

令和元年6月20日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02689

研究課題名(和文)複数メディア併用とセンサデータ転送によるロバストな衝突防止車々間通信システム

研究課題名(英文) Robust vehicle-to-vehicle communication system for collision avoidance using multiple communication media and sharing sensing data

研究代表者

石原 進 (Ishihara, Susumu)

静岡大学・工学部・教授

研究者番号：10313925

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：車載の光学的センサによる周辺観測情報を車々間通信で共有することで、通信機能の普及率が100%に満たない条件でも事故防止のための安全運転支援システムおよび自動運転機能が周囲の交通状況を把握するシステムに対し、センサ情報の配信信頼性担保と状況把握の正確性を目的とし、車両の相対的位置と道路構造に基づいて、制御情報の送信頻度を調整する方式を開発した。また、自動隊列走行時における制御情報通信に関し、マイクロ波電波と可視光通信を併用することで通信妨害に対してロバストな送信を可能とする送信方法を提案した。また、車々間通信システムの設計に有用な無線LANエミュレーション技術を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

車々間通信における車両情報の送信制御に関しては、車両の密度や通信品質に応じて動的に送信頻度や送信電力を制御する方式が提案されてきたが、車載センサ情報の共有による周辺状況把握(Cooperative Perception, CP)を対象として、センシングを行う車両の相対位置や道路構造に基づいて送信頻度を制御する方式は提案されておらず、提案方式は、CPの品質に着目した送信制御を新たに導入した点で意義をもつ。自律隊列走行において可視光通信と電波通信と併用した方式を設計し、意図的な通信妨害がある場合における通信の信頼性、並びに車両挙動までを含んだ評価を行った例はこれまでになく、学術的意義が高い。

研究成果の概要(英文)：We developed an on-board sensor data transmission rate control technique for vehicle-to-vehicle wireless communication to enable the reliability of sensor data transmission and the accuracy of neighboring environment recognition in road environment recognition system for collision avoidance with driver assist function or auto pilot function that works even in condition where the penetration ratio of vehicle-to-vehicle communication function is less than 100%. We also designed a microwave radio and visible light communication hybrid control command transmission scheme for autonomous platooning systems that reliably deliver control commands from the leader vehicle even under radio jamming attack. We developed a virtual wireless LAN device software for enabling wireless LAN emulation that can be used for developing dynamic wireless systems including vehicle-to-vehicle communication systems.

研究分野：情報通信工学

キーワード：車々間通信 高度交通システム Collective Perception 協調センシング 可視光通信 通信妨害攻撃
無線LANエミュレーション 自動隊列走行

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

車々間通信を用いた衝突防止システムは、出会い頭事故、右直事故、合流事故、追突事故、カメラやレーダを使った独立型の衝突事故防止システムでは対処できない事故に対して効果が期待でき、この機能を搭載した車両の一般販売が秒読み段階に入ってきた。日米欧の衝突防止のための現行の車々間通信規格では、全車両による車両の現在位置、速度等の周辺車両への定期的送信（100m 秒間隔）を用いるものとして開発が進められている。しかしながら、全ての車両が対応機器を搭載するまで十分に機能しないサービスに対して消費者が対価を払うことは考えにくく、現実的普及シナリオを考慮すれば、より少ない普及率であっても対応機器を搭載した車両にとって価値のあるサービスが望まれる。車両に搭載されたカメラやレーダによる測定情報を周辺にいる対応機器搭載車両に送信すれば、対応機器を搭載する車両にとっては通信機能を有さない車両の位置情報も含めて把握可能となり、普及率が 100%未満であっても衝突回避の助けとなりうる。

車々間通信におけるメディアアクセス制御は、日米欧で無線 LAN と同様の方式を用いる IEEE802.11p を利用することとされている。この方式は CSMA/CA アルゴリズムによるランダムアクセス方式に基づく。この方式は隠れ端末問題、さらし端末問題を抱え、端末密度が高い場合には本質的にチャネル競合によってパケットの受信失敗が生じやすい機構である。特に端末密度が高い場合は通信チャネル上での競合が頻発し、通信が失敗する可能性が高くなる。このため、車両密度に応じて車両情報通知頻度や送信電力を動的に変更する方法が開発されているが、その評価はパケットの到着率や遅延のマクロな評価にとどまっており、事故防止の観点からこれらの手法の効果を通信結果による車両挙動の変化も含めて検証した研究はほとんど行われていない。つまり、通信システムとしての性能評価はなされていても、安全システムとしての性能評価は十分に行われていない状況である。

