

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年3月31日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500079

研究課題名（和文） 車両通信システムのための条件ベースの情報転送方式の研究

研究課題名（英文） Condition-based Data Transfer in Vehicle-to-Vehicle Communication

## 研究代表者

重野 寛 (SHIGENO HIROSHI)

慶應義塾大学・理工学部・准教授

研究者番号：30306881

## 研究成果の概要（和文）：

本研究課題では、様々な ITS サービスをサポートするために、条件ベースの通信手法について検討し、1) ビーコン送信周期の動的制御手法と基本的な条件ベースの情報転送手法、2) 緊急車両の優先走行通知のための Road-Segment-based Data Dissemination、3) 緊急車両との遭遇推定を導入した CB-Flooding を提案した。計算機シミュレーションによる性能評価から、提案した手法の有用性を示した。

## 研究成果の概要（英文）：

In this research project, we explored a new design space of condition-based communication technique for various ITS services and we proposed 1) Adaptive Beacon Transmission and a basic condition-based autonomous packet forwarding, 2) Road-Segment-based Data Dissemination for emergency vehicle notification that limits the dissemination area to the driving route of the emergency vehicle, and 3) CB-Flooding that introduces estimation of encountering the emergency vehicle. Performances of these proposed schemes were evaluated through computer simulations and the results showed their efficiency.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野： 総合領域

科研費の分科・細目： 情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード： 移動体通信、ITS、車車間通信、条件ベース、優先走行通知

## 1. 研究開始当初の背景

ITS（高度交通情報システム）において車両間での通信は重要な要素技術であり、車車間通信を用いた自律的な車車間アドホックネットワーク（VANET）のための通信方式の研究開発が進んでいる。車車間アドホックネットワークでは、想定する ITS アプリケーションの特性を考慮して、ユニキャスト、ブ

ロードキャスト、ジオキャスト、それぞれの通信モードを実現するプロトコルの研究開発が進められている。しかし、さまざまな ITS アプリケーションをサポートする観点から、通信モードを統一的に捉え、周囲の状況に柔軟に対応できる通信手法が望ましい。本研究では、このような手法のひとつとして、条件ベースの通信に焦点を当てる。条件ベースの

通信では、従来のアドレスに基づく中継や受信の判断に加え、パケット中に示された条件に基づいてパケットの中継、受信を行う手法である。

## 2. 研究の目的

本研究課題では、ITSのための車車間通信を用いた自律的な車車間アドホックネットワークの通信方式として、従来のアドレスとそれに基づく情報中継制御に加えて、各車両が通信条件を独自判断することで情報中継制御を行う条件ベースの情報伝搬手法を研究開発し、通信モードを統一かつ効率的に扱うことのできる車車間通信システムのための手法を確立することを目的とする。

具体的な目的は以下の通りである。

(1) 車両密度や追突事故防止等の条件を反映したビーコン送信周期の動的制御手法を確立する。

(2) パケット受信車両が自律的に転送を判断するために通信要求、位置、情報伝搬範囲等を条件とした条件ベースのパケット転送手法を確立する。

## 3. 研究の方法

(1) 平成 21 年度は、ビーコン送信周期の動的制御手法について研究を進めた。ITS における車車間通信ではビーコンにより自車両の情報を近隣車両に伝達することが想定されているが、近隣車両の増加に伴う通信トラヒックの増加が問題である。そこで、ビーコン送信周期を動的に変更する際の条件を検討し、ビーコン送信周期制御手法を設計し、基本的な条件ベースの情報転送手法 (CCD) と組み合わせた場合について、計算機シミュレーションによってその有効性を評価した。

(2) 平成 22 年度は、条件ベースのパケット転送手法について研究を進めた。緊急車両の優先走行通知では、緊急車両の走行経路上に位置する車両にその情報を通知する。適切な地理範囲で情報を散布するために、道路のセグメント化と条件ベースのパケット転送を組み合わせた Road-Segment-based Data Dissemination を提案した。シミュレーションを実装し、提案方式の評価を行った。提案方式をフラッディングと比較し、総トラヒック量と全送信パケットに占める指定経路を通過するパケットの比率の観点から、提案の有効性を確認した。

