

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2022～2023

課題番号：22K19814

研究課題名（和文）自己組織化による学習：人工知能の新たな基礎を開拓

研究課題名（英文）Learning based on Self-Organization: Pioneering a New Foundation for AI

研究代表者

VARGAS DANILLO (Vargas, Danilo)

九州大学・システム情報科学研究所・准教授

研究者番号：00795536

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、最適化を用いず力学方程式に基づく新しい機械学習パラダイムを開発しました。SyncMapの安定性を向上させ、Physica D誌に発表し、Magnumで高次元の問題に対処しました。その高次元で適応的かつ頑健な結果は、次世代AIへの可能性を浮き彫りにしている。さらに、レザボア・コンピューティング(RC)をSyncMapに統合し、IEEE Accessにレビュー論文が受理され、新しいRC手法を概念実証しました。また、画像認識と分類の基礎を確立しました。これらの成果は、新たな研究の道を開き、大きな進歩を遂げました。

研究成果の学術的意義や社会的意義

社会的重要性に関連して、このロバストで適応的なパラダイムは、ディープラーニングにおけるロバスト性の欠如に取り組むために作られた。この研究努力は、自律走行や医療など、信頼ができる方法を必要とするクリティカルなアプリケーションに特に有益である。

学的意義とは、有名な学術誌に掲載された論文の質の高さと、これまでにないロバストで適応力のある新世代のAIの開発である。したがって、この研究は研究の新たな可能性を開くものであり、おそらく力学方程式に基づくロバストで適応的なAIという新たな科学分野を創造し、それに伴う強い社会的インパクトをもたらすものである。

研究成果の概要（英文）：In this research, we advanced a novel machine learning paradigm based on dynamical equations without optimization. Its high-dimensional, adaptive, and robust results highlight its potential for next-gen AI. Key achievements include enhancing SyncMap's stability, leading to Symmetrical SyncMap published in Physica D, and addressing high dimensionality with Magnum, published in Neurocomputing.

Additional explorations integrated Reservoir Computing (RC) into SyncMap, with a review paper accepted by IEEE Access and a new RC method proof of concept. Furthermore, we established a foundation for image recognition and classification with SyncMap, showing promising, data-efficient results. These accomplishments not only signify significant progress but also open multiple new research avenues.

研究分野：ロバスト人工知能

キーワード：ロバスト人工知能 適応性が高い人工知能 新しい人工知能のパラダイム

1. 研究開始当初の背景

Current deep learning models are more accurate and widely applied, but they have significant vulnerabilities [Su, Vargas, Sakurai IEEE Trans 2019]. Previous work by Danilo Vargas identified a reduction in feature robustness in conventional deep learning with low nonlinearity [Vargas, Su 2020]. To address this, learning based on dynamical equations without optimization was pioneered by SyncMap paradigm [Vargas, Asabuki AAAI21].

SyncMap, detailed in [Vargas, Asabuki AAAI21], features:

- (a) **Open learning method:** An unconventional system based on dynamical systems, not optimization.
- (b) **High accuracy:** Outperforms deep learning and other algorithms for most tasks.
- (c) **High adaptability:** Constantly updates through dynamic equations, handling changing problems effectively.

Its high robustness and adaptation without lost in accuracy shall deserve increasing research interest.

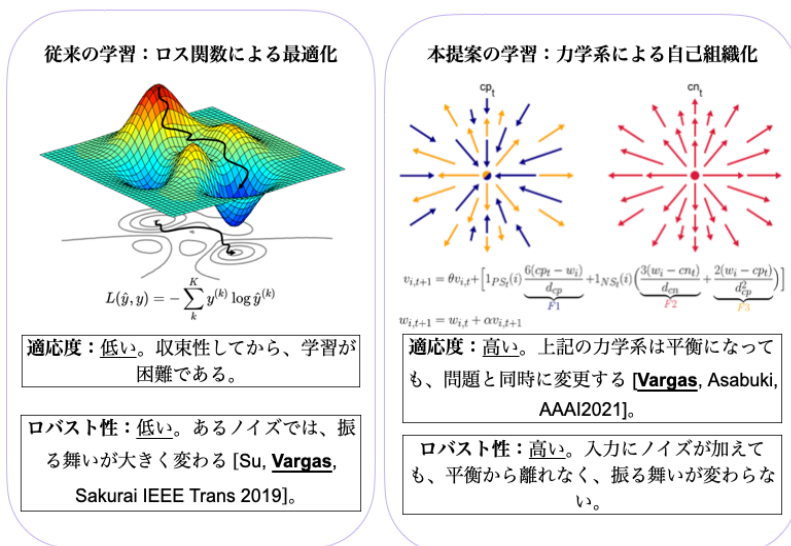


Figure 1: New Paradigm based on Self-Organization

2. 研究の目的

This research pioneers a new foundation for artificial intelligence based on a new learning paradigm called SyncMap.

