

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11778

研究課題名(和文) 積極的データ前処理のための汎用的アルゴリズムの開発

研究課題名(英文) A universal system for constructive data preprocessing

研究代表者

安田 宗樹 (YASUDA, Muneki)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：20532774

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)：良質なデータの前処理は引き続き様々なデータサイエンス課題に対して重要であり、汎用的データ前処理アルゴリズムが求められる。本研究は、ノイズ除去や不要次元の剪定などを含むような「積極的前処理を前提とした汎用的アルゴリズム」の実現を主要な目的としている。研究期間内で得た主な成果は以下の通りである。(1)汎用型積極的前処理実現のための基礎モデルと基礎的アルゴリズムを確率的ニューラルネットワークをベースとして構築した。(2)統計的近似アルゴリズムの高品質化やスパースモデリングとの融合的モデル拡張を通して、確率的ニューラルネットワークを高度化し、真に汎用的な積極的前処理の実現への布石を作ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

データ前処理は種々のデータサイエンス課題の成功に対する鍵となるが、良質なデータ前処理の実現には、しばしば分野の専門知識や、それを越えた特別なアイデアが必要となってしまう。最適なデータ前処理アルゴリズムは個々のデータの性質に大きく依存するため、常に最適化な結果を与える万能なデータ前処理アルゴリズムは存在しない。しかしながら、ある程度汎用的に利用できるデータ前処理器ならおそらく実現可能である。特に、ノイズ除去や不要次元の剪定などを含むような積極的前処理はより重要である。積極的前処理を含むような汎用的データ前処理アルゴリズムの存在は、「誰でも成果を出すことができる」の実現を近づけることとなる。

研究成果の概要(英文)：Good data pre-processings are important for various subsequent data science tasks. Therefore, a universal algorithm for data pre-processing is required. The main goal of this research is to build versatile algorithms for constructive (or active) data pre-processings which involve noise reduction and pruning of unwanted dimensions in data. The main results obtained within the research period are as follows.

(1) Fundamental models based on probabilistic neural networks and algorithms handling them, for constructive data pre-processings were constructed.

(2) Through constructing high-quality statistical approximation algorithms and proposal of extension model fused with sparse modelling, we have extensionally developed probabilistic neural networks. They are expected to realize truly general-purpose constructive data pre-processings.

研究分野：統計的機械学習

キーワード：データ前処理 特徴抽出 確率的ニューラルネットワーク 統計的機械学習 スパースモデリング 統計的近似アルゴリズム

1. 研究開始当初の背景

2010年代初頭の深層学習の登場以来、データサイエンス分野において革新的な成果が発表され続けている。同時に、フリーの強力な深層学習用ライブラリが整備されてきており、第一線の研究者でなくとも深層学習を利用し、その恩恵が受けやすくなってきた。その結果、国内外の多くの民間企業も人工知能活用に乗り出している。深層学習用ライブラリを利用することで、“誰でも試せる”時代にはなったのだが、それは、“誰でも成果を出すことができる”ということとは意味していない。実際、深層学習の成果の裏には膨大な試行錯誤があることが普通であり、モデル中に潜む様々なハイパパラメータ(例えば、層数や層サイズ、正則化法、勾配法の選択など)の絶妙な最適化の末、ようやく成果に辿り着くことができる。特に、利用できるデータ数に限りがある場合はその傾向が顕著となる。

深層学習の性能を左右する要因として、前述のハイパパラメータの最適化が一つとしてあるが、データ(特に入力データ)の前処理も非常に大きな要因である。しかしながら、データ前処理アルゴリズムの選択も一筋縄ではない難しい問題である。適切なデータ前処理法はデータの個別の性質に大きく依存するため、データ前処理に対する万能アルゴリズムは存在しない。

