

令和 2 年 6 月 2 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (特設分野研究)

研究期間：2016～2019

課題番号：16KT0106

研究課題名(和文) 路側機と車載機の知能化と疎連携による高度交通システムの強化支援技術

研究課題名(英文) Methodologies for enhancement of intelligent transport systems through loosely-coupled cooperation of roadside and on-board units

研究代表者

山口 弘純 (Yamaguchi, Hirozumi)

大阪大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：80314409

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究開発では、路側機と車載機の知能化と疎連携による高度交通システムの強化支援に向けて、車両の移動特性などの情報を観測し、その学習結果を機器間で交換してシステム全体の状況を推定する分散協調学習技術を開発した。具体的には、複数の機器が深層ニューラルネットワークの機能を分担し、連携動作する方法論を開発するとともに、疎連携的に負荷分散や協調プロセッシングを行う機構を有する分散イベント処理プラットフォームの設計開発を実施した。それらを評価するための車両モビリティ再現プラットフォームの設計開発もあわせて実施している。小型モジュールに試験実装し、軽量分散学習モデルとしての実現可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

分散協調学習技術はその独創性が注目され、国際WSで2件の基調講演および国内外で2件の招待講演を実施した。国内では情報処理学会の本分野の最大規模のシンポジウムで最優秀論文賞を受賞した。複合イベント処理を完全分散で実現するシステムに関しては分散システムの歴史あるIEEEの国際会議DCOSSや国際論文誌IEEE Access等で発表した。電子情報通信学会論文誌の招待論文でもコンセプトを発信している。車両モビリティ関連技術はIEEEの国際シンポジウムでBest Paper Awardを受賞し、本分野のIEEEの最難関フラグシップ国際会議PerCom2019での採択・発表を実現している。

研究成果の概要(英文)：This research supports the enhancement of the intelligent transport system through the loosely-coupled cooperation of roadside units and on-board units. For this purpose, a methodology of distributed deep-neural network-based learning for decision-making and status prediction of the transport system is developed. Specifically, a method that allows multiple devices to share the functions of a deep neural network and cooperate with each other, as well as a distributed event processing platform that has a mechanism to perform load balancing and cooperative processing in a loosely coupled manner, have been investigated. Besides, a vehicle mobility reproduction platform to evaluate these mechanisms are developed. Through proof-of-concept implementations and numerous simulation experiments, the feasibility of the proposed methodologies is shown.

研究分野：モバイルコンピューティング

キーワード：分散協調システム 機械学習 高度交通システム

## 1. 研究開始当初の背景

安全運転支援やその先の自動運転を見据えた高度交通システム (ITS) の普及が目前となっている。車載通信機 (車載機) が相互通信することにより追従走行や緊急車両接近通知などを可能とするとともに、車載機と通信する路側機を街路や交差点に設置し、カメラセンサーやビーコンによる車両や歩行者の検知情報を集約して安全運転支援に活用する。将来的には最適信号制御による渋滞緩和を視野に入れるなど、従来では車両装備のみに依存していた安全支援や交通制御技術の著しい進化が期待される。そのような高度交通システムは、複数の路側機や車載機、歩行者端末など、分散して偏在し移動する機器が相互に影響を及ぼしあう、複雑で大規模な分散型人工物システムであり、高信頼でサービスを提供することが求められる重要社会インフラでもある。全国主要交差点数を考慮した場合、将来的な路側機数は相当数に上ると推計されることから、すべての情報および計算機能を集中管理局に集約させる現状の標準的な管理方式は合理的でない。一方、構成機器を低コストかつ既存の機能と調和する形で知能化して強化し、それらを緩やかに連携させることでシステム全体を強化し、最適性を機器自身の分散処理で実現できれば、その管理コストを削減し、かつ信頼性を向上させることができる。そのような協調的信頼性保証技術の理論と実装は、多数の機器から構成される高度交通システムの堅牢性強化には不可欠である。

