

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 26 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2020

課題番号：16K00228

研究課題名（和文）カーネル法による辞書学習の拡張と画像特徴量抽出への応用

研究課題名（英文）Extension of dictionary learning by kernel methods and its application to feature extraction from images

研究代表者

手塚 太郎 (Tezuka, Taro)

筑波大学・図書館情報メディア系・准教授

研究者番号：40423016

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：スパース符号化のための辞書学習における内積を正定値カーネルに置き換えることで、観測値ベクトルとの間で非線形な関係性を持つアトムを学習させる手法を開発した。アトムは観測値ベクトルを生成するテンプレートと捉えることができ、潜在的な特徴量とみなすことができる。

さらに、辞書学習を用い、画像データから特徴量を取得する研究を進めた。特にカルシウムイメージングによって記録された動物脳内の神経活動を表す動画を時間成分と空間成分に分解し、発火パターンをテンプレートとして取り出すシステムを開発した。辞書学習は深層学習よりも高速で学習することが可能なため、パターンに応じて脳にフィードバックを送る実験系が実現された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スパース符号化のための辞書学習は観測値からパターンを発見する汎用の技術であり、幅広い用途が存在する。画像を様々な構成要素の重ね合わせと見た場合、パターン発見は構成要素への分解となる。音声については音源分離がパターン発見に相当する。たとえば神経科学において、特定の性質を持った神経細胞の活動を検出することが必須のステップである。このようなアプローチはアルツハイマー病やパーキンソン病といった神経変性疾患の研究において欠かすことができない。本研究の手法は生物学や医学において新たな知見をもたらす、医療においても貢献することが期待される。

研究成果の概要（英文）：We replaced the inner product in dictionary learning with a positive-definite kernel to obtain atoms that have a non-linear relationship with the observations. The atoms are templates used for generating observations, hence corresponds to latent features.

Using dictionary learning, we developed a system that extracts features from images. As a specific example, images in a calcium imaging dataset obtained from animal brains were separated into spatial and temporal components. They were examined by neurophysiologists to correspond to patterns of neural activation. Dictionary learning is much faster than training a deep neural network. The developed method can be used for real-time pattern detection, enabling a feedback-control system connected to an animal brain.

研究分野：機械学習

キーワード：辞書学習 スパース符号化 カーネル法 特徴量抽出

### 1. 研究開始当初の背景

スパース符号化は観測値ベクトルを並べた行列すなわち計画行列と、パターンを表すベクトルを並べた辞書行列が与えられた時、計画行列を辞書行列とスパース行列の積として近似するタスクである。一方、スパース符号化のための辞書学習は計画行列のみが与えられた時、それを近似する辞書行列とスパース行列を共に求める行列分解の問題として定式化される。ただし辞書行列の列数とスパース行列の行数は指定されているものとする(図1)。

$$\begin{array}{c} m \\ \hline \boxed{R} \\ \hline n \end{array} \approx \begin{array}{c} k \\ \hline \boxed{Q} \\ \hline n \end{array} \circ \begin{array}{c} m \\ \hline \boxed{S} \\ \hline k \end{array}$$

図1. 辞書学習の行列分解としての定式化。観測値行列 R から辞書 Q とスパース行列 S が学習される。n は特徴量ベクトルの次元、m はサンプル数を表す。Q の各列がアトムに相当する。アトム数 k はあらかじめ定めておく必要がある。

スパース符号化は特徴量の線形結合によってデータを表現するものであるが、それを非線形に拡張する試みが近年行われるようになってきた。辞書学習とは異なる行列分解の手法である非負行列因子分解 (NMF) などについてはカーネル法 (ガウス過程回帰) によって非線形化する手法が存在した。

### 2. 研究の目的

本研究では特にカーネル法によって辞書学習を非線形に拡張する手法を開発した。辞書学習によって得られるアトムは観測値ベクトルを生成するテンプレートに相当する。ベイズ統計的な解釈では潜在的確率変数とみなすことができる。このためアトムはデータの生成過程における構成要素を表していることが多く、観測対象のシステムの内部メカニズムを探る上で有効である。しかしデータの生成過程に非線形変換が存在する場合、従来の辞書学習で本質的な潜在特徴量を求めることは不可能であった。本研究では辞書学習に正定値カーネルによる非線形性を導入することで潜在特徴量を高速で学習することを目的としている。

### 3. 研究の方法

具体的にはスパース符号化のための辞書学習における内積を正定値カーネルに置き換えることで、観測値ベクトルとの間で非線形な関係性を持つアトムを学習させる手法を開発した。正定値カーネルは想定されるデータ生成プロセスに応じて選択できる。

また、辞書学習によって得られたパターンの安定性を評価し、汎化性の高いパターンを得る手法である bidictionary learning 法を開発した。これは観測値 (計画行列) を二つに分割し、それぞれに対して辞書学習を行い、得られた辞書の差のフロベニウスノルムを求めることで安定性を評価する (図2)。

