

令和 2 年 6 月 18 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01760

研究課題名（和文）作用素多様体理論の構築とパターン認識への応用

研究課題名（英文）Theory of operator manifold and its application to pattern recognition

研究代表者

山下 幸彦 (Yukihiko, Yamashita)

東京工業大学・環境・社会理工学院・准教授

研究者番号：90220350

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、まず作用素多様体理論の基礎部分として、作用素の微分や作用素の中に含まれる微分に対する微分に相当するものを定義した。次に、それを使って局所等方独立性を表す作用素の方程式を与えた。そして、簡単な場合の解を与え、解の作用素が場所不変であることから導かれる方程式を与えた。

また、局所相関を使って曲線座標系を求める手法、正準相関と局所特徴量を組み合わせて画像の変形を求める手法、効果的なドメイン適応のためにパターンの属性を使う手法、相関行列が作る多様体においてその距離をスペクトル距離で評価し、脳信号の外れ値検出を行う手法、画像の局所統計的性質により画像の平滑化などを行う手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

パターン認識は知能の中では最も基本的なものの一つである。機械によるパターン認識の性能を向上させることができれば、人間が行ってきた単純作業や危険な作業を機械に肩代わりさせることができるため、人類の福祉向上に大きく貢献することができる。

パターン認識の分野では、深層学習が集中的に研究され、様々な分野にブレークスルーをもたらし、実応用に関しても広がりを見せている。しかし、残念ながらも人間のパターン認識能力には遠く及ばない。この問題を解決するためには、パターンの距離構造や確率構造を含んだ生成モデルを構築することが重要であり、そのための上記の成果は独創性も非常に高く、学術的意義は大きいと言える。

研究成果の概要（英文）：In this research, as the basic part of the theory for operator manifolds, we defined the differentials for operators and an operation that corresponds to the differential of differentials contained in an operator. By using them, we provided an operator equation expressing the local isotropic independence. We also provided a solution for a simple case and an equation derived from the fact that the operator is space-invariant.

Furthermore, we have developed methods to obtain a curved coordinate system using local correlation given by the Mahalanobis metric defined by using the equation for the local isotropic independence, to obtain the deformation of an image by combining the canonical correlation and local features of images, to adapt to different domains in pattern recognition by using attributes of patterns, to detect outliers of EEG by using spectral distance as a Riemannian distance, and to smooth image using local statistical features of images.

研究分野：パターン認識

キーワード：作用素多様体 局所等方独立 機械学習 信号処理 パターン認識 ドメイン適応 正定値行列 相関行列

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初、パターン認識の分野では、畳み込みニューラルネットワークに代表される深層学習が集中的に研究され、様々な分野にブレイクスルーをもたらし、実応用に関しても広がりを見せていた。例えば、画像による自動車の自動運転も可能になると期待されていた。しかしながら、現実には深層学習の環境の多様性に対する頑健性は人間に遠く及ばず、現在もなお自動運転の実用化には至っていない。また、人間は見たことがない種の動物でも少数を見て学べば、その動物の種を認識できるが、深層学習では極めて多数の事例を用意しなくてはいけない。さらに、学習のための計算量が莫大であるという問題が残されていた。そして、学習時とテスト時にパターンの出現確率が異なる場合の認識理論や、相関行列などの構造を持つパターンを認識するための理論にも課題が残されていた。これらの問題は、パターンを高精度で効率よく記述できるモデルの理論が存在しないために生じており、パターンの距離構造や確率構造を含んだ生成モデルを構築することが強く求められていた。

2. 研究の目的

(1) 作用素多様体構成理論の構築

本項目では、パターンの距離構造や確率構造を含んだ生成モデルを構築するために、微分作用素や行列を扱うことができる多様体の理論を新たに提案する。そして、作用素の微分などに関して定義付けを行い、作用素多様体を使ってパターン生成をモデル化するための基礎理論を構築する。

(2) 作用素多様体における局所等方独立の特徴付け

多様体上の局所等方独立は正規分布を特徴づけるための重要な概念である。これを作用素多様体上に定義し、局所等方独立性を持つ変化を生み出すことが可能な作用素を定義できるようにする。