“万能な”データ前処理アルゴリズムは存在しないが、ある程度“汎用的”なアルゴリズムなら作れる可能性があり、実際、いくつかの汎用アルゴリズムが広く利用されている。正規化などと呼ばれる前処理がそれである。データ範囲を $[0, 1]$ 区間に限定する方法や、中心化など、正規化にもいくつかの種類があるが、それらの大多数はデータの形状を大きく変化させることはない。その意味で、それらを「消極的前処理」とここでは呼ぶことにする。ノイズ除去や不要次元の剪定などを含むような「積極的前処理」はより重要である。積極的前処理を含むような汎用的データ前処理アルゴリズムの存在は、深層学習の利便性を大きく向上させ、「誰でも成果を出すことができる」の実現を近づけることとなる。

2. 研究の目的

本研究は、上述の「積極的前処理を前提とした汎用的アルゴリズム」の実現を主要な目的としている。前処理の対象とするのは主に入力データである。そこで注目するのが、統計的機械学習を前提とした確率的ニューラルネットワークモデルである。より具体的には、2層構造の確率的ニューラルネットワークモデルである制限ボルツマンマシン (restricted Boltzmann machine (RBM)) や、その深層拡張である深層ボルツマンマシン (deep Boltzmann machine (DBM)) などである。RBMによる深層学習の(教師なし)事前学習(平たく言うと、学習パラメータの事前チューニング)は深層学習登場の当初から知られた手法であるが、本研究は一風視点を変えて、データ前処理にそれを応用する。つまり、統計的機械学習によりデータ前処理器を単独で最適化し、利用するといった戦略になる。この方向性自体は極めて新規的というわけではなく、RBMを基礎としたいくつかの先行研究がそれぞれ少しずつ違った立場において存在している。これらは、データ前処理としての意味を強く主張するものではないが、本質的には本研究の目的と同様である。注目すべきは、それらの先行研究は例外なく、RBMの有効性を支持している点である。RBMやその拡張であるDBMに秘められた可能性は十分に期待できそうである。また、これらは特定のデータに特化したモデルではなく、ある種のメタヒューリスティクスモデルと見なせるため、汎用性についても期待できる。本研究は、確率的ニューラルネットワークモデルの学習アルゴリズムや推論アルゴリズムを洗練し、「積極的前処理を前提とした汎用的アルゴリズム」の実現を目指す。

3. 研究の方法

上記の背景・目的を受けて、本研究は以下のような研究テーマを掲げ、各テーマに対して研究を遂行してきた。

- 【1】確率的ニューラルネットワークにおける良質な学習・推論アルゴリズムの開発
- 【2】確率的ニューラルネットワークを用いたデータ前処理器の開発と検証
- 【3】データ前処理器利用のための新しい学習スキーム・学習基準の設計とモデル拡張

(1) テーマ【1】は引き続き研究テーマの土台となる研究である。確率的ニューラルネットワークの推論や学習は複雑な分布上での統計処理を必要とするため、計算量の観点から何らかの統計的近似アルゴリズムが必須となる。統計的近似アルゴリズムは古くから研究されてきているが、データサイエンス課題への応用を念頭に置くと、まだ近似性能が十分でないことが多い。テーマ【1】では、空間モンテカルロ積分(SMCI)法と呼ばれるサンプリングベースの高性能近似手法を用いて、確率的ニューラルネットワーク上の統計的近似アルゴリズムの高品質化を試みる。

(2) テーマ【2】は、テーマ【1】により得られる高品質化された統計的近似アルゴリズムを用いて、本研究の主題となる「積極的前処理を前提とした汎用的アルゴリズム」の開発と性能検証を行う研究である。ここでは、主にRBMを中心モデルとして想定し、データ前処理器としての利用法の確立と、実データを用いた性能検証を行う。

(3) テーマ【3】は、テーマ【1】と【2】から得られた成果を基礎として更なる発展を狙った研究である。確率的ニューラルネットワークの従来の学習原理は、データ前処理器としての完成を狙ったものではない。したがって、データ前処理器としてより相応しいモデルへと近づくための付加的なアイデアが必要となる。一つは、スパースモデリングとの融合である。融合により、ノイズ除去や不要次元の剪定などの機能強化が期待される。また、より良いデータ前処理器となるための学習基準の模索や、RBMを拡張したDBMへの展開も本テーマに含まれる。

