAZU)

独立行政法人理化学研究所・脳信号処理研究チーム・研究員

研究者番号： 10419880

研究成果の概要(和文)：

部分空間法を拡張し、制約付きの近似問題による特徴抽出として体系化した。従来の部分空間法は、この制約付き近似問題による特徴抽出法の一実現となる。部分空間法には、ランク制約が用いられていたが、他の制約を用いることにより、様々な特長を持つ柔軟な特徴抽出手法を構成することができる。また、カーネル化に伴う計算量の増大を抑えるために、部分集合近似を導入した部分カーネル主成分分析を提案した。

研究成果の概要(英文)：

We have extended the subspace methods to feature extraction methods by constrained approximation problems. The subspace methods are sorts of realizations of the constrained approximation framework. The subspace methods have the rank constraint, however, by replacing the constraint to the other constraints, feature extractors that have various properties can be realized. We also have proposed the subset kernel principal component analysis to avoid large calculations in kernelization.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,300,000	0	1,300,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,100,000	540,000	3,640,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：部分空間法，パターン識別，機械学習，カーネル法

1. 研究開始当初の背景

現在までに、コンピュータは、大きく発展してきた。CPUの性能はムーアの法則に従い急速に向上し、ネットワークインフラが整備され、ストレージは高容量化した。我々の生活様式までも変わりつつある。情報環境が整

備された後、次に我々が計算機に対して要求する技術、すなわち産業界が注目する技術は、より人間らしい柔軟な思考をする高度なヒューマンインターフェースである。このためには、コンピュータが自ら認知、学習をし、知的に情報処理を行うシステムを開発することが必要である。これらの

技術により、例えば、文字、音声認識の精度向上や、人間の脳波でコンピュータを操作する脳コンピュータインターフェース（以下、BCI）などの次世代の入力装置、アルツハイマーなどの疾病診断の自動、高精度化、バイオフィードバックによる脳疾患の治療、高速移動体の高速無線通信、ロボット制御則の自動獲得などの魅力的なアプリケーションが実現可能となる。これらアプリケーションの実現のため、学習、信号処理の研究は現在、盛んに行われている。

しかしながら、現在のところ、これらのアプリケーションの実用のための計算機の学習能力、精度は十分ではなく、完全な実用化には多くの課題がある。実用化されているアプリケーションでも部分的に人間が計算機の補助をしたり、ユーザに必要以上の負担をかけたりしていることが多い。例えば、漢字を認識する代わりに、数字の桁数を増やしたり、コンピュータが読み取った文字を人間がチェック、訂正を行ったり、疾病診断の決定は医師が必要であったり、ロボットの制御パラメータをノウハウを持った人がチューニングを行ったりすることがある。このような状況を改善するには学習理論の根本的な見直しが必要であると考えられる。

2. 研究の目的

このような背景のもと、我々は、新しい高精度学習技術の開発を行ってきた。1つはカーネル部分空間法による学習理論 (Y. Washizawa and Y. Yamashita, "Kernel Projection Classifier with Suppressing of Other Classes," Neural Computation vol. 18, no. 8, 2006 など) に関するものであり、もう1つは柔軟で自由度の高い信号の分解、表現法 (Y. Washizawa and A. Cichocki, "On Line K-Plane Clustering Learning Algorithm for Sparse Component Analysis", ICASSP2006) に関する研究である。対象から観測される信号からより有用な情報を取り出し、学習を行うためには、普遍的な学習法と特徴の抽出法の二つの技術の確立が必要であると考えたからである。本研究では、これら二つのアプローチを発展、融合させ、普遍的かつ高精度な学習理論を構築し、BCIや疾病診断、治療などの次世代アプリケーションに応用することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 制約付き近似問題による特徴抽出

