

令和 3 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H04678

研究課題名（和文）協調型ITSにおける車々間通信を支援するための路側拠点システムの構築

研究課題名（英文）Roadside station system to support V2V messaging in Cooperative ITS

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） 10,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、日米欧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。オープンソースの自動運転ソフトウェアAutowareと、おじくオープンソースの協調型ITSソフトウェアのOpenC2Xを組み合わせ、路側拠点システムを構築した。この実装をAutoC2Xとして同じくオープンソースとして公開し、自動走行を支援できる路側拠点システムを検証するため、フィールド実験にてパケット到達率および、遅延の評価を行い、リアルタイム性を確保できたことを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した技術は、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。また、オープンソースで開発されたソフトウェアは、誰でも利用可能にすることで、この分野の発展に役立てる。

研究成果の概要（英文）：This research aims to develop a roadside ITS station that supports accurate and real-time V2X communication using a common method in harmony with international standard technologies of Japan, the United States, and Europe. The roadside ITS station was developed by combining Autoware, an open-source automated driving software, and OpenC2X, another open-source cooperative ITS software. This implementation was released as AutoC2X, which is also open source. To verify the roadside ITS station that can support automated driving, we conducted field experiments to evaluate the packet arrival rate and delay, and confirmed that real-time performance could be achieved.

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 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

道路交通は、人間の生活を支える重要な基盤であるが、人命損失、空気汚染、エネルギー消費、時間損失などの課題を抱え、これらを解決することが、人々の生活の質を大きく向上させる鍵となる。国内外の高度交通システム (ITS) において、自動走行の研究開発が活発化しているが、その多くが自律型の自動走行であり、人間の知覚・判断・操作をセンサと計算機に置き換えたものに過ぎない。それに対し、協調型 ITS では車両をネットワークで繋ぎ、車載センサでは見通せない場所の情報を得ることができるため、さらなる安全・効率化が達成できる。

協調型 ITS に必要な正確でリアルタイムな情報共有には、車々間通信が不可欠であり、日本・欧州・米国ではそれぞれ ASV (Advanced Safety Vehicle)、CAM (Cooperative Awareness Message)、BSM (Basic Safety Message) といった車々間メッセージが標準化された。これらのメッセージは日本では 760Mhz 帯、欧州・米国では 5.8~5.9GHz 帯の ITS 用無線でシングルホップブロードキャストされる。国際標準化機構 (ISO) と欧州電気通信標準化機構 (ETSI) において策定の進む ITS Station 参照基盤では、周囲の車の位置などの最もリアルタイム情報も車々間通信で交換され、事故・渋滞・工事などの準動的情報と共に、デジタル地図に重畳され車両の持つ Local Dynamic Map (LDM) に格納される (図 1)。LDM に格納されたデータは ITS アプリケーションでの活用を狙っている。

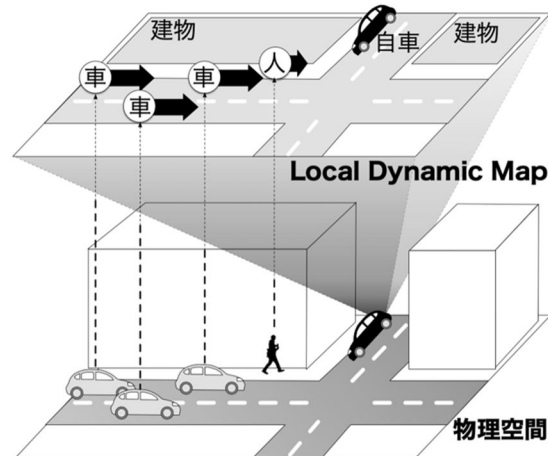


図 1 Local Dynamic Map と車々間通信

しかし、協調型 ITS の基礎となる車々間通信には、以下の未解決な課題が存在する。1) 送信機を持たない非対応車や歩行者などの情報は取得できない問題、2) 車々間メッセージが建物や大型車に遮蔽されると情報を取得できない問題、3) 無線の電波が届く範囲の情報交換に限られる問題、4) 不正なメッセージが送信されると誤った情報が周囲に伝わる問題、である。いずれの場合も図 1 に示す物理空間が、正確でリアルタイムに LDM へ反映されるのが阻害されてしまう。

