

令和元年5月24日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00121

研究課題名(和文) 劣VANET通信環境を想定した車両クラスタリング及び災害時車両クラウドの実現

研究課題名(英文) Vehicle clustering and vehicle cloud for challenged environment

研究代表者

策力 木格 (Wu, Celimuge)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：90596230

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：車両アドホックネットワーク(VANET)を利用することで、より正確かつ迅速な交通情報案内、災害時における携帯基地局に依存しない情報共有(車両クラウド)が可能となる。本研究では、車両が高密度で分布する、または車両間リンクの中断が多発する(断続的な接続環境)劣悪な通信環境を考慮したVANET通信プロトコルの提案と評価を行った。高密度環境においては、クラスタリングで送信者の数を削減することにより無線チャンネル利用効率を上げる方法を採用した。断続的な接続環境では、車両の移動、車両分布、ワンホップとマルチホップ通信のトレードオフ、路側装置の位置を考慮した中継車両選択手法を利用した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

車両ネットワークにおける自律分散クラスタリングに基づいた通信方式は、無線リソースの利用効率を上げることができるため、高密度環境においては非常に有意である。断続的な接続環境における効率的な通信方式は災害時などにおいて通信インフラに依存しない有効な情報共有を実現できる。またファジィ論理と強化学習を用いた通信プロトコルの品質向上についての研究は、国際的にも初めての試みであると言える。ファジィ論理を利用することにより、通用性の高い通信プロトコルが期待される。強化学習を用いることで通信パラメータの自動調整ができるインテリジェントな通信方式が期待される。

研究成果の概要(英文)：Vehicular ad hoc network can be used to enable more efficient navigation systems and efficient information sharing in a post-disaster scenario. This project proposed solutions for challenged vehicular environments including highly dense vehicle distribution and intermittent connectivity. In a highly dense environment, the proposed approach uses vehicle clustering to improve the MAC layer content efficiency by reducing the number of sender nodes. For intermittently connected networks, the proposed approach takes into account the vehicle mobility, vehicle distribution, position of road-side-unit, and multi-hop forwarding efficiency for the relay node selection.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：車両ネットワーク 通信プロトコル

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年、高度交通システムの実現に向けて、車両アドホックネットワーク（VANET）を用いた運転支援システム実現の取組が進められている。VANET を利用することで、より効率的な事故防止支援システム、道路交通情報システムの実現、または災害時における携帯基地局に依存しない情報共有が可能となる。しかし、車両ネットワークにおいては、車両密度や通信環境が道路、時間帯によって大きく変化するため、様々な環境において機能する通信プロトコルの設計が極めて重要である。VANET の物理層、MAC 層の基準である IEEE 802.11p は、自律分散的に送信制御を行うため、高密度環境においては、パケット衝突が起これ、無線チャンネル利用効率が低下する。断続的な接続環境における中継車両の選択には、他の車両の移動を予測することや（プライバシーなどが原因で他の車両の移動経路を知るの難しい）、ネットワーク全体スループットを考慮することが必要である。

車両ネットワーク通信プロトコルについての最近の研究としては、[1-3]があげられる。[1]では継続時間が長い経路を選択することで通信品質を向上させる方法を提案しているが、高密度環境、断続的な接続環境における通信が考慮されていない。断続的な接続環境における通信方式として DTN (Delay Tolerant Networking) を用いたプロトコル[2]が研究されている。しかし、既存のプロトコルでは、DTN 方式とエンドツーエンド接続を必要とするマルチホップ通信方式の組み合わせ問題が議論されていない。申請者の予備研究[3]では、DTN 方式を用いて車両と路側装置間通信の品質をあげる方法を提案している。[3]は特殊なシナリオにおける検討であるため汎用性がない。劣悪な通信環境にて効率的な通信ができるプロトコルの設計が緊急な課題となっている。

