

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

西村 豪[†] 小泉 寿男[†]

[†]東京電機大学大学院 理工学研究科 情報システム工学専攻

take@itlab.k.dendai.ac.jp, koizumi@k.dendai.ac.jp

あらまし 現在, ITS (Intelligent Transport Systems) の分野ではカーナビゲーションシステムの高度化が研究されており, VICS (Vehicle Information and Communications System) 機能を搭載したカーナビゲーションシステムは運転手に主要道路の渋滞情報を提供している. また, カーナビゲーションシステムの車両位置表示には GPS (Global Positioning System) が用いられており, 各車両は GPS 電波により現在の走行位置を定期的に特定し, かつ車両の物理時計は GPS 時計と時刻同期することができる. また, インフラに依存しない情報伝播方法に車車間通信の研究が進められており, 広範囲の情報の伝播, 衝突回避のための車両検出, 情報収集に用いられている. 本稿では車車間通信を用いて各車両が自身のもつ車両情報を周囲へ伝播することにより, 自車両周囲の交通流をインフラに依存せずかつリアルタイムに計測し, カーナビゲーションシステムの電子地図へ交通量を表示することによって交通渋滞情報を運転手へ提供する方式を提案する.

キーワード 車車間通信, ITS, 交通流測定, 渋滞情報, 車両情報伝播方式

A Real-time Traffic Flow Measurement Method based on Inter-Vehicle Communication Considering the Volume of Vehicle Information

Takeshi Nishimura[†] Hisao Koizumi[†]

[†]Department of Computers and Systems, Graduate School of Tokyo Denki University

take@itlab.k.dendai.ac.jp, koizumi@k.dendai.ac.jp

Abstract Presently, Upgrading of car navigation system has been researching in the ITS (Intelligent Transport Systems) and the car navigation system equipped with VICS (Vehicle Information and Communications System) provides traffic flow information for drivers and. The each vehicle can know the current localization of a vehicle and time synchronization with GPS (Global Positioning System). Inter-vehicle communication is researched and developed as an information spreading method not depending on the infrastructure. In this paper, we propose a real-time traffic flow measurement method based on inter-vehicle communication for drivers to be select empty road by indicate traffic information on the car navigation.

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

1. はじめに

現在の人々の生活に自動車の利用は必要不可欠である. ITS ではカーナビゲーションの高度化が研究されており, 現在では VICS [1] によって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いる. 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. また, 渋滞が起きていない経路を選択することによって運転手だけではなく, 道路交通量全体の平準化, 渋滞の解消, 公害減少の緩和および経済損失の削減が得られる.

一般に道路上にセンサを設置して交通量を測定する場合, データの集計をサーバで行くタイムラグが発生するため, 提供された交通情報

と実際の交通量が違う場合がある。また、道路上にセンサを設置する必要があり、インフラに依存してしまう。

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] がある。また、車車間通信を用いて渋滞情報を提供する研究として車車間通信を用いて周囲の車両を表示する Traffic View [4]、道路単位で交通情報を車両に蓄積し、目的地を決定したときの最適な経路探索に役立つカーナビゲーションシステムの開発 [5]、プローブカーの情報を収集することによって気候および交通流を監視する研究 [6] および MANET のシミュレータと NETSTREAM [9] を統合し、車両情報の伝播方法を検討する研究 [11] がある。車車間通信を用いて渋滞情報を提供するシステムの課題を以下に示す。

- (1) 車両は高速移動体であるため、MANET のルーティングテーブルを構築するためのメッセージ交換が発生する。
- (2) Flooding で情報を送信する場合、交換する車両数が多いとき、メッセージ数が膨大になってしまい、他の車両へメッセージが届かなくなる。
- (3) 一定期間交通流を測定しなければ、渋滞の可否を判定するのが困難。(リアルタイム性の欠如)
- (4) 非通信機器搭載車両を考慮し、通信機器が搭載されていない車両がリンク上においても交通量を測定できなければならない。

