

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：12601

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(A））

研究期間：2020～2022

課題番号：19KK0281

研究課題名（和文）協調自動走行を支援するエッジコンピューティング型路側拠点システム

研究課題名（英文）Edge computing platform for cooperative autonomous driving

研究代表者

塚田 学（Tsukada, Manabu）

東京大学・大学院情報理工学系研究科・准教授

研究者番号：90724352

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,200,000円

渡航期間： 7ヶ月

研究成果の概要（和文）：この研究では、自動運転を支援するためのエッジコンピューティング型路側拠点システムの開発に取り組んだ。まず、センサーデータ共有を実現するための路側認識ユニット（RSPU）という新たなシステムを提案・開発し、これにより脆弱な道路利用者への対応が可能にした。さらに、複数の車両の未来の走行経路情報に基づいて交差点での協調走行経路計画モデルを設計し、これにより各車両が安全かつ効率的に移動できることが示した。最後に、接続された車両の識別とデータ交換の最適化を目指し、視覚ベースの手法を提案しました。これにより、ネットワーク負荷と状況認識の間で最良のトレードオフを実現できることが示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したソフトウェアは、オープンソースで開発している。公開されたソフトウェアは、広く一般に利用可能であり、協調型自動運転の研究開発コミュニティへの貢献となる。また、協調型自動運転は、都市化が進む日本が率先して取り組むべきものであり、この分野でリーダーシップを取れば、アジアをはじめとして急速に都市化する世界に広く協調型ITSを普及させて行くために有利になり、将来の日本産業に対する利点となる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have endeavored to develop an edge computing-based roadside base system to support autonomous driving. First, we proposed and developed a new system called a Roadside Perception Unit (RSPU) to facilitate sensor data sharing, enabling response to vulnerable road users. Furthermore, we designed a cooperative path planning model at intersections based on multiple vehicles' future path information, demonstrating that each vehicle could move safely and efficiently. Lastly, aiming to optimize connected vehicles' identification and data exchange, we proposed a vision-based approach. This demonstrated the ability to achieve the best trade-off between network load and situational awareness.

研究分野：コンピュータネットワーク

キーワード：協調型ITS ネットワーク V2X 自動運転 オープンソース

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 F - 19 - 2

1. 研究開始当初の背景

車々間・路車間ネットワークを利用して道路交通システムを安全・効率化するための協調型 ITS に関して、日本、欧州、米国で並行して研究開発と国際標準化が進展している。協調型 ITS に不可欠な車々間通信は、1) 非対応車の問題、2) 都市部における遮蔽の問題、3) 無線の到達範囲の問題、4) 不正メッセージの問題など、日欧米で共通の問題を抱える。基課題研究の目的は、日欧米の国際標準技術と調和を取りながら共通方式で、正確でリアルタイムな車々間通信を支援する路側拠点システムを開発することである。

2. 研究の目的

本国際共同研究の目的は、基課題研究で構築した路側拠点システムを、協調型 ITS や 5G システムの国際標準技術と調和を取りながら、自動走行を支援するエッジコンピューティング型路側拠点システムとして格段に発展させることである。

3. 研究の方法

研究の方法として、以下の3点に取り組んだ。

- 1) 路側センサによる物理処理、車々間・路車間ネットワークと路側計算機処理を分散モデルによって統合し、正確かつリアルタイムな協調認識を実現した。この目的のため、信頼性とリアルタイム性に優れた ITS 用無線と、利用可能範囲に優れた LTE などの携帯電話網、相互運用性に優れた IPv6 を複合的に組み合わせた車々間通信支援機構を設計した。
- 2) 日欧米三極で並行して開発が行われている協調型 ITS では共通の未解決問題があるため、地域の事情に合わせた異種の複数センサと、各国の ITS 通信標準に柔軟に対応可能な送受信機を備えた、日欧米共通方式の路側拠点システムを実現した。
- 3) フィールド実験とシミュレーションを組み合わせ、車々間通信の支援機構の最適化アルゴリズム開発した。

