

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：32670

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K11356

研究課題名（和文）共分散行列に基づくパターン認識の理論化と顔追跡・認識融合系への適用

研究課題名（英文）Theorization of pattern recognition and its application to face tracking and recognition

研究代表者

尺長 健（SHAKUNAGA, Takeshi）

日本女子大学・理学部・研究員

研究者番号：80284082

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：（1）加重和制約付き加重方程式を解析することで、汎用性のある認識系の構成法を検討した。まず、不足決定系において、最適解が白色化後の内積に帰着でき、適応的次元選択との組合せの有効性を確認するとともに、白色化後の外れ値処理の有効性を示した。また、過剰決定系の最適解についても白色化と関連付けられ、過剰系と不足系の一元的取扱いが可能であることを示し、白色化後の外れ値処理の効果を実験により確かめた。

（2）顔追跡・認識融合系への適用については、動画像を用いた3次元顔モデル生成法を開発した。姿勢に偏りがなければ高精度のモデル生成が可能であり、認識精度の向上が期待できるが、一般化については今後の課題である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

加重和制約付き加重方程式は、登録パターンの加重和で未知パターンを表すための線形連立方程式であり、特徴空間の次元数と登録パターン数の大小関係で不足決定系にも過剰決定系にもなる。不足決定系においては、この方程式の（数学的な）最適解が白色化後の内積に帰着できる。一方、白色化後に外れ値処理を導入することにより最適性はなくなるが、有効な認識系を構成できる。特徴空間を小さな次元数に分解することによっても、この特性を利用して認識系を構成できることから、逆伝播学習に代わる認識系の構成論になる可能性があると考えられる。また、白色化後の外れ値処理は、様々なデータ処理に適用可能と考えられる。

研究成果の概要（英文）：(1) Framework of general-purpose pattern recognition is investigated by analyzing a constrained optimization problem of weight equations. In underdetermined cases, optimal solution is reduced to inner product of whitened vectors, and adaptive dimensional selection and thresholding after whitening are effective for improving the recognition rate. In overdetermined cases, optimal solution is also reduced to whitening in another formulation and thresholding after whitening is still effective for improving the recognition rate.

(2) For the face tracking and recognition, 3d modeling of face is important for effective tracking and recognition. A 3d modeling method is developed for single-view face image sequence, and effective modeling is performed when face poses are not biased in the face image sequence. Generalization of this method is desired in future work.

研究分野：パターン認識

キーワード：共分散行列 加重和制約付き加重方程式 白色化 射影係数 外れ値処理 照明適応 3次元モデル生成 姿勢・形状同時推定

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

深層学習によるパターン認識が様々な応用が展開されている。一方、深層学習は大規模ニューラルネット上での誤差逆伝播による逐次学習を必要とするため、大規模問題への適用が難しいという問題点がある。一方、我々は従来から固有空間を用いた大規模顔認識系の研究を行い、固有空間を利用した照明適応や連想写像による単眼視画像からの形状推定法を利用した顔追跡・認識融合系の研究を進めてきた。その中で、識別法として加重和制約付き加重方程式の利用を提案していた。この方程式は、登録パターンの加重和で未知パターンを表すための線形連立方程式であり、従来の研究では、照明適応を用いて生成される不足決定系加重方程式の有効性が主に実験により確かめられていた。

2. 研究の目的

本研究計画では、誤差逆伝播による識別系の構成法を用いず、識別系を構成する方法として不足決定系加重方程式の最適解を利用する方法を検討し、この方法に基づく新しいパターン認識理論を確立し、識別系を構成することを目指す。このため、ニューラルネットワークで行われているように識別関数を特徴空間全体で予め最適化することを目的としないで、入力サンプルが与えられた時点で、その入力サンプルについての最適解を計算する方法を検討する。具体的には、登録サンプルから生成される共分散行列と入力サンプルから計算により効率良くパターン識別を行う方法を確立する。

3. 研究の方法

(1) 共分散行列に基づくパターン認識の理論化：加重和制約付き不足決定系加重方程式の最適解は、登録サンプルの共分散行列を用いた議論に帰着することで、白色化後の内積と等価であることが示されることから統計的解析が可能であると考えられる。一方、加重方程式は線形連立方程式であるから、不足決定系の最適解が持つ性質もまた有効な解析手段になると考えられ、両者を組合せることによりパターン認識の新理論を構成することを目指す。

(2) 顔追跡・認識融合系への適用：追跡・認識融合系による人物識別率については、登録人物1000人において1秒以内に、識別率99%以上を目標とする。また、少数の顔画像、あるいは、動画画像系列から、追跡・認識融合系で用いる24照明条件に対応する画像データと形状データを自動的に生成する方法を確立する。