(3) 平成 23 年度は、優先走行通知を対象に、条件ベースのパケット転送手法について継続して研究を進めた。緊急車両の優先走行通知において、地理的な範囲に加えて、優先車両との遭遇推定を行うことでパケット中継の実施を自律的に判断し、情報散布範囲を制御する条件ベースのフラッディング手法 Condition-based Flooding (CB-Flooding)

を提案した。都市部を想定したシミュレーションを実装し、評価を行った。提案方式を既存のフラッディング手法を組み合わせた手法と比較し、総パケット送信数とパケット散布率の観点から、提案の有効性を確認した。

## 4. 研究成果

### (1) ビーコン送信周期の動的制御手法

#### ①基本的な条件ベースの情報転送手法

条件ベースパケット転送制御は、送信車両で伝搬情報の要求条件から転送条件と宛先条件をパケットに記載して、ブロードキャストし、受信車両がそれらの条件とビーコンから得られた隣接車両テーブルの情報を基に、自身の中継と受信を自律的に判断する、受信者主導型の通信方式である。送信者主導型の通信では、パケットを送信時に、ユニキャストやブロードキャストなどのパケット転送モードを決める必要があるが、本手法では、伝搬情報の要求条件に従って転送車両や宛先車両を柔軟に選択される。そのため、ブロードキャスト通信を用いながらも、条件により、ユニキャストやジオキャストなどの通信モードを実現でき、パケット伝搬モードを統一的に扱うことができる。

基本手法におけるパケットの転送の条件には、受信車両の絶対位置や、送信元や直前の中継車両との相対位置がある。条件によっては、複数の車両が中継候補となる場合があるが、各車両は適当な時間、中継を待ち、他車両からの通信がない場合に中継を行う。

#### ② ビーコン送信周期の動的制御

ビーコン送信周期の動的制御では、時間周期ではなく、基準時間あたりの車両の進行距離を基準としてビーコン送信を制御する。関連研究においては、基準となるビーコン送信周期  $t_{\min}$  として 100msec が用いられることが多い。しかし、固定周期でのビーコン送信は市街地のような車両密度が高くなる状況において、オーバーヘッドが増大する。そこで、100msec を基準としながらも、車両が進む距離を基準にビーコンを送信するように制御し、可能な時には長い周期でビーコン送信を行う。これにより、固定周期の送信と比べ、冗長なビーコンの送信回数を抑え、オーバーヘッドを抑制する。具体的には、ビーコン送信周期  $T_{\text{cycle}}$  を以下の式で求める。

$$T_{\text{cycle}} = \max \left( \frac{-v + \sqrt{v^2 + 2aD}}{a}, t_{\min} \right) \quad (1)$$

ここで、自車両の速度を  $v$  (m/s)、最大加速度を  $a$  (m/s<sup>2</sup>)、基準周期を  $t_m$ 、あらかじめ決められた基準速度  $VD$  で時間  $t_m$  走行した際の移動距離  $D$  (m) とする。

(2) 基本的な条件ベース情報転送手法とビーコン送信周期の動的制御の評価

基本的な条件ベースの情報転送手法にビーコン送信周期の動的制御を組み合わせた手法（以下、CCD）の性能を、計算機シミュレーションによった評価した。本評価では、片側3車線の双方向直線道路における障害物情報を、送信元を基準として、その300mから500m手前を走行する車両に通知するシナリオについて評価した。走行速度は車両密度に応じて可変とした。また、通信方式の諸元としてIEEE802.11bを想定した。

#### ① パケット到着率

図1にCCDを用いた場合の packet 到着率を示す。全体的に、提案方式のCDDは、車両密度が増加しても高い packet 到着率を示しているが、これは、CDDは、ビーコン送信周期制御により、特に車両密度が高い場合のビーコン量を削減し、packet 衝突を低減しているためである。また、CDDは転送条件として自車両から遠方に位置する車両から中継を試みる。したがって、相対的にエラーが少なく効率的な転送を実現している。

#### ② 総トラフィック量

図2に車両密度を変化させた時の総トラフィック量を示す。CDDは、ビーコン送信を行っている手法の中で、最も低いトラフィック量を示しており、特に車両密度が高い状況でのトラフィック量を抑制している。ビーコン送信を行わないAODVはもっともトラフィック量が少ないが、これにビーコン送信を加えると、CDDよりも約25%高いトラフィック量となっている。GPSRは100msecの固定ビーコン送信を行っているため、CDDよりも高い値を示している。

