

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：34419

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K19791

研究課題名（和文）大規模ニューラルネットワークの分散管理を可能にするサーバ連携技術に関する研究

研究課題名（英文）A study of server management technology for sustaining a large scale distributed neural network

研究代表者

水谷 后宏（Mizutani, Kimihiro）

近畿大学・情報学部・准教授

研究者番号：40845939

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、自律的なニューラルネットワークの分散実行基盤を実現するための基盤技術を創出し、多数のサーバから構成される分散実行環境の確立を目指した。具体的には、学習サーバの分散連携を可能にする構造化オーバーレイ技術を用いて、故障対応の高速化を実現した。また、分散環境下での連合学習の実現に向けて、連合学習の同時実行性を考慮したサーバ管理手法を検討し、多様な階層関係を持つ連合学習要求を調停するアルゴリズムを実装し、その有効性を検証した。さらに、分散実行基盤内で発生するトラフィックの効率的な推定方法や、それらの知的制御アルゴリズムを通して、コストの低い基盤構築技術の確立も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、自律的なニューラルネットワークの分散実行基盤の構築において、学習・推論の永続的な実行をサポートするサーバ連携技術および学習状況の管理手法の提案を行った。サーバ連携技術では、構造化オーバーレイ技術を活用し、基盤内で発生するサーバの故障対応を高速化する手法を創出した。学習状況の管理手法については、連合学習フレームワーク上で学習・推論の円滑な同時実行を実現する技術を開発した。さらに、分散実行基盤内で発生するデータの制御・解析に関する技術の創出も行った。これらの技術は、当該研究分野において重要な貢献を果たしており、今後のさらなる研究や実用化の基盤となると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aim to construct a distributed neural network execution platform by developing core technologies. First, we used structured overlay network technology to quickly restore the distributed platform. This method's strength is in estimating the union of failure nodes and quickly propagating failure information to them. This approach reduces unnecessary failure information propagation and shortens the platform's Mean Time to Repair (MTTR). Secondly, we integrated distributed federated learning techniques into the platform to manage scalable learning nodes. We proposed an efficient scalable node management tree architecture that balances learning efficiency and high fault tolerance. Finally, we developed various schemes for traffic data estimation and control within the platform. By combining these technologies, we expect to maintain a robust and fault-tolerant future distributed neural network management platform.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：広域分散コンピューティング 分散学習 分散ニューラルネットワーク ネットワーク管理

様式 C - 19 , F - 19 - 1 , Z - 19 ( 共通 )

### 1 . 研究開始当初の背景

画像分類の精度を競うコンペティションでは、ニューロンの集合体を **100** 層以上重ねたニューラルネットワークを用いることが定石となっており、近年では、**1,000** 層以上のニューラルネットワークを用いた例も報告されている。また、**Preferred Networks**、**NVIDIA** や **Microsoft** といった当該分野の先進企業では、**GPU** を搭載した数百台～千台規模のサーバを用いた分散学習手法の研究開発も実施している。今後も、ニューラルネットワークの深層化が進むと考えられ、より大規模なニューラルネットワークを膨大な数の計算サーバにて分散的に学習させる技術の需要が高まると考えられる。しかしながら、下記に示すニューラルネットワークの構造の複雑性や耐故障性が問題となり、効率的な分散化を達成することは難しいという問題点があった。

### 2 . 研究の目的

本研究では、ニューラルネットワークを **10,000** 台以上のサーバにて分散的に構築・運用する手法の確立を目標とした。なお、**10,000** 台以上のサーバを管理する場合、サーバの追加・故障、また設置コストの関係からマルチロケーションでの運用を想定しなければならない。そのため、現在の分散学習フレームワークでは、ニューロンおよびニューロンの部分集合をサーバへ割り当てる際、その指針をプログラマ側で実装するのが一般的であるが、当該規模への適用は管理コストの観点から非現実的である。

