

## 車車間通信による車両情報を用いたリアルタイム交通流計測方式とその試作評価

西村 豪<sup>†</sup> 小泉 寿男<sup>†</sup> 澤本 潤<sup>††</sup>

<sup>†</sup>東京電機大学大学院 情報システム工学専攻 <sup>††</sup>岩手県立大学 ソフトウェア情報学部

take@itlab.k.dendai.ac.jp, koizumi@k.dendai.ac.jp, sawamoto@iwate-pu.ac.jp

あらまし ITS (Intelligent Transport Systems) ではカーナビゲーションの高度化が研究されており、VICS (Vehicle Information and Communication System) は渋滞、事故車、通行止め箇所をカーナビゲーションに表示する交通情報システムとして用いられているが、道路上にセンサを設置しなければ交通量を計測することができない。そこで車両情報を用いて交通流を計測する研究が行なわれている。VICS プロブでは車両でセンシングされたデータ (プローブデータ) を収集することによって従来の VICS では得られなかった交通情報を取得できる。また、インターナビ・フローティングカーシステムでは収集した車両情報によってセンサが設置されていない経路の交通量を測定し、交通渋滞情報を通知する。これらはセンターに情報を収集する形式である。本稿では各車両が無線通信機器を搭載しているものとし、各車両が車両情報を定期的に送信することによって他車両の情報を受信した車両がセンターを介さずに周囲の交通流を直接計測でき、リアルタイムに交通渋滞情報を運転手へ通知するシステムの構築方法を提案する。

**キーワード** 車車間通信, ITS, 交通流測定, 交通情報システム, 車両情報伝播方式

## A Real-time Traffic Flow Measurement Method based on Inter-Vehicle Communication with Vehicle Information and Its Experimental Evaluation

Takeshi Nishimura<sup>†</sup> Hisao Koizumi<sup>†</sup> Jun Sawamoto<sup>††</sup>

<sup>†</sup>Department of Computers and Systems Engineering, Tokyo Denki University

<sup>††</sup>Iwate Prefectural University Faculty of Software and Information Science

take@itlab.k.dendai.ac.jp, koizumi@k.dendai.ac.jp, sawamoto@iwate-pu.ac.jp

**Abstract** The upgrade car-navigation has been researched in ITS (Intelligent Transport Systems). VICS (Vehicle Information and Communication System) is traffic information system that shows clog, accident car, or closure on digital map of car navigation systems. However, VICS can not get traffic volume on road where sensor is not installed. Traffic flow measurement methods based on vehicle information have been researched. For example, Traffic information can be obtained in the VICS probe by vehicle probe data. The Inter-navi floating car system measures and transfer to drivers traffic information by collected vehicle information of road where sensor is not installed. These methods gather vehicle information to center. In this paper, we propose a real-time traffic flow measurement method based on inter-vehicle communication which receives other vehicle information without center and transfers the traffic jam information to drivers where it is assumed that wireless telecommunications equipment is installed in the vehicle.

**Keyword** inter-vehicle communication, ITS, traffic flow measurement, traffic information system, vehicle Information diffusion method

### 1. はじめに

現在の ITS ではカーナビゲーションの高度化が行なわれている。VICS [1] は渋滞情報を電子地図上に表示し、運転手への渋滞情報提供が実現されており、この渋滞情報をあらかじめ知ることによって円滑かつ快適な経路選択を行い、心理的な安定感を高めるとともに目的地到達所要時間を短縮することができる。しかし、VICS ではセンサが設置されている道路以外の渋滞情報は測定できないため、車両がセンシングしたデータであるプローブデータを用いることによって、計測範囲を広め、情報の正確性を向上さ

せる VICS プロブが検討されている。また、インターナビ・フローディングカーシステムでは、区間走行時間を収集することによって、電子地図上に VICS リンク提供外のリンクに渋滞情報を表示できる。これらのシステムは一度センターへ情報を集め、必要な情報を各車両へ配信する方法だが、ITS の分野ではインフラに依存せず、情報を伝播する方法に車車間通信の研究 [2] が行なわれており、車車間通信では MANET の技術を用いることが注目され、車両のみで MANET を構築することによって車両同士がメッセージを交換、伝播する。この車車間