### (3) Road-Segment-Based Data Dissemination

優先通行通知では、packetが優先車両の走行する道路に沿って通知が伝搬される必要がある。その際、冗長なpacketの増加によるpacket衝突を防ぐために、優先車両の走行する経路上の車両のみがpacketを受信して転送することで、中継車両数を減少させる必要がある。そこで、道路をセグメントに分割し、packet中でセグメントを指定することで、優先車両の走行する道路に沿った情報伝搬を実現するRoad-Segment-Based Data Disseminationを提案した。

本方式では、packetヘッダに新たに経路指示子フィールドを設け、packetを通過させる道路セグメントのリストを格納する。packetはブロードキャストによって送信されるが、受信車両の位置によって、その車両が中継するか否かが決定される。

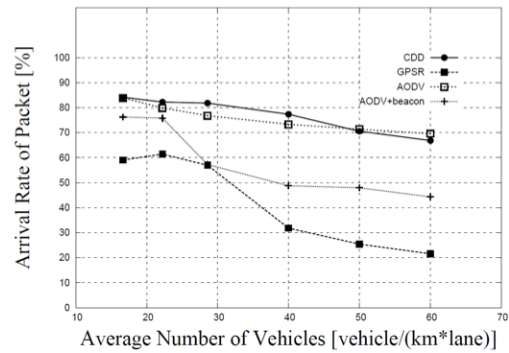


図1 動的ビーコン送信周期制御を用いた場合の packet 到着率

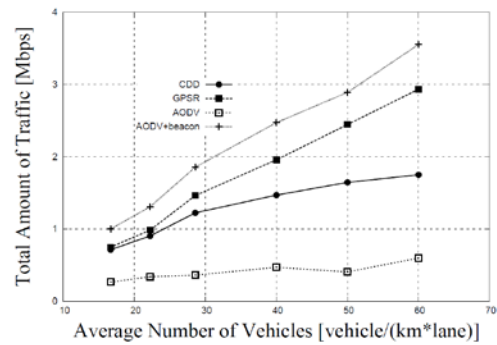


図2 動的ビーコン送信周期制御を用いた場合の総トラフィック量

#### ① 送信車両

送信車両（緊急車両）は、自車両の走行予定経路情報をもとに、通過が予定される道路セグメントのリストを求める。送信車両の指定した道路セグメントを通過道路セグメントと呼ぶ。送信車両は、通過道路セグメントのリストを、packetヘッダに新たに設けた経路指示子に格納し、packetをブロードキャストする。

#### ② 受信車両

図3に受信車両の状態遷移図を示す。受信車両の状態には、受信待ち、中継車両候補、中継車両の3つの状態がある。

受信待ち状態は状態遷移の初期状態である。packetを受信した車両は、packet中の送信車両の位置、通過道路セグメントを参照する。現在の走行道路セグメントが通過道路セグメントに含まれている場合、中継車両候補へと状態遷移し、そうで、受信packetを破棄し、受信待ち状態に留まる。

中継車両候補に遷移した車両は、packet中継するまでの転送待ち時間  $W$  を以下の式により算出する。

$$W = w_{\min} + w_{\max} \left(1 - \frac{d}{r}\right) \quad (2)$$

ここで転送待ち時間の最大値、最小値をそれぞれ  $w_{\max}$ 、 $w_{\min}$  とし、最大通信範囲  $r$ 、送信



図 3 Road-Segment-Based Data Dissemination の受信車両の状態遷移

元車両と自車両の距離を  $d$  とする。この待ち時間の設定により、送信元から最も遠方に位置する車両から順に転送を開始することを意味する。この転送待ち時間の間に、他車両から転送をオーバーヒアしなかった場合は自車両が中継車両に状態遷移し、パケットを点祖する。オーバーヒアした場合は、パケットを破棄し、受信待ちに状態遷移する。

#### (4) CB-Flooding

CB-Flooding は、優先走行通知において、交差点でのパケット伝搬を考慮するとともに、受信車両が遭遇推定を行うことで中継すべきか否かを自律的に判断して散布範囲を制御する条件ベースフラッディング手法である。本手法は、建物等のシャドウイングにより交差点に接続する全道路セグメントにパケットを散布できない問題と、固定的な散布範囲により冗長なパケットが発生する問題に対処する。本手法では、条件ベースの中継判断と交差点での中継を組み合わせることで、パケットの散布範囲（宛先）そのものを制御し、パケット散布率を向上させながらオーバーヘッドを低く抑える点に特徴がある。