参考文献

- [1] Jacek Rak, "LLA: A New Anypath Routing Scheme Providing Long Path Lifetime in VANETs," IEEE Communications Letters, vol.18, no.2, pp.281-284 (2014)
- [2] S.M.Tornell, C.T. Calafate, J.-C. Cano, and P. Manzoni, "DTN Protocols for Vehicular Networks: An Application Oriented Overview," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol.17, no.2, pp.868-887 (2015)
- [3] Celimuge Wu, Y. Ji, S. Ohzahata and T. Kato, "Can DTN Improve the Performance of Vehicle-to-roadside Communication?," IEEE 25th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 6 pages (2015)

2. 研究の目的

本研究では、車両が高密度で分布する、または車両間リンクの中断が多発する（断続的な接続環境）劣悪な通信環境を考慮した VANET 通信プロトコルを提案する。高密度環境においては、クラスタリングで送信者の数を削減することにより無線チャンネル利用効率を上げる方法を採用し、断続的な接続環境では、車両の移動、車両分布、ワンホップとマルチホップ通信のトレードオフ、路側装置の位置を考慮した中継車両選択を特徴とする。提案プロトコルを実 VANET において評価し、その実用性を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、車両アドホックネットワーク (VANET) における劣悪な通信環境を考慮した通信プロトコルの提案並びにシミュレーションと実証実験による評価を行った。研究期間は3年とした。平成28年度には、高密度環境における通信プロトコルを提案し、コンピュータシミュレーションを用いて評価した。また実際に VANET を構築して、提案手法の実環境での動作検証を行った。平成29年度と平成30年度には、断続的な接続環境における通信プロトコルを提案した。また高密度環境における手法（1年目）と断続的な接続環境における手法（2年目）を組み合わせ、様々な環境において効率よく機能するプロトコルを設計した。実 VANET 環境における動作検証を行った。

（平成28年度）

平成28年度には、高密度車両ネットワークにおけるクラスタリングを用いた情報転送プロトコルの設計並びにコンピュータシミュレーション、実証実験による評価を行った。本プロトコルでは、自律分散的にクラスタリングを行い、クラスタヘッド（中継ノード）のみによりパケットを中継することで送信者の数を削減し、より効率的な無線リソースの利用を図る。クラスタヘッドの選択は Hello メッセージの交換により自律分散的に行われ、クラスタヘッドと普通の車両間では Hello メッセージ以外のメッセージ交換をしない。ノード（車両）はその位置情報、帯域利用情報を含む Hello メッセージを定期的に送信する。Hello メッセージを受信したノードは、自身のすべての隣接ノードの位置と受信信号電力の情報を得る。それに基づき、隣接ノードとの距離、移動の状況（1つ前の Hello メッセージの位置との比較から計算する）、受信信号強度の評価値を得る。これらの評価値から、各ノードが、メッセージを転送する際のクラスタヘッドを決定する。クラスタヘッドの選択が適切ではないと、効率が悪くなるまたは信頼性が低下するなどの問題が生ずる。しかしながらこれらの評価尺度は互いに相反する（図 1

参照). この相反の状況は VANET における車両の分布や移動速度に依存し, 最適解を求める画一的な評価式を求めるのは難しいと考えられる. 各ノードで保持している情報は定期的な Hello メッセージの交換から得られたものであるため, 必ずしも正確ではなく, 不完全, 不確かであるといえる. また次の中継ノードとのリンクがよくても, 経路全体の品質がよいとは限らない (経路はクラスタヘッドの選択で決まる). これらの理由からクラスタヘッドを選択することは難しい問題となる. そこで本研究では, ファジィ論理により車間距離, 移動状況, 信号強度を統合化する, また強化学習を用いて全体的に最適なパラメータを決定することで安定かつ効率的な通信を可能にする方式を提案した. ファジィ論理は人間の思考と似たような近似的な推論を扱うことができ, 複雑なシステムを制御することが可能となる. 強化学習は, 現在の状態を観測し, 一連の行動を通じて報酬が最も多く得られるような方策 (ファジィルール, メンバシップ関数) を学習できる.