2. 研究の目的

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。日本は三極の中で特に都市化が進んでおり、車載センサの死角や無線電波の遮蔽が問題となる場所が多いため、特に課題解決にリーダーシップが求められている。本研究の目的は、日米欧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。

3. 研究の方法

互いに近づく車両を認識する仕組みとしてクラウドベースの仕組みがあるが、全ての車両の位置情報が単一のクラウドで処理可能になる前提では普及の障害になる点、リアルタイム性を重視する点から、本研究では図 2 に示すクラウドに依存しない分散モデルを構築する。

路側拠点は分散して設置し、各々が対象エリアのセンサによる物理処理 (対象を検知するレーダー、カメラ、磁気などの処理) 車々間・路車間ネットワーク、路側計算処理を統合することで、車々間通信支援の中心とする。まず、センサと受信機の情報から、対象エリアに存在する非対応車や歩行者を含めた検知対象を、正確でリアルタイムに a) データベース化を行う。これはセンサ情報と受信情報の乖離から b) 不正メッセージを検知する処理を含む。次に、データベース化された対象エリアの交通状況をリアルタイムに情報提供するため、近接エリアに対して ITS 無線を利用して c) 代理送信メッセージを広告する。これは、出会い頭衝突防止などのため、センサによる対象検知から受信車両の LDM への反映までの遅延を 20 ミリ秒以内に抑える。一方、d) 遠隔送信機能は LTE などの携帯電話網とインターネットを利用して、走行ルートなどのアプリケーション情報に応じて、受信車両が柔軟に交通状況の先読みを行うため、オンデマンドで配信する。これにより受信車両は、純正車々間メッセージに加え代理メッセージ、インターネット経由の情報を併用することにより、より鮮度の良い交通情報を広範囲で利用可能になる。図 2 下段に示した部分では、地域の事情にあった路側センサ、車々間メッセージ及び無線周波数を各国の標準に準拠可能な仕組みとして構築し、図 2 上段に示した路側拠点システムは日欧米共通方式として実現する。

日欧米それぞれの標準技術やアプリケーションを詳細分析すると同時に、本研究で実現する路側拠点のモデルを設計する。ZMP 社製自動走行車と、ステレオビジョンを使った路側拠点により構築した車々間メッセージ (CAM) の代理送信機構の試作機の強化・拡張を進める。特に、路側センサに非依存な路側拠点の設計を進めるために、レーダーやカメラ画像の処理によるものや、電磁センサ、誘導ループなど国や地域によって普及の度合いも異なるセンサについて調査し、路側センサの要件を決定する。また、日欧米の車々間メッセージに変換可能な代理メッセージ送信システムの設計のため、各国のメッセージフォーマットとセンサで取得可能な車両状態の調査などを進める。

