

平成 30 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26730045

研究課題名(和文) 協調型ITSにおける車々間・路車間通信のためのIPv6ネットワーク制御

研究課題名(英文) IPv6 network management for V2X 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・特任助教

研究者番号：90724352

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではIPv6ネットワークを制御するための仕組みを、日本の環境に合わせてながら世界標準の参照基盤と調和を取りながら実現することを目的とする。成果として、まず、GeoNetworking上でIPv6を利用する技術を利用しフィールド実験を行い。車両の移動に伴い、遅延、パケット到達率、スループットがどのように変化するか明らかにした。次に、GeoNetworkingの技術を国際標準との整合性を保ったまま、重複パケットを利用してパケット到達率を大幅に改善する手法DUPEを提案し、その有効性を示した。最後に、路側拠点による車々間メッセージ代理送信方式Proxy CAMを提案しその有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：The ITS Station reference architecture has been standardised in ISO and ETSI. This study aims to manage IPv6 networking suitable for Japanese transport environment in harmonisation with world standards. First, we measure the network performance (delay, packet delivery ratio, and throughput) of IPv6 GeoNetworking in the field operational tests with four real vehicles. Then, We proposed DUPE that duplicates the GeoNetworking packet to improve the packet delivery ratio. Finally, we introduced a roadside-assisted V2V messaging scheme in which roadside units construct a database of dynamic information obtained from sensors and transmit data to nearby vehicles, called Proxy CAM.

研究分野：コンピュータネットワーク

キーワード：インターネット 協調型ITS 車々間通信 路車間通信 無線ネットワーク 標準技術 GeoNetworking

## 1. 研究開始当初の背景

車々間・路車間通信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、日本では Smartway [国交省道路局]、DSSS [警察庁]、ASV [国交省自動車局] など、特定のアプリケーションの単一システム上でのデータ転送の効率を最優先するため、単一メディアのデータリンク層上に直接アプリケーションを置く構成をとり、研究開発が進められている。一方で、国際標準化機構 (ISO) と欧州電気通信標準化機構 (ETSI) では、欧州が中心となり、協調型 ITS のための基盤として、ITS Station 参照基盤の策定が進む。ITS Station 参照基盤では、特定の安全支援アプリケーションのデータ転送を最優先する ITS Transport と ITS Network を用いた構成と並行して、IPv6 を利用して複数メディアを横断的・透過的に扱い、分散システムとしての協調型 ITS の研究開発が進められている。

IPv6 は LTE、3G、赤外線など下層の無線通信媒体の差異を隠蔽し、通信を透過的に扱える点、IPv6 で構築された他のシステムとの接続性に優れる点などの利点がある。さらに既存の Smartway、DSSS、ASV が普及している環境においても IPv6 による通信路を確保することができれば、状況によって通信路の選択肢を提供できるため、より柔軟な通信が可能となり日本の協調型 ITS にも IPv6 を導入することが望ましい。

日本では都市部が多いため車載器や路上機の密度が高く、電波を遮蔽する建物が多いなどの前提も欧米とは違うため、ハンドオーバが頻繁に発生するシナリオへの対応が必須である。したがって、欧州を中心に策定されている ITS Station 参照基盤そのまま導入するだけでなく、日本の事情に合わせて IPv6 ネットワーク制御を最適化する必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究では自動車に備え付けられたセンサなどの情報・地図情報・統計情報などから車両状況と周辺環境に応じて、IPv6 ネットワークを制御するための仕組みを、世界標準の参照基盤と調和を取りながら実現することを目的とする。

(1) 自動車に備え付けられたセンサから取得するデータや地図データ、統計情報などから、現在の車両状況を収集すると同時に、アプリケーションの通信状況や、ネットワーク経路情報、アクセスメディアの信号強度などの通信に関する情報を収集する。さらに自車に関する情報に加えて、IPv6 や GeoNetworking の制御メッセージや、ファシリティア層の情報などを活用し、近隣の車載器や路上機のトポロジー情報および地理位置情報を収集する。これらの収集した情報を、2 次利用しやすい形で管理・保持する機構を設計する。