通信を用いて車両情報を伝播し、取得した他車両の情報により、交通量の計測や他車両の挙動を取得する研究 [3] [4] [9] が行われている。

これらの車車間通信によって車両情報を伝播させ、交通流を測定しようとするシステムを構築するためには、大きく分けての車車間通信による車両情報の課題と伝播方法と交通量の測定方法の課題が挙げられる。車両情報の伝播方法は車車間通信によってメッセージを伝播する場合、すべての車両が自車以外の車両の情報を取得するため、フラッディング方式 [8] を用いてメッセージを伝播させる。フラッディングは送信ノードが周囲の車両へメッセージをブロードキャストし、そのメッセージを受信した車両が既に受信したメッセージでない限り、さらにそのメッセージをブロードキャストすることによって周囲へメッセージを伝播させていく方法である。道路上の渋滞を各車両が送信する車両情報の送信間隔を短くし、かつ送信台数が大規模の場合、フラッディングではブロードキャストストーム現象 [5] が発生し、メッセージが伝播されなくなるため、伝播方法を制御する仕組みが必要となる。交通流の計測方法は無線通信機器非搭載車両を考え、車両密度または交通量を考慮せずに交通流を計測する方法が必要となる。

筆者らは秒オーダーで車両情報を伝播することによって車両情報を受信した車両が周囲の渋滞情報を解析、取得し、リアルタイムに運転手へ渋滞情報を通知することにより渋滞に巻き込まれる車両を削減するためのシステムを提案し、その中で車両情報の伝播方法を提案、報告してきた [12]。しかしながら、ここではメッセージの削減方法が送信元の車両のみに絞られており、かつシミュレーションが小規模で簡易的なものであったため、実際の交通状態からはかけ離れていた。本稿では既に受信した車両情報を用いて伝播するメッセージを削減し、実際の電子地図を用いるかつ大規模な台数でのシミュレーションを行ない、車両情報の伝播方法を評価する。

## 2. 関連研究

図 1 に高速道路のような直線道路において先行の車両情報を取得する Traffic View の伝播方法を [3] を示す。

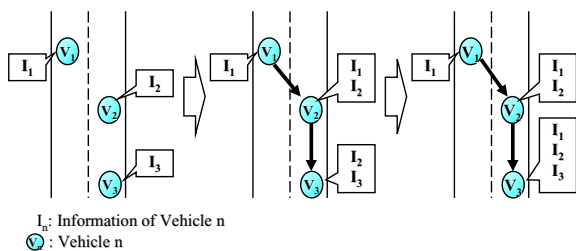


図 1. Traffic View の伝播方法

各車両は送信間隔を一定とし、自車両が保持するすべての他車両の情報を自車両の送信タイミングで周囲の車両に送信する。そのことによって他の車両へ 2 ホップ以上はなれた車両の情報を伝達する。

RMDP [9] は送信間隔内の受信データ数および衝突したエラーメッセージ数から次の送信間隔を決定する方法である。エラーメッセージ数に重み付けをし、各車両が送信間隔を調節することによってメッセージの衝突率を低くし、車両情報を離れた車両まで伝播させることができる。

これら車車間通信によって車両情報を送信する研究においては伝播させる課題として目的に応じた車両情報のメッセージサイズ、送信間隔、伝播距離、伝播のリアルタイム性のトレードオフが重要事項としてとりあげられている。

## 3. 車車間通信による車両情報を用いたリアルタイム交通流計測方式

提案するシステムはリアルタイム性を重視し、車車間通信によって周囲の車両情報の取得、計測を行ない、周辺道路の交通流をリアルタイムに伝播、測定、通知することによって道路上の突発的な渋滞を回避し、渋滞に巻き込まれる車両を軽減することを目的とする。このシステムを構築するために伝播する車両情報、車両情報伝播方法、交通流計測方法の設計を行なう。