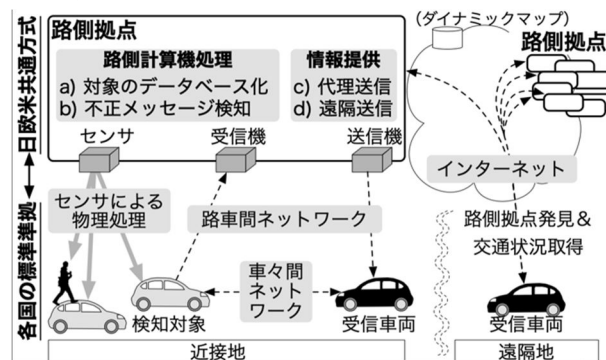


図 2 路側拠点による車々間通信の支援

4. 研究成果

まず、路側拠点システムに関して、課題の分析、昨日要件の抽出を行った。この結果を、国際学会の ICWMC 2017[8]に発表した。現在までに、ステレオビジョンを使った路側拠点により構築した車々間メッセージ (CAM) の代理送信機構の試作機を構築した。さらに、路側拠点の情報を ITS 専用メディアの到達範囲外に送信する仕組みとして、LTE と IPv6 を利用して構築した。本研究成果は、国際学会の Vehicular 2017[11]にて発表した。さらに、現在までに開発していた、NS-3 Direct Code Execution (DCE) を利用した、実機テストベッドでの実験結果を大規模シミュレーションで拡張するツールを、路側拠点システムの評価を行う環境として、自己位置推定や物体検知の仕組みを拡張した。本成果は、同じく、国際学会の Vehicular 2017 にて発表した[10]。

また、同志社大学、進化適応的自動車運転支援システム「ドライバ・イン・ザ・ループ」研究拠点形成で共同で、車両位置相互監視による V2X 通信なりすまし検知手法の研究を実施した。シミュレーションによる実験結果により、1) 路側機を利用した手法と 2) 車両の相互監視による手法を組み合わせることで、現実的な計算量で効率的に、車両位置の改ざんを検知することができることが示された。本結果は、国際論文誌 International Journal On Advances in Internet Technology[5]および、国際学会 Vehicular 2018[6]で発表した。

これまでに開発してきた路側拠点システムを、大容量高速の路側ネットワークへ接続し大規模に展開する場合のシミュレーションを行った。オープンソースでネットワークをシミュレーションできる OMNeT++と、自動車の動きをシミュレーションできる SUMO、それらを統合する Veins および Artery のフレームワークを利用して行った。上記を実現する際に必要となる、昨年提案した路側拠点システムの無線リンクの輻輳を回避するアルゴリズムは、安全に必要なメッセージを低遅延で配送するために効率的であることがわかった。この成果は国際学会の IEEE VNC 2019 で発表された[3]。

オープンソースの自動運転ソフトウェア Autoware と、おじくオープンソースの協調型 ITS ソフトウェアの OpenC2X を組み合わせて、路側拠点システムを構築した。この実装を AutoC2X として同じくオープンソースとして公開し、自動走行を支援できる路側拠点システムを検証するため、フィールド実験にてパケット到達率および、遅延の評価を行った。その結果、パケット到達率は、坂や建物、樹木などの地形の影響を受け、大きく変化することがわかった。また、車両や歩行者を検知してから、V2X を利用して自動運転車とその情報を受け取るまでの遅延は、100 ミリ秒以内に収まることがわかった。これより、LiDAR の測定周期や、Cooperative Awareness Message (CAM) の最小送信周期以内であることから、リアルタイム性を確保できると言える。この成果は、国際学会 IEEE VTC2020 Spring で発表した[2]。

オープンソースの自動運転ソフトウェア Autoware と、おじくオープンソースの協調型 ITS ソフトウェアの OpenC2X を組み合わせて、路側拠点システムを構築した。これらの成果を、ジャーナル Sensors において発表した[1]。また、これらの活動を業界雑誌である車載テクノロジーから招待され紹介した[4]。

- [1] Manabu Tsukada, Takaharu Oi, Masahiro Kitazawa, Hiroshi Esaki, "Networked Roadside Perception Units for Autonomous Driving", MDPI Sensors, 20 (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", The 2020 IEEE 92nd Vehicular Technology Conference (VTC2020-Fall), Victoria, B.C., Canada, 2020.