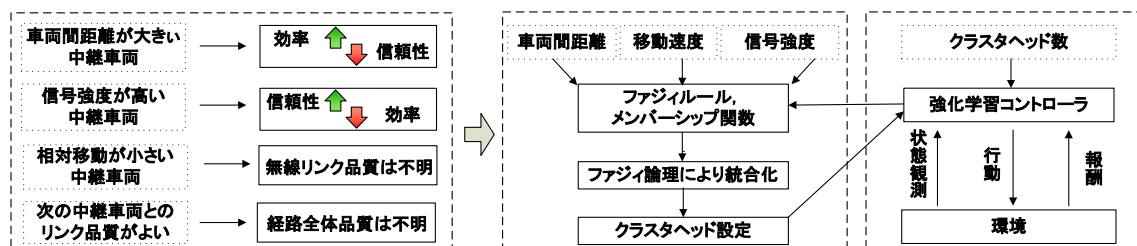


図 1 ファジィ尺度強化学習を用いたクラスタヘッドの決定方法

(平成 29 年度, 平成 30 年度)

平成 29 年度には, 断続的な接続環境を想定した VANET 通信手法に焦点をあてた. 中継車両の選択が適切ではないと, データが目的地まで届かない, または無線リソースの利用効率及びスループットが低下する場合がある. そこで本研究では, 車間距離, 移動速度, 信号強度をファジィ論理により統合し, 無線リンク品質, 車両の移動予測, ノード分布情報に基づいて, 中継車両を選択した. さらに, 無線通信のブロードキャスト特性を考慮し, 低オーバヘッドでデータを複数の車両に配布することにより, 低遅延, 高スループットを達成した. またエンドツーエンド接続に依存するマルチホップ通信方式と DTN 方式を組み合わせることでスループットの最大化を図った. 平成 30 年度には, 1 年目と 2 年目の提案手法を連携させ, 通信環境の変化に迅速に適応できるプロトコルを設計した. 提案プロトコルを実デバイスに実装して, 実際に VANET を構築して, 提案プロトコルの実環境での動作検証を行った.

4. 研究成果

● 提案プロトコル

本研究では①高密度環境②断続的な接続環境における通信に焦点をあてた. 高密度環境においては, MAC 層を改善するのは現実ではないため, 自律分散クラスタリングを用いて, 送信者の数を削減する手法を提案した. 断続的な接続環境においては, 車両の移動, 無線リンク品質, 車両分布に基づき中継車両を選択し, またネットワークコーディングを用いて全体送信データ量を削減し, 送信効率を向上させた. さらに, エンドツーエンド接続に依存するマルチホップ通信方式とエンドツーエンド接続に依存しない DTN 方式の組み合わせを最適化した. より柔軟かつ知能的なプロトコルを設計するためには, ファジィ論理を用いて複数の要素を統合的に考慮する, 強化学習を用いて最適な通信パラメータを選択する方式を利用した.

● 主要技術と貢献

実際に使用できる通信プロトコルを設計するためには, 劣悪な通信環境を考慮する必要がある. 今までは, エンドツーエンド接続ありの場合となしの場合におけるプロトコルが独立に研究されていた. しかし, 車両ネットワークの環境は道路, 時間帯によって大きく変化するため, 様々な環境で機能するプロトコルの設計が非常に重要である. またエンドツーエンドの接続があった場合でも, DTN を利用することでより効率的な無線リソースの利用ができ, 高いスループットが得られる場合がある. 本研究では, 劣悪な通信環境においても動作するプロトコルを提案した. さらに, DTN 方式とマルチホップ方式を組み合わせることでスループットの最大化を図った. 従来の VANET プロトコルの研究では, その評価にシミュレーションを用いていることが多い. しかしながら, VANET の実用化のためには実環境での評価が重要である. そこで本研究では, 提案プロトコルを実際の無線デバイスに実装し, 実無線ネットワークで評価しその有効性を確認した.