4. 研究成果

ここでは、研究期間内に得た代表的な成果について紹介する。

(1) 確率的ニューラルネットワークにおける高品質統計的近似アルゴリズムの開発を進めた。統計的近似アルゴリズムの高品質化には高効率なサンプリングアルゴリズムと、サンプリングから得られた標本点を用いて統計量を高品質に得る高効率積分アルゴリズムが必要となる。本研究では、両者に対して従来法の性能を超えるアルゴリズムを提案した。本成果は、上述のテーマ【1】とテーマ【3】に関わる成果である。

高効率サンプリングアルゴリズム：確率的ニューラルネットワーク上のサンプリングは、通常、マルコフ連鎖モンテカルロ(MCMC)法を用いる。MCMC法は、モデルの変数空間全体に対するマルコフ連鎖を前提とするのがスタンダードである。本研究では、周辺化操作により縮小された変数空間内でのマルコフ連鎖を基礎としたMCMC法を提案し、提案サンプリングアルゴリズムがより数倍(場合によっては数十倍)程度効率的であることを実験的に示した。本研究で中心となるRBMは周辺化操作が容易に実行できるので、提案サンプリングアルゴリズムと非常に相性が良い。

高効率積分アルゴリズム：SMCI法は通常の積分法(モンテカルロ積分法)を超える性能を示すことが理論的に証明されている。SMCI法を発展させることにより、RBMやDBMに対する新しい統計的近似アルゴリズムを開発し、確率的ニューラルネットワークにおける学習と推論アルゴリズムの性能向上に成功した。更に、SMCI法から得られた近似統計量を高精度化する手法であるcomposite SMCI(CSMCI)法を開発した。CSMCI法は、一般化最小2乗法の観点から、統計学的に非常に優れた性質をもつことが保証されている方法である。

(2) RBMを用いたデータ前処理器を開発し、ベンチマークデータセットを用いてその有用性を確認した。これは、テーマ【2】に関わる結果である。提案のデータ前処理器は、与えられたデータセットを自動的に前処理し、前処理済みデータ(特徴量)セットへと変換する。図1に結果をt-SNEで可視化した例を示す。上段がMNISTと呼ばれる手書き数字画像データベースに対する結果で、下段がFashion MNISTと呼ばれる服飾画像データベースに対する結果である。左図が元データセットにノイズを付加したノイズデータセットに対する可視化結果である。各点がデータ点1点(つまり、画像1枚)を表し、色はそのデータの属するクラスを表している。ノイズによりデータのクラスタ構造が破壊されていることが確認できる。中央図は、左図のノイズデータセットから従来の確率的ニューラルネットワーク(自己符号化器)を用いて抽出された特徴量を可視化した結果である。ノイズにより破壊されたクラスタ構造は依然破壊されたままである。右図が提案データ前処理器を用いてノイズデータセットから得られた特徴量セットの可視化マップである。提案のデータ前処理によりクラス毎のクラスタ構造が復活していることが確認できる。提案のデータ前処理器が、前処理の過程でデータセット内のノイズを自動的に排除していることが分かる。