(3) 局所相関行列による主成分分析

局所的に主成分分析を行い、パターンの分布を精度良く近似できる曲線座標系を求めるためには、局所的な相関が必要となる。しかしながら、例えば、水平方向と垂直方向の分散が大きく異なっても、標本点の分布を局所的に見ると一様にしか見えないため、局所的な相関を定義することは難しい。本項目の目的は、Mahalanobis 計量をもとに局所的な相関を定義し、それを使った主成分分析を基に、分布をより近似できる曲線座標系を与えることである。

(4) 画像パターンの変形の正準相関と局所特徴量を用いた推定

画像パターンの生成モデルを得るためには、画像パターンの変形を実パターンから求める手法を確立することが望まれる。これまで、正準相関とエッジ方向を使って変形パラメータを推定してきたが、それに局所特徴量を加えた変形パラメータの推定法を開発する。

(5) ドメイン適応

学習時とテスト時で、パターンに対するカテゴリーの条件付き確率が等しいとしても、パターン自体の出現確率は等しいとは限らない。例えば、自動車の画像を認識する場合でも、カメラ位置が異なれば、画像から自動車を識別するための条件付き確率は変わらないが、異なるカメラ位置に対して画像の出現確率は異なる。このような場合には、学習パターンで学習した識別器がテストパターンに適するとは限らない。この問題を解決するために、確率密度比直接推定の考え方に基づいて学習パターンに適切な重みを与えるドメイン適応により、正しく認識できる手法を開発する。

(6) 正定値行列からなる多様体

脳信号などの多チャンネル信号の分類においては、信号の相関行列を使って認識を行う場合がある。このような場合に、単なる Frobenius ノルムを使った行列の距離で評価すると認識が不正確になる。この問題を解決するために、相関行列を正定値行列からなる多様体の点と考え、認識のために適切な多様体の Riemann 計量を検討し、それを実問題に適用する手法を開発する。

(7) 画像処理への応用

上記研究から得られる知見を活用して、画像の局所統計的性質を利用した実用的画像処理手法を開発する。

3. 研究の方法

(1) 作用素多様体構成理論の構築

作用素多様体の理論を構成するために、まず Euclid 空間において、微分作用素の場所依存性を扱うための微分と、微分作用素を構成する微分の微分に相当する演算に関して考察する。そして、それを多様体の場合に拡張し、2つの微分の性質について考察する。

(2) 作用素多様体における局所等方独立の特徴付け

(1)の定義に基づいて、作用素多様体における局所等方独立の特徴付けを行う。そして、その特徴付けから得られる方程式を簡単な場合に解いて、その特徴付けの性質に関して考察する。

(3) 局所相関行列による主成分分析

局所等方独立方程式を Mahalanobis 計量方程式として使い、確率密度関数から求めた Mahalanobis 計量を局所相関と考え、主成分分析を行うと共に、確率的な座標系を求める。

(4) 画像パターンの変形の正準相関と局所特徴量を用いた推定

画像の変形を考慮した正準相関と局所特徴量を使った新しい画像パターンの類似度を提案する。その1次近似等により、変形パラメータを求めるための更新式とそのアルゴリズムのためのパラメータの決定法を提案する。さらに、実画像を使った計算機実験により提案手法の有効性を確認する。

(5) ドメイン適応

パターンにその性質を表す属性を導入する。その属性を使ってドメイン適応のための重みを求める式を与える。さらに、実データを使った計算機実験により提案手法の有効性を確認する。

(6) 正定値行列からなる多様体

正定値行列からなる多様体において、標本のクラスタリングのために適する Riemann 計量を検討する。そして、脳信号の外れ値検出にそのクラスタリングを使った手法を提案する。さらに、実データを使った計算機実験により提案手法の有効性を確認する。

(7) 画像処理への応用

局所統計的性質を活用した画像処理手法を検討する。特に、画像の局所統計的性質を利用した画像の平滑化や先鋭化に対して、新しい手法を提案する。さらに、実画像を使った計算機実験により提案手法の有効性を確認する。

