

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 4 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24246067

研究課題名(和文)次世代ITSのための統合分散無線ネットワーク基盤の研究

研究課題名(英文)Research on Fundamental Technologies of Integrated Distributed Wireless Network for the Next-generation ITS

研究代表者

小花 貞夫(OBANA, Sadao)

電気通信大学・情報理工学(系)研究科・教授

研究者番号：60395043

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 35,400,000円

研究成果の概要(和文):安全・安心と経済・生活の向上を図る次世代の高度なITSを実現する無線ネットワーク基盤技術を研究した。具体的には、1)歩行者の測位精度向上のため、UWB、超音波、DGPSを用いて誤差約1m以下の連続測位を実現した。2)通信容量の増大・伝達系の多様化のため、コグニティブ無線技術による無線リソースのダイナミック活用手法を検討した。3)通信エリアと信頼度の向上のため、セクタ化受信ペイロード合成中継アシスト車車間通信方式を提案した。4)コンテキストに応じてレイヤ横断的に最適な通信制御を行うシステムアーキテクチャを検討した。5)市街地での大規模なシステム性能評価を可能とするシミュレータを構築した。

研究成果の概要(英文):We studied fundamental technologies of wireless network, for realizing advanced ITS (Intelligent Transport Systems) which can enhance our safety and economy, and further improve our daily lives, as follows;

1)In order to detect and to avoid pedestrian-vehicle collisions, we developed pedestrian positioning system with a sub-meter accuracy, using ultrasound / UWB distance measurement and DGPS. 2)For increasing capacity and diversification of transmission, applying cognitive radio technologies to ITS, we proposed dynamic resource utilization methods. 3)To enhance communication area and reliability, we proposed relay-assisted V2V technique with a sectorized-receiving and payload-combining relay station. 4)We studies a system architecture which enables, based on the context, well controlled communications in cross-layer-manner. 5)For performance evaluation of V2V communications in urban environments, we built an simulation system scalable to the size of area and to the number of vehicles.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：高度道路交通システム(ITS) 車車間通信 路車間通信 コグニティブ無線 ネットワークコーディング 高精度位置測位 クロスレイヤ協調 大規模シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

自動車が發明されてから 100 年以上を経た今日、自動車が社会に及ぼす影響は益々大きくなり、安全・安心(事故防止)ならびに経済・生活(経済性、快適・利便性、環境保護)の視点から ITS(高度道路交通システム)の技術的発展が重要となっている。これからの ITS(Advanced-ITS、以下 A-ITS と記載)では以下が期待される。

安全・安心面では、これまで車車間衝突事故防止を目的として通信仕様の標準化(ARIB STD T-109)と技術開発が国内で進められている。しかし車両間衝突事故による死亡事故は死亡事故総数の 30%であり、40%を占める歩行者・自転車の事故は、新たな歩車協調交通事故防止システムの技術検討が必要である。この時、通信容量の大幅な増加と高い信頼性の確保が必須である。現在開発中の路車・車車間安全運転支援通信システムでは最大 300 台程度の車両の収容を想定しているが、歩行者や自転車を含めると無線端末ノード数は 5 倍以上になると想定される。また車両や歩行者のより高精度な位置特定が要求され、従来の GPS では精度が不足するため新たな測位技術の開発が必要である。

次に、経済・生活面では、ドライバ個人の運転技量に頼らない、A-ITS による交通流の円滑化が期待される。例えば、個々の車のカーナビゲーションと交通流制御の一体化、交通流量に応じたダイナミックな信号制御による渋滞緩和、安全で円滑な信号無し交差点での交差や車線変更などのための情報交換、ならびに各車両のセンサやモニタで収集された路面状況等の走行情報の車両間でのリアルタイム共有が望まれる。また、車が自車の状態を車メーカーのデータベースに自動アクセスしてサポートを受ける e-メンテナンスも重要となる。

以上のような車両間、歩行者・車両間、および道路交通システム等との頻繁で緊密な情報疎通の実現には、A-ITS ネットワークが必須の基盤となる。

2. 研究の目的

本研究課題では、安全・安心と経済・生活の向上を図る A-ITS を実現するための無線ネットワーク基盤を確立することを目的とする。

具体的には、筆者らがこれまで培った、ワイヤレス情報伝送基盤技術、ネットワーク技術、測位技術や車車間通信技術に関する専門知識と豊富な研究実績を土台に、電波伝搬、伝送技術と分散アクセスの高度な個別技術とその統合技術、システムアーキテクチャとクロスレイ制御技術、さらに大規模システム性能評価技術を開発する。研究期間では、1,000 台以上のノードが路上を移動しながら