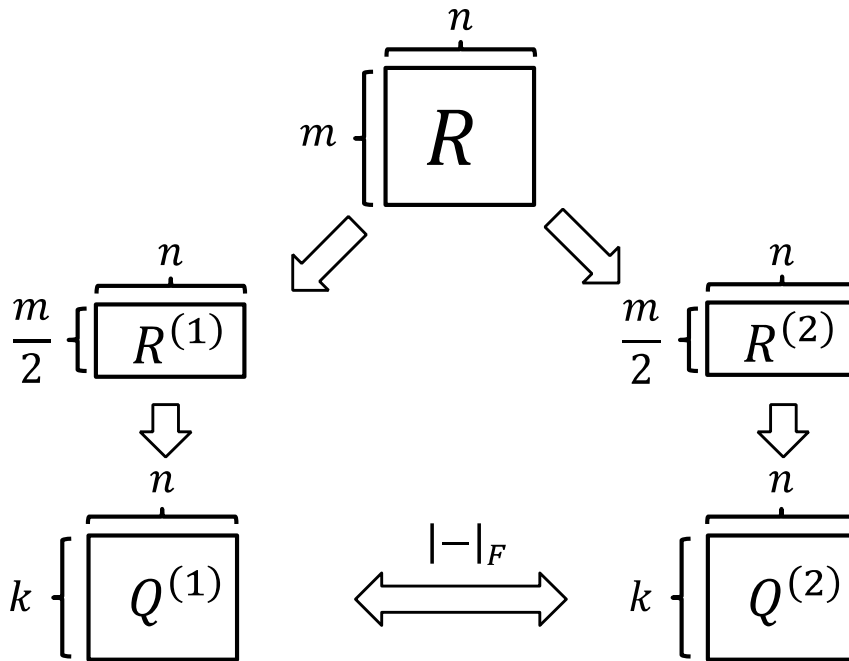


図2. Bidictionary learning。観測値行列  $R$  を二つに分割し、それぞれを用いて辞書  $Q$  を学習する。得られた二つの辞書行列  $Q$  の差をフロベニウスノルムによって評価することで、その安定性を評価する。

深層学習も同様に非線形性を考慮した潜在的特徴量の学習手法と捉えられるが、訓練に時間が掛かること、またデータセットのサイズが限定されている場合には過学習を生じやすいといった課題がある。本研究で開発された手法はデータ数が少ない場合にも使用できるという利点がある。

#### 4. 研究成果

スパース符号化のための辞書学習の応用として、生徒が授業中に回答するテストへの正解・不正解を表す学習履歴データを対象に、辞書学習によって低次元表現を求める実験を行った。その結果として、スキルの獲得過程に対応した有効な低次元表現が得られることを示した。さらに、辞書学習を用い、画像データから画像特徴量を取得する研究を進めた。特にカルシウムイメージングによって記録された動物脳内の神経活動を表す動画を時間成分と空間成分に分解することで、神経発火についての時間的なパターンと空間的なパターンを取得するシステムの開発を行った。辞書学習は深層学習（ニューラルネットワーク）よりも高速で学習することが可能のため、開発されたシステムはリアルタイムでのパターン発見に使うことができ、パターンに応じて脳にフィードバックを送る実験系が可能となった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Taro Tezuka	4. 巻 102
2. 論文標題 Multineuron spike train analysis with R-convolution linear combination kernel	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Neural Networks	6. 最初と最後の頁 67-77
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.neunet.2018.02.013	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 -
1. 著者名 Taro Tezuka	4. 巻 24
2. 論文標題 Dictionary learning by normalized bilateral projection	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 565-572
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2197/ipsjjip.24.565	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 -
1. 著者名 Taro Tezuka and Christophe Claramunt	4. 巻 7
2. 論文標題 Kernel Analysis for Estimating the Connectivity of a Network with Event Sequences	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research	6. 最初と最後の頁 17-31
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1515/jaiscr-2017-0002	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 該当する
1. 著者名 手塚太郎, 清野悠希, 古谷遼平, 佐藤哲司	4. 巻 28
2. 論文標題 姿勢計測によるe-learning受講者の行動推定	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌）	6. 最初と最後の頁 952-962
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3156/jssoft.28.952	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10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Qiushi Pan, Taro Tezuka
2. 発表標題 Accuracy-aware deep knowledge tracing with knowledge state vectors and an encoder-decoder architecture
3. 学会等名 the 28th International Conference on Computers in Education (ICCE2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tetsuya Motokawa, Taro Tezuka
2. 発表標題 Adaptive Hessian-free optimization for training neural networks
3. 学会等名 the 12th International Workshop on Optimization for Machine Learning (OPT2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 嵐一樹, 手塚太郎
2. 発表標題 意味構造に着目したシーングラフ生成手法の提案
3. 学会等名 第12回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム（第18回日本データベース学会年次大会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大場勇貴, 手塚太郎, 讃岐勝, 我妻ゆき子
2. 発表標題 健康診断データを用いた疾患予測における解釈可能なモデルの構築
3. 学会等名 第12回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム（第18回日本データベース学会年次大会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Guan Fengming, Taro Tezuka
2. 発表標題 Fashion dressing match and recommendation by a graph neural network
3. 学会等名 第12回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム（第18回日本データベース学会年次大会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 潘秋実, 富平準喜, 手塚太郎
2. 発表標題 Encoder-Decoder DKTモデルによるeラーニング推薦システム
3. 学会等名 WebDB Forum 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Natsuki Miyahara
2. 発表標題 Pattern recognition for tennis tactics using Hidden Markov Model from rally series
3. 学会等名 2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 嵐一樹, 手塚太郎
2. 発表標題 画像処理を用いたパーソナライズドコーデイングシステム
3. 学会等名 第10回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム（第16回日本データベース学会年次大会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川尻智樹, 手塚太郎
2. 発表標題 深層学習を用いた肺腫瘍の判別
3. 学会等名 第56回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菊池祥平, 手塚太郎
2. 発表標題 スパース符号化を用いた試験結果からスキル構造の抽出
3. 学会等名 第9回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (第15回日本データベース学会年次大会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 手塚太郎	4. 発行年 2019年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 224
3. 書名 しくみがわかるベイズ統計と機械学習	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------