### 3.1 伝播する車両情報

本研究において車車間通信を用いて伝播する車両情報および各車両の搭載機器を図 2 に示す。車両識別子、位置、速度、加速度、方位、送信時刻である。



図 2. 伝播する車両情報と搭載機器

各車両には識別子が設定されており、送信された車両情報がどの車両のものであるかを判別できるものとする。また、各車両は GPS (Global Positioning System) によって車両の走行位置を特定できるものとする。GPS のみの位置測定では測定誤差が数 m ~ 数十 m になることがあるが、PAS (Positioning Augmentation Services) [11] などの FKP 方式を用いた高精度位置測定方法があり、車両の位置は cm の誤差で車両の緯度、経度を知ることができる。また、定点観測によ

る補正ではなく、準天頂衛星によってインフラに依存せず、測定誤差を減らすことが検討されている。また、GPSではGPS衛星から送られてきた時刻情報によって車載コンピュータの物理時計をGPSの時刻と数 $\mu$ 秒の精度で時刻同期することができる。そのため各車両はメッセージに付加された送信時刻と受信時刻は $\mu$ 秒オーダーの範囲でメッセージが到達するまでの時刻を知ることができる。速度、加速度は現在の車両でセンシングされており、交通流を測定するときは密度だけでなく、車両の挙動を用いて交通流を測定する。また、各車両は車両情報伝達のための無線通信機器を搭載し、電子地図は最新であるものとする。表1に車両情報の保持内容例を示す。

表1. 車両情報取得一覧

識別子	速度	加速度	進行方向	緯度	経度	送信時刻
1001	30	5	2.45	25.44	136.44	120030
1002	45	2.5	3.43	25.43	136.45	120040
1022	20	-5	0.03	25.45	136.39	120115

これらの車両情報は周囲の車両からメッセージを受信するたびに同一車両識別子の車両情報が更新され、新規車両識別子は追加される。また、周囲の車両の車両情報のみを用いて、交通量を測定するため、10分間経過しても受信しないデータに関しては周囲にいないものと判断し、データは逐次削除されるものとする。また、取得する周囲の車両情報とは自車両から3km以内の道路と仮定する。

### 3.2 車両情報によるメッセージの削減

ノードがメッセージを送信し、そのメッセージをフラグディングによって伝播させる場合、送信間隔が短い状況ではメッセージが衝突し、メッセージを伝播させることができないため、MANETにおけるブロードキャストの効率化の研究[10]が行なわれている。そこで本研究では車両固有の情報である速度、加速度、方向を用いて相手の位置を予測し、ブロードキャストメッセージを削減する方法を提案する。

各車両が搭載する通信機器の通信範囲を $\alpha$  [m]とし、車両 $V_n$ がGPSなどから取得した位置情報を $x_n, y_n$ 、速度を $v_n$  [km/h]、加速度を $a_n$  [km/h/s]、メッセージ $m_n$ の送信時刻を $S_n$  [ms]、車両 $V_n$ よりも後に受信した車両 $V_m$ の送信メッセージ受信時刻を $R_m$  [ms]とする。そのときの車両 $V_n$ の移動距離 $l_n$  [m]を次式で表すことができる。

$$l_n = \frac{v_n(R_m - S_n) + \frac{1}{2}a_n(R_m - S_n)^2}{3600} \dots (1)$$

また、経線を $y$ 軸、緯線を $x$ 軸とし、車両 $V_n$ の進行方向を $\theta_n$  [rad]とすると、 $l_n$  [m]だけ移動後の予測位置 $X_n$ と $Y_n$ は次式で表すことができる。

$$\begin{aligned} X_n &= x_n + l_n \cos \theta_n \dots (2) \\ Y_n &= y_n + l_n \sin \theta_n \end{aligned}$$