現在、広く用いられている部分空間法や主成分分析による特徴抽出は、階数制約を持つ行列の最良近似問題と解釈することができる。数式を用いて表現すると、 d 次元ベクトル \mathbf{x} について、最適化問題

$$\min_A E_{\mathbf{x}} \|\mathbf{x} - A\mathbf{x}\|^2$$

$$\text{subject to } \text{rank}(A) \leq r$$

の解が主成分分析の張る固有空間への射影行列となる。ここで $E_{\mathbf{x}}$ は、 \mathbf{x} に関する平均操作を表す。制約を加えつつ最良近似するような行列を求めることにより、パターンベクトル固有の特徴を抽出することができる。しかしながら、このときの本質は最良近似であり、その際の制約は行列の階数制約に制限されるものではない。そこで此の概念を拡張し、制約付き近似問題による特徴抽出として、体系化し、様々な制約に対する特徴抽出の性質を明らかにした。

(2) 部分カーネル主成分分析

主成分分析を求めるためには、固有値分解が必要である。この固有値分解を行う行列の行、列の大きさは、パターンベクトルの次元数と同じである。固有値分解に必要な計算量は、行列の大きさの3乗あるいは、行列の大きさの2乗に必要な主成分の数を乗じた数に比例する。主成分分析を非線形拡張したカーネル主成分分析は、非線形拡張のため柔軟な特徴抽出が可能となり、様々な問題に於いて高い性能を示している。しかしながら、非線形拡張に伴うカーネルトリックの演算のため、固有値問題の大きさが標本数の大きさとなってしまふ。通常、標本数はパターンベクトルの次元数よりもずっと大きいので、計算量の増大が問題となっている。

そこで、カーネル主成分分析の解の範囲を標本の部分集合が張る部分空間内に制限し、解を求める「部分カーネル主成分分析」を提案し、その性能を検証した。

(3) 雑音を含む多チャンネル信号からの大域信号抽出

脳電図などの生体信号は、多チャンネルの時系列信号であり、雑音を含んでいる。脳コンピュータインターフェースの実現のためには、単一試行のデータから所望の信号を取り出し、特徴を抽出することが重要である。

未知の混合比で混合した信号の分離には、従来独立成分分析 (ICA) が主に用いられてきた。しかし、ICA は各信号の独立性や非ガウス性などの強い制約をもつ。我々は ICA で用いられている信号分離ではなく、所望の信号のみを抽出するという方針で、信号抽出を行う手法を提案した。

4. 研究成果

(1) 制約付き近似問題による特徴抽出

主成分分析で用いられている階数制約の代わりに、Frobenius ノルム制約と Trace ノルム制約を持つ特徴抽出手法を提案した。Frobenius ノルム制約の場合は、固有値分解が不要であり、逆行列の操作で特徴抽出が行えるため、追加学習やオンライン化が容易である特徴がある。また、パラメータが連続であるため、特に入力次元が低いときに有効であることが分かった。また、トレースノルム制約を用いた場合は、パラメータが連続でかつ、特徴抽出行列の階数が下がるため、特徴抽出時の計算量が小さい特長があることが分かった。

表 1 : 制約付き近似

EXPERIMENTAL RESULTS #1, MNIST DATASET			
Method	Parameter	Validation error [%]	Test error
CLAFIC ¹	$r = 27$	4.92 ± 0.21	3.90
CLAFIC ²	0.89	6.72 ± 0.34	7.32
P-Bayes	$\delta = 0.001$	4.29 ± 0.18	3.62
S-SVM (2d-Poly)	$v = 0.1$	23.39 ± 1.63	21.78
S-SVM (RBF)	$v = 0.0005, g = 5$	10.36 ± 0.83	5.33
SVM (RBF)	$C = 0.5, g = 5$	4.68 ± 0.21	5.03
RQC	$\mu = 0.007$	4.34 ± 0.18	3.67
TQC	$\nu = 0.005$	4.48 ± 0.19	3.85
HQC	$\mu = 0.006, \nu = 0.0003, r = 45$	4.26 ± 0.18	3.59
SHQC	$\mu = 0.006, \nu = 0.0002, \beta = 0.04$	4.13 ± 0.17	3.47
FKT + Bayes	$\delta = 0.08$	5.37 ± 0.23	4.24
FKT + RQC	$\mu = 0.4$	6.30 ± 0.26	5.31
FKT + HQC	$\mu = 0.4, \nu = 0.1$	6.28 ± 0.27	5.30

また, Frobenius ノルム制約やトレースノルム制約を導入することにより, 他クラスの抑制が自然に導入することができる. ランク制約に直接自然な他クラスの抑制項を付加すると, 解行列が正定値性を持たず, 問題を解くことができないため, Relative PCA 法のように問題とは若干違う形で抑制項を追加する必要があった.