● 提案手法の性能

提案プロトコルを高密度環境, (2) 断続的な接続環境といった 2 種類のネットワーク形態において評価した. 様々なシナリオにおける評価の結果, 提案プロトコルが既存方式より高い通信品質を提供することが分かった (詳細は[4][5]を参照).

(1) 高密度環境

高密度環境における評価を行った。提案プロトコルは様々な環境において既存手法より高いスループット(図 2)、低オーバーヘッド(図 3)、低遅延(図 4)を実現することが確認できた。これは、自律分散クラスタリングを用いて、送信者の数を削減し、MAC層のコンテンション効率を向上させたからである。

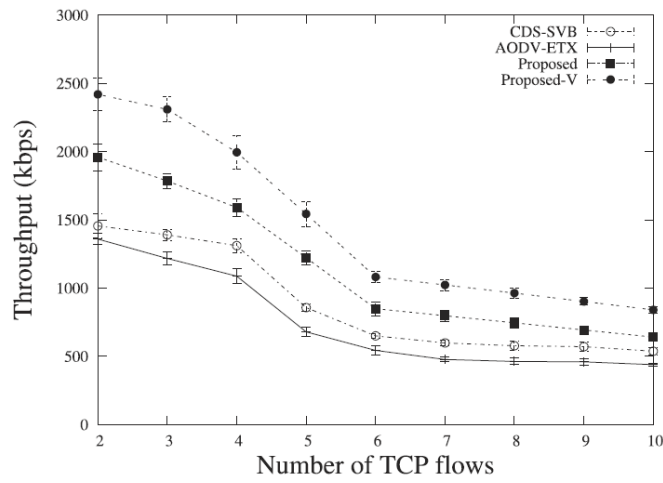


図 2 スループット

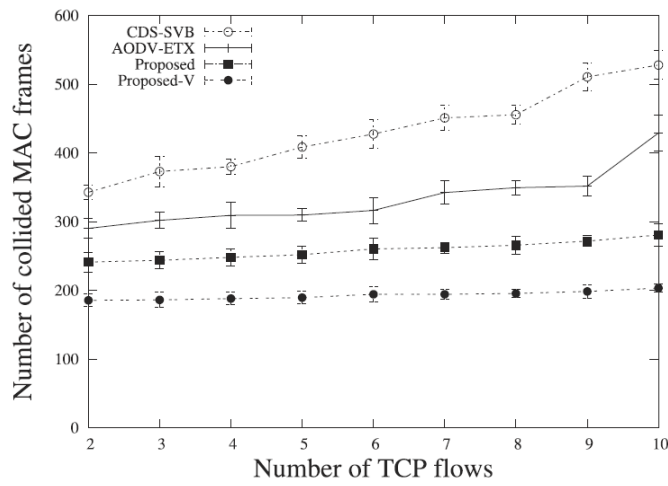


図 3 MAC層のコンテンション効率

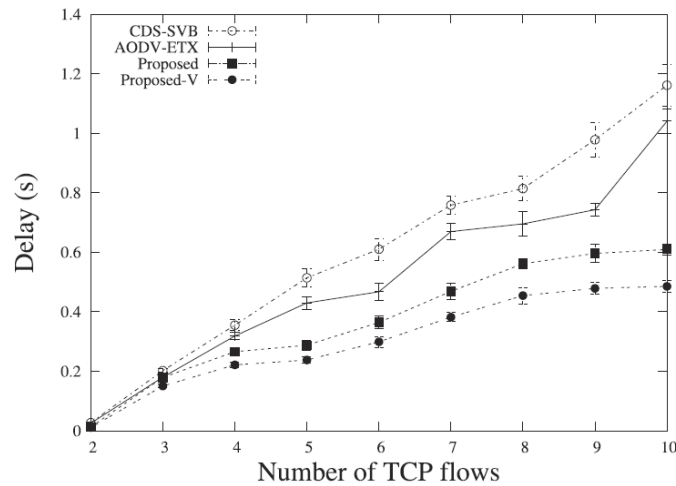


図 4 遅延

(2) 断続的な接続環境

断続的な接続環境においては、車両の移動、無線リンク品質、車両分布に基づき中継車両を選択する方式を利用した提案手法は、その代表的な手法より高いパケット到達率（図 5）及び低遅延（図 6）を得ることができた。