本研究では、その割り当てを自律化することを目指す。具体的には、学習サーバの追加・故障時に、ニューラルネットワークをサーバ間で自律的に分割し、分散的にニューラルネットワークを構築する際に必要となる分散基盤構成技術の創出を行うこととする。具体的には、( 1 ) 分散学習の実行時に発生するサーバ故障に対して、高速かつ低コストにて復旧を実現する高速復旧技術や、( 2 ) サーバ間で学習状況を調停しつつ学習結果を分散連合学習を用いて統合する技術、そして( 3 ) 当該ネットワーク内で発生するトラフィックの予測・制御技術の創出を行った。これらの技術は、当該研究分野において重要な貢献を果たしており、今後のさらなる研究や実用化の基盤となると考えられる。

### 3 . 研究の方法

#### ( 1 ) サーバの高速復旧技術

分散学習の実行時に発生するサーバ故障に対して、高速かつ低コストにて復旧を実現する高速復旧技術を実現するに当たり、構造化オーバーレイと呼ばれるサーバ連携技術を用いた。当該技術は、サーバ間で仮想的なトポロジを形成することで、任意のサーバの発見や追加、削除といったサーバ制御を低コストにて実現できる。構造化オーバーレイ上では、通常、個々のノードが検知した故障情報を共有しないことが一般的であった。そのため、故障ノードと接続関係を持つノード全てが当該ノードの故障を知るためには時間がかかるという問題点があった。そこで、あるノードが隣接ノードの故障を検知した際、故障ノードと隣接関係を持つノード群を推定し、当該ノード群に対して故障情報を伝搬する手法を提案した( 図 1 )。様々なノード間で接続関係を共有し合う既存手法に対して、同程度の故障検知時刻を達成しつつ、故障検知コスト( 故障確認メッセージの頻度 ) を最大で **30%** 程度削減することができた[1]。

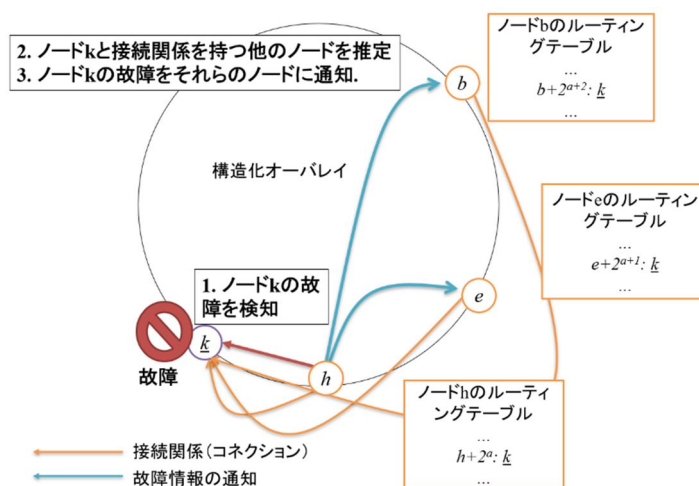


図 1 . 故障情報の高速通知手法

#### ( 2 ) 大規模連合学習を実現する構造化オーバーレイネットワーク技術の開発

分散連合学習と呼ばれる手法では、ニューラルネットワークを個々の計算機に分配し、学習させ、そのモデルを統合する。これまでの研究では、統合時のデータ通信量削減やニューラルネットワークの選別方法に焦点が当てられており、分散連合学習自体を実現する基盤についての検

討が十分に進められていなかった。本研究では、複数の計算機が連携してニューラルネットワークの統合を円滑に実現する分散計算基盤技術を開発し、連合学習の学習効率を向上できることを確認した[2]。具体的には、一般的な学習データの統合手法で用いられる平衡木を構築する手法に対して、上位層へのノードへのリンクを複数持たせることで、学習結果の損失を防ぐことを可能にした(図2)。