通信を行う環境で、高信頼かつ多様なアプリケーションで利用可能な ITS ネットワークを実現可能であることを、必要な技術の提案も含めて示すことを目標とする。

3. 研究の方法

A-ITS を実現するために、これまでの ITS の無線ネットワーク技術では対応できない技術課題を抽出・明確化し、筆者らがこれまで取り組んできたワイヤレス情報伝送基盤技術、ネットワーク技術、測位技術や車車間通信技術をベースに技術を拡張・発展させた研究を行う。

具体的には、(1)測位精度の向上、(2)通信容量の増大・伝達系の多様化、(3)通信エリアと信頼度の向上、(4)システムアーキテクチャ・クロスレイヤ協調、(5)大規模システム性能評価の 5 つの研究課題に分け、個々の技術の検討ならびにそれらを組合せたシミュレーションや室内実験、プロトタイプを試作、現場実験、大規模システムシミュレーションと発展させて研究を進める。

4. 研究成果

上記 3 の(1)~(5)の課題に対する成果を以下に示す。

(1)測位精度の向上

歩車の衝突防止に必要な測位精度を得るために、歩行者の絶対位置測定と歩車間相対位置測定について実験的に検討した。

相対位置測定には往復の遅延時間を測定する GIT 社の UWB 装置を利用した。精度は 20 cm と十分である。衝突を避けるには短時間で測距できる必要がある。正味の時間を計測した結果、往復 26 ms で時速 60 km/h では 43 cm の移動に相当し、実用可能な性能であることを確認した。

衝突はいつ起きるかわからないため、時間的に途切れず測位できる必要がある。そこでハイブリッド方式を検討した。高精度な絶対位置測定は GPS-RTK か DGPS を用い、ビル陰等で GPS 信号が得られない所では自律航法を用いる。従来の歩行者自律航法は移動距離として歩数を用い不正確であったため、新たに超音波測距による高精度歩幅測定法を開発した。超音波送信部と受信部を片方ずつの靴に取り付け、超音波パルスの到来時間遅延で歩幅を検出する(図 1)。信号は全て 315 MHz の無線で送受信し、ケーブル配線はない。歩幅が異なっても平均で 0.1 % の測距精度が得られた。これにジャイロと DGPS を組み合わせて測位装置を実現した。60 m 四方を歩行し、15 m 毎に DGPS 信号(95%で誤差 60 cm 以内)が間欠的に得られる仮定で測定し、約 1 m 以下の目標推定精度が得られた(図 2)。以上 2 つの方法の組み合わせは、歩車の衝突防止に有効と考える。

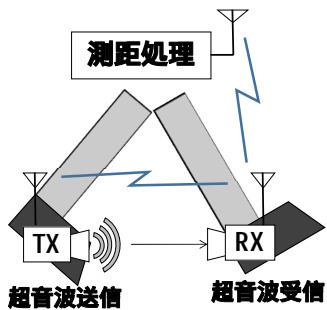


図1 超音波歩測装置



図2 測位結果 (約 60 m 四方)

(2)通信容量の増大・伝達系の多様化

ITS 通信専用の無線帯域に加えて、拡張帯域としてコグニティブ無線技術を活用して、ホワイトスペースなど他の帯域の周波数を有効に活用することを検討した。これらの多種多様な無線リソースをダイナミックに活用し、通信容量、信頼度および周波数利用効率の改善を目指した。ここでは、代表的な研究成果として、コグニティブ無線を利用したマルチホップ車車間通信環境において、既存ユーザ(PU: Primary User)が利用していない周波数帯域を車車間通信に利用する技術の研究について報告する。二次ユーザ(SU: Secondary User)として、車車間通信で利用する周波数に関して、干渉の予測を用いたルーティングおよびチャネル割り当て手法を提案した。車車間通信では、通信端末が高い移動性を備えるため、車車間の距離が変化しやすく、周辺 PU の状況もすばやく変化してしまう。これらの短時間で発生する無線環境の変化は、PU への車車間通信からの与干渉の発生や送信遅延時間の増加の原因となる。そこで、SU となる車両の移動による影響の改善を図るため、あらかじめ PU 情報を備えたデータベースを準備し、PU の位置および利用チャネルと二次利用する車両の位置・速度情報を用いて各リンクでの干渉予測と遅延時間予測を行うことで、End-to-end の遅延時間が最小となるルーティングおよびチャネル割り当てを行う手法を提案した。ここでは、図3に示すような PU 保護エリアを設定し、そこを車両が通過する時刻を予想した上で、その時間の送信ができないことを想定して遅延予想を行うことで、遅延のもっとも少ないリンクを選択する。