他クラスの抑制を考慮した場合, 従来手法に比べ, 高い識別率を示すことが分かった. 手書き数字識別の実験結果を表 1 に示す. 表中の RQC, TQC がそれぞれ, Frobenius ノルム制約, トレースノルム制約を持つ特徴抽出手法であり, HQC がハイブリッド, SHQC が他クラスの抑制を持つ特徴抽出手法である.

(2) 部分カーネル主成分分析

人工の 2 次元データの特徴抽出結果を次ページの図 1 に示す. (a) Full KPCA は標本数 $n=1,000$ の場合のカーネル主成分分析, (b) は基底数を $m=50$ に制限した提案法, (c) は同じ基底を標本とした場合のカーネル主成分分析, (d), (e), (f) は他の従来手法である. 提案法 (b) は, 固有値問題の大きさが 50 であるにもかかわらず, 他の手法に比べ, 元のカーネル主成分分析とほぼ同様の結果を示すことが分かった. 図中 E_{emp} は, 経験誤差, D は (a) との作用素距離を示す. これらの定量的評価においても提案手法が他の手法を上回る結果となった.

(3) 雑音を含む多チャンネル信号からの大域信号抽出

提案手法を音響信号抽出に応用した例を図 2 に示す. 音響信号に雑音を付加し, 抽出した信号を示す. 提案法が最も雑音を抑制し, 源信号に近い波形を出力することが確認できる.

図 3 に脳信号処理へ応用した結果をしめす. 被験者に視覚刺激を提示し, その反応に対する信号を抽出できることが分かった.