ブロードキャストメッセージを受信した車両は保持しているすべての車両の情報が以下の条件のとき、メッセージをブロードキャストしない。ただし、1ホップ内の車両 $V_n$ と $V_m$ の情報はすでに受信して保持しているものとし、ブロードキャストメッセージを送信した車両 $V_n$ の予測位置を $X_n, Y_n$ 、車両 $V_m$ の予測位置を $X_m, Y_m$ 、送信判定を行なう車両 $V_l$ の現在位置を $x_l, y_l$ とする。

$$\begin{aligned} \sqrt{(X_m - X_n)^2 + (Y_m - Y_n)^2} &\leq \alpha_n \text{ または} \\ \sqrt{(x_l - X_m)^2 + (y_l - Y_m)^2} &> \alpha_l \dots (3) \end{aligned}$$

図3に車両 $V_3$ と $V_1$ の車両情報を車両 $V_2$ がすでに受信している状態で車両 $V_3$ と $V_1$ の予測位置により、車両 $V_3$ が車両 $V_1$ の送信範囲内にいるのかを判別し、ブロードキャストを行わない例を示す。

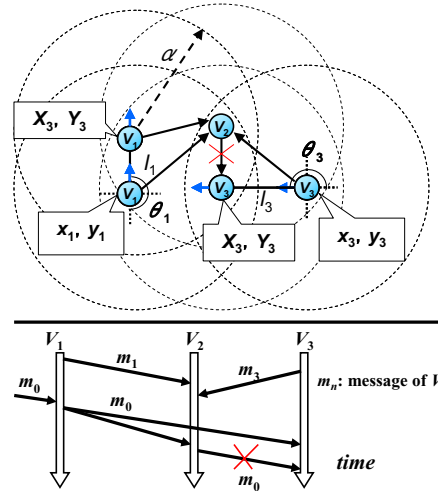


図3. 提案法式のブロードキャスト判別法

また、車両情報を受信できなかった車両に関しては相手の位置を測定できないため、車両は存在しないものとし、ブロードキャストを行わない。提案方式ではすでに受信し、保持している車両情報によって相手の位置を予測し、ブロードキャスト判定を行なう。ブロードキャストメッセージを送信した車両が車両情報の発信源の場合、直接送信された車両情報を用いてブロードキャストの判定を行なう。

提案方式ではメッセージを伝播させる場合、通信開始時は1ホップ内に存在する車両を特定できないため、送信元から送られてきたメッセージ以外のメッセージの伝播を行なわない。1ホップ内の車両からメッセージを受け取る前の状態を準備段階とし、準備段階を図4に示す。準備段階の1ホップ内の車両のデータを取得できた状態を実行段階とし、実行段階となった車両が伝播可能状態となる。

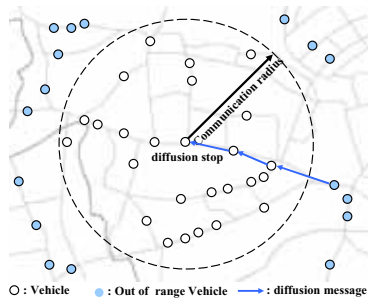


図 4. 通信開始時の準備段階

### 3.3 リアルタイム交通流計測方法

一般に道路（リンク）の車両密度が増加するにつれて、交通流が増加し、ある一定の車両密度から交通流が減少していく。これはリンクにおける車両密度が一定の割合を越えると道路が混雑し、渋滞が発生する。交通流の計測ではすべての車両の位置を計測し、車両密度によって渋滞を計測することができるが、無線通信機器がすべての車両に搭載されていない場合、すべての車両の情報を取得することができない。そこで本研究では車両の速度、加速度、方向、位置を用いて現在の交通流を測定する方法を提案する。

リンク上で渋滞要素となりうる車両を定義する。交通情報の提供における車両速度は 10km/h 以下であり、渋滞箇所では加速度が低くなる想定し、速度 10km/h 以下、加速度 5km/h/s 以下のときに渋滞要素であるとする。また、交差点付近では信号待ちで停車している恐れがあるため、リンクごとに車両情報の重み付けを行なう。図 5 にリンクの重み付け例を示す。進行方向の交差点付近の重み付けを低くし、リンクの出口付近の情報はリンクの渋滞情報において重要ではなく、リンクの入り口付近の渋滞情報を重要とする。