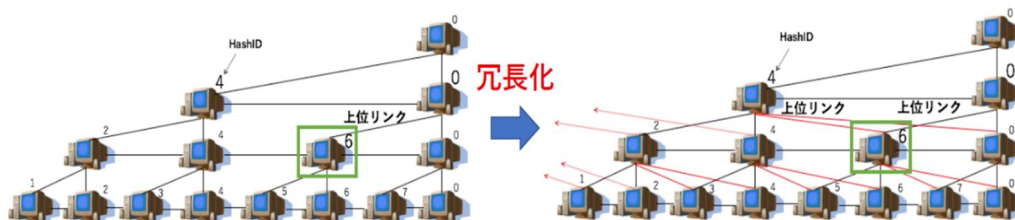


図 2 . 左図：単純な統合を行う平衡木 . 右図：上位への統合先を多重化した平衡木

### (3) 学習・推論プロセスにおけるネットワークトラフィックの予測・制御技術

学習データを含むモバイルトラフィックデータを制御・管理することは、ネットワーク設計を行う上で必要不可欠である。しかし、分析対象となるトラフィックデータは、ネットワークの規模に応じて膨大となるため、その保存コストが問題となる。先行研究では、Generative Adversarial Networks (GANs)を用いて、膨大なトラフィックデータを粗視化した表現に射影し、当該射影データから元のトラフィックデータを生成(予測)する手法が提案されている。しかし、元のトラフィックデータを生成(予測)するために、対応する粗視化されたデータを保存しておかなければならず、対象のトラフィックデータが膨大であればあるほど、当該データも膨大になる傾向がある。提案手法では粗視化されたデータを用いず、乱数とトラフィックデータを一意に示すラベルデータのみを用いて、元のトラフィックデータを生成する手法を提案する[3, 4]。これにより、粗視化されたデータの保存コストを削減しながら、先行研究と同等の精度でトラフィックを生成することが可能となった(図3)。

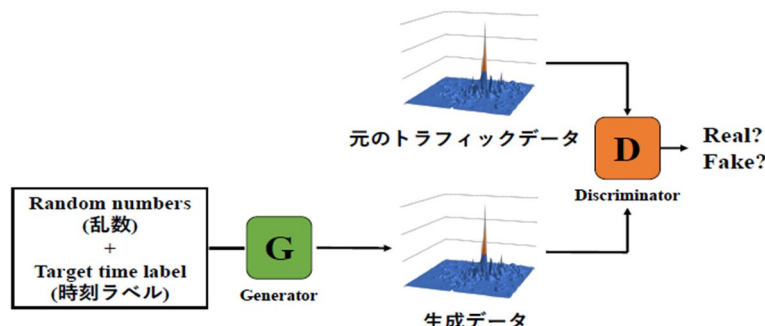


図 3 . 敵対的生成ネットワークを用いたトラフィックデータの予測手法

ネットワークトラフィックの制御手法については、クラウド基盤を用いた大規模分散学習を行う際に問題となる、バックグラウンドトラフィック(学習とは関係のないサービスによって発生するトラフィック)を考慮し、クラウド内での輻輳を自律的に回避するロードバランサの提案を行った[5]。本手法では、多数のロードバランサが複雑なトポロジ上に構成されていることから、ロードバランサ間でトラフィック情報を交換しあい、互いに輻輳を起こさないことを目的とする学習制御を導入した。その結果、データセンタ内で発生する輻輳確率を最大で30%程度抑制することができた。

## 4 . 研究成果 (論文誌のみ抜粋)

論文誌[1]は、研究方法3(1)のサーバの高速復旧技術に関する出版物である。論文誌[2]は研究方法3(2)の大規模連合学習を実現する構造化オーバーレイネットワーク技術に関連する出版物である。論文誌[3-5]は、研究方法3(3)学習・推論プロセスにおけるネットワークトラフィックの予測・制御技術に関連する出版物である。

1. Kimihiro Mizutani, "Stateless Node Failure Information Propagation Scheme for Stable Overlay Networks," IEEE Access, vol. 9, pp. 88737-88745, 2021.
2. Masaya Suzuki, and Kimihiro Mizutani, "A Novel Distributed Deep Learning Training Scheme Based on Distributed Skip Mesh List," IEICE Communications Express 2021, vol. 10, issue. 8, pp. 463-468, 2021.