4. 研究成果

(1) 作用素多様体構成理論の構築

まず、作用素に関する微分に関して定義する。 x_μ を局所座標として、 ∂_μ で x^μ に関する偏微分を表し、作用素 A, B に対して、 $[A, B]$ で交換子を表す。 Φ を任意の関数とすれば、

$$[\partial_\mu, A]\Phi = \partial_\mu(A\Phi) - A(\partial_\mu\Phi)$$

が成立する。これは、 $A\Phi$ の変化率から、 Φ の変化率に A を作用させたものを引いたものであるから、 $[\partial_\mu, A]$ で、 A の微分と考えることができる。次に、微分に対する微分 ∂_{∂_μ} に相当するものを定義する。そのために、作用素 dx^ν を、

$$[\partial_\mu, dx^\nu] = \delta_\mu^\nu$$

となるものとして定義する。例えば、任意の定数 c^ν に対して、 $x^\nu + c^\nu$ がこの条件を満たす。このとき、微分作用素が級数展開できる場合、すなわち、

$$X = \sum_{n_1=0, \dots, n_\nu=0, \dots, n_N=0} a_{n_1 \dots n_\nu \dots n_N} (\partial_1)^{n_1} \dots (\partial_\nu)^{n_\nu} \dots (\partial_N)^{n_N}$$

と表すことができる場合を考える。このとき、

$$[X, dx^\nu] = \sum_{n_1=0, \dots, n_\nu=1, \dots, n_N=0} n_\nu a_{n_1 \dots n_\nu \dots n_N} (\partial_1)^{n_1} \dots (\partial_\nu)^{n_\nu-1} \dots (\partial_N)^{n_N}$$

となり、多項式における通常の微分と同様の結果を与える。従って、これを作用素内の微分に対する微分として定義する。

これを多様体上に拡張する。作用素の空間微分は、偏微分を共変微分 ∇_μ に置き換えた $[\nabla_\mu, X]$ で定義する。これを微分とみなすならば Leibniz 則 ($\partial_\mu(fg) = (\partial_\mu f)g + f(\partial_\mu g)$) に相当する式を満たす必要がある。例えば、微分作用素と微分作用素の積はそれらの交換子で表され、それを微分することに対する Leibniz 則は、

$$[\nabla_\mu, [\nabla_\nu, \nabla_\kappa]] = [[\nabla_\mu, \nabla_\nu], \nabla_\kappa] + [\nabla_\mu, [\nabla_\nu, \nabla_\kappa]] \quad (1)$$

となる。この式を整理すれば第 2 Bianchi 恒等式となるので、式 (1) が成立する。次に作用素 Δ^ν を、

$$[\nabla_\mu, \Delta^\nu] = \delta_\mu^\nu$$

となるものとして定義する。この Δ^ν は、反変ベクトルではなく dx^μ と同様に基底を表し、その要素として一般の体や行列などを想定することもできる。直感的には、 Δ^ν は平行移動しながらの増分を与える基底となるが、微分方程式で与えられているため、一意には定まらない。この Δ^ν を使えば、作用素 X 内の微分に対する微分 ∇_{Δ^ν} に相当するものを、 $[X, \Delta^\nu]$ として定義することができる。

(2) 作用素多様体における局所等方独立の特徴付け

多様体上の局所等方独立方程式は、 q を正規化確率密度関数、 l をスカラー、 $g_{\mu\nu}$ を計量テンソルとすれば、

$$\nabla_\mu \nabla_\nu \log q = l g_{\mu\nu}$$

で与えられた。この方程式を作用素 X に対するものに自然に拡張することを考えれば、次の 2 つの方程式が得られる。

$$\begin{aligned} [\nabla_\mu, [\nabla_\mu, X]] &= L_1 g_{\mu\nu} \\ [[X, \Delta^\mu], \Delta^\nu] &= L_2 g^{\mu\nu} \end{aligned}$$

ここで、 L_1, L_2 は、それぞれ、スカラー作用素である。

この方程式の最も基本的な解は、 μ を定数として、

$$X = g^{\alpha\beta} \nabla_\alpha \nabla_\beta + \mu g_{\alpha\beta} \Delta^\alpha \Delta^\beta$$

