

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2016

課題番号：24300030

研究課題名(和文) 狭帯域車々間・路車間通信のためのITSネットワークアーキテクチャの構築

研究課題名(英文) ITS Network Architecture for Narrowband V2X Communications

研究代表者

佐藤 健哉 (Sato, Kenya)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：20388044

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：車々間・路車間通信で安全運転を支援する協調型ITSに関して、日本の実情である狭帯域通信に適したITSネットワークアーキテクチャを構築した。
本研究では車々間通信と携帯電話網を併用した効率的なサービスを適応することで、既存手法におけるオーバーヘッドの抑制を行うことができ、既存手法と比較して送信パケット数の削減とパケット到達率の向上が確認できた。本技術を基盤に複数の自動運転車両に2種類の通信機能を搭載し、クラウドにデータを集約するシステムを構築し実証実験を実施した。また、国際標準化提案も行った。

研究成果の概要(英文)：For cooperative ITS that supports safe driving by vehicle-to-vehicle / road-to-vehicle communication, ITS network architecture suitable for narrow band communication which is the real situation of Japan was constructed.
In this research, we evaluated the overhead in the existing methods by adapting efficient service using vehicle-to-vehicle communication and cellular networks. Compared with the existing method, it is confirmed to reduce the number of packets transmitted and improve the packet arrival rate. In addition, we proposed the international standard.

研究分野：ITS

キーワード：移動体通信 ネットワークアーキテクチャ 車々間・路車間通信

1. 研究開始当初の背景

(1) 現在、車々間・路車間通信で安全運転を支援する協調型 ITS が、欧米を中心に研究開発されている。特に、欧州では欧州電気通信標準化機構 (ETSI) が中心となり産学が連携して様々なプロジェクトが実施され、米国では政府機関 (US DOT) が主導して研究開発を活発に推進しており、欧米が歩調を合わせて統一した協調型 ITS のネットワークアーキテクチャの国際標準化を狙っている。日本では、2000 年ごろに策定されたシステムアーキテクチャはあるが、ネットワークアーキテクチャはなく、ITS-Safety 2010 を目指して研究開発が行われ、Smartway[国交省道路局]、DSSSI[警察庁]、ASV[国交省自動車局]がそれぞれ独自の方式でシステムを実現しているのが現状である。

(2) ITS の無線通信で利用可能帯域は、日本ではアナログテレビが利用していた帯域の一部である 700MHz 帯 (715~725MHz) 1 チャンネルであり、北米では 5.9GHz 帯 (5.850~5.925GHz)、欧州では (5.855~5.925GHz) 7~8 チャンネルを利用予定である。つまり、欧米では日本で利用可能な帯域 (狭帯域) の 7~8 倍の広帯域な無線通信が利用可能であり、この広帯域通信を前提に位置透過性を目指した協調型 ITS のネットワークアーキテクチャの国際標準化が進められている。ここで言う位置透過性とは、ネットワーク層より上位にあるファシリティ層やアプリケーション層の機能が、車載機、センター、モバイル端末などの機器 (ノード) で動作するかという配置を意識することなく同様に動作するという計算資源やネットワークに依存しないで設計可能という特徴を持つ。しかし、日本のように狭帯域な通信環境では必要最小限の情報しか伝送できず、位置透過性を実現する帯域的な余裕がない。言い換えると、日本では、欧米が国際標準化を狙う ITS ネットワークアーキテクチャではシステムの構築・実施ができない。また、今後、日本が発展途上国などの世界市場に展開していくためには、欧米に対抗すべく、狭帯域車々間・路車間通信でも利用可能となる位置透過性を持った ITS ネットワークアーキテクチャの構築が急務である。

2. 研究の目的

(1) 欧米のアーキテクチャの本質的な目的である位置透過性を論理的に実現しつつ、日本の狭帯域車々間・路車間通信の事情を考慮した ITS ネットワークアーキテクチャを構築し、世界標準として提案・策定することが目的である。

(2) その過程において、欧米の ITS ネットワークアーキテクチャを分析し特徴を評価すること、安全運転支援など対象アプリケーションに対してシミュレーションを利用して

解析すること、対象アプリケーションの位置透過性をストリーム処理手法と静的生成技術で実現すること、状況に応じてネットワークを効率的に利用するコンテキスト・アウェア・ネットワーク制御方式を確立することも本研究の目標である。