4. 研究成果

(1) 加重和制約付き加重方程式は、登録パターンの加重和で未知パターンを表すための線形連立方程式であり、特徴空間の次元数と登録パターン数の大小関係で不足決定系にも過剰決定系にもなる。これまでに、不足決定系においては、この方程式の最適解は白色化後の内積に帰着できることが判っていた。一方、過剰決定系においては、最適解と白色化の関係が明らかでなかった。本研究において、これについて解析した結果、白色化に少し異なる定式化（同次白色化）を用いることによって、過剰決定系においても最適解が白色化後の内積に帰着できることを示すことができた。これらの議論は数学的な意味での最適性を保った議論である。

(2) パターン認識性能を改善することを目的とするため、数学的最適性を放棄し、妥当な非線形化を施すことが考えられる。本研究では、白色化後に閾値処理による外れ値処理を導入することにより、有効な認識系を構成する方法を提案した。この方法は、外れ値処理を原データではなく、データから生成される白色化座標上で一律に行うことで、妥当な外れ値処理を実現するものであり、統計論の立場から妥当な方法と考えられる。具体的には、不足決定系においては、原データの重心を原点とするように記述することで得られる行列を特異値分解（共分散行列の固有値分解と等価である）することによって求められる特異値を用いて白色化を容易に実現できる。ここで、白色化とは各特異値によって特異ベクトル方向のスケールを正規化することに相当するから、白色化後の分布における外れ値の判定は各特異ベクトル方向について一律の閾値で実現できる。白色化後の外れ値処理は、ニューラルネットにおける各段のシグモイド関数に相当する非線形処理と考えられる。白色化後の外れ値処理と多層ニューラルネットを比較すると、後者では系が複雑になるため逆伝播学習にばう大な計算が必要であるのに対し、白色化後の外れ値処理では原データから得られる行列を特異値分解することによって自動的に生成される特徴空間内での学習が効率的に行われることになる。また、後者では特徴空間全体で識別関数を推定することが必要になるのに対し、前者では識別関数を陽に扱う必要がなくなり、入力サンプルに関する識別処理をピンポイントに行うことができるため、識別系を動作させるのに必要な計算量を格段に低減できることになる。

(3) パターン認識系のモデルとしては、加重和制約付き加重方程式を並列に実施する並列不足決定系モデルが考えられる。なお、過剰決定系の並列化も原理的には考えられるが、過剰決定系では白色化後の外れ値処理が識別性能の向上には繋がらないことが確かめられているため、パターン認識系のモデルとしては不足決定系を想定するのが妥当と考えられる。このとき、各

方程式の最適解が白色化後の内積に帰着できることから、大規模な多次元データについては、適当な数の部分空間に分解し、処理を並列化した上で各部分空間において白色化後の外れ値処理を行うことになる。これにより、データ分布を効率的に利用した認識系が簡単に構成できることから、逆伝播学習に代わる認識系の構成論になると考えられる。この方法は、画像認識に留まらず、パターン認識全般に有効と考えられ、今後の課題である。

(4) パターン認識以外の応用としては、共分散解析への利用が考えられる。即ち、白色化後の外れ値処理によって原データには各特異ベクトル方向の外れ値処理が施される。一方、この結果得られる修正データを原データの代りに用いて共分散行列を算出することが可能であり、ノイズを含むデータからの共分散行列の推定法として有望と考えられる。ここで、共分散解析は様々な分野で用いられているため、広い分野において、効率良くノイズの影響を軽減できる可能性がある。応用分野・ノイズ量によって、要求精度が異なると考えられるが、高速性を要求される分野においては有効な応用があると考えられる。

(5) 顔追跡・認識融合系に関しては、従来から提案してきた顔動画像上での顔追跡時に形状モデルを生成する方法のLM法による効率化を提案した。この方法は、姿勢に偏りがない場合には、有効な3次元形状モデル生成法として利用できることが確認できた。一方、一般的な画像系列への適用は今後の課題である。

(6) 顔追跡・認識融合系における追跡・認識融合系の実験については、コロナ禍により大規模な実験ができなくなったが、1000人レベルのシミュレーション実験では効果が検証されている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tsuyoshi Migita, Ryuichi Saito, Takeshi Shakunaga	4. 巻 -
2. 論文標題 Batch Estimation for Face Modeling with Tracking on Image Sequence	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. IW-FCV 2019	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 尺長 健
2. 発表標題 加重方程式の最適解に基づくパターン認識系の構成について
3. 学会等名 電子情報通信学会 PRMU研究会 PRMU2021-63(2022-03)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 尺長 健
2. 発表標題 加重方程式に基づく大規模識別系における統計処理の利用について
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告, PRMU2019-18
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田侑平, 尺長健
2. 発表標題 高性能顔認識系の射影係数による構成
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告, PRMU2018-110
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 尺長健
2. 発表標題 固有空間による顔認識の研究を振り返って
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告, PRMU2018-72 (招待講演)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	右田 剛史 (MIGITA Tsuyoshi) (90362954)	岡山大学・学術研究院環境生命自然科学学域・助教 (15301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------