3. 研究の方法

An overview of SyncMap is provided in Figure 2. It works by using attraction and repel forces in dynamical systems to map temporal correlation to spatial correlation. In other words, the resulting proximity of variables inside the map created by SyncMap reflects how similar variables are.

Three methods were developed to further improve the paradigm, detailed in the next section.

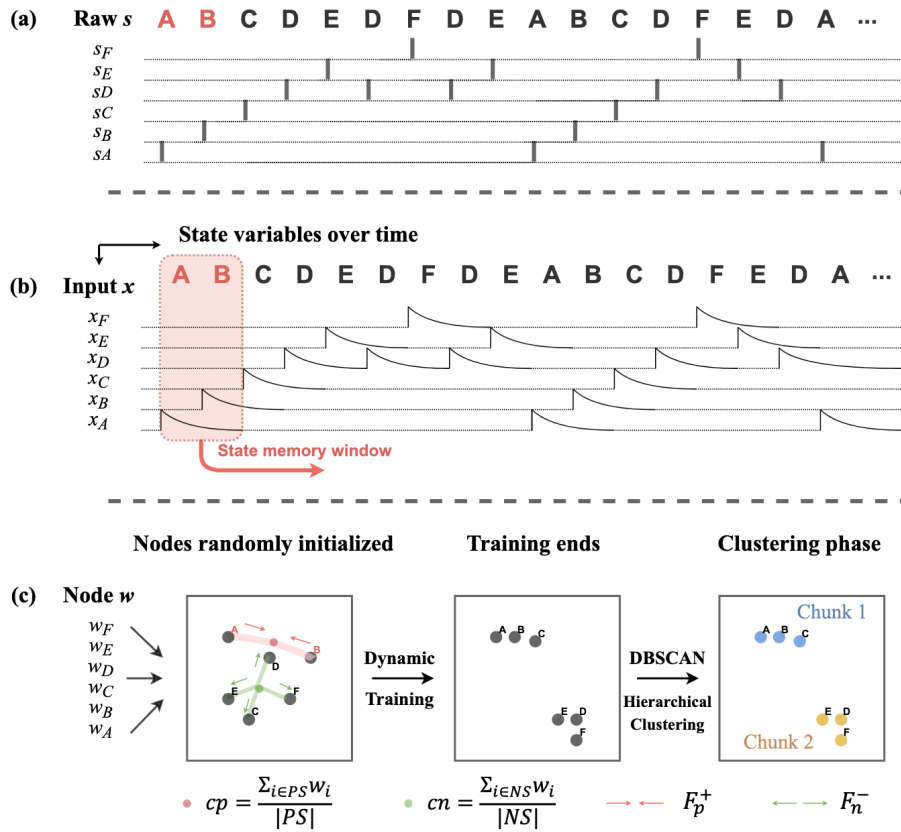


Figure 2: Overview of SyncMap

#### 4. 研究成果

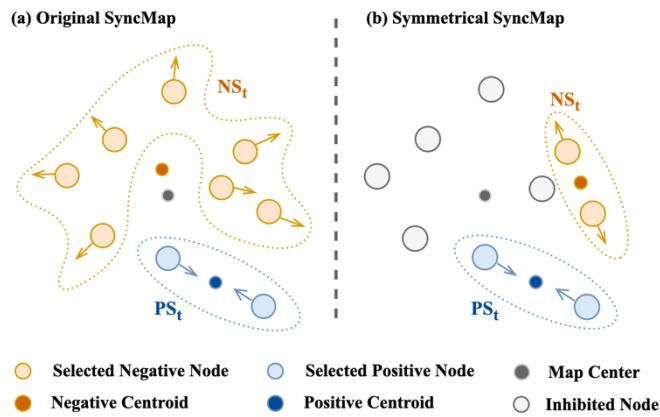
Three distinct and successful methods were developed in this research, each addressing different challenges and further improving SyncMap (Table 1).