- [3] Manabu Tsukada, Masahiro Kitazawa, Takaharu Oi, Hideya Ochiai, Hiroshi Esaki, "Cooperative awareness using roadside unit networks in mixed traffic", 2019 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), pp. 9-16, 2019.
- [4] 塚田学, "自動走行を支える協調型 ITS と車車間・路車間ネットワークの展望", 車載テクノロジー = Automotive technology, 6 (11), pp. 1-7, 2019, ISBN: 2432-5694.
- [5] Shuntaro Azuma, Manabu Tsukada, Kenya Sato, "A Method of Misbehavior Detection with Mutual Vehicle Position Monitoring", IntTech18v11n12, International Journal On Advances in Internet Technology, Vol. 11 No. 1&2, pp.82-91, June 2018.
- [6] Shuntaro Azuma, Manabu Tsukada, Kenya Sato, "Improvement of False Positives in Misbehavior Detection", The Seventh International Conference on Advances in Vehicular Systems, Technologies and Applications (VEHICULAR 2018), June 2018, Venice, Italy, pp.78-83.
- [7] Masahiro Kitazawa, Manabu Tsukada, Hideya Ochiai and Hiroshi Esaki, "Wide transmission of Proxy Cooperative Awareness Message", The Seventh International Conference on Advances in Vehicular Systems, Technologies and Applications (VEHICULAR 2018), June 2018, Venice, Italy, pp.54-59. Best Paper Award
- [8] Manabu Tsukada, "Roadside-Assisted V2V Messaging for Connected Autonomous Vehicle", The Thirteenth International Conference on Wireless and Mobile Communications (ICWMC 2017), Nice, France, July, 2017, pp.89-94.
- [9] Shuntaro Azuma, Manabu Tsukada, Teruaki Nomura, and Kenya Sato, "A Method of Detecting Camouflage Data with Mutual Vehicle Position Monitoring", The Sixth International Conference on Advances in Vehicular Systems, Technologies and Applications (VEHICULAR 2017), Nice, France, July, 2017, pp.48-53. Best Paper Award
- [10] Ye Tao, Manabu Tsukada, and Hiroshi Esaki, "Positioning and Perception in cooperative ITS application simulator", The Sixth International Conference on Advances in Vehicular Systems, Technologies and Applications (VEHICULAR 2017), Nice, France, July, 2017, pp.54-59.
- [11] Masahiro Kitazawa, Manabu Tsukada, Kai Morino, Hideya Ochiai and Hiroshi Esaki, "Remote Proxy V2V Messaging using IPv6 and GeoNetworking", The Sixth International Conference on Advances in Vehicular Systems, Technologies and Applications (VEHICULAR 2017), Nice, France, July, 2017, pp.74-80.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 塚田学	4. 巻 6
2. 論文標題 自動走行を支える協調型ITSと車車間・路車間ネットワークの展望	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 技術情報協会 車載テクノロジー	6. 最初と最後の頁 1-7
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 無
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 Shuntaro Azuma; Manabu Tsukada; Kenya Sato	4. 巻 11
2. 論文標題 A Method of Misbehavior Detection with Mutual Vehicle Position Monitoring	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal On Advances in Internet Technology	6. 最初と最後の頁 82-91
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 -