3. 研究の方法

(1) 車々間・路車間通信で安全運転を支援する協調型 ITS のネットワークアーキテクチャに関して、欧米が国際標準化を進めている。欧米のアーキテクチャは、5.9GHz の広帯域な通信を前提に、同一モジュールがすべての種類のノードで動作可能し、ノード上の配置を意識しないという位置透過性を特徴とする。このようにインターネット上の分散システムにおいてよく採用される位置透過性は、図 1 に示すようにアプリケーションをノードの計算資源やネットワーク帯域などの配置を意識せずに設計できるため、容易にシステム構築ができるという点で有用である。しかし、この方式はすべてのノードにおいて、計算資源や通信帯域が均等に近い状況で配置されていることが前提となる。

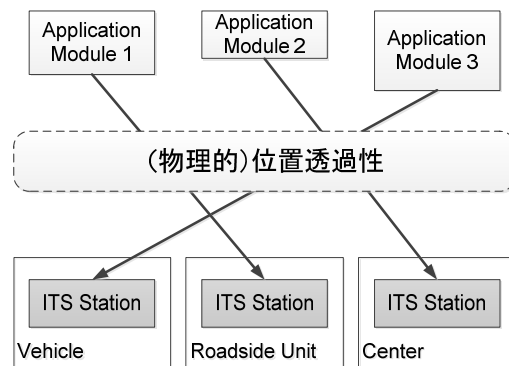


図 1 (物理的)位置透過性

(2) もともと狭帯域車々間・路車間通信のみでは、各ノード間で十分なデータを送受信することは不可能なため、今後、普及が予想されている LTE などの高速携帯電話通信を併用する。しかし、車々間・路車間通信と比較して、高速携帯電話通信の帯域は広いが、安全運転支援システムのアプリケーションが通信に要求する遅延時間を実現するのは困難となる。そこで、図 2 に示すように、車々間・路車間の狭帯域であるが低遅延の通信ネットワークと、広帯域であるが比較的遅延の大きい高速携帯電話通信を併用する方法を採用する。しかし、複数の種類の通信を特定ノードにおいて使い分けて利用する場合、そのままでは位置透過性を実現することができない。

(3) この問題を解決するために、安全を優先する車載組込みシステムで利用される静的生成技術を適応する。将来、新しく登場するアプリケーションを動的に配置する位置透

過性はシステム構築を容易にするが、システムを動的に構築する際に一時的に不安定になるなどの問題がある。図 2 に示すように、本研究で採用する静的生成では、まず、配置を考慮せずアプリケーションを設計することで位置透過性を実現し、その後、物理的なネットワーク構成・帯域・計算資源情報を考慮した最適化アルゴリズムにより、自動的に各ノードに物理的再配置を行いシステム構築する。

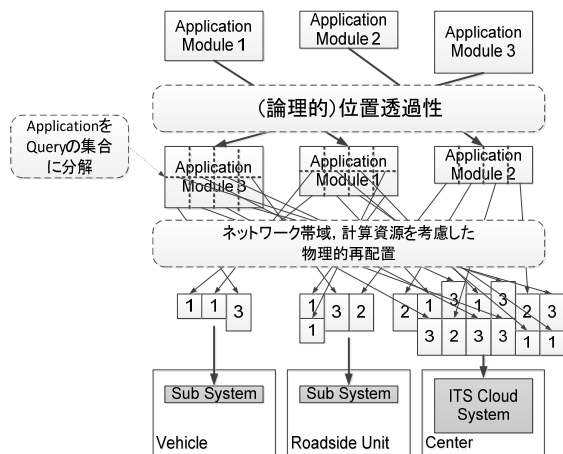


図 2：再配置を利用した(論理的)位置透過性

(4) 欧州が進める協調型 ITS においてキーテクノロジーである周辺状況を含む階層型データベース (Local Dynamic Map) の情報を効率的に処理する手法を従来より検討してきた。この技術をネットワーク上の分散システムに適用し、図 3 に示すように、車両状況(位置, 速度, 周辺環境)に応じて優先度を設定し、狭帯域車々間・路車間通信ネットワークの選択, および、他のネットワークと複合的に利用する QoS 制御手法も取り入れてアーキテクチャを構築する。

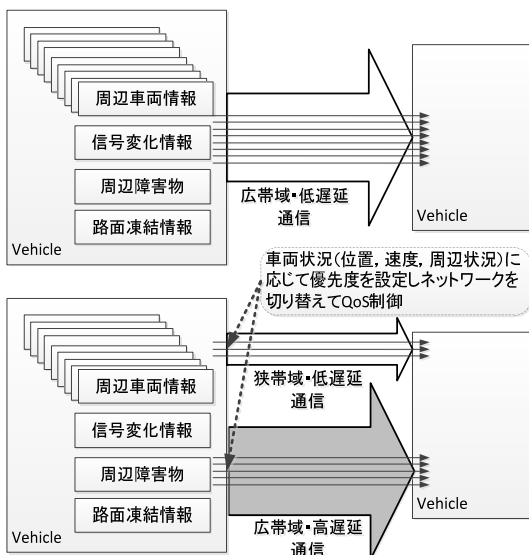


図 5：ネットワーク切替え QoS 制御
(上：欧米の通信環境, 下：日本の通信環境)