## 2. 研究の目的

本研究開発では、路側機と車載機の知能化と疎連携による高度交通システムの強化支援技術を開発する。数千から数万の機器からなる大規模な分散システムの全状態を集中監視・制御することは高度交通システムに限らず合理的なアプローチではない。これに対し個々の機器に負担を与えない小型モジュールとして周辺環境の把握機能と自律制御機能を与えられれば、機器数増加に対する規模拡張性を担保でき、今後増加する人工物インフラの維持管理コストを低下させる新しい技術創出が可能となる。IoT時代を迎え、全ての人工物がインターネット接続される時代であっても機器制御の維持管理コストは増大する一方である。空間的に大規模なシステムにおいて個々の人工物が知的に判断し、連携することで、全体として最適に近い意思決定を行えるような知的な大規模分散システムが望まれる。これに対し、路側機および車載機が広域空間に面的に分布する状況で、路側機ならびに車載機が周辺の時空間的特性をセンシングし、連携して観測状況を処理するための学習技術を開発するとともに、記憶容量や処理能力が限定されたハードウェアでも動作する軽量の観測データ処理技術を実現する。また、各路側機がシステム全体の状況を自律分散的に把握可能とする技術を開発する。

## 3. 研究の方法

目的達成のため、本研究開発では、その周辺環境 (車両の移動特性や周波数利用状況、サービス提供率など) を自身の観測データから学習する技術を開発する。それらの学習結果を機器間で交換してシステム全体の状況を推定する学習モデルを構成し、システム全体が意思決定を実現するような自律分散学習方式を開発する。具体的には、(1) 路側機が面的かつメッシュ状に存在した場合に、それらが深層ニューラルネットワークの一部機能を分担し、連携しながら動作する方法論の開発、(2) 複数の路側機や車載機が自身の状態をモニタリングしながら、疎連携的に負荷分散や協調プロセッシングを行う機構を有する分散イベント処理プラットフォームの設計開発、および (3) それらを評価するための車両モビリティシミュレーション再現プラットフォームの設計開発、を行うことでその目的を達成する。同制御方式を Intel Edison のような小型モジュールに試験実装し、路側機や車載機へ容易に組込める強化モジュールとしての実現可能性を示す。

## 4. 研究成果

(1)では、交差点形状がメッシュに近いことを活用し、各交差点に相当する場所に路側機が存在すると仮定し、それらが得たデータを局所的に畳み込んで処理する Convolutional Neural Network を分散実行するアーキテクチャを設計した。このアーキテクチャでは、各路側機が自身とその周辺の路側機のデータを処理し、適切な路側機間のデータ交換を行うことで、あたかもそれらが一つのシステムとして観測データの分析を行っているかのように動作する。ニューラルネットワークに基づく学習や判定を路側機の協調により行うことができ、通信量を最小化するための機構も実装している。これらの成果は、IEEE の国際会議 SMARTCOMP をはじめ各所で発表しており、国内では情報処理学会の本分野の最大規模の分散マルチメディアモバイルシンポジウムにおいて最優秀論文賞を受賞するなどしている。また本テーマに関して国際ワークショップにおける基調講演 2 件、国際会議ならびに分散マルチメディアモバイルシンポジウムにおける招待講演 2 件を実施しており、国際的な成果公表を実現している。(2)では、学習モジュールなど連携システムとして実現すべき複合イベント処理を完全