(2) 日本の地理やノード普及状況にも対応

できるよう収集した自車と周囲の自動車の状況を把握して、IPv6 ネットワークの制御する機構を設計する。都市部のように車載器や路上機が密集している地域では、制御メッセージの送信間隔を長くして電波の混雑を抑えたり、電波を遮蔽する建物が多い環境では、進路や速度から車載器が接続する路上機を前もって決定しておくなどの意思決定機構を設計・開発する。この意思決定機構を通じて、経路制御や、移動体通信支援、高速ハンドオーバなどの IPv6 ネットワークの制御を行う。

(3) フィールド実証実験のためのフレームワークの提供: 上記の 2 機構を日本の事情に合わせて、最適化し、その効果を検証するには、フィールド実証実験が欠かせないため、本研究ではフィールド実証実験に取り組む。

## 3. 研究の方法

(1) 欧州プロジェクトの成果をもとに開発された ITS Station 参照基盤に準拠したオープンソース主体の車載器および路上機を接続してテストベッドを構築し、基礎的なネットワーク性能を計測する。また、実機テストベッドでは、規模生の評価に限界があるため、実機と同一のソフトウェアを NS3 シミュレータ上で動作させる Direct Code Execution (DCE) を用いて、実機での性能評価をシミュレーションで拡張することで、より大規模なネットワークの性能評価を行う。さらに、自動車ネットワーク用性能評価・分析ツール AnaVANET を開発し、フィールド実験に利用する。

(2) ETSI にて標準化の進む GeoNetworking の技術を国際標準との整合性を保ったまま、重複パケットを利用してパケット到達率を大幅に改善する手法を提案し、上記のツールを利用して評価を行う。

(3) ITS Station 参照基盤のファシリティア層の技術である Cooperative Awareness Message (CAM) は、車々間のブロードキャストを利用した技術であるが、都市部の多い日本のような環境では、無線の到達距離が制限されるなどの問題がある。これを解決するため、路側のセンサが交差点に進入する自動車の位置を推定し、無線の到達しにくい場所に代理の CAM を発行するシステムを提案する。この方式でも、国際標準技術との相互接続性を保つ形の改変とする。

## 4. 研究成果

(1) GeoNetworking 上で IPv6 を利用する技術を利用し、IPv6 移動支援技術の NEMO を動作させた上で、4 台の自動車を利用したフィールド実験を行った。分析ツールは、申請者がこれまでに開発した AnaVANET を利用し、自動車の移動パターンに伴い、遅延、パケット到達率、スループットがどのように変化するか明らかにし、可視化を行った【雑誌論文 2】。さらに、フィールド実験の結果を NS3-DCE を利用して拡張し、大規模ネットワークでのネットワーク性能を測定する方法を開発した

【学会発表 10】。

(2) GeoNetworking の技術を国際標準との整合性を保ったまま、重複パケットを利用してパケット到達率を大幅に改善する手法 Duplicated Unicast Packet Encapsulation (DUPE)を提案し、NS3-DCE 上で評価を行った。無線の到達が不安定になるノード間が長距離になる構成でマルチホップする最悪の想定では、パケットロス率を最大 94.5%改善することできた【雑誌論文 1、学会発表 8】。

(3) 協調型 ITS の基礎となる車々間通信には、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という、未解決な課題が存在する。

欧米の都市間道路は見通しの良い平野を通ることが多い一方、日本を筆頭に人口 2000 万以上のメガシティを数多く抱えるアジアでは道路周辺の建物により見通しが悪く、車載センサで得られる情報を補う協調型 ITS の要求が欧米に比べ相対的に高い。日欧米三極の中で都市化が進んでいる日本は課題解決のリーダーシップが求められている。申請者は路側拠点による車々間メッセージ代理送信方式を提案した。本方式は、図 1 に示すとおり路側拠点センサが、対象車両の位置や速度を推定し、路側送信機が対象車両の代理で車々間メッセージ (CAM) を送ることで、上記の未解決課題を解決した。