となる。さらに、簡単な場合を考え、共変微分を複素数のファイバーに対するものとする。すなわち、共変微分が、

$$\nabla_\mu = \partial_\mu + A_\mu$$

で与えられるものとする。この場合、 Δ^μ は、 c^μ を定数ベクトルとして、

$$\Delta^\mu = dx^\mu + A_\mu c^\mu dx^\mu + c^\mu$$

で与えられる。 X に場所不変の条件を与えれば、 $[\nabla_\mu, X] = 0$ となる。 $F_{\alpha\beta} = [\nabla_\alpha, \nabla_\beta]$ とおけば、

$$g^{\alpha\beta} [\nabla_\alpha, F_{\beta\mu}] - \mu g_{\alpha\mu} \Delta^\alpha = 0 \quad (2)$$

が成立する。また、空間の次元が 4 次元の場合に限り、 $\varepsilon_{\mu\nu\alpha\beta}$ を、 $(\mu, \nu, \alpha, \beta)$ が $(1, 2, 3, 4)$ の偶置換のときに $+1$ 、奇置換のときに -1 、それ以外では 0 をとるものとする。このとき、式 (1) より、

$$\varepsilon_{\mu\mu\alpha\beta} [\nabla_\nu, F_{\alpha\beta}] = 0 \quad (3)$$

が成立する。このとき、式 (2), (3) は電磁場の方程式のベクトルポテンシャル表示に相当する式になっている。これは、局所独立性と等方性と組み合わせが大きな可能性を持っていることを意味している。したがって、この組み合わせに対して、より一般のファイバ束に拡張して研究を進めていく必要がある。

(3) 局所相関行列による主成分分析

ユークリッド空間の正規分布が変形することにより確率密度関数 $p(\mathbf{x})$ が与えられるとすると、その Mahalanobis 計量を求めるため方程式は、局所独立方程式より、

$$\nabla_\mu \nabla_\nu \left(\log p - \frac{1}{2} \log |g| \right) = g_{\mu\nu}$$

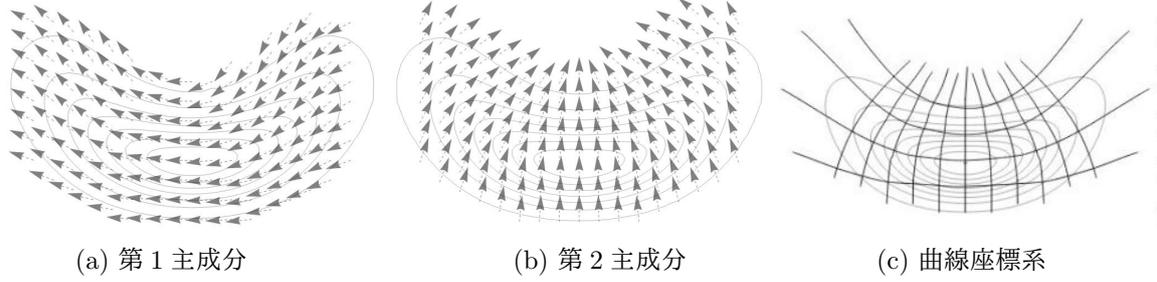


図 1: 局所相関行列の主成分分析

となる。ここで、 $|g|$ は計量テンソル $g_{\mu\nu}$ の行列式の絶対値である。これを解いて $g_{\mu\nu}$ を求める。得られた計量テンソルを局所相関行列として主成分分析を行う。具体的には、各点で $g_{\mu\nu}$ の固有値 λ_k と主成分の方向を表す固有ベクトル \mathbf{v}_k を求める。

$$g_{\mu\nu}(\mathbf{v}_k)_\nu = \lambda_k(\mathbf{v}_k)_\mu$$

図 1 (a), (b) は、計算機実験によって得られた 2 つの主成分を示したものである。そして、接ベクトルが固有ベクトルに一致する曲線を考え、その曲線を使って曲線座標系を構成する。図 1 (c) は、得られた座標系である。次に、1 つの座標だけで点を近似する場合の平均誤差を計算した。通常の主成分分析では 0.161 であるのに対して、提案手法によれば 0.081 となり、提案手法の有効性が確認できた。