図3に示す環境で計算機シミュレーション

ンにより評価を行ない、図4に示すように一定の packets 量を伝送するのに必要な遅延を削減することが確認でき、時間当たりの伝送容量の増加に寄与できることを確認した。

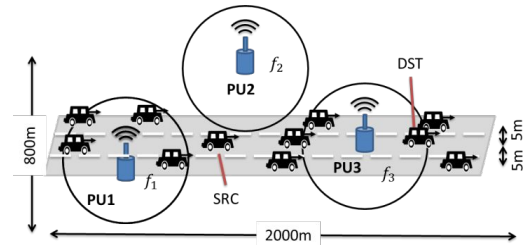


図3 保護エリアとシミュレーション環境

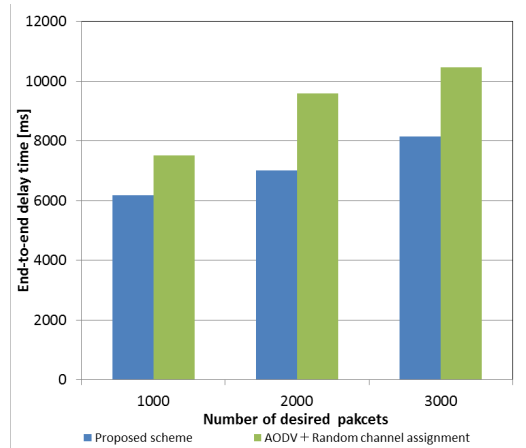


図4 End-to-End遅延特性

(3)通信エリアと信頼度の向上

見通しが悪い交差点では車両間でのキャリアセンスが不可能であり、パケット衝突が多発して伝送信頼度が悪い上、電波到達距離も短い。これを解決し通信信頼度を大きく向上するため、路側中継器を交差点に設置し、CSMA/CA で車載器からのパケットを中継することで車車間通信をアシストするシステムの最適な構成方法を検討した。

まず交差点環境を想定し、見通し有り/無しのパスが混在する環境でのブロードキャストパケット誤り率とノード位置との関係を分析した。この結果、互いに見通しのない道路に存在する車両が隠れ端末となり、中継器で車両からのパケットを受信する際に衝突が発生してパケットを受信できず中継できない状態が多発することを理論的およびシミュレーションの両面で明らかにした。これを解決するために、中継器の受信を道路方向毎に分離して行う、セクタ化受信中継方式を提案し、その効果を明らかにした。

また中継効率を向上してより多くの車両を収容可能とするため、中継器で受信した複数のブロードキャストパケットのペイロードを合成して一つのパケットとして送信することでオーバーヘッドを削減するペイロード合成中継方式を考案し、その効果を明らかにした。

さらにこれら2つの中継方式を併用したセクタ化受信ペイロード合成中継アシスト

車車間通信方式の性能を詳細に解析し、通信エリアと信頼度の向上に大きな改善効果が得られることを明らかにした。(図5、図6)

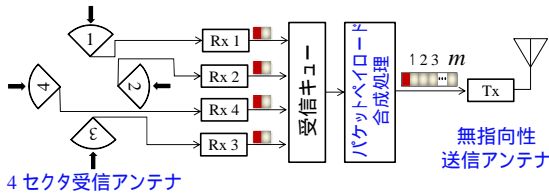


図5 セクタ化受信ペイロード合成中継器

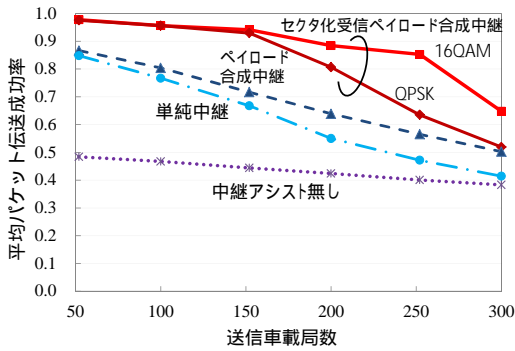


図6 交差点における中継アシスト車車間通信の packets 伝送成功率

(4) システムアーキテクチャ・クロスレイヤ協調

周囲の通信環境やトラフィック状況、誤り率、遅延、アプリケーションの特性や位置情報など、物理レイヤ、MAC レイヤ、ネットワークレイヤおよびアプリケーションレイヤに跨る状態・状況（コンテキストと呼ぶ）を認識し、それに基づきレイヤ横断的な制御（クロスレイヤ協調）を行うためのシステムアーキテクチャを車車間通信および歩車間通信を対象として検討、検証した。