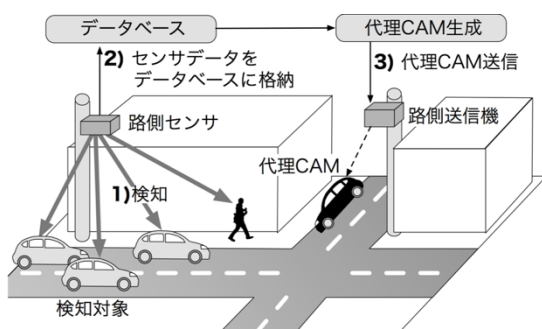


図 1) Proxy CAM のシステム概要

このシステムを Proxy CAM と名付けて実装し、東京大学本郷キャンパスの T 字路にて効果を測定した。優先道路から交差点に向かってくる車両から CAM を送信した場合、建物に遮蔽され、非優先道路では交差点から 40 メートル離れたところには、メッセージが届かなかった (図 2)。一方、交差点に Proxy CAM 装置を設置した場合、非優先道路でも交差点から 100 メートル離れた場合でも 80% のメッセージが到達するなど大きく安全を改善できた【学会発表 7、9】。

Proxy CAM は、その後、路側システムを利用して 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を解決すべく、研究を継続している【学会発表 1、4】

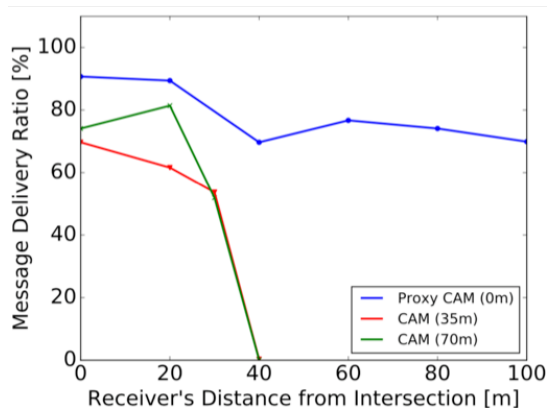


図 2) Proxy CAM のフィールドテストの結果

## 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 2 件)

1. Ye Tao, Xin Li, Manabu Tsukada, and Hiroshi Esaki, "Reliable Overlay Networking on ETSI GeoNetworking Standards", International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, April, 2017 (DOI: 10.1007/s13177-017-0141-7) (査読有り)
2. Manabu Tsukada, José Santa, Satoshi Matsuura, Thierry Ernst and Kazutoshi Fujikawa, "On the Experimental Evaluation of Vehicular Networks: Issues, Requirements and Methodology Applied to a Real Use Case", EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems, December 2014. (DOI: 10.4108/inis.1.1.e4) (査読有り)

[学会発表] (計 10 件)

1. 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.
2. 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
3. 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
4. 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.
  5. 北沢 昌大, 塚田 学, 落合 秀也, 江崎 浩, "協調型 ITS における携帯網を併用した車車間通信の支援", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02017)シンポジウム, June 2017.
  6. 東 峻太郎, 野村晃啓, 塚田学, 佐藤 健哉, "車両位置相互監視による V2X 通信なりすまし検知手法", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02017)シンポジウム, June 2017.
  7. Tomoya Kitazato, Manabu Tsukada, Hideya Ochiai, and Hiroshi Esaki, "Proxy Cooperative Awareness Message: An Infrastructure-Assisted V2V Messaging", The Ninth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2016), DFKI Kaiserslautern, Kaiserslautern, Germany, October 4-6, 2016.
  8. Ye Tao, Xin Li, Manabu Tsukada, and Hiroshi Esaki, "DUPE: Duplicated Unicast Packet Encapsulation in Position-Based Routing VANET", 9th IFIP Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC 2016), Colmar, France, July 2016.
  9. 北里知也, 塚田 学, 落合秀也, 江崎浩, "協調型 ITS における車々間メッセージ代理生成・送信システムの設計", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02016)シンポジウム, July 2016
  10. Ye Tao, Manabu Tsukada, Xin Li, Masatoshi Kakiuchi and Hiroshi Esaki, "Reproducing and Extending Real Testbed Evaluation of GeoNetworking Implementation in Simulated Networks", The 10th International Conference on Future Internet Technologies (CFI 2015), Seoul, Korea, June 2015

[図書] (計 1 件)

1. Masaaki Sato, Manabu Tsukada and Hiroshi Ito, "Probe Vehicle Information Systems", Book chapter 8, Intelligent Transportation Systems: From Good Practices to Standards, CRC Press Book, pp.151-170, August, 2016 (ブックチャプター)

## 6. 研究組織

### (1) 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・特任助教

研究者番号 : 90724352