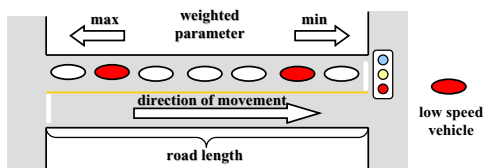


図 5. リンク位置による重み付け

渋滞要素として判定された車両の位置により、リンク内での情報の重み付けを行なう。また、計測した渋滞情報は電子地図上に VICS と同じように渋滞が起きているリンクの横に赤色の矢印で表示する。

## 4. シミュレーションおよび評価と考察

### 4.1 シミュレーション方法

シミュレーションでは直線道路の場合と実際の電子地図を用いた場合を想定し、その道路上を移動する車両を配置し、伝播方法を評価する。

各シミュレーションの設定を以下に示す。

#### (1) 共通設定

- 送信メッセージはブロードキャストメッセージのため CSMA/CA による ACK の返信は行なわない。衝突はメッセージの受信側で行なう。
- 車両の通信範囲は半径 200m とし、電波の減衰率は考慮しない。
- 送信車両情報は 1kbyte、送信には 1ms の時間がかかると想定する。また、送受は通信時に各車両が 1ms の時間を占有する簡易的なモデルとする。
- すべての車両の送信間隔を 1[s]~10[s] に固定し、その送信間隔で 5 分間ずつ測定する。
- 各車両は速度を 0km/h~50km/h まで変化させ、交差点付近では 20km/h、信号機が赤の交差点では 0km/h、その他自由走行の場合は 50km/h に収束する簡易的な車両モデルとする。
- フラッディング方式と本方式で評価を行う。
- 測定項目はメッセージ衝突率、メッセージ伝播率、総送受信量である。
- 距離による伝播制御を行なわない。3km 以上の車両情報も受信対象とする。

#### (2) 直線道路

- 道路長は 1km、2 車線でこの道路上を車両は往復する。
- 車両台数 100 台を道路上に配置する。
- 信号は両端に 2 個設置し、それぞれ 20 秒間隔で赤⇄青に変化する。

#### (3) 実際の電子地図

- 電子地図は埼玉県川越市を想定し、車両はこの地図上をランダムに移動する。
- 車両台数 3000 台を道路上に配置する。
- 信号機は国道のみに 10 個設置し、20 秒間隔で赤⇄青に変化する。

図 6 にメッセージの送受信におけるシミュレーションモデルを示す。各車両は 1ms 間隔で移動し、1ms 間隔の時間経過のいずれかでメッセージを送信する。メッセージの衝突は受信側で行い、自車両の送信時に他の車両からメッセージを受け取った場合も送信車両はメッセージが衝突したと判断する。また、図 7 に川越市の電子地図を示す。この電子地図は 11077 個のリンクで構成されている。

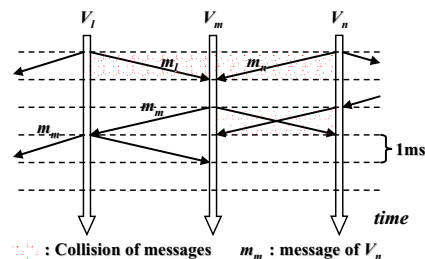


図 6. シミュレーションの送受信モデル





図 7. 川越市の電子地図

我々の研究室では経路探索の評価や本研究のシステムを組み込むためにコンピュータ上で動作するプロトタイプカーナビゲーションシステムを開発している。これはカーナビゲーションの基本機能として地図の表示および移動と拡大縮小、経路探索、GPS 受信機による位置の測定、施設の検索等の機能を有する。図 8 にプロトタイプカーナビゲーションの実行画面を示す。本研究のシミュレーションはこのナビゲーションシステムに搭載された電子地図およびインターフェースを用いて行なう。