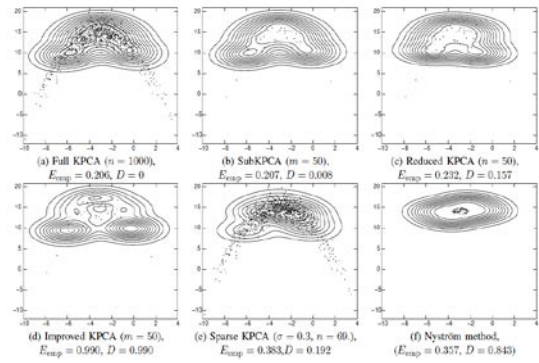


図 1 : 部分カーネル主成分分析

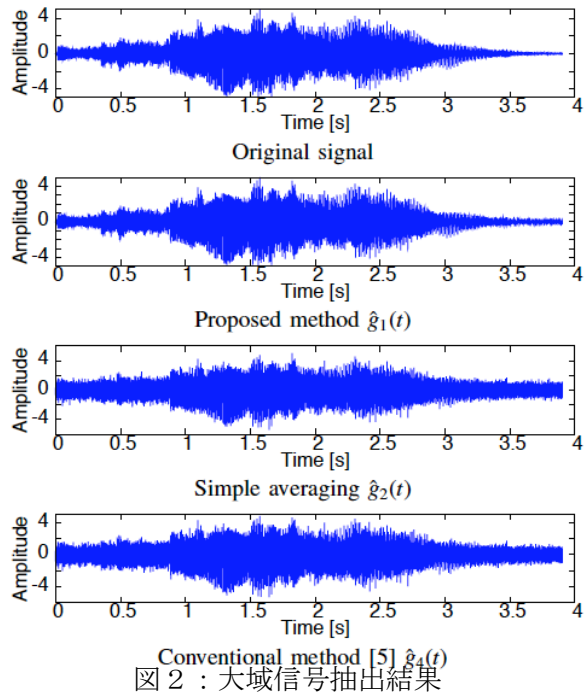


図 2 : 大域信号抽出結果

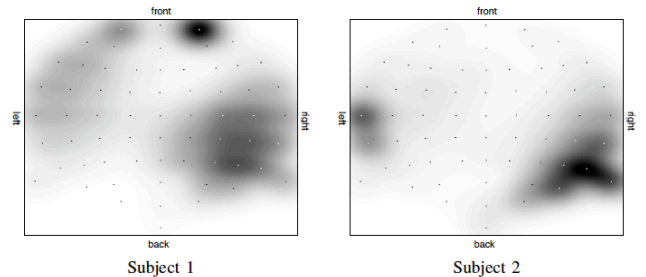


図 3 : 脳信号処理への応用

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 9 件)

- ① Y. Washizawa, H. Higashi, T. Rutkowski, T. Tanaka, and A. Cichocki, “Tensor based simultaneous feature extraction and sample weighting for EEG classification,” Lecture Notes in Computer Science, 6444, pp. 26-33, 2010, 査読有.
- ② Y. Washizawa, Y. Yamashita, T. Tanaka, and A. Cichocki, “Blind extraction of global signal from multi-channel noisy observations,” IEEE Trans. Neural Networks, Vol. 21, No. 9, pp. 1472-1481, 2010, 査読有.
- ③ Y. Washizawa, “Feature extraction using constrained approximation and suppression,” IEEE Trans. Neural Networks, Vol. 21, No. 2, pp. 201-210, 2010, 査読有.
- ④ H. Yoshino, D. Chen, Y. Washizawa, and Y. Yamashita, “Kernel Wiener filter and its application to pattern recognition,” IEEE Trans. Neural Networks, Vol. 21, No. 11, pp. 1719-1730, 2010, 査読有.

[学会発表] (計 19 件)

- ① Y. Washizawa, “Subset kernel principal component analysis,” IEEE International Conference on Machine Learning (MLSP 2009), pp. 1-6, (CDROM), Sept. 4, 2009, Grenoble, France.
- ② Y. Washizawa, “Pattern classification on local metric structure,” 10th International Conference on Document Analysis and Recognition, pp. 471-475, July 28, 2009, Barcelona, Spain.
- ③ Y. Washizawa, “Subset kernel PCA for pattern recognition,” Subspace 2009 Workshop in Conjunction with the 12th IEEE International Conference on Computer Vision, pp. 162-169, Sept 27, 2009, Kyoto, Japan.
- ④ Y. Washizawa, Y. Yamashita, and A. Cichocki, “Blind source extraction using spatio-temporal inverse filter,” IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS2009), pp. 2786-2789, May 26, 2009, Taipei, Taiwan.
- ⑤ Y. Washizawa and S. Hotta, “Robust boundary learning for multi-class classification problems,” 1st IAPR

Workshop on Cognitive Information Processing (CIP2008), pp.188-193, June 9, 2008, Santorini, Greece.

- ⑥ Y. Washizawa, Y. Yamashita, T. Tanaka, and A. Cichocki, “Blind global source extraction from noisy observations,” 2008 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing, pp. 184-187, Mar. 7, 2008, Gold Coast, Australia.
- ⑦ Y. Washizawa, Y. Yamashita, T. Tanaka, and A. Cichocki, “Extraction of steady state visually evoked potential signal and estimation of distribution map from EEG data,” 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2007), pp. 5449-5452, Aug. 24, 2007, Lyon, France.

[産業財産権]

○出願状況 (計 4 件)

名称：カーネル主成分分析方法，カーネル主成分分析装置，カーネル主成分分析プログラム，及び，その応用

発明者：鷺沢嘉一

権利者：独立行政法人理化学研究所

種類：特許

番号：22697，特願 2009-169072

出願年月日：2009年7月17日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鷺沢 嘉一 (WASHIZAWA YOSHIKAZU)

独立行政法人理化学研究所・脳信号処理研究チーム・研究員

10419880