4. 研究成果

まず、協調認識として知られるセンサーデータ共有が、ITS における脆弱な道路利用者に対応させるための重要な技術である。そこで、センサーと路側ユニット (RSUs) を組み合わせた路側認識ユニット (Roadside Perception Units, RSPU) を定義した。RSPU と車両の協調認識を実現するために設計したソフトウェア、AutoC2X を提案した。さらに、有線ネットワーク上で道路沿いに RSPU を相互に接続する「ネットワーク化された RSPU」の概念も提案した。これはより広範な協調認識を実現できる。本研究では、フィールドテスト、数値解析、およびシミュレーション実験を通じて、RSPU システムとネットワーク化された RSPUs を評価した。フィールド評価では、最悪の場合でも、我々の RSPU システムが自動車にメッセージを 100 ミリ秒以内に配信できることが示された。また、シミュレーションの結果、提案した優先度アルゴリズムが高い配信率と低遅延で広範な知覚範囲を実現し、特に重い道路交通条件下で有効であることが示された。本成果は、国際論文誌 MDPI Sensors、国際学会 VTC2020-Fall にて発表した[1][2]。

次に、現在の C-ITS アプリケーションは主にリアルタイム情報共有、例えば協調認識に重点を置いているが、自動運転車は更なる安全性と効率性を達成するために行動計画を調整する必要がある。そこで本研究では、車両の未来の行動計画/パスを定義し、複数の車両の未来の走行経路情報に基づいて、交差点での協調走行経路計画モデルを設計した。提案手法は、RSU が共有された未来の走行経路に従って車両の走行経路の潜在的な競合または加速の機会を検出すると、それが車両の速度を調整する調整された走行経路を更新する。本研究では、オープンソースの Autoware 自動運転ソフトウェアを使用して提案手法を実装し、LGSVL 自動車シミュレータで評価した。死角のある交差点シナリオで二つの車両を対象としたシミュレーション実験を行った結果、全ての関与車両の行動計画を反映した走行経路を計画することにより、各車両は安全かつ効率的に移動することが可能であることが示された。また、RSU の導入によって消費される時間は、交差点での自律型自動運転ケースに比べて 23.0%と 28.1%短縮された。本成果は、国際学会 VTC2021-Fall にて発表した[3]。

最後に、完全に接続されたデジタル世界に向かっており、その中で自動車はデジタル化を強化する鍵となる役割を果たす。これらの接続された車両は、自分たちの環境を完全かつ正確に理解し、最終的に円滑に動作するために、周囲の物体や道路の参加者との間で適時的なデータを共有する必要がある。その結果、大量に交換されるデータはネットワークトラフィックを混乱させ、ある時点では車両の認識レベルをこれ以上向上させることができなくなる。本研究では、

接続された車両を識別するための視覚ベースの手法を提案し、それを使用して集団認識メッセージ(CPM)の交換を最適化することを目指す。これはCPM生成の頻度と生成されたCPMの数の両方に関連する。提案手法を検証するために、SUMO、Carla、およびOMNeT++を統合したCarteryフレームワークを作成しました。また、チャンネル占有率、環境認識、およびCPM生成頻度という3つの主要なKPIを考慮に入れて、提案手法をベースラインとETSI標準技術と比較した。シミュレーションの結果、提案された解決策がネットワーク負荷と状況認識の間で最も良いトレードオフを示していることが示された。本研究は、国際論文誌IEEE Transactions on Vehicular Technologyで発表した。

[1] Manabu Tsukada, Takaharu Oi, Masahiro Kitazawa, Hiroshi Esaki, "Networked Roadside Perception Units for Autonomous Driving", In: MDPI Sensors, vol. 20, no. 18, 2020, ISSN: 1424-8220.

[2] Manabu Tsukada, Takaharu Oi, Akihide Ito, Mai Hirata, Hiroshi Esaki, "AutoC2X: Open-source software to realize V2X cooperative perception among autonomous vehicles", In: The 2020 IEEE 92nd Vehicular Technology Conference (VTC2020-Fall), Victoria, B.C., Canada, 2020.