まず、5.8GHz 帯車車間通信により渋滞や事故等の狭域な交通情報を周辺車両で効率的に共有させるため、情報の中継車両の選択で従来問題であった、ほぼ同位置にある複数車両からの同時転送による衝突を防止する中継転送方式を考案した。本方式では、700MHz 帯車車間通信により共有される位置情報から送信車両との距離の明確な順序付けを行い、遠い車両ほど待ち時間が少ないスロットに割り当てて、MAC 層のコンテンション機構に基づいて中継車両を選択する（図7）。シミュレーション評価により、提案方式が従来方式と比べて、情報の拡散率を 33% 向上させ、また遅延時間を 55% 低減できることを確認した。

次いで、歩行者事故低減のための歩車間通信において、危険度の高い歩行者の情報を優先的に周辺車両に通知できるようにするための、コンテキストに基づく送信優先度制御方式を考案した。本方式は、i) 事故の多い交差点と単路での事故モデルの定義、ii) コンテキストに基づく歩行者の危険度の判定方法、ならびに iii) 危険度に応じて送信頻度を制御する機構からなる。シミュレーション評価に

より、送信時にランダムな待ち時間およびオフセットを設けることで平均パケット到達率を大幅に向上させ、また低遅延となることを示した。さらに、上記 ii) で重要となる歩行者測位の高精度化のため、GPS 等の衛星電波を使う測位に加えて、車車間・路車間通信による周囲の車両や路側機からの電波のうち、建物等に反射したマルチパス波ではなく、見通し内で歩行者に直接届く電波（直接波）のみの信号電力を用いる測位を併用する方式を考案した。

以上、車車間通信、歩車間通信における課題の解決を通じて、ITS ネットワークにおけるクロスレイヤ協調制御に基づくアーキテクチャがきわめて有効かつ重要であることを確認した。

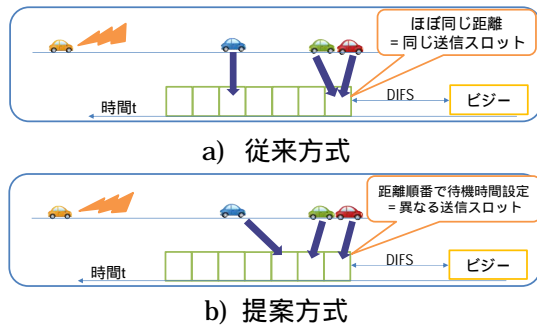


図7 車車間通信における中継車両選択

(5) 大規模システム性能評価

市街地のように多数の車両が車車間でブロードキャスト通信を行う環境では、車両台数を N 台とした場合、 $(N-1)$ 台とのマトリクスリンクでの通信信頼度を考える必要があり、リンクの数は N の 2 乗で増加する。さらにそれぞれのリンクは見通し有りの場合と見通し無しの場合があり、両者では伝搬損失モデルが異なる。さらに中継アシスト車車間通信方式では、中継器-車両間リンクに異なる伝搬損失モデルを用いることになる。

このように、大規模な車車間通信システムの性能評価では、複数種類の伝搬損失計算モデルを送受信ノードの位置座標によって使い分ける必要があるため、特殊な場合を除いて一般的な理論解析は困難であり、大規模シミュレーションによる解析が必要である。この場合の課題は、現実的な計算時間でシミュレーションが可能かどうかであり、評価エリアに影響する周囲のエリアをどこまで考慮して解析エリアを決めるかで計算時間が大きく異なるため、これについて検討した。

車車間での電波到達距離が約 300m であることを考えると、一つの基本交差点の解析範囲は $1,000m \times 1,000m$ 程度が必要であり、この中の車両台数は、図8に示す片側2車線道路の場合、400 台程度である。さらに隣接する交差点からの影響を考慮する場合、 3×3 の交差点が配置された市街地広域の解析が必要である。交差点間隔を 200m とすれば解析範囲は $1,400m \times 1,400m$ 、単一交差点の場合