電波による無線通信は、電波が届く範囲では互いの通信が可能という利点がある一方、電波が届く範囲ならば誰からでも妨害を受けうるというリスクをはらんでいる。特に我が国で車々間通信に用いることとされている 700MHz 帯の電波は、欧米で用いられる 5.9GHz 帯に比べ障害物に対して電波が回り込みやすいため、本質的に妨害に対するリスクが大きい。一方、近年 LED ヘッドランプおよびテールランプを用いた可視光通信によって車々間通信を行う試みが進められている（米 Intel、米 Rice 大、台湾国立大等）。また、光と同様に直線性が高く通信距離が限定され、広域での妨害のリスクが低いミリ波帯無線を車々間通信に適用する試みも進められている（NICT 等）。この他、TDMA ベースのアクセス制御手法の利用検討が進められているが、外部からの妨害に関しては本質的な解決にはなり得ない。従って、事故防止に当たっては多くの手段を併用することが有効と考えられる。

2. 研究の目的

本研究では以下の目標を達成することを目指して研究を進めた。

- (1) 衝突事故防止のために必要となる車々間通信の詳細な性能要件について明らかにする。
- (2) 車載センサから得た周辺車両情報の通知と複数通信メディアの利用に基づくロバストな事故防止システムの設計
- (3) 電波（700MHz、5.8-9GHz）と可視光あるいはミリ波を併用した外乱や妨害に強いロバストな車両位置情報通知プロトコルの設計

3. 研究の方法

車々間無線ネットワーク、機械制御、シミュレーションの各専門家の協力体制により、ドライバ・車両挙動ならびに無線ネットワークの詳細シミュレーションモデルを構築し、衝突事故防止に必要な通信要件の明確化と、それを実現する通信プロトコルならびに車両制御指針の設計を行う方針で研究を実施した。

まず、研究基盤の整備のため、シミュレーションモデル開発用計算機の整備の他、大量のシミュレーションのためのクラスタ計算機の実環境構築、効率的なシミュレーション実行のためのソフトウェア環境整備を行った。この環境でシミュレーションベースのシステム評価ツール Scenargie を使い、ミクロなドライバ行動、車両挙動、電波通信、可視光/ミリ波通信および既存の各種 MAC、送信頻度、送信電力制御アルゴリズムのシミュレーションモデルを設計、実装した。これらのモデルに加えて新たに設計した制御手法、プロトコルのシミュレーションモデルを加え、各手法の評価を進めた。加えて、設計したシステムの実用ソフトウェアをテストする環境を作るため、無線 LAN のエミュレーション環境を設計することにした。

4. 研究成果

- (1) 車両の相対的位置関係と道路構造に応じた車載センサ情報の送信頻度制御方式

本研究では、車両の相対位置・道路構造に応じて車載センサ情報の配信頻度を動的に制御する方式(PRRS: Positional Relationship and Road Structure-based method)を開発した(図書1, 学会発表2, 5)。同方式では、各車両が自律的に周辺車両との相対的な位置関係ならびに道路構造における車両の位置(例えば合流路の合流点に近いと、合流する車線の両者を見渡せる)を判断し、車群の中でLIDAR、カメラ等のセンサによる監視可能範囲がより広がる車両に対してセンサ情報の配信頻度を高く与える。通信可能かつセンサ搭載車両は自らが定期的に自らの位置情報およびそれまでに自律的に判断した自身の相対位置をブロードキャストする。これを周辺車両から受信すると、各車両は周辺の通信可能な車両群の中での自らの位置を推定する。この時、車群の先頭、末尾および先頭・末尾車両から適切な距離だけ離れた位置の車両に、高いセンサ情報配信頻度が与えられる。

本方式に加え、配信頻度固定の場合、並びに信号品質・通信状態に基づいて動的に配信頻度を行う従来手法(ATB [引用文献①])のシミュレーションモデルを設計・実装し、性能比較を行った。図1に評価結果の一例を示す。この例では5車線の自動車専用道路をランダムな車間距離で走行するものとしている。提案方式は従来手法に較べて、通信トラフィックを大幅に低減しながらも自車両で直接検知できない車両の存在を高い確率で検知可能とすることが確認できる。

