

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700163

研究課題名(和文) グラスマン表現における計量構造に着目した特徴抽出及び脳信号処理への応用

研究課題名(英文) Feature extraction using Grassmann representation and its structural metric for brain signal processing

研究代表者

鷲沢 嘉一 (Washizawa, Yoshikazu)

電気通信大学・情報理工学(系)研究科・助教

研究者番号：10419880

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：顔画像やシーケンシャルな動画画像，時系列脳信号などから，判別や可視化などに必要な，パターン固有の特徴を抽出する問題を扱う．本研究ではこれらパターンを線形近似した部分空間の集合であるグラスマン多様体を考え，この多様体上にパターンの分布を考慮したマハラノビス距離を導入することにより，パターンの変動を表現し，精度の高い識別を実現する．さらにパターンをグラスマン表現する際にパターン固有の信号空間と雑音部分空間を分離するが，ハードに分離を行うことに相当するグラスマン表現を拡張し，ソフトに分離を行うことができる拡張グラスマン表現を提案した．脳信号処理を含む様々な問題に提案法を適用し，有効性を示した．

研究成果の概要(英文)：We treat problems to extract intrinsic features efficiently from variational patterns, such that patterns are obtained as sequential images or faces, time series of brain signals. We approximate these patterns by linear subspaces, and investigate the structure of the set of linear spaces that is Grassmann manifold or Grassmannian. We introduced a probabilistic distance metric, Mahalanobis distance to Grassmannian to improve the classification performance. Furthermore, we extend the Grassmannian representation by using the soft-thresholding technique. The standard Grassmannian representation hardly divide the signal subspace and noise subspace, on the other hand, the extended Grassmannian representation softly divides them. We applied these proposed techniques to various classification problems including brain signal processing, and show its performance.

研究分野：生体信号処理

キーワード：パターン識別 機械学習 生体信号処理 脳信号処理

1. 研究開始当初の背景

人間や動物の認知機能の根幹は、経験に基づく距離尺度の定義に他ならない。先の顔の例では、人間や動物が、顔が連続的に正面から横顔へ変化する様子を何度も観測し、その結果、正面顔と横顔が同一人物であるかどうか、すなわち距離が近いかなかを判断する、あるいは、初めて観測する顔であっても、正面顔から横顔を推測することができる。このような認知機能の例は、視覚による認知に限らず、あらゆる感覚器官や情報から、時系列の予測や危険の察知など様々な場面で現れる。このような認知機能を工学的に解析し、インプリメントできればその効果は計りしれない。しかしながら、現在の科学技術ではこのような認知機能を実現することは難しい。例えば、ある人の横顔を見せるだけでその人の正面顔を推定し、見分けるといったことは難しい、あるいは顔に特化したアルゴリズムが必要となる。

本研究の最終的な目的は、このような人や動物が持つ自然かつ高度な認知機能の実現であるが、本申請課題では、第一ステップとして空間の計量構造に着目し、グラスマン空間上の表現(グラスマン表現)とその拡張手法について研究を行う。

2. 研究の目的

パターン識別、信号処理、機械学習において、パターンや信号同士の距離を定めることは重要である。例えば、同一人物の正面顔-横顔間の距離は人物識別という観点から見れば近いが、見ている方向という観点からは遠い。本申請課題では、このような柔軟な距離尺度を実現する手掛かりとして、パターンや信号の構造を表現することができるグラスマン空間と呼ばれる集合を利用する手法とその一般化拡張手法について研究を行う。また、脳信号処理よく用いられている CSP 法がグラスマン空間の特殊形であることに着目し、その検討や拡張を行う。

3. 研究の方法

本研究では、グラスマン表現とその拡張について理論的な検討を行った。さらにコンピュータシミュレーションを行い、理論の有効性、妥当性を検証した。また、コンピュータシミュレーションで得られた結果を理論へフィードバックし、洗練された理論体系を完成させる。得られた成果を、コンピュータビジョンや統計的予測、画像処理などの広い分野の問題へ適用し、その性能を確認した。脳信号処理においては、公開データセットを用いて評価を行った。

4. 研究成果

4.1 手法

顔画像やシーケンシャルな動画像、時系列脳信号などから、判別や可視化などに必要な、パターン固有の特徴を抽出する。これらのパ

ターンは非線形な変動を持っているが、従来のベクトル表現によるパターン識別では変動を表現することができない。提案手法では、このようなパターンの非線形変動を線形部分空間によって近似する。近似した部分空間の集合はグラスマン多様体と呼ばれる。この多様体上にパターンの分布を考慮したマハラノビス距離を導入した。Grassmann 多様体上で Mahalanobis 距離を導入するために、従来の線形空間での Mahalanobis 距離の特徴づけを行い、自然な拡張を用いることで、Grassmann 多様体上に、最小 2 乗誤差サンプル平均と Mahalanobis 計量行列を導入した。これによりパターンの変動を表現し、精度の高い識別を実現した。さらにパターンをグラスマン表現する際にパターン固有の信号空間と雑音部分空間を分離するが、ハードに分離を行うことに相当するグラスマン表現を拡張し、ソフトに分離を行うことができる拡張グラスマン表現を提案した。

