

令和 6 年 5 月 21 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H04249

研究課題名（和文）Tensor Network Representation for Machine Learning: Theoretical Study and Algorithms Development

研究課題名（英文）Tensor Network Representation for Machine Learning: Theoretical Study and Algorithms Development

研究代表者

ZHAO QIBIN (ZHAO, Qibin)

国立研究開発法人理化学研究所・革新知能統合研究センター・チームリーダー

研究者番号：30599618

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：私たちは、不完全でノイズの多いデータテンソルに対する高度なテンソル分解およびテンソルネットワーク表現方法を研究・開発しました。その実用性を向上させるために、最適なテンソルネットワーク構造の探索アルゴリズムや、深層ニューラルネットワークを用いた非線形で柔軟なテンソル分解方法も開発しました。さらに、テンソル表現を用いたモデルパラメータに対する深層ニューラルネットワークの敵対的口バスト性も研究し、敵対的純化のためのいくつかの新しいアプローチを開発しました。最後に、私たちの研究成果は、マルチモーダル学習やハイパースペクトル画像処理など、多くの応用分野に採用することができます。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Our research further promotes fundamental technology on tensor methods for machine learning. We have shown that tensor methods are powerful for structured data analysis and also practically useful for parameter representation of deep neural networks, resulting in more efficient and robust models.

研究成果の概要（英文）：We studied and developed some advanced tensor decomposition and tensor network representation methods for incomplete and noisy data tensor. To improve its practicability, we also developed various algorithms for optimal tensor network structure search, and deep neural network based nonlinear flexible tensor decomposition methods. Moreover, we also studied adversarial robustness of deep neural networks under tensor representation of model parameters and developed several novel approaches for adversarial purification. Finally, our research findings can be adopted into some applications such as multi-model learning, hyperspectral image processing and etc.

研究分野：machine learning

キーワード：tensor network machine learning adversarial robustness

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1 . 研究開始当初の背景

The modern AI technologies highly depend on the large-scale and high-quality dataset, large model size and massive amount of computation resources. However, in many applications, it is difficult to collect high quality large-scale dataset, and large model is difficult to be deployed at terminal devices. In addition, the large model with deep neural networks have shown to be vulnerable to adversarial perturbation and interpretability of decision is poor. Tensor networks (TNs) have recently gained increasing attentions in machine learning, data mining and computer vision fields due to its effectiveness in efficient computation and model compression in deep learning. However, there are many open problems that are still unexplored, which limit its impact in machine learning. For instance, why and how TN representation is of benefit to compact representation? What is the optimal TN structure given specific task. How to efficiently learn TN representation is also challenging.

2 . 研究の目的

Our research aims to investigate the fundamental theory and algorithms for tensor-based machine learning technology. By using tensor decomposition and tensor network representation, we expect to achieve more efficient learning models, as well as the robustness and interpretability of deep neural networks can be improved.

3 . 研究の方法

We study tensor-based machine learning technology from three perspectives, including tensor methods for high-order data tensor, tensor representation for model parameters and tensorized neural networks, and adversarial robustness of tensorized neural network models. For general tensor decomposition, we investigate the optimal tensor network structure learning algorithms, nonlinear extension of tensor methods with the efficient learning algorithms. For neural network with tensor structured parameter, we focus on the theoretical understanding and analysis of its robustness and expressiveness. Finally, we also apply tensor methods to various application domains like multi-modal learning, multi-view learning, hyperspectral image processing, EEG signal processing etc.

4 . 研究成果

(1) RNNs are powerful because the recurrent dynamics of the hidden states allow the models to remember the past information but has an inherent difficulty to learn the long-range dependence of the data. In our study, we focus on extension of RNN layer to higher-degree polynomials. We have proven that tensor-power recurrent model is able to achieve the long memory effect if large degree p is applied but it would lead to unstable dynamical behaviors. We tackle this issue by extending the degree p from discrete to a differentiable domain, such that it can be learned from dataset. Our method shows competitive performance as compared to various RNNs (Qiu et al., AISTATS 2021). Similarly, tensor network based multi-modal transformer was developed for multimodal learning (Tang et al., IJCAI 2022). We also applied these techniques to the application of multimodal sentimental analysis on incomplete data.