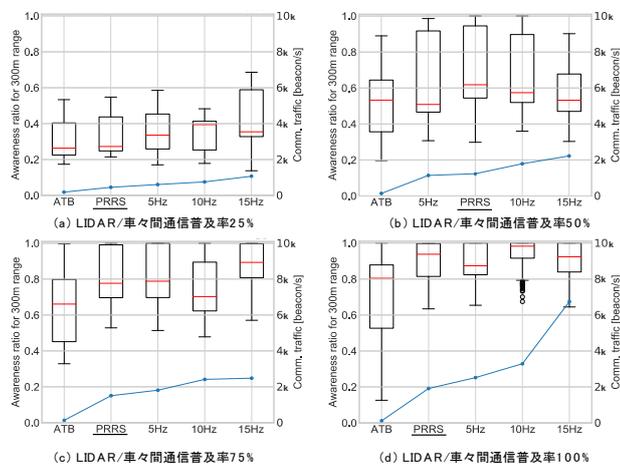


図1 提案手法 PRRS と既存方式における周辺車両の認識率と通信量

(2) 電波通信・可視光併用による妨害攻撃に頑健な隊列走行制御メッセージの配送方式の効果検証

車両のテールランプを流用した低速の可視光通信による隊列内の中継伝送を併用することにより、電波による車々間通信が妨害電波攻撃にさらされた場合であっても制御メッセージを高い信頼性で配送可能であることをシミュレーションにより明らかにした[学会発表12, 14]。可視光通信は、指向性が強いいため、車々間のマイクロ波電波による通信のように広域からの攻撃をうける危険は低い。一方で車体によって通信が遮られるので、車両毎の中継が必要である。本研究で導入した制御メッセージ伝送方法では、先頭車両は同じ制御メッセージを電波通信(IEEE802.11p)と可視光通信の両方で送信する。後続車両は、同じメッセージのうち可視光、電波通信より早く届いたもののみを受け取り、それを可視光通信、あるいは可視光と電波通信の両方で後方車両へ転送する。

シミュレーションベースのシステム評価ツール Scenargie を使い、隊列走行時の車両挙動、電波通信、可視光・ミリ波通信および車両情報送信頻度制御アルゴリズムのシミュレーションモデルを設計し、これを用いて可視光通信の併用の効果を調査した。電波のみの場合、後続車両で中継を行ったとしても通信不能の状態が発生する。可視光通信を使用することで通信不能の区間は消える。さらに可視光と電波の併用により遅延が大幅に軽減することが確認できた。また、分散型の隊列走行を行い、先頭車両が加減速を繰り返すシナリオにおける時間毎の車間距離の分布を調べた。可視光通信、電波通信双方の妨害がある条件を想定して評価を行ったところ、電波通信のみでは車間距離がゼロ(つまり衝突発生)となるケースが生ずるが、可視光通信の利用、およびその電波通信との併用によって車間距離が目標車間距離を外れることは少なくなり、通信妨害攻撃があった場合でも衝突を十分回避できることが確かめられた。

(3) 車載カメラ映像の共有プロトコルと映像選択手法の開発

車載カメラ映像の車両間共有システムのためのセルラ通信・車々間通信併用型のプロトコルを設計した[雑誌論文4]。このシステムでは、運転車がセルラ通信によって接続可能なサーバに対して自らが確認したい場所の画像を問い合わせると、指定された場所(Point of Interest, POI)を走行した車両の車載カメラによって撮影された画像を提供する。設計したプロトコルでは、車々間通信により、近接する車両間で各車両が撮影済の映像データのメタ情報(撮影位置、時刻、撮影方向、車両識別子等)を常時共有する。サーバはPOIに基づいて選択した少数の車両に問い合わせることで、POIおよび指定の撮影条件に見合った映像を保有する車両のIDを取得し、そのIDに基づいて所望する映像を保持する車両に映像データのセルラ網経由での転送を依頼する。シミュレーションによる評価により、提案手法を用いることで、車々間通信を併用しない方法に較べて少ないトラフィックで効率的にPOIの映像データを共有可能であることを確かめた。

また、車載カメラで撮影した映像は、撮影時の条件により道路の状況を正確に把握することが困難となることがある。例えば、実際には道路が空いていたとしても、カメラの直前に大型トラ

ックが静止している映像からは道路が混雑しているような印象を受ける。そこで、渋滞情報の把握を目的とした場合を想定し、数値による渋滞状況と映像から感じられる渋滞状況の間のずれが生じにくいような映像を自動的に選択する手法を開発した[雑誌論文 3]。