(4) 画像パターンの変形の正準相関と局所特徴量を用いた推定

座標 $\mathbf{x} = (x_1, x_2)^T$ に関して、画像 $f(\mathbf{x})$ の局所特徴量 $H(f(\mathbf{x}))$ で表す。局所特徴量としては、エッジ方向、エッジ曲率、エッジ方向ヒストグラムなどを用いることができる。また、2 つの局所特徴量 $h_1(\mathbf{x}), h_2(\mathbf{y})$ の類似度を $\delta(h_1(\mathbf{x}), h_2(\mathbf{y}))$ で表し、 T で 2 次元座標変換を表す。このとき、2 つの正規化された画像パターン $f(\mathbf{x}), g(\mathbf{y})$ の類似度を、

$$\max_T \iint \exp(\gamma \|T(\mathbf{x}) - \mathbf{y}\|^2) f(\mathbf{x})g(\mathbf{y})\delta(H(f(\mathbf{x})), H(g(\mathbf{y}))) \frac{1}{|\det(T(\mathbf{x}))|} d\mathbf{x}d\mathbf{y}$$

で定義した。ここで、 $\det(T(\mathbf{x}))$ は変形後の正規性を保つための $T(\mathbf{x})$ の Jacobi 行列の行列式である。この式を変形の 1 次で近似展開して、変形を計算する式を求めた。また、テンプレートを事前に計算することによって、高速に計算する手法を開発した。今回新しく導入した局所特徴量と Jacobi 行列の行列式により、より安定して変形を求めることができるようになった。そして、本手法のパラメータの初期値を高速に探索するために、スライディングフーリエ変換を使った高速計算法を開発し、両提案手法の有効性を計算機実験によって確認した。

(5) ドメイン適応

ドメイン適応のために適した標本に対する重みが、近似的にドメインに対する属性の確率の比で与えられることを証明した。さらに、得られた式に基づき実データに対してドメイン適応を行った認識実験を行い、提案手法の有効性を確認した。

(6) 正定値行列からなる多様体

多次元信号処理における相関行列などの正定値行列からなる多様体において、Riemann 計量に基づいた距離として、2 つの正定値行列 P_1, P_2 の間に、スペクトル距離 $\|\log(P_1^{-\frac{1}{2}}P_2P_1^{-\frac{1}{2}})\|$ を導入した。この距離をもとに脳信号のクラスタリングを行い、その外れ値を検出するための手法を開発し、計算機実験によって提案手法の有効性を確認した。

(7) 画像処理への応用

画像の平滑化や先鋭化のために使われるガイド付きフィルタを、画像の局所的な分散に応じて局所的な平均に重み付けし、再度局所的な平均を求めて活用する非等方ガイド付きフィルタを開発した。そして、実画像のスケール依存平滑化、先鋭化、テクスチャ除去、クロマアップサンプリング、ハイズ除去に適用し、提案手法の有効性を確かめた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Ochotorena Carlo Noel and Yukihiro Yamashita	4. 巻 29
2. 論文標題 Anisotropic Guided Filtering	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Image Processing	6. 最初と最後の頁 1397 ~ 1412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIP.2019.2941326	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 Toru Wakahara, Shizhi Zhang, and Yukihiro Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 Image registration using 2D projection transformation invariant GPT correlation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the Joint 2019 International Workshop on Advanced Image Technology & International Forum on Medical Imaging in Asia	6. 最初と最後の頁 110493K-1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2517185	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 Masato Ishii, Takeshi Takenouchi, and Masashi Sugiyama	4. 巻 -
2. 論文標題 Partially zero-shot domain adaptation from incomplete target data with missing classes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of The IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision	6. 最初と最後の頁 3052 ~ 3060
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Masato Ishii, Takeshi Takenouchi, and Masashi Sugiyama	4. 巻 -
2. 論文標題 Zero-shot domain adaptation based on attribute information	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 11th Asian Conference on Machine Learning	6. 最初と最後の頁 473 ~ 488
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Duo Wang and Toshihisa Tanaka	4. 巻 13
2. 論文標題 Kernel principal component analysis allowing sparse representation and sample selection	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ECTI Transactions on Computer and Information Technology	6. 最初と最後の頁 51 ~ 62
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 -