4. 研究成果

(1) 車々間通信と携帯電話網を併用した効率的なサービスを適応することで、既存手法におけるオーバーヘッドの抑制を行うことができ、シミュレータ評価により、既存手法と比較して送信パケット数の削減とパケット到達率の向上が確認できた。

(2) 通信方式に関して、複数アンテナを用いた無線通信システムでは、アンテナ同士の干渉や高速移動で生じる雑音によって、信号に誤りが発生するために誤り訂正符号を付加する必要がある。ここでは、エルゴード性 MIMO 通信路のための多元並列接続符号を提案し、車々間通信の通信路環境が変化しても柔軟に対応することが可能であり、提案符号が理論限界に近い復号性能を得られることを理論解析で示した。

(3) 本研究の提案方式である車々間通信と携帯電話網を併用手法は、もともと広帯域な通信を利用可能な欧米のネットワークアーキテクチャを日本の実情に合わせることを目的であった。しかし、欧州および米国で利用している無線通信の帯域が免許不要の WiFi と共用で信頼性が確保できず、欧米でも同じような問題が発生し、携帯電話網との併用が検討され始めた。

(4) 京都スマートシティエキスポにおいて、複数の自動運転車両および路側センサに路車間通信、車々間通信の 2 種類の通信機能を搭載し、実際のクラウドにデータを集約し地図データと重畳できるダイナミックマップのシステムを構築した。各車両からクラウドのデータを利用できるとともに、一般のスマートフォンなど歩行者の携帯端末からも閲覧となるような実証実験を実施し、有効性を確認した。図 5 に実証実験風景を示す。



図 5 自動運転車両実証実験風景

(5) 総務省の自律型モビリティシステム(自動走行技術, 自動制御技術等)の開発・実証を受託した NTT ドコモおよびパソコに協力して、モバイルエッジコンピューティングを活

用したダイナミックマップの更新・配信技術を利用して自動運転車両を走行させる実証実験に、名古屋大学、金沢大学、東京大学と協力して取り組んだ。具体的には、横須賀リサーチパークにあるNTTドコモR&Dセンター付近の高精度地図を作成し、LTE回線を利用して自動運転車両に配信し、この地図をもとにして自動運転車両が実際に自動運転を実施した。この成果は、総務省主催の「情報通信が支える次世代のITS」講演会で発表した。

(6) また、本研究成果の一部となる複数の無線を利用したネットワーク技術は国際標準化機構ISOの国際標準(ISO/DIS 24102-6 ITS station management - Part 6: Path and flow management)として2016年3月に承認された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計15件)

Akihiro Yamaguchi, Yousuke Watanabe, Kenya Sato, Yukikazu Nakamoto, Yoshiharu Ishikawa, Honda Shinya, and Hiroaki Takada, In-Vehicle Distributed Time-critical Data Stream Management System for Advanced Driver Assistance, Journal of Information Processing, 査読有, Vol.25, pp.107-120, 2017/01.
DOI: 10.2197/ipsjip.25.107

高田 広章, 佐藤 健哉, ダイナミックマップ:自動走行/協調運転支援のための情報プラットフォーム, システム/制御/情報, 査読無, Vol.60, No.11, pp.1-6, 2016/11.

山口 晃広, 渡辺 陽介, 佐藤 健哉, 中本 幸一, 高田 広章, 車載組込みシステム向けデータストリーム処理のリアルタイムスケジューリング方式, 情報処理学会論文誌(データベース), 査読有, Vol.8, No.2, pp.1-17, 2015/6.

Tatsuya Yamada, Mayu Mitsukawa, Hideki Shimada, and Kenya Sato, Evaluation of Effective Vehicle Probe Information Delivery with Multiple Communication Methods, Communications and Network, 査読有, Vol.7, No.2, pp.71-80, 2015/5.
DOI: 10.4236/cn.2015.72007

Hideki Shimada, Akihiro Yamaguchi, Hiroaki Takada, and Kenya Sato, Implementation and Evaluation of Local Dynamic Map in Safety Driving

Systems, Journal of Transportation Technologies, 査読有, Vol.5, No.2, pp.102-112, 2015/3.
DOI: 10.4236/jtts.2015.52010

井上 慶春, 島田 秀輝, 佐藤 健哉, “動的特性を利用したOpenFlowによるアドホックネットワーク制御方式の提案”, 信学技法, 査読無, Vol.114, No.160, pp.21-26, 2014/7.