(4) 位置依存情報に対する要求発生の地理的分布の効率的共有手法の開発

特定の位置の情報(例えば車載カメラ映像)に関する車両からの要求の発生には、位置依存性があると考えられる。例えば、特定の観光地に向かう典型的なアクセス道路上ではその観光地の駐車場や道路の混雑状況の確認のための要求が発生すると考えられる。また、突発的な渋滞発生時は、渋滞の先頭位置と考えられる場所への問い合わせが増えると考えられる。そこで、こうした頻繁に発生する要求の発生元と宛先位置(PoI)の対応の分布を車々間通信による効率的な方法で共有し、車々間通信でのPOIの情報配信の効率化に利用する方法を設計した[雑誌論文 2, 学会発表 6, 8, 13]。

(5) 仮想ネットワークインタフェースを用いた汎用無線LANエミュレーション環境

開発した車々間ネットワーク用プロトコルの実装とテストのための環境として、Linux OS上で動作する仮想ネットワークインタフェースに基づくエミュレーション環境を設計、実装した。本エミュレーション環境により、仮想HW、実HWいずれの環境においても、本物のOS、ミドルウェア、アプリケーションを用いながら、無線受信信号の変化や、送信出力の動的変更を伴うシステムの評価をシミュレーションされた仮想無線LANを用いて実行可能となる。[雑誌論文 1, 学会発表 1, 7, 10]。

(5) センサ情報の交換に基づく効率的運転制御則の設計

単一車線において通信を行う自律車両とそうではない通常車両が混在する環境をシミュレーション上に構成し、ランダムに一部の車両に急減速が発生する環境において、安全率と交通流量の評価を行った。センサ観測により得られる直前の車両の位置・速度情報に加えて、車々間通信により得られる2台前の車両の位置・速度情報を用いた車両の制御則を提案し、安全率と交通効率のトレードオフのバランスを取るパラメータの最適化を行った。その結果、直前の車両の情報を用いる制御則と比較して、提案する車々間通信にもとづいた制御則が安全率・交通流量のより良いバランスを達成可能であることがわかった。また、車々間通信に基づく信号無し交差点での効率的速度制御アルゴリズムを設計し、同環境で求められる車々間通信距離について明らかにした。[学会発表 3, 4, 9]

参考文献

- ① C. Sommer, et al.: Traffic Information Systems: Efficient Message Dissemination via Adaptive Beaconing, IEEE Comm. Mag., Vol. 49, No. 5, pp.173-179 (2011).

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

1. 加藤新良太, 高井峰生, 石原進: 無線ネットワーク TAP デバイスを用いた無線LANエミュレーションフレームワークの開発, 情報処理学会論文誌, Vol. 60, No. 1, pp. 27-37 (2019). 査読あり
2. Akihiro Yamada and Susumu Ishihara: Data exchange strategies for aggregating geographical distribution of demands for location-dependent information using soft-state sketches in VANETs, Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, Vol. 2, No. 6, pp. 175-185 (2017). 査読あり
3. 伊藤亮輔, 石原進: 車載カメラ撮影映像提供システムにおける位置指定要求に対する映像選択方法, 情報処理学会論文誌, vol. 58, No. 1, pp. 79-88 (2017). 査読あり
4. 松本克也, 伊藤亮輔, 石原進: 車々間通信による近接車両間協調動作とセルラネットワークを用いた低サーバ負荷車載カメラ画像提供手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 56, No. 11, pp. 2106-2116 (2015). 査読あり

[学会発表] (計 32 件)

1. Arata Kato, Mineo Takai, and Susumu Ishihara: A System Design of Tight Physical Integration for Large-scale Vehicular Network Emulation, First International Workshop on Pervasive Computing for Vehicular systems, in proc. of 2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), pp. 742-747 (2019, Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan). 査読あり
2. Kaito Furukawa, Mineo Takai, and Susumu Ishihara: Controlling Sensor Data