##### ① 前提条件

交差点には一意の ID が割当てられており、各車両は交差点 ID や道路長、道路幅が記載された地図を保持しているものとする。緊急車両は、目的地までの走行経路を接近通知パケットの送信前に決定しているものとする。各車両は GPS から現在位置を特定でき、周期的なビーコンにより、1 ホップ内の隣接車両情報を隣接車両テーブルに記録している。

##### ② 送信動作

緊急車両は、予定走行経路上にある最も近い交差点を中継点とした接近通知パケットを送信する。このパケットには、送信時の緊急車両位置と時刻、緊急車両の予定走行経路上の交差点 ID と通過予定時刻のリストが格納され、ブロードキャストされる。

パケットヘッダには、前中継交差点 ID と次中継交差点 ID、パケット通過交差点 ID リ

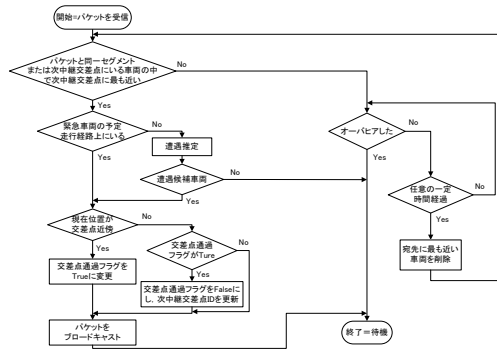


図 4 CB-Flooding におけるパケット受信時の動作

スト、交差点通過フラグが格納される。前中継交差点 ID と次中継交差点 ID により、現在伝搬している道路セグメントにおけるパケットの伝搬方向を特定できる。パケット通過交差点 ID リストとは、それまでにパケットが通過してきた交差点 ID の集合である。交差点通過フラグは、直前の中継が交差点内の車両によることを示すフラグである。

##### ③ パケット受信時の動作

図 4 に CB-Flooding におけるパケット受信車両の動作を示す。接近通知パケットを受信した車両は、基本的に Greedy Forwarding を用いて中継を行う。すなわち、次中継交差点に最も近い車両がパケットを中継する。その他の受信車両は待機し、この中継をオーバーヒアできない場合は、中継を検討する。

交差点近傍で中継する際は、交差点通過フラグを立ててブロードキャストする。フラグが立っているパケットは交差点に接続する各道路セグメントで中継される。各セグメントで最初にこのパケットを中継する際は、パケット中の次中継交差点 ID を更新する。

緊急車両の予定走行経路上では、上記の動作に基づきパケットが中継され、それ以外では、遭遇推定により遭遇候補車両となるかを推定し、該当する場合のみ中継を行う。

##### ④ 緊急車両との遭遇推定

予定走行経路外で中継車両の候補になった車両は、遭遇推定を用いて遭遇候補車両であるか判断し、パケットを中継するかを決定する。遭遇推定とは、任意の車両が優先走行車両の予定走行経路上に優先走行車両より前に到着する可能性があるかを推定することである。パケットには予定走行経路上の交差点 ID と通過予定時刻が格納されており、遭遇推定では、緊急車両がある交差点に到着する時刻と、自車両がその交差点に到達する推定時刻を比較することで、緊急車両と遭遇するか判断する。

遭遇推定では、その車両の車両・遭遇交差点間距離、周辺車両の平均速度を用いて交差点への到着時刻を推定する。ここで車両・遭

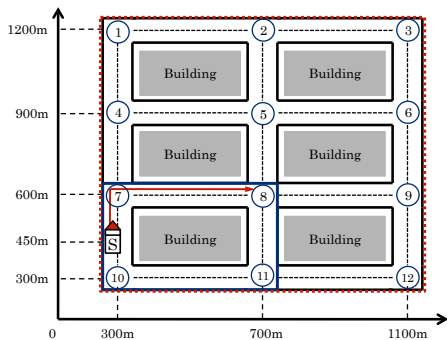


図 5 シミュレーションモデル

表 1 シミュレーションパラメータ

ネットワークシミュレータ	QualNet version 5.0.0
無線通信方式	IEEE802.11b
車両数	264~612台
車両密度	22.5 ~ 52.2vehicles/km
最大無線通信距離	100m
ビーコンパケット長	48byte
データパケット長	100byte
ビーコン送信周期	500ms
見通し外通信距離	4m
$\theta$	90° 未満