(2) Tensor ring decomposition has recently attracted considerable attention in solving the low-rank tensor completion problem. However, the existing algorithms usually requires a large TR rank to achieve the optimal performance, which leads to high computational cost. We develop a new method to exploit the low TR-rank structure by a balanced unfolding operation called tensor circular unfolding and theoretically analyzed the relationship between TR rank and rank of tensor unfolding. We also developed Bayesian latent model for tensor ring decomposition (Tao et al., ACML 2021), scalable Bayesian tensor ring factorization (Tao et al., ICONIP 2023) and low tensor ring rank completion algorithm by parallel matrix factorization (Yu et al., IEEE TNNLS 2021), imbalanced low-rank tensor completion via latent matrix factorization (Qiu et al., Neural Networks 20222). Experimental results demonstrated that our methods achieve outstanding performance with a much smaller TR rank.

(3) Although there are several standard tensor network structures, each tensor network structure has different advantages but also with some limitations. We study a universal tensor network structure with fully connected graph structure (Fig. 1), and it shows that outstanding capability for characterizing adequately the intrinsic correlations between any two modes of tensors and the essential invariance for transposition. Subsequently, by developing an algorithm to learning the connection automatically, we can obtain the optimal tensor network structure from fully connected tensor networks, which satisfy our expected objective function (Zheng et al., AAAI 2021, CVPR 2024).

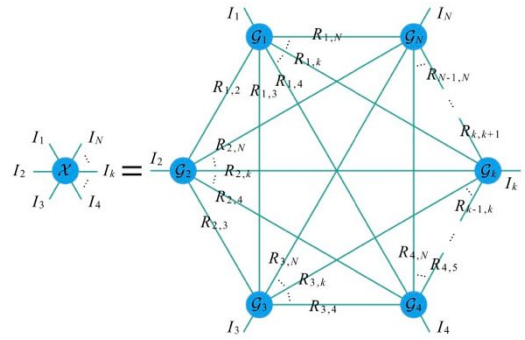


Figure 1: Fully connected tensor networks

(4) Tensor network structure search aims to select suitable tensor network structures, involving the TN-ranks, TN-format, and permutation search. We study how to solve this challenging problem by converting these learning problems into adjacent matrix optimization problem. And then, several optimization algorithms such as evolutionary algorithm, random sampling algorithm are developed to learn the optimal TN structure with minimum number of latent parameters (Li et al., ICML 2022). However, one drawback of these algorithms is the slow convergence and low efficiency of algorithms. To further improve the efficiency, we developed an alternating enumeration strategy, greatly reducing the number of evaluations (Li et al., ICML 2023). In addition, we also developed a parameters tuning-free algorithm based on Bayesian modeling and an efficient MCMC algorithm for posterior distribution sampling (Zeng et al., Neural Networks 2024).

(5) The existing tensor decomposition methods always requires prior knowledge about distribution of data, and generative process structure from latent factors to observations, which limits its flexibility for handling complex data distributions and flexible tensor

structure as well as the nonlinearity. To address this issue, we have developed a flexible TD framework that discards the structural and distribution assumptions, to learn as much information from the data. To this end, we incorporate the energy-based model for joint probability of data and latent tensor factors, equipped by neural networks and self-supervised techniques (Fig. 2). Our developed model and its learning algorithms are shown to be powerful for handling many different data and learning tasks such as tensor completion and time series predictions (Tao et al., NeurIPS 2023). Furthermore, we also develop a nonparametric TD with

amortized inference networks, which establish a non-linear extension of tensor ring decomposition using neural networks to model complex latent structures (Tao et al., Neural Networks 2024).