図 8. プロトタイプカーナビゲーション実行画面

## 4.2 評価と考察

図 9, 10 に直線道路におけるメッセージの総送受信量、衝突率、伝播率を示す。

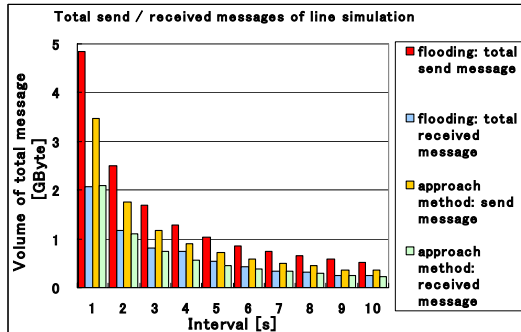


図 9. 直線道路における総送受信量

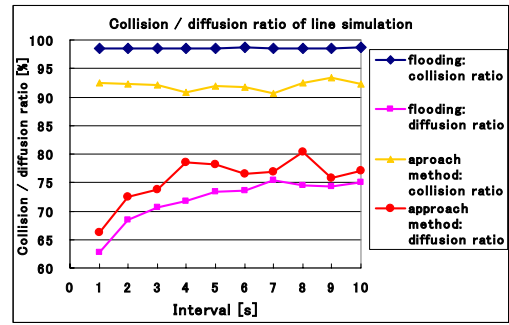


図 10. 直線道路における衝突率と伝播率

メッセージの送信量は送信したブロードキャストメッセージを表す。受信量は衝突が発生しなかったメッセージの受信量を示し、メッセージの衝突率は受信成功メッセージ数と総受信メッセージ数から求めた。伝播率は送信元の車両情報が車両に届いたかを表し、すべてからの重複以外の車両情報の更新回数から求めた。

図 9 のフラッディングと提案方式の総送受信メッセージから提案方式ではブロードキャストメッセージが少なくにもかかわらず、受信メッセージ数がほぼ等しい。これは図 10 の衝突率が 98% から 91% に軽減されたことからわかるように無駄なブロードキャストメッセージを削減したことにより、車両の受信するメッセージ数が向上したことを表している。つまり単純なフラッディングよりも提案方式の方が密集地帯で車両情報を多く取得することができた。

図 10 では送信間隔が長くなるにつれて取得できる車両情報が向上していることがわかる。送信間隔が長くなるにつれてフラッディング提案方式にも衝突率が軽減されていないにもかかわらず、伝播率が向上しているが、これは送信間隔が長くなることによって車両情報送信元同士が同じタイミングで送信する確率が減ったからである。つまり、送信間隔が短過ぎ、かつ車両が密集している場合、伝播する前にメッセージが衝突してしまうため、1 ホップ内の車両ですら車両情報を取得することが難しくなり、メッセージが伝播されなくなる。