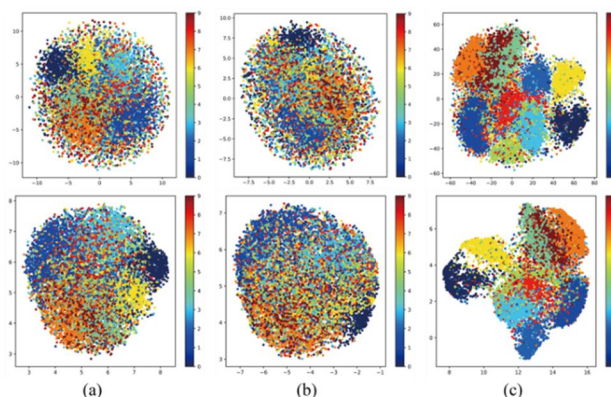


図1：提案データ前処理器から得られた特徴量の可視化マップ

図1：提案データ前処理器から得られた特徴量の可視化マップ。図1は、2x3のグリッドで構成されている。上段はMNISTデータ、下段はFashion MNISTデータを示している。左列(a)は、元のデータセットにノイズを付加したノイズデータセットに対する可視化結果であり、各点がデータ点1点(つまり、画像1枚)を表し、色はそのデータの属するクラスを表している。ノイズによりデータのクラスタ構造が破壊されていることが確認できる。中央列(b)は、左図のノイズデータセットから従来の確率的ニューラルネットワーク(自己符号化器)を用いて抽出された特徴量を可視化した結果であり、ノイズにより破壊されたクラスタ構造は依然破壊されたままである。右列(c)は、提案データ前処理器を用いてノイズデータセットから得られた特徴量セットの可視化マップであり、提案のデータ前処理によりクラス毎のクラスタ構造が復活していることが確認できる。提案のデータ前処理器が、前処理の過程でデータセット内のノイズを自動的に排除していることが分かる。

(3) シルエット分析による新しいRBMの学習基準の枠組みと、RBMとスパースモデリングとの融合モデルの提案を行った。これらは、テーマ【3】に関わる結果である。

RBMの通常の意味での学習は最尤学習であり、(対数)尤度関数が学習基準である。尤度関数はデータ分布とモデル分布のフィットネスを測る量である。最尤学習の結果、データ分布ともっとも良くフィットしたモデルは得られるが、それがデータ前処理器としてもっとも優れたモデルであるかどうかは不明である。最尤学習の行き着く先には過学習の問題があり、良いタイミングでの学習早期終了が重要となるのだが、こういった基準で早期終了させるかの基準が自明でない。先の研究成果(2)の結果を参考に、データ前処理器としてより相応しいモデルは、同じ種類(つまり、同じクラス)のデータをより(可視化空間上で)凝縮させ、また、異なる種類のデータをより離反させるものであると考えた。そこで、クラスタ構造に対する評価指標として用いられるシルエット分析を、学習早期終了の基準として新しく採用した。通常最尤学習過程において、随時可視化空間をモニタリングし、シルエットスコアが最適になる点で早期終了するという戦略である。これにより、データ前処理器として良質なモデルを安定的に得ることができるようになった。しかしながら、この提案学習基準は、可視化空間上でのスコア評価が前提であるため、採用する可視化手法に結果が依存してしまうという弱点をもつ。特定の可視化手法に依存しない基準の模索が今後の課題である。