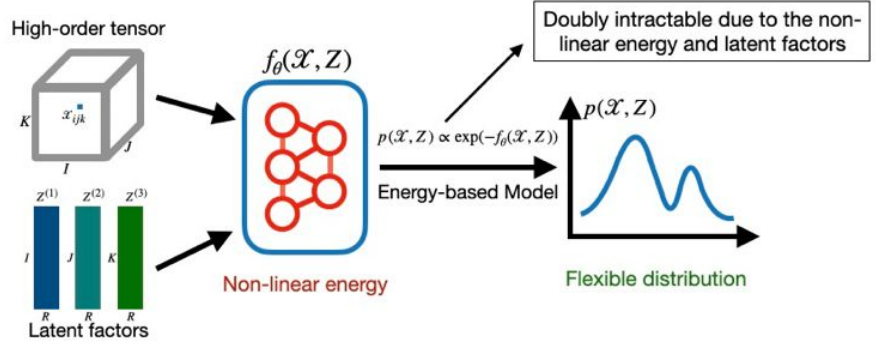


Figure 2: Flexible undirected probabilistic decomposition

(6) In numerous applications, tensor data with binary and count entries is shown while most TDs are designed based on continuous values and multilinear structures. We propose an efficient nonparametric tensor decomposition for binary and count tensors. Gaussian processes are applied to extend multi-linear structures to nonlinear structure, and Poly-Gamma augmentation is applied to establish conjugate models for binary and count distribution. Finally, the sparse orthogonal variational inference of inducing points and stochastic natural gradient algorithm is developed. The experiments show its outstanding performance and computational efficiency (Tao et al., AAAI 2024).

(7) Tensorized neural networks, such as t-product layers, have shown promising performance through novel feature mapping in the transformed domain. However, the theoretical analysis of their generalization and robustness remains unexplored. We address this gap by deriving upper bounds on the generalization error of t-NNs both in standard and adversarial settings. Our analysis shows that t-NNs compressed with exact transformed low-rank parameterization can achieve tighter adversarial generalization bounds compared to non-compressed models. Moreover, we establish sharp adversarial generalization bounds for t-NNs with approximately transformed low-rank weights. Our findings highlight the potential of transformed low-rank parameterization in enhancing the robust generalization of t-NNs, offering valuable insights for further research and development (Wang et al., NeurIPS 2023).

(8) Deep neural networks are known to be vulnerable to well-designed adversarial attacks. The most successful defense technique based on adversarial training can achieve optimal robustness but cannot generalize well to unseen attacks. Adversarial purification (AP) can enhance generalization but cannot achieve optimal robustness. To mitigate these issues, we have introduced a novel pipeline to acquire the robust purifier model which comprises two components, perturbation destruction by random transforms and purifier model fine-tuned by adversarial loss (Fig. 3). Our method achieves optimal robustness and exhibits generalization ability against unseen attacks (Lin et al., ICLR 2024). To improve adversarial training, we introduce an algorithm to reweight the training samples based on self-supervised techniques to mitigate the negative effects of the atypical samples, resulting in improvement of both robustness and standard accuracy (Zhang et al., AAAI 2023).

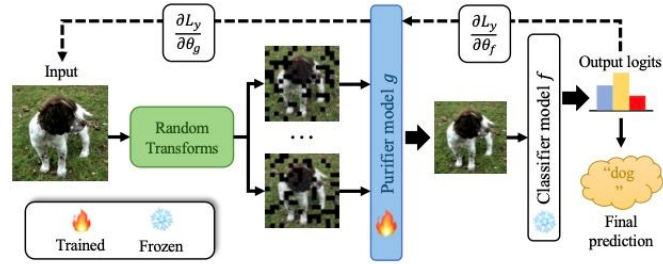


Figure 3: Adversarial training on purification

(9) To demonstrate the usefulness of tensor methods, we also work on some real-world applications. The tensor product and tensorized neural networks have been applied to multimodal sentimental analysis on incomplete data (Li et al., ECCV 2020, Tang et al., ACL 2021), supervised learning with incomplete data (Cesar et al., CVPR workshop 2021), multi-distorted image restoration with tensor convolutional layers (Huang et al., IJCNN 2021), efficient information steganography via reshuffled tensor decomposition (Sun et al., ICASSP 2021), epileptic focus localization based on tensor representation (Zhao et al., APSIPA 2021), and hyperspectral image restoration by low-rank tensor approximation as shown in Fig. 4 (He et al., IEEE TPAMI 2022).