3. Tomoki Tokunaga, and Kimihiro Mizutani, "A Scheme of Estimating Mobile Traffic Data without Coarse-Grained Process using Conditional SR-GAN," *IEICE Communications Express* 2021, vol. 10, issue. 8, pp. 441-446, 2021.
4. Tomoki Tokunaga, and Kimihiro Mizutani, "Comprehensive Evaluation of Generating Mobile Traffic Data Scheme without Coarse-grained Process Using CSR-GAN," *Sensors*, No. 22, <https://doi.org/10.3390/s22051930>, 2022.
5. Kimihiro Mizutani, "Effective TCP Flow Management Based on Hierarchical Feedback Learning in Complex Data Center Network," *Sensors*, No. 22, <https://doi.org/10.3390/s22020611>, 2022.

## 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 0件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Tokunaga Tomoki、Mizutani Kimihiro	4. 巻 22
2. 論文標題 A Comprehensive Evaluation of Generating a Mobile Traffic Data Scheme without a Coarse-Grained Process Using CSR-GAN	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 1930 ~ 1930
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s22051930	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 Mizutani Kimihiro	4. 巻 22
2. 論文標題 Effective TCP Flow Management Based on Hierarchical Feedback Learning in Complex Data Center Network	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 611 ~ 611
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s22020611	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 Mizutani Kimihiro	4. 巻 9
2. 論文標題 Stateless Node Failure Information Propagation Scheme for Stable Overlay Networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 88737 ~ 88745
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2021.3090028	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 Suzuki Masaya、Mizutani Kimihiro	4. 巻 10
2. 論文標題 A novel distributed deep learning training scheme based on distributed skip mesh list	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 463 ~ 468
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/comex.2021ETL0023	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 Tokunaga Tomoki、Mizutani Kimihiro	4. 巻 10
2. 論文標題 A scheme of estimating mobile traffic data without coarse-grained process using conditional SR-GAN	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 441 ~ 446
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2021ETL0017	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 Suzuki Masaya、Mizutani Kimihiro	4. 巻 -
2. 論文標題 A Novel Distributed Deep Learning Training Scheme Based on Distributed Skip Mesh List	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	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) 10.1587/comex.2021ETL0023	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 Tokunaga Tomoki、Mizutani Kimihiro	4. 巻 -
2. 論文標題 A Scheme of Estimating Mobile Traffic Data without Coarse-Grained Process using Conditional SR-GAN	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	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) 10.1587/comex.2021ETL0017	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5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Tomoki Tokunaga, Kimihiro Mizutani
2. 発表標題 Accurate Mobile Traffic Generation Scheme without Coarse-grained Data Using Conditional SR-GAN
3. 学会等名 ICETC 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年 ~ 2021年

1. 発表者名 Masaya Suzuki, Kimihiro Mizutani
2. 発表標題 A Novel Distributed Deep Learning Training Scheme Based on Distributed Skip Mesh List
3. 学会等名 ICETC 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 徳永 智紀, 水谷 后宏
2. 発表標題 Conditional SR-GANを用いたモバイルトラフィックデータの圧縮・復元
3. 学会等名 電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 鈴木 雅也, 水谷 后宏
2. 発表標題 Distributed Skip Mesh Listを用いた大規模ニューラルネットワークの永続的管理手法
3. 学会等名 電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Yamamoto Eigo, Mizutani Kimihiro
2. 発表標題 An Efficient Approach for Training Time Minimization in Distributed Split Neural Network
3. 学会等名 IEEE GCCE (国際学会)
4. 発表年 2023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
--	---------------------------	-----------------------	----

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