図 11, 12 に川越市におけるメッセージの総送受信量、衝突率、伝播率を示す。

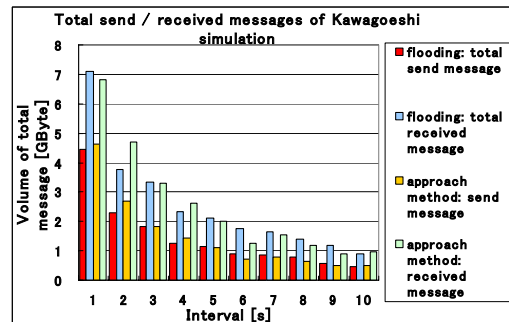


図 11. 川越市における総送受信量

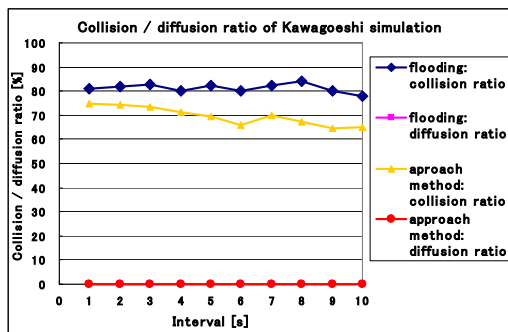


図 12. 川越市における衝突率と伝播率

図 11 の送信メッセージよりも受信メッセージの方が多くは図 12 の衝突率が減っていることから衝突メッセージ数が削減され、ブロードキャストによって一つ以上の車両がメッセージの受信を受信できたことを意味している。しかし、車両密度が低いので伝播メッセージに衝突が起きてしまうか、周囲に車両がいなくてそれ以降、メッセージが伝播されなくなってしまう。それが伝播率 0.1%と低い理由である。また車両密度が低い状態で無駄なブロードキャスト行なわないと、他の伝播メッセージが衝突してしまうとメッセージが伝播されなくなってしまう。車両密度が低いときのメッセージ伝播の改善方法として周囲の車両状態によって電波強度を上げ、多くの車両がメッセージを受信できるようにすることが必要である。

## 5. まとめと今後の研究

本稿では車車間通信を用いて各車両が定期的に車両情報を送信することによって各車両がインフラに依存せず、周囲の交通流をリアルタイムに計測する方式を提案し、交通情報を電子地図に表示することによって運転手へ渋滞情報を提供する方法を提案した。また、フラッディングメッセージをすでに受信した車両情報によって削減し、実際の電子地図、車両の挙動を考慮して伝播方法をシミュレーションし、検討を行ない提案方式がフラッディングよりも衝突率を削減し、メッセージを伝播することをシミュレーションによって確認できた。

今後はこの提案方式を用いてリンクごとのグループ構成を視野に入れたメッセージの伝播を考案、評価していくと共に交通流の具体的な計測方法および実システムの構築を行なっていきたい。

## 文 献

[1] Kaoru Tamura and Makoto Hirayama, "Toward Realization of VICS - Vehicle Information and Communications System", IEEE Vehicle Navigation and Information Systems Conference (VNIS'93), pp.72-77, 1993

[2] Sadayuki Tsugawa, "Inter-Vehicle Communications and their Applications to Intelligent Vehicles: An Overview", Intelligent Vehicle Symposium, June 17-22, 2004

[3] Tamer Nadeem, Sasan Dashtinezhad, and Chunyuan Liao, "Traffic View: A Scalable Traffic Monitoring System", 2004 IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM), January 19-22, 2004

[4] 寺内 隆志, 柴田 直樹, 安本 慶一, 東野輝夫, 伊藤 実, "車車間通信を用いた渋滞解消ナビゲーションシステムの提案", 情報処理学会研究報告, 2005-DPS-122, pp.7-12, March 2005.

[5] S.-Y. Ni, Y.-C. Tseng, Y.-S.Chen, and J.-P. Sheu, "The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network", Mobicom'99, pp.151-162, August 99

[6] Y.-B. Ko and N. H. Vaidya. "Location-aided routing in mobile ad hoc networks", Mobicom, pp.66-75, 1998

[7] 棚橋, 北岡, 馬場, 森, 寺田, 寺本, "広域交通流シミュレータ NETSTREAM ", 情報処理学会研究報告, 2002-ITS-9, pp.9-14, 2002.

[8] Peter Davis, Satoko Itaya, Jun Hasegawa, Akio Hasegawa, Naoto Kadowaki, Akira Yamaguchi, Sadao Obana, "Analysis of Characteristics of Flooding for Inter-Vehicle Communications", 情報処理学会研究報告, 2005-ITS-23, pp.99-104, 2005

[9] 塚本淳, 齋藤正史, 船井麻祐子, 梅津高朗, 東野輝夫, "先行道路情報取得プロトコル RMDP の設計と評価", 情報処理学会論文誌, Vol.47, No. 4, pp. 1248-1257, 2006年4月

[10] Williams, B. and Camp, T.: "Comparison of Broadcasting Techniques for Mobile Ad Hoc Networks", MobiHoc 2002, pp. 194-195, June 2002

[11] <http://www.mitsubishielectric.co.jp/pas>, 高精度 GPS 測位サービス PAS

[12] 西村 豪, 小泉 寿男, "車両情報量を考慮した車車間通信によるリアルタイム交通流計測方式", 情報処理学会研究報告, 2006-ITS-24, pp.1-8, March 2006