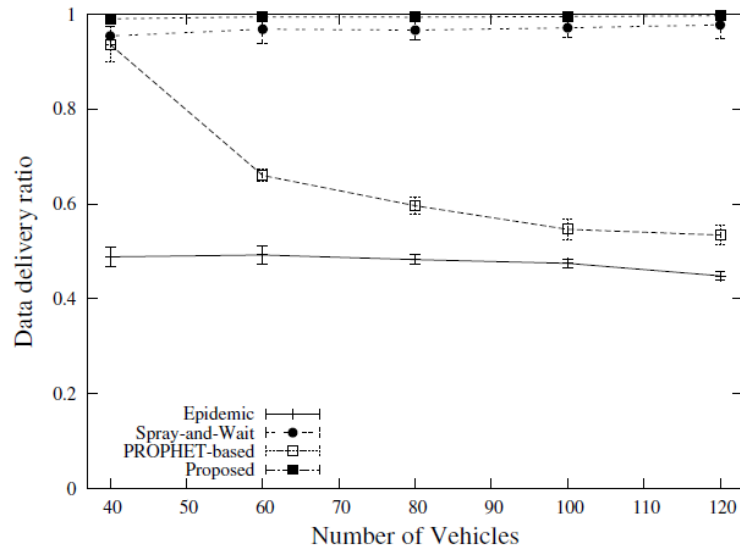


図 5 パケット到達率

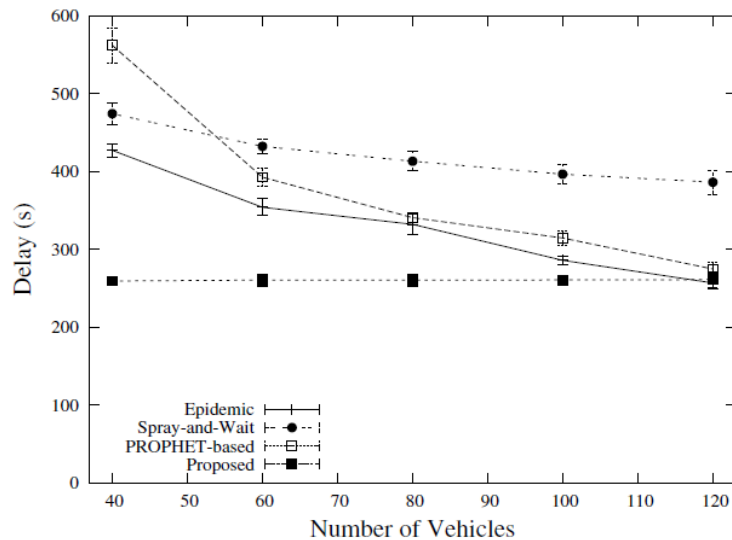


図 6 遅延

● 本研究の学術的特色・独創性・意義

車両ネットワークにおける自律分散クラスタリングに基づいた通信方式は、無線リソースの利用効率を上げることができるため、高密度環境においては非常に有意である。断続的な接続環境における効率的な通信方式は災害時などにおいて通信インフラに依存しない有効な情報共有方式を提供できる。DTN 方式とマルチホップ方式を組み合わせることも革新的な研究課題である。またファジィ論理と強化学習を用いた通信プロトコルの品質向上についての研究は、国際的にも初めての試みであると言える。ファジィ論理を利用することにより、通用性の高い通信プロトコルが実現された。強化学習を用いることで通信パラメータの自動調整ができるインテリジェントな通信方式が提案された。また VANET プロトコルの性能を実ネットワーク環境にて評価することは、実用的なプロトコルを設計するために必須であり、非常に重要な課題であると考えられる。