遇交差点間距離とは、現在位置から対象の交差点まで最短ルートで走行した場合の距離である。交差点への到着予定時刻を比較した結果、自車両が優先走行車両より先に到着する場合、自身は遭遇候補車両と判断する。

優先走行車両が通過する予定の全ての交差点に対して遭遇推定を行う。

#### (4) CF-Flooding の評価

都市部における緊急車両の優先走行通知を想定したシミュレーションにより、CB-Flooding を評価した。図 5 にシミュレーションモデルを、表 1 に主なシミュレーション・パラメータを示す。評価シナリオでは、格子状の道路網を緊急車両 S が図の位置から交差点 7 を経由して交差点 8 まで走行する。緊急車両の速度を約 40km/h とし、周辺を走行する車両の平均走行速度は、車両密度に応じて変化した。電波伝搬モデルは二波モデルを用い、建物によるシャドウイングがある場合は、シャドウイングのある領域には電波が到達しないものとした。接近通知パケットの送信は最初の 1 回のみとした。

比較対象には、既存方式の LCN と LBM を組み合わせた方式とし、散布範囲をエリア全体とした場合 (SL-Flooding-Large) と、緊急車両の走行経路上を包含する最小の範囲とした場合 (SL-Flooding-Small) について評価した。

##### ①パケット散布率の比較

図 6 にパケット散布率の比較を示す。パケット散布率とは、緊急車両と遭遇した車両

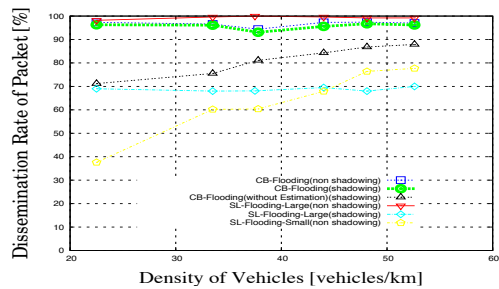


図 6 パケット散布率

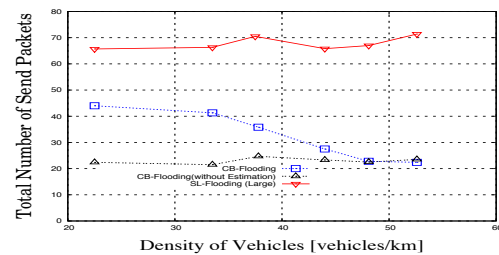


図 7 総パケット送信数

の中で事前に接近通知パケットを受信した車両の割合を示す。

CB-Flooding は、シャドウイングの有無に関わらず、どの車両密度において常に 90% 以上を達成しており、これは、シャドウイングのない環境でエリア全域にフラッディングした場合と同程度の散布率である。

CB-Flooding で遭遇推定のない場合、ある場合に比べて、パケット散布率が 10% 以上低下している。この結果は、緊急車両の予定走行経路とそれに隣接する道路セグメントにパケットを散布するだけでは、緊急車両接近通知には不十分であり、遭遇推定によってパケット散布範囲を制御することが有効であることを示している。

##### ②総パケット送信数の評価

図 7 に車両密度を変化させた場合の総パケット送信数を示す。CB-Flooding では、車両密度が高くなるにつれて総パケット送信数が減少しているのに対し、遭遇推定なしの CB-Flooding では車両密度に関わらずほぼ一定である。CB-Flooding が遭遇推定に基づいて散布範囲を変化するが、遭遇推定を用いない場合は、散布範囲が緊急車両の予定走行経路と隣接道路セグメントに固定されるからである。車両密度が低い場合、CB-Flooding は総パケット送信数が増加しているが、これも、遭遇推定の結果、散布範囲が広がるためである。車両密度が高くなると、一般車両の平均速度が低下し、遭遇推定の有無に関わらず、パケット散布範囲は同程度の範囲に近づく。全体として、パケット散布率は CB-Flooding が上回っており、散布範囲を適切に制御できていることが分かる。

## 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1件)

1. 原田亮, 鈴木理基, 神田翔平, 重野寛: CB-Flooding: 緊急車両接近通知のための条件ベースフラディング手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 1, pp. 194-203, 2012年1月、査読有り.