- Dissemination Method for Collective Perception in VANET, First International Workshop on Pervasive Computing for Vehicular systems, in proc. of 2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), pp.753-758 (2019, Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan). 査読あり
3. 岩瀬諒, 小林 祐一, 石原進, 益子岳史: 車車間通信を用いた車両制御則の混在環境下での検証, 計測自動制御学会第46回知能システムシンポジウム, A3-3 (2019, 龍谷大学瀬田学舎, 滋賀県大津市).
 4. Ryo Iwase, Yuichi Kobayashi, Takashi Mashiko, Susumu Ishihara: Effectiveness of autonomous speed control using inter-vehicle communication on crossing roads, in proc. of 15th Joint Symposium between Sister Universities (JSSUME2018) (2018, Hamamatsu Campus, Shizuoka University, Shizuoka, Japan). 査読あり
 5. Kaito Furukawa, Mineo Takai, Susumu Ishihara: Controlling Sensing Information Dissemination for Collective Perception in VANET, in proc. of The 16th Intelligent Transport Systems Asia-Pacific Forum (ITS AP Forum 2018) (2018, Fukuoka International Congress Center, Japan). 査読あり
 6. 山田暁裕, 石原進: VANETにおける要求の地理的分布情報に基づいた位置依存情報配信手法, 第72回ITS研究発表会, vol.2018-ITS-72, No.7, pp.1-8 (2018, 島根県松江市, 島根大学).
 7. Arata Kato, Mineo Takai, Susumu Ishihara: Design and Implementation of a Wireless Network Tap Device for IEEE 802.11 Wireless Network Emulation, in proc. of the tenth international conference on mobile computing and ubiquitous networking (ICMU2017) (2017, Toyama International Conference Center, Toyama, Japan). 査読あり
 8. Akihiro Yamada, Susumu Ishihara: Data Exchange Strategies for Aggregating Geographical Distribution of Demands for Location-Dependent Information Using Soft-State Sketches in VANETs, 2017 IEEE 31st International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2017) (2017, Taipei, Taiwan). 査読あり
 9. 馬浩越, 小林祐一, 石原進, 金天海: 自律車両・通常車両混在環境下での車両速度制御における交通流量と安全率の評価, 第44回知能システムシンポジウム (2017, 東京都港区, 東海大学高輪キャンパス).
 10. 加藤新良太, 高井峰生, 石原進: Linux向け無線ネットワークTAPデバイスによるIEEE 802.11無線LANエミュレーション環境の実装, 電子情報通信学会技術研究報告, 知的環境とセンサネットワーク研究会, vol.116, no.407, ASN2016-86, pp.89-94 (2017, 大分県別府市, 別府 花菱ホテル).
 11. Susumu Ishihara, Yusuke Ueta, Mario Gerla: Poster: On the Effect of RF Jamming Attack on Autonomous Platooning Systems with Radio and VLC Hybrid Communication, in proc. of 2016 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC) (2016, Columbus, Ohio, USA). 査読あり
 12. 植田 雄介, 石原進: 電波・可視光併用型の無線通信を用いる自動走行隊列への電波妨害攻撃の影響評価, 情報処理学会研究報告, モバイルコンピューティングとパーベイスブシステム研究会, Vol.2016-MBL-81, No17, pp.1-6 (2016, 石川県金沢市, 石川県政記念しいのき迎賓館).
 13. Akihiro Yamada and Susumu Ishihara: On the performance of a method for efficient aggregation of demands distribution for location-dependent information using soft-state sketch in VANET, in proc. of the Ninth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2016) (2016, Kaiserslautern, Germany) 査読あり
 14. Susumu Ishihara, Reuben Vincent Rabsatt, Mario Gerla: Improving Reliability of Platooning Control Messages Using Radio and Visible Light Hybrid Communication, in proc. of IEEE 2015 Vehicular Network Conference (VNC), pp.96-103 (2015, Kyoto, Japan). 査読あり
- (他 18 件)

[図書] (計 1 件)

1. Kaito Furukawa, Mineo Takai, and Susumu Ishihara: Sensing Information Dissemination Strategy for Collective Perception in VANET based on the Relative Position of Vehicles and the Road Structure (Book chapter of "Intelligent Transport Systems for Everyone's Mobility"), Springer, 2019.

[その他]

ホームページ等: <https://www.shizuoka.ac.jp/ishilab/research>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：小林 祐一

ローマ字氏名：Yuichi Koyabashi

所属研究機関名：静岡大学

部局名：工学部

職名：准教授

研究者番号（8桁）：60373304

研究分担者氏名：高井 峰生

ローマ字氏名：Mineo Takai

所属研究機関名：大阪大学

部局名：情報科学研究科

職名：招へい准教授

研究者番号（8桁）：90277773

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：Mario Gerla

ローマ字氏名：Mario Gerla

研究協力者氏名：古川 魁斗

ローマ字氏名：Kaito Furukawa

研究協力者氏名：加藤 新良太

ローマ字氏名：Arata Kato

研究協力者氏名：山田 暁裕

ローマ字氏名：Akihiro Yamada

研究協力者氏名：伊藤 亮輔

ローマ字氏名：Ryosuke Ito

研究協力者氏名：松本 克也

ローマ字氏名：Katsuya Matsumoto

研究協力者氏名：植田 雄介

ローマ字氏名：Yusuke Ueta

研究協力者氏名：岩瀬 諒

ローマ字氏名：Ryo Iwase

研究協力者氏名：益子 岳史

ローマ字氏名：Takashi Mashiko

※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。