RBMにスパースモデリングのアイデアを導入した、新しい確率的ニューラルネットワークモデルを提案した。提案モデルは、学習中に積極的に変数の刈り込みを行う。この性質により、不要次元の剪定などへの機能強化が期待される。提案モデルの最大の特長は、データの複雑さに応じて学習中に“自動的に”変数刈り込みを行う点である。通常よくあるスパースモデリングでは、人為的に設定されたハイパパラメータがあり、そのハイパパラメータの設定値の程度に応じて刈り込みを行うことがほとんどである。一方で、提案モデルにおいてはそのような人為的なハイパパラメータが存在せず、刈り込みの程度まで学習スキームの中で自動的に決定される。提案モデルのデータ前処理器への応用と、その有用性の検証が喫緊の課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Yasuda Muneki	4. 巻 15
2. 論文標題 Effective sampling on Gaussian-Bernoulli restricted Boltzmann machines	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 217 ~ 225
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.15.217	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 Sekimoto Kaiji, Takahashi Chako, Yasuda Muneki	4. 巻 15
2. 論文標題 Quasi-free energy evaluation of Gaussian-Bernoulli restricted Boltzmann machine for anomaly detection	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 273 ~ 283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.15.273	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 Yasuda Muneki, Sekimoto Kaiji	4. 巻 51
2. 論文標題 Gaussian-discrete restricted Boltzmann machine with sparse-regularized hidden layer	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Behaviormetrika	6. 最初と最後の頁 1 ~ 19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41237-024-00230-9	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 Muneki Yasuda, Zhongren Xiong	4. 巻 -
2. 論文標題 New Learning Algorithm of Gaussian-Bernoulli Restricted Boltzmann Machine and its Application in Feature Extraction	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications	6. 最初と最後の頁 134 ~ 137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34385/proc.76.A3L-42	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 Kaiji Sekimoto, Chako Takahashi, Muneki Yasuda	4. 巻 -
2. 論文標題 Quasi-Free Energy Evaluation of Restricted Boltzmann Machine for Anomaly Detection	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications	6. 最初と最後の頁 142 ~ 145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34385/proc.76.A3L-44	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 Yasuda Muneki, Takahashi Chako	4. 巻 106
2. 論文標題 Free energy evaluation using marginalized annealed importance sampling	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 1 ~ 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.106.024127	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 Sekimoto Kaiji, Yasuda Muneki	4. 巻 91
2. 論文標題 Composite Spatial Monte Carlo Integration Based on Generalized Least Squares	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1 ~ 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.91.114003	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 Yasuda Muneki, Katsumata Tomu	4. 巻 14
2. 論文標題 Discriminative restricted Boltzmann machine with trainable sparsity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 207 ~ 214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.14.207	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 Sekimoto Kaiji, Yasuda Muneki	4. 巻 14
2. 論文標題 Effective learning algorithm for restricted Boltzmann machines via spatial Monte Carlo integration	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 228 ~ 241
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.14.228	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 Muneki Yasuda, Tomu Katsumata	4. 巻 -
2. 論文標題 Discriminative Restricted Boltzmann Machine with Adapted-Sparse Hidden Layer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications	6. 最初と最後の頁 53 ~ 56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34385/proc.71.A3L-B-01	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 Kaiji Sekimoto, Muneki Yasuda	4. 巻 -
2. 論文標題 Spatial Monte Carlo Integration for Learning Restricted Boltzmann Machine	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications	6. 最初と最後の頁 9 ~ 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34385/proc.71.A2L-B-03	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 Tomu Katsumata and Muneki Yasuda	4. 巻 12
2. 論文標題 Effective Fine-Tuning Training of Deep Boltzmann Machine Based on Spatial Monte Carlo Integration	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 377-390
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.12.377	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 Seung-Il Cho, Minami Tsuchiya, Atsushi Tanaka, Muneki Yasuda, Tomochika Harada, and Michio Yokoyama	4. 巻 12
2. 論文標題 The association between the subjective satisfaction of sleep and the phase of a 90-minute periodic signal for the wake-up support system	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 464 ~ 474
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.12.464	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 Yuki Monma, Aro Kan, and Muneki Yasuda	4. 巻 E105-D
2. 論文標題 Hierarchical Gaussian Markov Random Field for Image Denoising	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 689 ~ 699
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2021EDP7172	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 -