[学会発表] (計13件)

1. 鈴木理基, 徳田大誠, 重野寛: 隊列走行アプリケーションにおける TDMA 通信方式の検討, 情報処理学会 第48回高度交通システム研究会 (ITS), Vol. 2012-ITS-48 No. 6, pp. 1-6, 2012年3月16日, 東京.

2. Masaki Suzuki, Ryo Harada, Shohei Kanda and Hiroshi Shigeno: Overtaking Priority Management Method Between Platoons and Surrounding Vehicles Considering Carbon Dioxide Emissions (Poster), 2011 IEEE Vehicular Networking Conference, pp. 238-245, 2011年11月16日, Amsterdam, The Netherland.

3. Shohei Kanda, Masaki Suzuki, Ryo Harada and Hiroshi Shigeno: A Multicast-based Cooperative Communication Method for Platoon Management (Poster), 2011 IEEE Vehicular Networking Conference, pp. 107-114, 2011年11月15日, Amsterdam, The Netherland.

4. 鈴木理基, 原田亮, 神田翔平, 重野寛: 協調隊列自動走行が周辺に与える影響を考慮した追い越し優先権制御方式, 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM2011) シンポジウム, pp. 806-813, 2011年7月7日, 京都.

5. 神田翔平, 鈴木理基, 原田亮, 重野寛: マルチレスポンス通信を用いた隊列走行車両管理通信手法, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM2011) シンポジウム, pp. 814-821, 2011年7月7日, 京都.

6. 徳田大誠, 鈴木理基, 神田翔平, 重野寛: 隊列走行のための車両接近手法及び隊列形成可否を考慮した速度決定アルゴリズムの提案, 第45回 ITS 研究会, Vol. 2011-ITS-45, No. 2, pp. 1-8, 2011年6月24日, 大阪.

7. Tomoya Kuroki, Ami Uchikawa, Ryo Harada, Shohei Kanda, Hiroshi Shigeno: Road-Segment-based Data Dissemination to the Specified Route, 10th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications (ITST 2010), pp. 1-6, 2010年11月9日, 京都.

8. Ryo Harada, Tomoya Kuroki, Shohei Kanda, Hiroshi Shigeno: An Influence of Mobility Model with Traffic Light for Vehicular Ad-hoc Networks, 10th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications (ITST 2010), pp. 1-6, 2010年11月9日, 京都.

9. 内川亜美, 羽鳥遼平, 黒木智也, 神田翔平, 原田亮, 重野寛: 車車間通信における道路セグメントを利用した情報伝搬手法, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム, pp. 2-7, 2010年7月7日, 岐阜県.

10. 原田亮, 黒木智也, 内川亜美, 重野寛: 車車間ルーティングに対する信号を考慮したモビリティモデルの影響の検討, 第41回高度交通システム研究会, Vol. 2010-ITS-41, No. 3, pp. 1-8, 2010年6月18日, 東京.

11. 原田亮, 羽鳥遼平, 黒木智也, 内川亜美, 神田翔平, 重野寛: 信号機付交差点に着目した車両モビリティモデルの検討, 情報処理学会第72回全国大会, pp. 3\_51-3\_52, 2010年3月9日, 東京都.

12. Hiroshi Shigeno and Ami Uchikawa: Filter Multicast: A Communication Support for Dynamic Vehicle Platoon Management, First International Conference on Green Computing and Second AUN/SEED-Net Regional Conference on ICT, pp. 34-39, 2010年3月3日, Yogyakarta, Indonesia.

13. Ami Uchikawa, Ryohei Hatori, Tomoya Kuroki, Hiroshi Shigeno: Filter Multicast: A Dynamic Platooning Management Method, 2nd IEEE Intelligent Vehicular Communications System Workshop (IVCS'10), 2010年1月9日, Las Vegas, 米国.

[その他]

研究室ホームページ

<http://www.mos.ics.keio.ac.jp>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

重野 寛 (SHIGENO HIROSHI)

慶應義塾大学・理工学部・准教授

研究者番号: 30306881

### (2) 研究分担者

岡田 謙一 (OKADA KENICHI)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号: 80118926

### (3) 連携研究者

該当なし