分散で実現するシステムを設計し、負荷に応じて動的に周辺機器とタスクを交換するメカニズムである Edge-CEP を開発した。これらの成果を分散システムの著名な IEEE の国際会議 DCOSS ならびに IEEE の国際論文誌 Access 等での発表を実現している。また、(1)および(2)のコンセプトをまとめ、電子情報通信学会論文誌の招待論文として発表した。最後に (3)の車両モビリティシミュレーション再現プラットフォームについては、シミュレーション用モビリティ生成技術およびデータ転送技術を新たに考案し、IEEE の国際シンポジウム SC2 において Best Paper Award を受賞するとともに、IEEE のモバイルとワイヤレスの著名会議 WiMob2018、ならびにパーベイシブ計算に関する IEEE の最難関フラグシップ国際会議 PerCom2019 で成果発表を実現している。また、交通システム応用に関し、国際ワークショップでの基調講演 1 件を実施している。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sunyanan Choochotkaew, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino	4. 巻 7
2. 論文標題 A Self-Organized Task Distribution Framework for Module-based Event Stream Processing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 6493 - 6509
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2890005">https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2890005</a>	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 山口 弘純, 安本 慶一	4. 巻 J101-B
2. 論文標題 エッジコンピューティング環境における知的分散データ処理の実現	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会和文誌	6. 最初と最後の頁 298-309
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.14923/transcomj.2017M010001">https://doi.org/10.14923/transcomj.2017M010001</a>	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 福島悠太, 山口弘純, 東野輝夫	4. 巻 60
2. 論文標題 センサーネットワークにおける分散型深層学習の設計と評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 2-15
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 Yusuke Nishimura, Atsushi Fujita, Akihito Hiromori, Hirozumi Yamaguchi, Teruo Higashino, Akira Suwa, Hirofumi Urayama, Susumu Takeshima and Mineo Takai	4. 巻 N/A
2. 論文標題 A Study on Behavior of Autonomous Vehicles Cooperating with Manually-Driven Vehicles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 17th Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom2019)	6. 最初と最後の頁 212-219
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 Sunyanan Choochotkaew, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino	4. 巻 N/A
2. 論文標題 BALANCE: A Robust Routing Protocol in Self-Organized Civilian DTN	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2018 IEEE 14th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/WiMOB.2018.8589158	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 Sunyanan Choochotkaew, Hirozumi Yamaguchi, Teruo Higashino, Megumi Shibuya and Teruyuki Hasegawa	4. 巻 -
2. 論文標題 EdgeCEP: Fully-Distributed Complex Event Processing on IoT Edges	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of The IEEE 13th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS2017)	6. 最初と最後の頁 121-129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/DCOSS.2017.14	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 Yuta Fukushima, Daiki Miura, Takashi Hamatani, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino	4. 巻 -
2. 論文標題 MicroDeep: In-network Deep Learning by Micro-sensor Coordination for Pervasive Computing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP2018)	6. 最初と最後の頁 73-80
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 Osafune Tatsuki, Takahashi Toshimitsu, Kiyama Noboru, Sobue Tsuneo, Yamaguchi Hirozumi, Higashino Teruo	4. 巻 15
2. 論文標題 Analysis of Accident Risks from Driving Behaviors	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Intelligent Transportation Systems Research	6. 最初と最後の頁 192-202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13177-016-0132-0	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 Sunyanan Choochotkaew, Hirozumi Yamaguchi, Teruo Higashino, Megumi Shibuya and Teruyuki Hasegawa	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 EdgeCEP: Fully-distributed Complex Event Processing on IoT Edges	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of The IEEE 13th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems	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) 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 Yoshiaki Adachi, Hirozumi Yamaguchi, Teruo Higashino and Takaaki Umedu	4. 巻 -
2. 論文標題 Cloud-assisted Dynamic Content Sharing among Vehicles	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of the 6th IEEE International Symposium on Cloud and Service Computing	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CIT.2016.49	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 Sunyanan Choochotkaew, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino	4. 巻 -
2. 論文標題 Automatic Deadline-Oriented Sampling Method for Coarse-grained Stream Processing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2019 International Workshop on Information Quality and Quality of Service for Pervasive Computing	6. 最初と最後の頁 790-795
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/PERCOMW.2019.8730888	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12件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Yusuke Nishimura
2. 発表標題 A Study on Behavior of Autonomous Vehicles Cooperating with Manually-Driven Vehicles
3. 学会等名 International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirozumi Yamaguchi
2. 発表標題 Distributed Machine Learning over Wireless Sensor Networks
3. 学会等名 Third International Workshop on Mobile and Pervasive Internet of Things (PerIoT'19) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirozumi Yamaguchi
2. 発表標題 Integrating Machine Learning into Networked Sensors: Why and How?
3. 学会等名 The 5th International Workshop on Smart Wireless Communications (SmartCom2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口弘純
2. 発表標題 IoTによる地域交通理解と持続可能性
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICO2018) シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口弘純
2. 発表標題 IoTエッジセンサーの知能化に向けて
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICO2017) シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hirozumi Yamaguchi
2. 発表標題 Cloud-assisted Dynamic Content Sharing among Vehicles
3. 学会等名 6th IEEE International Symposium on Cloud and Service Computing (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hirozumi Yamaguchi
2. 発表標題 Keynote: Situational Awareness Platform for City Transportation
3. 学会等名 Fifth IEEE International Workshop on Pervasive Context-Aware Smart Cities and Intelligent Transportation Systems (PerAwareCity) (招待講演) (国際学会)
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