G. Song, Yuta Tsujii, J. Cheng, and Y. Watanabe, Finite field spreading for multiple-access channel, IEEE Transactions on Communications, 査読有, Vol.62, No.3, pp.1001-1010, 2014/3.
10.1109/TCOMM.2014.011814.130203

佐藤 健哉, 狭帯域通信を考慮した車環境情報の効率的分散処理プラットフォーム, 自動車技術, 査読無, Vol.68, No.2, pp.29-34, 2014/2.

S. Lu, J. Cheng, and Y. Watanabe, Recursive construction of (k+1)-ary error-correcting signature code for multiple-access adder channel, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, 査読有, Vol.E96-A, No.12, pp.2368-2373, 2013/12.
DOI: 10.1587/transfun.E96.A.2368

T. Kitada, J. Cheng, and Y. Watanabe, “Direction-of-arrival estimation for near-field sources with multiple subarrays,” IEICE Trans. Commun., 査読有, vol.E96-B, no. 2, pp. 553-560, Feb. 2013.
DOI: 10.1587/transcom.E96.B.553

S. Lu, Y. Li, J. Cheng, and Y. Watanabe, “Two-user turbo decoding with simplified sum trellis in two-way relay,” IEICE Trans. Commun., 査読有, vol. E96-B, no. 1, pp.73-80, Jan. 2013.
DOI: 10.1587/transcom.E96.B.73

光川 真由, 松本 江里加, 島田 秀輝, 佐藤 健哉, 狭帯域通信を考慮した車環境情報の効率的伝送手法, 自動車技術会論文集, 査読有, Vol.44, No.1, pp. 205-212, 2013/1.

Kenya Sato, Hideki Shimada, Satoshi Katsunuma, Akihiro Yamaguchi, Masahiro Yamada, Shinya Honda, and Hiroaki Takada, Stream LDM: Local

Dynamic Map (LDM) with Stream Processing Technology, The Science and Engineering Review of Doshisha University, 査読無, Vol. 53, No.3, pp.28-35, 2012/12.

[学会発表](計 20 件)

佐藤 健哉, [招待講演] 協調型自動運転に向けた空間情報共有プラットフォーム, G 空間 EXPO CSIS シンポジウム 2016, 2016/11/24-2016/11/25, 日本科学未来館(東京都・お台場).

Akihiro Yamaguchi, Yousuke Watanabe, Kenya Sato, Yukikazu Nakamoto, Yoshiharu Ishikawa, Honda Shinya, Hiroaki Takada, In-Vehicle Distributed Time-critical Data Stream Management System for Advanced Driver Assistance, 第 9 回 Web とデータベースに関するフォーラム (WebDB Forum 2016), 2016/9/13-2016/9/15, 慶応大学(神奈川県・横浜市).

野村 晃啓, 佐藤 健哉, 携帯電話網を併用した位置情報管理に基づく車車間通信手法の提案, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2016)シンポジウム 論文集, pp.1277-1284, 2016/7/6-2016/7/8, 鳥羽シーサイドホテル(三重県・鳥羽市).

Kenya Sato, [Keynote] Current and Future Trends in Connected Vehicles and Dynamic Maps, The Fifteenth International Workshop on Assurance in Distributed Systems and Networks (ADSN2016), 2016/6/27-2016/6/30, Nara (Japan).

佐藤 健哉, [招待講演] 協調型自動運転のためのセンサデータ処理機構, 自動車技術会シンポジウム 将来の自動車を支える技術, 2016/3/4, 日本大学(千葉県・習志野市).

佐藤 健哉, [招待講演] 協調型自動運転のための効率的センサデータ処理機構, 情報処理学会 高度交通システムとスマートコミュニティ(ITS)研究会 高度交通システム(ITS)シンポジウム, 2016/1/15, 日本未来館(東京都・お台場).

Kenya Sato, [招待講演] V2X Communication Technology: Current and Future Trends, IEEE Vehicular Networking Conference (VNC) 2015, 2015/12/16-2015-12/18, Kyoto (Japan).

佐藤 健哉, 橋本 雅文, 菅沼 直樹, 加藤 真平, 芝 直之, 花井 将臣, 高田 広章, 天沼 正行, 杵名 守道, 大石 淳也, 協調型自動運転のための LDM グローバルコンセプト実証実験, ITS シンポジウム 2015 論文集, pp.1-6, 2015/12/3-2015/12/4, 首都大学東京(東京都・八王子市).