1. 著者名 Duo Wang and Toshihisa Tanaka	4. 巻 8
2. 論文標題 Robust kernel principal component analysis with $l_{2,1}$ -regularized loss minimization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 81864 ~ 81875
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 -

1. 著者名 Maria Sayu Yamamoto, Khadijeh Sadatnejad, Toshihisa Tanaka, Md. Rabiul Islam, Yuichi Tanaka, and Fabien Lotte	4. 巻 -
2. 論文標題 Detecting EEG outliers for BCI on the Riemannian manifold using spectral clustering	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society	6. 最初と最後の頁 (accepted)
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 該当する

1. 著者名 Akira Ikeda and Yoshikazu Washizawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Spontaneous EEG Classification Using Complex Valued Neural Network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 26th International Conference on Neural Information Processing of the Asia-Pacific Neural Network Society	6. 最初と最後の頁 495 ~ 503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-36808-1_54	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 T. Wakahara and Y. Yamashita	4. 巻 11049
2. 論文標題 Image Registration Using 2D Projection Transformation Invariant GPT Correlation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the Joint 2019 International Workshop on Advanced Image Technology & International Forum on Medical Imaging in Asia	6. 最初と最後の頁 110493K-1~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2517185	査読の有無 無
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 Kuroki Seiichi, Charoenphakdee Nontawat, Bao Han, Honda Junya, Sato Issei, and Sugiyama Masashi	4. 巻 33
2. 論文標題 Unsupervised Domain Adaptation Based on Source-Guided Discrepancy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence	6. 最初と最後の頁 4122~4129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1609/aaai.v33i01.33014122	査読の有無 無
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 Islam Md Rabiul, Tanaka Toshihisa, Molla Md Khademul Islam	4. 巻 15
2. 論文標題 Multiband tangent space mapping and feature selection for classification of EEG during motor imagery	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Neural Engineering	6. 最初と最後の頁 046021~046021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-2552/aac313	査読の有無 無
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 R. Kamiya and Y. Washizawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Discriminative sparse representation learning using multiclass hinge loss	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 2018 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC)	6. 最初と最後の頁 955~958
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/APSIPA.2018.8659572	査読の有無 無
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 Carlo Noel Ochotorena and Yukihiko Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 Multi-scale structure-preserving image filtering	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 2017 IEEE 19th International Workshop on Multimedia Signal Processing	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/MMSP.2017.8122290	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 Shizhi Zhang, Toru Wakahara, and Yukihiko Yamashita	4. 巻 -
2. 論文標題 Image matching using GPT correlation associated with simplified HOG patterns	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 2017 Seventh International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IPTA.2017.8310122	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 Y.-K. Noh, M. Sugiyama, K.-Y., Kim, F. C. Park, and D. D. Lee	4. 巻 30
2. 論文標題 Generative local metric learning for kernel regression	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Advances in Neural Information Processing Systems	6. 最初と最後の頁 2449-2459
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 W. Hu, T. Miyato, S. Tokui, E. Matsumoto, and M. Sugiyama	4. 巻 70
2. 論文標題 Learning discrete representations via information maximizing self-augmented training	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 34th International Conference on Machine Learning	6. 最初と最後の頁 1558-1567
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Wada Tomoya, Fukumori Kosuke, and Tanaka Toshihisa	4. 巻 -
2. 論文標題 Dictionary Learning for Gaussian Kernel Adaptive Filtering with Variablekernel Center and Width	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICASSP.2018.8462598	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 H. Itoga, Y. Washizawa, and Y. Urakami	4. 巻 -
2. 論文標題 EEG based automatic music recommendation system using ranking deep artificial neural network	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 8th International Congress of Pathophysiology	6. 最初と最後の頁 -
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2件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 山下幸彦, 若原徹
2. 発表標題 領域画像マッチングのための初期探索法
3. 学会等名 パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下幸彦
2. 発表標題 IIRフィルタを使った画像の近似ガウス平滑化
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会総合大会
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	杉山 将 (Sugiyama Masashi) (90334515)	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授 (12601)	
研究分担者	田中 聡久 (Toshihisa Tanaka) (70360584)	東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・教授 (12605)	
研究分担者	鷲沢 嘉一 (Yoshikazu Washizawa) (10419880)	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授 (12612)	