4.2 3次元物体識別問題への応用

公開データベース ETH-80 を用いた 3 次元物体識別実験を行った。データベースは 8 クラス、計 80 個の物体の画像であり、各物体につき 41 枚の画像がある。これらの画像をグレースケールに変換、背景除去を行ったあと、Histogram of Gradients 法を用いてベクトルに変換し、識別実験を行った。提案法のハードスレッショルディングでは誤差 2.67%、ソフトスレッショルディングでは誤差 0.83%、従来法では Grassmann Discriminant Analysis 法で誤差 3.83%、Projection Metric 法では 5.00%であり、提案法が低い誤差を示した。結果は Wilcoxon signed-ranks test において有意であった ( $p=0.01$ )。識別率の比較を表に示す。

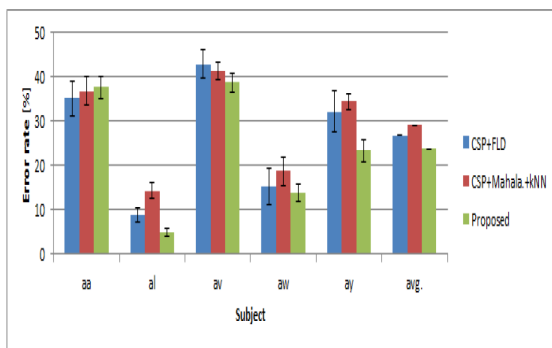
Method	Error [%]	SD [%]
GMD1	2.83	7.88
GMD2	2.67	7.39
GMD3	0.83	3.65
PJ1	6.33	9.11
PJ2	6.50	9.45
PJ3	5.00	8.38
BC	9.67	10.64
MSM	7.50	11.21
MIN	12.83	14.18
PC	8.17	10.98
TD	9.17	11.70
KL	7.17	9.84
GDA1	5.17	8.44
GDA2	3.83	7.81

GMD1,2 がハードスレッショルディングによる提案手法であり、GMD3 がソフトスレッショルディングによる提案手法である。PJ:

Projection distance 法, BC: Binet-Cauchy 法, MSM: 相互部分空間法, MIN: 最小相関法, PC: Procrustes 法, TD: 接空間法, KL: Kullback-Leibler 距離, GDA: Grassmann discriminant analysis を示す.

#### 4. 3 脳信号処理への応用

脳コンピュータインターフェースにおいて, 運動想起に基づく  $\mu$  律動成分の同期/脱同期現象の検出に共空間パターン法(CSP)が良く用いられる. CSP 法は多チャンネル脳信号から得られる分散共分散行列を白色化し, クラス毎の主成分分析により次元削減を行い, 変換行列の対角成分のみを抽出することで, 分散共分散行列をユークリッド空間に埋め込む手法である. この手法では, 分離がしやすいベクトルに埋め込むことが出来るが, 一方, 提案法は分散共分散行列をグラスマン多様体に埋め込む手法である. これらの手法を比較した結果, CSP 法では誤差 26.88% に対して, 提案法では 23.71% であり, 性能の向上を示した. 誤識別率の比較を図に示す.



被験者 5 名中, aa を除いた 4 名で識別性能の向上が見られた.

#### 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 6 件)

[1] Y. Washizawa, "Metrics of Grassmannian representation in reproducing kernel Hilbert space for variational pattern analysis," Proc. of ICASSP 2015, Brisbane, Australia. (査読有)

[2] Y. Washizawa and S. Hotta, "Mahalanobis distance on extended Grassmann manifolds for variational pattern analysis," IEEE Trans. Neural Networks and Learning Systems, Vol. 25, No. 11, pp. 1980-1990, 2014. (査読有)  
<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6729129>

[3] H. Sato and Y. Washizawa, "N100-P300

Speller BCI with detection of user's input intention," 6th International Brain-Computer Interface Conference 2014, Graz, Austria (査読有)

[4] Y. Washizawa and S. Hotta, "Mahalanobis distance on Grassmann manifold and its application to brain signal processing," Proc. of IEEE International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP2012), Santander, Spain. (査読有)  
<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6349723>

[5] T. Tanaka, Y. Washizawa, and A. Kuh, "Adaptive kernel principal components tracking," Proc. of 2012 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2012), pp. 1905-1908, 2012. (査読有)  
<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6288276>

[6] S. Yoshimoto, Y. Washizawa, T. Tanaka, H. Higashi, and J. Tamura, "Toward multi-command auditory brain computer interfacing using speech stimuli," Proc. of APSIPA Annual Summit and Conference 2012, 228, California, USA. (査読有)

[学会発表](計 2 件)

[1] Y. Washizawa, "N100 use in brain computer interfaces," the second APSIPA International Workshop on the Frontier in Biomedical Signal Processing and Systems (BioSiPS2014), 2014 (invited).

[2] Y. Washizawa, "Grassmannian representation for variational pattern classification and its application to brain signal processing," The First APSIPA Workshop on the Frontier in Biomedical Signal Processing and Systems (BioSiPS 2013), 2013. (invited).

[図書](計 0 件)

[産業財産権]  
出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]  
ホームページ等

<http://wasip.cei.uec.ac.jp/>

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

鷲沢 嘉一 (WASHIZAWA Yoshikazu)  
電気通信大学・情報理工学(系)研究科・  
助教  
研究者番号：10419880