[3] Mai Hirata, Manabu Tsukada, Keisuke Okumura, Yasumasa Tamura, Hideya Ochiai, Xavier Défago, "Roadside-assisted Cooperative Planning using Future Path Sharing for Autonomous Driving", In: IEEE 94th Vehicular Technology Conference (VTC2021-Fall), Online, 2021.

[4] Hidetaka Masuda, Oussama El Marai, Manabu Tsukada, Tarik Taleb, Hiroshi Esaki, "Feature-based Vehicle Identification Framework for Optimization of Collective Perception Messages in Vehicular Networks", In: IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 72, iss. 2, pp. 2120-2129, 2022, ISBN: 0018-9545.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Lin Pengfei, Tsukada Manabu	4. 巻 7
2. 論文標題 Model Predictive Path-Planning Controller With Potential Function for Emergency Collision Avoidance on Highway Driving	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 4662 ~ 4669
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LRA.2022.3152693	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 Tsukada Manabu, Oi Takaharu, Kitazawa Masahiro, Esaki Hiroshi	4. 巻 20
2. 論文標題 Networked Roadside Perception Units for Autonomous Driving	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 5320 ~ 5320
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s20185320	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 Masuda Hidetaka, Marai Oussama El, Tsukada Manabu, Taleb Tarik, Esaki Hiroshi	4. 巻 72
2. 論文標題 Feature-Based Vehicle Identification Framework for Optimization of Collective Perception Messages in Vehicular Networks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Vehicular Technology	6. 最初と最後の頁 2120 ~ 2129
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TVT.2022.3211852	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 1件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Manabu Tsukada, Shimpei Arie, Hideya Ochiai, Hiroshi Esaki
2. 発表標題 Misbehavior Detection Using Collective Perception under Privacy Considerations
3. 学会等名 2022 IEEE 19th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mai Hirata, Manabu Tsukada, Keisuke Okumura, Yasumasa Tamura, Hideya Ochiai, Xavier Defago
2. 発表標題 Roadside-assisted Cooperative Planning using Future Path Sharing for Autonomous Driving
3. 学会等名 IEEE 94th Vehicular Technology Conference (VTC2021-Fall) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaya Mizutani, Manabu Tsukada, Hiroshi Esaki
2. 発表標題 AutoMCM: Maneuver Coordination Service with Abstracted Functions for Autonomous Driving
3. 学会等名 24th IEEE International Conference on Intelligent Transportation (ITSC) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Manabu Tsukada
2. 発表標題 Cooperative Automated Driving Using Vehicle-to-Everything (V2X)
3. 学会等名 16th Asian Internet Engineering Conference (AINTEC) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Manabu Tsukada, Takaharu Oi, Akihito Ito, Mai Hirata, Hiroshi Esaki
2. 発表標題 AutoC2X: Open-source software to realize V2X cooperative perception among autonomous vehicles
3. 学会等名 The 2020 IEEE 92nd Vehicular Technology Conference (VTC2020-Fall) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yu Asabe, Ehsan Javanmardi, Jin Nakazato, Manabu Tsukada, Hiroshi Esaki
2. 発表標題 AutawareV2X: Reliable V2X Communication and Collective Perception for Autonomous Driving
3. 学会等名 The 2023 IEEE 97th Vehicular Technology Conference (VTC2023-Spring) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ye Tao, Yuze Jiang, Pengfei Lin, Manabu Tsukada, Hiroshi Esaki
2. 発表標題 zk-PoT: Zero-Knowledge Proof of Traffic for Privacy Enabled Cooperative Perception
3. 学会等名 2023 IEEE 20th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)
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
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	タリック タレブ (Taleb Tarik)	アアルト大学・School of Electrical Engineering・ Department of Communications and Networking	

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			
フィンランド	Aalto大学			