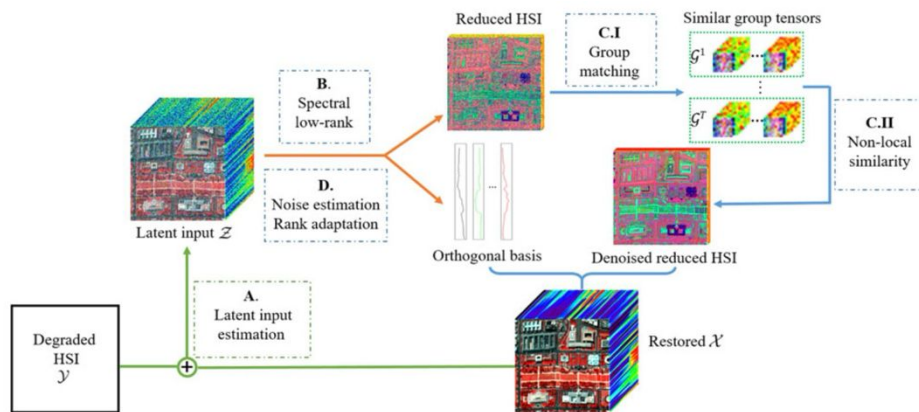


Figure 4: Hyperspectral image denoising framework

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計39件（うち査読付論文 39件 / うち国際共著 39件 / うちオープンアクセス 13件）