	SyncMap [AAAI2021]	Symmetrical SyncMap [査読中]	Magnum [Neurocomputing2023]	Sigma [査読中、Arxiv 2023]
階層的	✗	✗	✗	✓
高次元	✗	✗	✓	✗
ノイズ	✗	✗	✗	✗
安定的	✗	✓	✓	✓

Table 1 – Recent advances of SyncMap’s new AI paradigm

#### 4.1 Symmetrical SyncMap

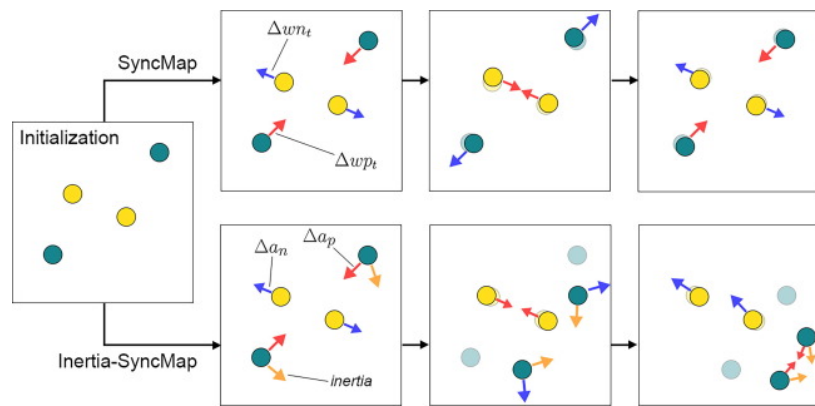
This method enhances the original SyncMap by creating stable dynamical equations and attractor-repeller points, even for imbalanced continual general chunking problems (CGCPs). It applies symmetrical activation with equal updates from negative and positive feedback loops (Figure 3) and introduces a memory window for more positive updates. By making the activations symmetric, it is easier for SyncMap to reach and maintain a stability. Our algorithm surpasses or matches other unsupervised state-of-the-art baselines across all 12 imbalanced CGCPs, including dynamically changing ones. We validated its real-world performance on several well-established structure learning problems.



**Figure 3: Symmetrical SyncMap**

### 4.2 Magnum

Magnum achieves scalability through multiple self-organizing subsystems (Inertia-SyncMap, which was introduced to avoid deadlock dynamics such as the one seeing in Figure 4), each handling subsets of problem variables. By merging these Inertia-SyncMaps, Magnum builds consensus on variable correlations over time, accurately predicting large variable group structures. Experiments show Magnum consistently outperforms or matches other unsupervised algorithms in all high-dimensional chunking problems, each with distinct shapes and structural features. Additionally, Inertia-SyncMap alone outperforms or ties with other unsupervised algorithms in six out of seven basic chunking problems.



**Figure 4 : Illustration of how Inertia-SyncMap avoid deadlock dynamics**

### 4.3 Sigma

Sigma employs an inertia-based system to learn precise variable correlations, resulting in accurate hierarchies.

In summary, this research presented three innovative methods – Symmetrical SyncMap, Magnum, and Sigma – each demonstrating robust performance across a range of structure learning challenges and contributing to the advancement of a novel AI foundation based on robust and adaptive systems.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 7件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kotyan Shashank, Vargas Danilo Vasconcellos	4. 巻 17
2. 論文標題 Adversarial robustness assessment: Why in evaluation both L0 and L attacks are necessary	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 265723-265723
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0265723	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 Kotyan Shashank, Matsuki Moe, Vargas Danilo Vasconcellos	4. 巻 17
2. 論文標題 Transferability of features for neural networks links to adversarial attacks and defences	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 266060-266060
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0266060	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 M. Osugi, D. V. Vargas	4. 巻 14
2. 論文標題 “ Image Generation from Text and Segmentation ”	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 14th International Workshop on Parallel and Distributed Algorithms and Applications (PDAA2022)	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） 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 T. Y. Foong, D. V. Vargas	4. 巻 5
2. 論文標題 “ Understanding SyncMap: Analyzing the components of Its Dynamical Equation ”	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 5th Artificial Intelligence and Cloud Computing Conference (AICCC2022)	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） 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 H. Zhang, D. V. Vargas	4. 巻 5
2. 論文標題 "Understanding SyncMap's Dynamics and Its Self-organization Properties: A Space-time Analysis"	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 5th Artificial Intelligence and Cloud Computing Conference (AICCC2022)	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) 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 Y. Jiang, D. V. Vargas	4. 巻 24
2. 論文標題 "Curious-II: A Multi/Many-Objective Optimization Algorithm with Subpopulations based on Multi-novelty Search"	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO)	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) 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 T. Y. Foong, D. V. Vargas	4. 巻 45
2. 論文標題 "Generating oscillation activity with Echo State Network to mimic the behaviour of a simple central pattern generator"	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the CogSci 2023	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) 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

〔学会発表〕 計0件

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

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