Kenya Sato, A Field Experiment of LDM Global Concept in Kyoto, (SIS67: Dynamic Map "Beyond the Local Dynamic Map"), ITS World Congress 2015, 2015/10/5-2015/10/9, Bordeaux (France).

野村 晃啓, 多田 正範, 佐藤 健哉, 移動体通信を併用した位置情報管理に基づく VANET 性能の向上, 情報科学技術フォーラム (FIT2015) 論文集, Vol.4, pp.293-294, 2015/9/15-2015/9/17, 愛媛大学(愛媛県・松山市).

佐藤 健哉, [招待講演] 車々間・路車間通信を利用した運転支援の動向と今後の発展, TOPPERS カンファレンス 2015, 2015/6/9, 大田区産業プラザ(東京都・大田区).

Akihiro Yamaguchi, Yukikazu Nakamoto, Kenya Sato, Yoshiharu Ishikawa, Yousuke Watanabe, Shinya Honda, and Hiroaki Takada, AEDSMS: Automotive Embedded Data Stream Management System, Proceedings of IEEE 31st International Conference on Data Engineering (ICDE), pp.1292-1303, 2015/4/13-2015/4/17, Seoul (Korea).

山口 晃広, 佐藤 健哉, 中本 幸一, 渡辺 陽介, 高田 広章, "車々間通信を用いた安全運転支援のためのリアルタイムストリーム処理", 情報処理学会研究報告, Vol.2014, No.7, pp.1-8, 2014/9/19, 鳥取大学(鳥取県・鳥取市).

川上 智史, 多田 正範, 島田 秀輝, 佐藤 健哉, "走行経路情報を利用した効率的車々間データ通信", 第 13 回情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol.4, pp.209-210, 2014/9/3-2014/9/5, 筑波大学(茨城県・つくば市).

佐藤 健哉, [招待講演] "協調型先進運転支援システムのためのセンサデータ処理の効率化", 第 16 回組込みシステム技術に関するサマワーショップ, 2014/8/28-2014/8/29, 水明館,(岐阜県・下呂市).

Jaeyong Rho, Akihiro Yamaguchi, Kenya Sato, Takuya Azumi and Nobuhiko Nishio, ROP-EDF: Reservation-Based OP-EDF Scheduling for Automotive Data Stream Management System, WiP session of the IEEE 11th International Conference on Embedded Software and Systems (ICESS2014), 2014/8/20-2014/8/22, Paris (France).

Kenya Sato, Erika Matsumoto, Hideki Shimada, Akihiro Yamaguchi, Shinya Honda, Hiroaki Takada, A Proposal of Network Architecture for Narrowband V2X Communication, The 20th ITS World Congress, pp.1-10, 2013/10/14-2013/10/18, Tokyo (Japan).

Akihiro Yamaguchi, Kenya Sato, Naoyuki Shiba, Shinya Honda, and Hiroaki Takada, ADVISE: Autonomous Driving Vehicle for Individuality in a Stream Environment, The 6th Biennial Workshop on Digital Signal Processing for In-Vehicle Systems, pp.57-63, 2013/9/29-2013/10/2, Seoul (Korea).

多田 正範, 松本 江里加, 島田 秀輝, 佐藤 健哉, アプリケーション位置情報を利用した Geocast パケット伝送の効率化の検討, 第 12 回情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol.4, pp.427-428, 2013/9/4-2013/9/6, 鳥取大学 (鳥取県・鳥取市).

Y. Tsujii, G. Song, J. Cheng, and Y. Watanabe, Approaching multiple-access channel capacity by nonbinary coding-spreading, 2013 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT), 2013/7/7-2013/7/12, Istanbul (Turkey).

〔図書〕(計 2 件)

佐藤 健哉 (分担執筆), 自動運転, 先進運転システムの最新動向とセンシング技術, 技術情報協会, 2015/9.

佐藤 健哉, 昔農 凜太郎, コンピュータネットワーク, 共立出版 ISBN 978-4-320-12264-2, 2014/4.

〔その他〕

ホームページ等

<http://nislabs.doshisha.ac.jp/>

<http://mrc.doshisha.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 健哉 (SATO, Kenya)
同志社大学・理工学部・教授
研究者番号: 20388044

(2) 研究分担者

程 俊 (CHENG, Jun)
同志社大学・理工学部・教授
研究者番号: 00388042

(4) 研究協力者

Scott McCormick