1. 著者名 Yubang Zheng, Xile Zhao, Junhua Zeng, Chao Li, Qibin Zhao, Hengchao Li, Tingzhu Huang	4. 巻 -
2. 論文標題 SVDinsTN: A Tensor Network Paradigm for Efficient Structure Search from Regularized Modeling Perspective	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)	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 Chao Li, Junhua Zeng, Chunmei Li, Cesar Caiafa, Qibin Zhao	4. 巻 -
2. 論文標題 Alternating Local Enumeration (TnALE): Solving Tensor Network Structure Search with Fewer Evaluations	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 40th International Conference on Machine Learning	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 Qiu Hejia, Li Chao, Weng Ying, Sun Zhun, Zhao Qibin	4. 巻 -
2. 論文標題 Fractional Tensor Recurrent Unit (fTRU): A Stable Forecasting Model With Long Memory	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems	6. 最初と最後の頁 1~10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TNNLS.2023.3338696	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 Tang Jiajia, Hou Ming, Jin Xuanyu, Zhang Jianhai, Zhao Qibin, Kong Wanzeng	4. 巻 11
2. 論文標題 Tree-Based Mix-Order Polynomial Fusion Network for Multimodal Sentiment Analysis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Systems	6. 最初と最後の頁 44~44
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/systems11010044	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 Tao Zerui, Tanaka Toshihisa, Zhao Qibin	4. 巻 14447
2. 論文標題 Scalable Bayesian Tensor Ring Factorization for Multiway Data Analysis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 490 ~ 503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-99-8079-6_38	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 Zerui Tao, Toshihisa Tanaka, Qibin Zhao	4. 巻 -
2. 論文標題 Undirected Probabilistic Model for Tensor Decomposition	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the Thirty-eighth Annual Conference on Neural Information Processing Systems	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 Andong Wang, Chao Li, Mingyuan Bai, Zhong Jin, Guoxu Zhou, Qibin Zhao	4. 巻 -
2. 論文標題 Transformed Low-Rank Parameterization Can Help Robust Generalization for Tensor Neural Networks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the Thirty-eighth Annual Conference on Neural Information Processing Systems	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 Zhang Jianfu, Hong Yan, Zhao Qibin	4. 巻 37
2. 論文標題 Memorization Weights for Instance Reweighting in Adversarial Training	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence	6. 最初と最後の頁 11228 ~ 11236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1609/aaai.v37i9.26329	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 Zhao Xuyang, Zhao Qibin, Tanaka Toshihisa, Sole-Casals Jordi, Zhou Guoxu, Mitsuhashi Takumi, Sugano Hidenori, Yoshida Noboru, Cao Jianting	4. 巻 17
2. 論文標題 Classification of the Epileptic Seizure Onset Zone Based on Partial Annotation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Cognitive Neurodynamics	6. 最初と最後の頁 703 ~ 713
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11571-022-09857-4	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 Guang Lin, Chao Li, Jianhai Zhang, Toshihisa Tanaka, Qibin Zhao	4. 巻 -
2. 論文標題 ADVERSARIAL TRAINING ON PURIFICATION (ATOP): ADVANCING BOTH ROBUSTNESS AND GENERALIZATION	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Twelfth International Conference on Learning Representations 2024	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 Tao Zerui, Tanaka Toshihisa, Zhao Qibin	4. 巻 38
2. 論文標題 Efficient Nonparametric Tensor Decomposition for Binary and Count Data	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence	6. 最初と最後の頁 15319 ~ 15327
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1609/aaai.v38i14.29456	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 Tao Zerui, Tanaka Toshihisa, Zhao Qibin	4. 巻 169
2. 論文標題 Nonparametric tensor ring decomposition with scalable amortized inference	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Neural Networks	6. 最初と最後の頁 431 ~ 441
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neunet.2023.10.031	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 Zeng Junhua, Zhou Guoxu, Qiu Yuning, Li Chao, Zhao Qibin	4. 巻 175
2. 論文標題 Bayesian tensor network structure search and its application to tensor completion	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Neural Networks	6. 最初と最後の頁 106290 ~ 106290
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neunet.2024.106290	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 Zhang Jianfu, Hong Yan, Cheng Dawei, Zhang Liqing, Zhao Qibin	4. 巻 -
2. 論文標題 Hierarchical Attacks on Large-Scale Graph Neural Networks	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing	6. 最初と最後の頁 7635~7639
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICASSP48485.2024.10448076	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 Takayama Hiromu, Yokota Tatsuya	4. 巻 -
2. 論文標題 Fast Signal Completion Algorithm with Cyclic Convolutional Smoothing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of 2022 APSIPA Annual Summit and Conference	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) 10.23919/APSIPAASC55919.2022.9980284	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 Chen Xinqi, Zhou Guoxu, Wang Yanjiao, Hou Ming, Zhao Qibin, Xie Shengli	4. 巻 52
2. 論文標題 Accommodating Multiple Tasks' Disparities With Distributed Knowledge-Sharing Mechanism	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Cybernetics	6. 最初と最後の頁 2440 ~ 2452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCYB.2020.3002911	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 He Wei, Yao Quanming, Li Chao, Yokoya Naoto, Zhao Qibin, Zhang Hongyan, Zhang Liangpei	4. 巻 -
2. 論文標題 Non-local Meets Global: An Integrated Paradigm for Hyperspectral Image Restoration	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TPAMI.2020.3027563	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 Li Chao, Zeng Junhua, Tao Zerui, Zhao Qibin	4. 巻 -
2. 論文標題 Permutation Search of Tensor Network Structures via Local Sampling	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 39th International Conference on Machine Learning	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 Qiu Yuning, Zhou Guoxu, Zeng Junhua, Zhao Qibin, Xie Shengli	4. 巻 155
2. 論文標題 Imbalanced low-rank tensor completion via latent matrix factorization	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Neural Networks	6. 最初と最後の頁 369 ~ 382
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neunet.2022.08.023	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 Reinamar J. Kobler, Jun-ichiro Hirayama, Qibin Zhao, Motoaki Kawanabe	4. 巻 -
2. 論文標題 SPD domain-specific batch normalization to crack interpretable unsupervised domain adaptation in EEG	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 36th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2022)	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 Jiajia Tang, Kang Li, Ming Hou, Xuanyu Jin, Wanzeng Kong, Yu Ding, Qibin Zhao	4. 巻 -