参考文献

- [4] Celimuge Wu, Tsutomu Yoshinaga, Yusheng Ji, Yan Zhang, "Computational Intelligence Inspired Data Delivery for Vehicle-to-roadside Communications", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 67, no.12, pp.12038-12048, Dec. (2018)
- [5] Celimuge Wu, Tsutomu Yoshinaga, Dabhur Bayar, and Yusheng Ji, "Learning for Adaptive Anycast in Vehicular Delay Tolerant Networks", Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, vol.10, no.4, pp.1379–1388, April (2019)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 9 件)

- [1] Celimuge Wu, Xianfu Chen, Tsutomu Yoshinaga, Yusheng Ji, Yan Zhang, "Integrating Licensed and Unlicensed Spectrum in Internet-of-Vehicles with Mobile Edge Computing", IEEE Network, 2019 (査読有)
- [2] Celimuge Wu, Tsutomu Yoshinaga, Dabhur Bayar, and Yusheng Ji, "Learning for Adaptive Anycast in Vehicular Delay Tolerant Networks", Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, vol.10, no.4, pp.1379–1388, April 2019 (査読有)
- [3] Siri Guleng, Celimuge Wu, Xianfu Chen, Xiaoyan Wang, Tsutomu Yoshinaga, Yusheng Ji, "Decentralized Trust Evaluation in Vehicular Internet of Things", IEEE Access, vol.7, pp.15980 - 15988, Jan. 2019 (査読有)
- [4] Celimuge Wu, Tsutomu Yoshinaga, Yusheng Ji, Yan Zhang, "Computational Intelligence Inspired Data Delivery for Vehicle-to-roadside Communications", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 67, no.12, pp.12038-12048, Dec. 2018 (査読有)
- [5] Celimuge Wu, Zhi Liu, Di Zhang, Tsutomu Yoshinaga, and Yusheng Ji , "Spatial Intelligence towards Trustworthy Vehicular IoT", IEEE Communications Magazine, vol.56, no.10, pp.22-27, Oct. 2018 (査読有)
- [6] Chang An, Celimuge Wu, Tsutomu Yoshinaga, Xianfu Chen, Yusheng Ji, "A Context-aware Edge-based VANET Communication Scheme for ITS", Sensors, vol. 18, Issue 7, <https://doi.org/10.3390/s18072022>, July 2018 (査読有)
- [7] Celimuge Wu, Tsutomu Yoshinaga, Xianfu Chen, Lin Zhang, Yusheng Ji, "Cluster-Based Content Distribution Integrating LTE and IEEE 802.11p with Fuzzy Logic and Q-Learning", IEEE Computational Intelligence Magazine, vol.13, no.1, pp.41-50, Feb. 2018 (査読有)
- [8] Qitu Hu, Celimuge Wu, Xiaobing Zhao, Xianfu Chen, Yusheng Ji, Tsutomu Yoshinaga, "Vehicular Multi-access Edge Computing with licensed Sub-6 GHz, IEEE 802.11p and mmWave", IEEE Access, vol.6, no.1 pp. 1995-2004, Dec. 2017 (査読有)
- [9] Lifeng Zhang, Celimuge Wu, Tsutomu Yoshinaga, Xianfu Chen, Tutomu Murase, Yusheng Ji, "Multi-hop Data Delivery Virtualization for Green Decentralized IoT", Wireless Communications and Mobile Computing, 9 pages, Dec. 2017 (査読有)

〔学会発表〕 (計 0 件)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究分担者
該当しない。

(2) 研究協力者
該当しない。

※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、研究者個人に帰属されます。