に比べて道路数は3倍、車両台数は4.2倍(～1600台)となる。

解析の高速化を図るため、市販のネットワークシミュレータ(Scenargie)をエンジンとして用い、解析結果の詳細分析はオフラインで別プログラムを作成して並行して行えるようにした結果、上記条件でのシミュレーション時間は数時間となり、大規模なシミュレーションが現実的な時間で可能となった。

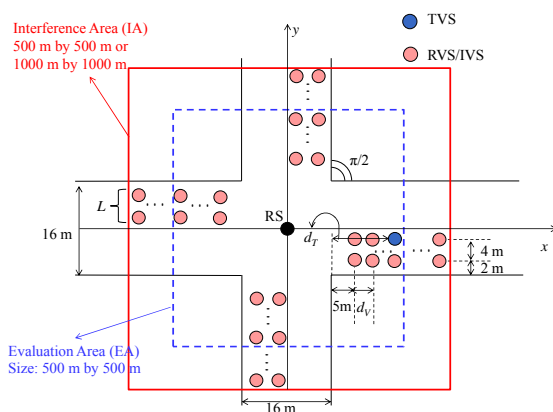


図8 市街地交差点での基本解析範囲

5. 主な発表論文等 〔雑誌論文〕(計5件)

吉川 潤、湯 素華、小花 貞夫、狭域交通情報共有のための車車間通信における車両位置情報に基づく効率的な中継転送方式の提案, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.1, Jan. 2016, pp.43-53, 査読あり

Jingze. Dai, Koji. Ishibashi, and Yasushi Yamao, Highly Efficient Multi-Hop Packet Transmission Using Intra-Flow Interference Cancellation and Maximal-Ratio Combining, IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 14, no. 11, pp. 5998-6011, Nov. 2015, DOI:10.1109/TWC.2015.2446978, 査読あり

Sun Sonling, Yanhong Ju and Yasushi Yamao, Overlay cognitive radio OFDM system for 4G cellular networks, IEEE Journal of Wireless Communications, vol. 20, no.2, pp. 68-73, Apr. 2013, DOI: 10.1109/MWC.2013.6507396, 査読あり

Huiting Cheng and Yasushi Yamao, Performance Analysis of ITS V2V Broadcast Communication Using CSMA/CA and a Roadside Relay Station at Intersections, Journal of Information Processing, Vol.21, no. 1, pp.90-98, Jan. 2013, DOI:10.2197/ipsjip.21.90, 査読あり

Jingze Dai and Yasushi Yamao, CSMA/CA Unicast Communication Performance under Fading Environment with Two-Dimensional Distribution of Hidden Terminal, IEICE Transactions on Communications, Vol.E95

-B, no. 9, pp.2708-2717, Sept. 2012, DOI: 10.1587/transcom.E95.B.2708, 査読あり

〔学会発表〕(計47件、内国際会議21件)

Suhua Tang, Kiyoshi Saito, and Sadao Obana, Transmission control for reliable pedestrian-to-vehicle communication by using context of pedestrians, 2015 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES), Nov. 2016, pp.41-47, Kanto Gakuin University (Yokohama), 査読あり

Keisuke Hirose, Koji Ishibashi, Yasushi Yamao, Y. Hirayama and M. Sawada, "Low-Power V2M Communication System with Fast Network Association Capability," Proc. IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT) 2015, Dec. 2015, Milan (Italy), 査読あり

Cong-Hoang Diem, Takeo Fujii, "An efficient cooperative transmission for vehicular communications," Proc. IEEE ITST2015, Dec. 2015, Copenhagen (Denmark), 査読あり

N. Nakajima, K. Hattori, "Autonomous Pedestrian Positioning Using Ultrasound Sensor for Stride Measurement", IPIN2015, 1570147599, Oct. 2015, Banff (Canada), 査読あり

K. Hattori, N. Nakajima, "High-Accuracy Stride Estimation Using Ultrasound Sensors with a Correlation Coefficient", IPIN2015, 1570178687, Oct. 2015), Banff (Canada), 査読あり

Cong-Hoang Diem, Takeo Fujii, "Distributed STBC for vehicular communication on highway," ITS World Congress 2015, Oct. 2015, Bordeaux (France), 査読あり

Jin Watanabe, Yuki Matsuzawa and Yasushi Yamao, "Cross-Layer Cooperation of Dynamic Multi-Hop Shortcut Local Path Control Scheme with Threshold Controlled Routing Protocol," Proc. IEEE CCNC2015, Jan. 2015, Las Vegas (USA), 査読あり

Cong-Hoang Diem, Takeo Fujii, "A Novel Distributed STBC Cooperative Diversity Scheme for OFDM Multi-hop Relay Networks," Proc. IEEE CCNC 2015, Jan. 2015, Las Vegas (USA), 査読あり

Yasushi Yamao, "Recent ITS Research and Development in Japan," ACOMP2014, Nov.