2. 論文標題 MMT: Multi-Way Multi-Modal Transformer for Multimodal Learning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the Thirty-First International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-22)	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 Zhao Xuyang, Zhao Qibin, Tanaka Toshihisa, Sole-Casals Jordi, Zhou Guoxu, Mitsuhashi Takumi, Sugano Hidenori, Yoshida Noboru, Cao Jianting	4. 巻 17
2. 論文標題 Classification of the Epileptic Seizure Onset Zone Based on Partial Annotation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cognitive Neurodynamics	6. 最初と最後の頁 703 ~ 713
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11571-022-09857-4	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 Yamamoto Ryuki, Hontani Hidekata, Imakura Akira, Yokota Tatsuya	4. 巻 -
2. 論文標題 Consistent MDT-Tucker: A Hankel Structure Constrained Tucker Decomposition in Delay Embedded Space	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of 2022 APSIPA Annual Summit and Conference	6. 最初と最後の頁 137 ~ 142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/APSIPAASC55919.2022.9980035	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 Takayama Hiromu, Zhao Qibin, Hontani Hidekata, Yokota Tatsuya	4. 巻 3
2. 論文標題 Bayesian Tensor Completion and Decomposition with Automatic CP Rank Determination Using MGP Shrinkage Prior	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SN Computer Science	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) 10.1007/s42979-022-01119-8	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 Yokota Tatsuya, Hontani Hidekata, Zhao Qibin, Cichocki Andrzej	4. 巻 33
2. 論文標題 Manifold Modeling in Embedded Space: An Interpretable Alternative to Deep Image Prior	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems	6. 最初と最後の頁 1022 ~ 1036
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNNLS.2020.3037923	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 Zheng Yu-Bang, Huang Ting-Zhu, Zhao Xi-Le, Zhao Qibin	4. 巻 92
2. 論文標題 Tensor Completion via Fully-Connected Tensor Network Decomposition with Regularized Factors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Scientific Computing	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) 10.1007/s10915-022-01841-8	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 Caiifa Cesar F., Wang Ziyao, Sole-Casals Jordi, Zhao Qibin	4. 巻 2021
2. 論文標題 Learning from Incomplete Features by Simultaneous Training of Neural Networks and Sparse Coding	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops	6. 最初と最後の頁 2621 ~ 2630
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CVPRW53098.2021.00296	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 Huang Zihao, Li Chao, Duan Feng, Zhao Qibin	4. 巻 2021
2. 論文標題 Multi-distorted Image Restoration with Tensor 1×1 Convolutional Layer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)	6. 最初と最後の頁 2161 ~ 4407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IJCNN52387.2021.9533737	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 Qiu Hejia, Li Chao, Weng Ying, Sun Zhun, He Xingyu, Zhao Qibin	4. 巻 130
2. 論文標題 On the Memory Mechanism of Tensor-Power Recurrent Models	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 24th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS)	6. 最初と最後の頁 3682 ~ 3690
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 Sui Linfeng, Zhao Xuyang, Zhao Qibin, Tanaka Toshihisa, Cao Jianting	4. 巻 2021
2. 論文標題 Hybrid Convolutional Neural Network for Localization of Epileptic Focus Based on iEEG	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Neural Plasticity	6. 最初と最後の頁 1 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2021/6644365	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 Sun Zhun, Li Chao, Zhao Qibin	4. 巻 2021
2. 論文標題 Hide Chopin in the Music: Efficient Information Steganography Via Random Shuffling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)	6. 最初と最後の頁 1 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICASSP39728.2021.9413357	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 Tang Jiajia, Li Kang, Jin Xuanyu, Cichocki Andrzej, Zhao Qibin, Kong Wanzeng	4. 巻 2021
2. 論文標題 CTFN: Hierarchical Learning for Multimodal Sentiment Analysis Using Coupled-Translation Fusion Network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 59th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 11th International Joint Conference on Natural Language Processing	6. 最初と最後の頁 5301 ~ 5311
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18653/v1/2021.acl-long.412	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 Wang Andong, Zhou Guoxu, Jin Zhong, Zhao Qibin	4. 巻 15
2. 論文標題 Tensor Recovery via L-Spectral k-Support Norm	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing	6. 最初と最後の頁 522 ~ 534
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSTSP.2021.3058763	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 Yu Jinshi, Zhou Guoxu, Li Chao, Zhao Qibin, Xie Shengli	4. 巻 32
2. 論文標題 Low Tensor-Ring Rank Completion by Parallel Matrix Factorization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems	6. 最初と最後の頁 3020 ~ 3033
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNNLS.2020.3009210	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 ZHANG Jianfu, TAO ZERUI, ZHANG LIQING, ZHAO QIBIN	4. 巻 2021
2. 論文標題 Tensor Decomposition Via Core Tensor Networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)	6. 最初と最後の頁 2130 ~ 2134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICASSP39728.2021.9413637	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 Xuyang Zhao; Jordi Sole-Casals; Qibin Zhao; Jianting Cao; Toshihisa Tanaka	4. 巻 2021
2. 論文標題 Multi-feature Fusion for Epileptic Focus Localization Based on Tensor Representation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC)	6. 最初と最後の頁 1323 ~ 1327
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 Zheng Yu-Bang, Huang Ting-Zhu, Zhao Xi-Le, Zhao Qibin, Jiang Tai-Xiang	4. 巻 35
2. 論文標題 Fully-Connected Tensor Network Decomposition and Its Application to Higher-Order Tensor Completion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence	6. 最初と最後の頁 11071 ~ 11078
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1609/aaai.v35i12.17321	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 Zerui Tao, Xuyang Zhao, Toshihisa Tanaka, Qibin Zhao	4. 巻 157
2. 論文標題 Bayesian Latent Factor Model for Higher-order Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of The 13th Asian Conference on Machine Learning	6. 最初と最後の頁 1285-1300
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 Binghua Li, Chao Li, Feng Duan, Ning Zheng, Qibin Zhao	4. 巻 1
2. 論文標題 TPFN: Applying Outer Product along Time to Multimodal Sentiment Analysis Fusion on Incomplete Data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ECCV 2020	6. 最初と最後の頁 431-447
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