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 -

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 4件/うち国際学会 13件）

1. 発表者名 長嶋秀幸, 塚田学, 落合秀也, 江崎浩
2. 発表標題 協調型自動走行における集団認知のためのMQTTメッセージの削減
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM2019) シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大井貴晴, 北沢昌大, 塚田学, 落合秀也, 江崎浩
2. 発表標題 ネットワーク化された路側拠点による車両認識メッセージの広域送信
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM2019) シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Manabu Tsukada, Masahiro Kitazawa, Takaharu Oi, Hideya Ochiai, Hiroshi Esaki
2. 発表標題 Cooperative awareness using roadside unit networks in mixed traffic
3. 学会等名 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平田真唯, 佐藤友哉, 塚田学, 落合秀也, 江崎浩
2. 発表標題 交差点における路側エッジへの自動運転機能のオフロード
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM2020) シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 増田英孝, 塚田学, 江崎浩
2. 発表標題 ナンバープレートの番号を利用して通信IDと車を対応付ける手法の提案
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM2020) シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水谷将也, 塚田学, 江崎浩, 飯田祐希
2. 発表標題 リアルタイムでのPoint Cloud Data Mapの配信による自動運転の支援とその評価
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2020) シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Manabu Tsukada, Takaharu Oi, Akihide 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 92nd IEEE Vehicular Technology Conference (VTC2020-Fall) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masahiro Kitazawa; Manabu Tsukada; Hideya Ochiai; Hiroshi Esaki
2. 発表標題 Wide transmission of Proxy Cooperative Awareness Message
3. 学会等名 The Seventh International Conference on Advances in Vehicular Systems, Technologies and Applications (VEHICULAR 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shuntaro Azuma; Manabu Tsukada; Kenya Sato
2. 発表標題 Improvement of False Positives in Misbehavoiir Detection
3. 学会等名 The Seventh International Conference on Advances in Vehicular Systems, Technologies and Applications (VEHICULAR 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Manabu Tsukada
2. 発表標題 Roadside-Assisted V2V Messaging for Connected Autonomous Vehicle
3. 学会等名 The Thirteenth International Conference on Wireless and Mobile Communications (ICWMC 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shuntaro Azuma, Manabu Tsukada, Teruaki Nomura, and Kenya Sato
2. 発表標題 A Method of Detecting Camouflage Data with Mutual Vehicle Position Monitoring
3. 学会等名 The Sixth International Conference on Advances in Vehicular Systems, Technologies and Applications (VEHICULAR 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ye Tao, Manabu Tsukada, and Hiroshi Esaki
2. 発表標題 Positioning and Perception in cooperative ITS application simulator
3. 学会等名 The Sixth International Conference on Advances in Vehicular Systems, Technologies and Applications (VEHICULAR 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masahiro Kitazawa, Manabu Tsukada, Kai Morino, Hideya Ochiai and Hiroshi Esaki
2. 発表標題 Remote Proxy V2V Messaging using IPv6 and GeoNetworking
3. 学会等名 The Sixth International Conference on Advances in Vehicular Systems, Technologies and Applications (VEHICULAR 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 東峻太郎, 野村晃啓, 塚田学, 佐藤健哉
2. 発表標題 車両位置相互監視によるV2X通信なりすまし検知手法
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2017)シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 北沢昌大, 塚田学, 落合秀也, 江崎浩
2. 発表標題 協調型ITSにおける携帯網を併用した車車間通信の支援
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2017)シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Manabu Tsukada
2. 発表標題 Autonomous vehicle supported by Cooperative ITS
3. 学会等名 IEEE TENSYPMP 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Manabu Tsukada
2. 発表標題 Roadside-assisted V2V messaging with 5G mobile edge computing
3. 学会等名 Helsinki5GWeek (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Manabu Tsukada
2. 発表標題 Roadside Support for Connected Autonomous Vehicle
3. 学会等名 Kyudai-JFLI Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Infrastructure-Assisted V2V Messaging for cooperative autonomous driving
2. 発表標題 "Infrastructure-Assisted V2V Messaging for cooperative autonomous driving"
3. 学会等名 Seminar of Chair Drive for All, Mines ParisTech (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masaya Mizutani, Manabu Tsukada, Yuki Iida, Hiroshi Esaki
2. 発表標題 3D maps distribution of self-driving vehicles using roadside edges
3. 学会等名 13th International Workshop on Autonomous Self-Organizing Networks (ASON) held in conjunction with CANDAR 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

http://gcl-muscat.jp/ GCL Mobile Unit for Smart Campus Transportation (MUSCAT) MUSCAT: GCL 自動走行プロジェクト https://www.gcl.i.u-tokyo.ac.jp/wp-content/uploads/2017/11/2017-10_no-48.pdf
--

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