〔学会発表〕 計29件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 高橋茶子, 吉田光男, 安田宗樹
2. 発表標題 多次元混合ガウス分布を用いたTwitterユーザ集団の偏り測定
3. 学会等名 人工知能学会第37回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松川岬矢, 安田宗樹
2. 発表標題 制限ボルツマンマシンとt-SNEを用いた特徴抽出器
3. 学会等名 情報処理学会東北支部研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 石沢怜, 安田宗樹
2. 発表標題 深層ボルツマンマシン分類器に対する高性能学習法
3. 学会等名 情報処理学会東北支部研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 栗林諒, 安田宗樹
2. 発表標題 多層構造学習モデルの中間層に対する情報理論的分析
3. 学会等名 情報処理学会東北支部研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 佐藤懂, 安田宗樹
2. 発表標題 異なるノイズ分散をもつ複数劣化画像からの画像修復
3. 学会等名 情報処理学会東北支部研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 浦田光佑, 安田宗樹
2. 発表標題 KLIEPを用いた相対密度比推定
3. 学会等名 情報処理学会東北支部研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 高橋隼汰, 安田宗樹
2. 発表標題 ベイジアンネットワーク型診断システムに対する高効率学習法
3. 学会等名 情報処理学会第86回全国大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 芳賀友紀, 関本快士, 安田宗樹
2. 発表標題 V正則化型相互作用をもつマルコフ確率場モデルの提案
3. 学会等名 情報処理学会第86回全国大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 石岡龍佑, 関本快士, 安田宗樹
2. 発表標題 階層ベイズ学習に基づく組み合わせ最適化問題の統計的分析
3. 学会等名 情報処理学会第86回全国大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 渡部直生, 酒井佳奈子, 土谷千加夫, 安田宗樹
2. 発表標題 ハフ変換とグラフィカルモデルを用いた車線推定
3. 学会等名 情報処理学会第86回全国大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Muneki Yasuda, Zhongren Xiong
2. 発表標題 New Learning Algorithm of Gaussian-Bernoulli Restricted Boltzmann Machine and its Application in Feature Extraction
3. 学会等名 The 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kaiji Sekimoto, Chako Takahashi, Muneki Yasuda
2. 発表標題 Quasi-Free Energy Evaluation of Restricted Boltzmann Machine for Anomaly Detection
3. 学会等名 The 2023 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 安田宗樹
2. 発表標題 悪環境下における機械学習
3. 学会等名 2023年度太陽研連シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 高橋良介, 安田宗樹
2. 発表標題 学習済みBERTクラス分類器からのクラス間相関構造の抽出
3. 学会等名 情報処理学会東北支部研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 熊中仁, 安田宗樹
2. 発表標題 制限ボルツマンマシンを用いた特徴量抽出と特徴重要度分析
3. 学会等名 情報処理学会東北支部研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 関本快士, 安田宗樹
2. 発表標題 制限ボルツマンマシンを用いた欠損のあるデータ集合の学習
3. 学会等名 情報処理学会 第85回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石岡龍佑, 安田宗樹
2. 発表標題 最適化問題における統計的揺らぎの分析
3. 学会等名 情報処理学会 第85回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋隼汰, 安田宗樹
2. 発表標題 経験ベイズ法の統計力学的解析の一般化と性能検証
3. 学会等名 情報処理学会 第85回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Muneki Yasuda, Tomu Katsumata
2. 発表標題 Discriminative Restricted Boltzmann Machine with Adapted-Sparse Hidden Layer
3. 学会等名 The 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kaiji Sekimoto, Muneki Yasuda
2. 発表標題 Spatial Monte Carlo Integration for Learning Restricted Boltzmann Machine
3. 学会等名 The 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 門馬維紀, 安田宗樹
2. 発表標題 階層型ガウシアンマルコフ確率場を用いた画像ノイズ除去
3. 学会等名 情報処理学会 第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 葛原優樹, 浦田光佑, 安田宗樹
2. 発表標題 損失関数を基礎とした事前分布をもつベイジアンニューラルネットワーク
3. 学会等名 情報処理学会 第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 楊顯恩, 安田宗樹
2. 発表標題 Cost Sensitive 学習に対する重み付きバッチ正規化と重み付き入力正規化
3. 学会等名 情報処理学会 第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 関本快士, 安田宗樹
2. 発表標題 一般化最小二乗法による合成空間モンテカルロ積分法
3. 学会等名 情報処理学会 第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大高郁斗, 安田宗樹
2. 発表標題 マルコフ確率場を用いたパンデミック・リスク予測
3. 学会等名 情報処理学会東北支部研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 池谷真弥, 安田宗樹
2. 発表標題 階層ガウス型マルコフ確率場を用いた画像補修
3. 学会等名 情報処理学会東北支部研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中佑典, 安田宗樹
2. 発表標題 制限ボルツマンマシンを用いたデータ前処理
3. 学会等名 情報処理学会東北支部研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 関本快士, 安田宗樹
2. 発表標題 一般化最小二乗法による合成空間モンテカルロ積分法
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前野陵介, 安田宗樹
2. 発表標題 制限ボルツマンマシンに対する統計力学的解析と学習への応用
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 執筆者：70名、技術情報協会	4. 発行年 2022年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 560
3. 書名 機械学習・ディープラーニングによる“異常検知”技術と活用事例集	

1. 著者名 Naoki Katoh et. al.	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer Singapore	5. 総ページ数 410
3. 書名 Sublinear Computation Paradigm	

〔産業財産権〕

〔その他〕

成果に関する web ページ http://www.adv-pip.yz.yamagata-u.ac.jp/~muneki/index.html

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