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Chao Li
2. 発表標題 Permutation Search of Tensor Network Structures via Local Sampling
3. 学会等名 International Conference on Machine Learning (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Reinmar J. Kobler
2. 発表標題 SPD domain-specific batch normalization to crack interpretable unsupervised domain adaptation in EEG
3. 学会等名 36th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jiajia Tang
2. 発表標題 MMT: Multi-Way Multi-Modal Transformer for Multimodal Learning
3. 学会等名 Thirty-First International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Qibin Zhao
2. 発表標題 Tensor Networks in Machine Learning: Recent Advances and Frontiers
3. 学会等名 SIAM Conference on Applied Linear Algebra (LA21) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Binghua Li
2. 発表標題 TPFN: Applying Outer Product along Time to Multimodal Sentiment Analysis Fusion on Incomplete Data
3. 学会等名 ECCV 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Qibin Zhao
2. 発表標題 Tensor Networks in Machine Learning: Recent Advances and Frontiers
3. 学会等名 12th Asian Conference on Machine Learning (ACML 2020) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Qibin Zhao
2. 発表標題 Tensor Network Representations in Machine Learning
3. 学会等名 11th IFIP International Conference on Intelligent Information Processing (招待講演)
4. 発表年 2020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	曹 建庭 (CAO Jianting) (20306989)	埼玉工業大学・工学部・教授 (32410)	
研究 分担者	横田 達也 (YOKOTA Tatsuya) (80733964)	名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授 (13903)	

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