2014, Ho Chi Minh City (Viet Nam) [招待講演, Keynote Speech]

Le Tien TRIEN and Yasushi Yamao, "An Investigation of Network Coding Relay In ITS V2V Communication at Intersections," Proc. IEEE IC-NIDC, Sep. 2014, Beijing (China) 査読あり

Le Tien TRIEN and Yasushi Yamao, "Improving Performance of Packet Combining Relay for ITS V2V Communication," Proc. IEEE VTC2014-Fall, Sept. 2014, Vancouver (Canada), 査読あり

Hao Wang, Takeo Fujii, "Transition Detection with Spectrum Database Using Cooperative Sensing," Proc. ICUFN2014, Jul. 2014, Shanghai (China), 査読あり

Jingze Dai and Yasushi Yamao, "Highly Efficient Multi-Hop Transmission Using Intra-Flow interference Cancellation and MRC," Proc. IEEE ICC2014, Jun. 2014, Sydney (Australia), 査読あり

Naoki Takeishi, Koji Ishibashi and Yasushi Yamao, "Cross-Layer Cooperation of Dynamic Multi-Hop Shortcut Local Path Control Scheme with Threshold Controlled Routing Protocol," Proc. IEEE PIMRC2013, Sept. 2013, Las London (UK), 査読あり

Tsubasa Suzuki, Takeo Fujii, "Spectrum Sharing between IVC and RVC in Multihop Vehicular Cognitive Radio," ITST 2013, Dec. 2013, Tampere (Finland), 査読あり

Tsubasa Suzuki, Takeo Fujii, Shuta Kako, Takamasa Kimura, "High Throughput Routing based on SNR Prediction for Variable Mobility Nodes," ITS World Congress 2013, Oct. 2013, Tokyo Big Sight (Tokyo), 査読あり

Huiting Cheng and Yasushi Yamao, "Reliable Inter-Vehicle Broadcast Communication with Sectorized Roadside Relay Station," Proc. IEEE VTC2013-Spring, Jun. 2013, Dresden (Germany), 査読あり

Jinze Dai and Yasushi Yamao, "Performance of CSMA/CA Multi-Hop Network Considering Intra-Flow Interference under Fading Environment," Proc. IEEE VTC2013-Spring, Jun. 2013, Dresden (Germany), 査読あり

Le Tien Trien, Huiting Cheng and Yasushi

Yamao, "Efficient Packet Relay Scheme with Payload Combining for ITS V2V Communications," Proc. IEEE WiVEC2013, Jun. 2013, Dresden (Germany), 査読あり

Hideki Sugawara, Huiting Cheng and Yasushi Yamao, "Reduction of V2V Packet Collision Due to Traffic Concentration in Integrated V2V/I2V ITS Broadcast Communication System," Proc. ITS World Congress 2012, Oct. 2012, Wien (Austria), 査読あり

② Huiting. Cheng and Yasushi. Yamao, "Performance Analysis of CSMA/CA Broadcast Relay Network for ITS V2V Communications," Proc. IEEE VTC2012 -Spring, May. 2012, Yokohama (Japan), 査読あり

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 位置測定装置、位置測定方法、プログラム、および位置測位システム

発明者: 湯 素華, 小花 貞夫, 山下 遼

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 2015-048549

出願年月日: 平成 26 年 3 月 1 日

国内外の別: 国内

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

小花 貞夫 (OBANA, Sadao)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号: 6 0 3 9 5 0 4 3

(2) 研究分担者

藤井 威生 (FUJII, Takeo)

電気通信大学・先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター・教授

研究者番号: 1 0 3 2 7 7 1 0

山尾 泰 (YAMA0, Yasushi)

電気通信大学・先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター・教授

研究者番号: 1 0 4 3 6 7 3 5

唐沢 好男 (KARASAWA, Yoshio)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号: 4 0 3 1 3 4 0 7

中嶋 信生 (NAKAJIMA, Nobuo)

電気通信大学・産学官連携センター・特任教授

研究者番号: 7 0 3 2 3 8 8 9