特に上記の(1)と(2)に関しては通信機器を搭載しているが車両情報が伝播されず、車両が走行している位置を検知することができない。近年、ITS では車車間通信において MANET を構築する研究がなされている。また、基地局を設置し、メッシュネットワークの構築も試みられている。MANET を構築する場合、あて先の車両へメッセージを到達させるために配送経路を決定する必要があり、ルーティングテーブルの構築が必要となる。高速移動体である車両では接続と切断が頻繁に発生するため、ルーティン

グテーブルの維持に多くのメッセージ交換を必要とする。このルーティングテーブルを効率よく構築するための研究 [8] もされている。しかし、提案する本方式では各車両が検出した車両情報を周囲のすべての車両が知る必要があるため、ルーティングを考慮する必要が無い。すべての車両へメッセージを伝播する方法として Flooding 方式 [10] が考えられるが、この方法では受信した新しいメッセージをさらに周囲にブロードキャストするため、通信ノード数が多い場合ブロードキャストストーム現象 [7] が発生する。このため、一般的に有線よりもネットワーク資源が少ない無線では Flooding 方式は適していない。メッセージを削減しブロードキャストストーム現象を防ぐとともにし、送信メッセージがすべての車両へ到達する方法を考えなければならない。

本方式では車車間通信を用いて各車両が定期的に自身の情報を送信し、Flooding よりもメッセージを削減してリアルタイムに伝播する方式を提案、評価する。

2. 車両情報

車両を一つのセンサの集合として車両が得られる情報をプローブ情報といい、プローブカーを用いて天候情報や交通情報を調べる研究がなされている。本稿では車両から得られる情報は車両情報と呼ぶこととする。使用する車両情報は図 1 に示すように車両識別子、位置、速度、加速度、方位、送信時刻である。



図 1. 車両情報と搭載機器

各車両にはあらかじめ識別子が定められているものとし、受信した車両情報がどの車両のものであるかを判別することができる。また、各車両は GPS 受信機を搭載し、GPS 電波によ

て数 m の誤差で車両の緯度，経度および高度を知ることができ，同様に GPS によって車載コンピュータの物理時計を GPS の時刻と数 μ 秒の精度で時刻同期することができる．つまり，各車両と GPS 衛星が保持する時計の最大時刻差を τ [μ sec] とすると各車両は 2τ の範囲内で時刻同期できるため，すべての車両がほぼ同じ時刻を刻む物理時計を搭載することが可能となる．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 2τ の誤差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．また，GPS によって得られた緯度，経度は電子地図上で自分が走行している道路を示し，高度は高速道路，高架道路および立体交差の判別に用いる．現在では GPS 電波を受信できない場所が存在し，高層建築物の間では 100m 単位で位置測定位置に誤差が生じるが，今後は準天頂衛星 [3] により，GPS の精度が 1m ほどとなり GPS 電波受信可能地域が増加する予定である．また，D-GPS などの GPS による位置特定の誤差を補正する技術も開発されている．各車両の速度は速度センサから取得し，データ送信時の速度を用いてその車両が走行中，徐行中および停止中であるかを判別し，また，1 つの道路に車両が何台いるかを測定することによって交通流を測定する．

ここですべての車両は車両情報伝達のために IEEE802.16/IEEE802.11 のような無線通信機器を搭載し，ナビゲーションシステムには常に最新の電子地図があるものとする．また，通信機器の電波範囲においては車両情報受信車両が回避可能な距離だけ電波が届かなければならないため長距離を想定する．

3. リアルタイム交通流測定方式

3.1 メッセージの伝播方法

本研究では，車車間通信を用いて周囲の車両の車両情報を収集する．情報の収集方法として図 2 のように車両 V_1 が定期的に車両情報をブロードキャストし，周囲の車両が車両 V_1 の車両情報を取得する．ここでメッセージの送信間隔を T とする．

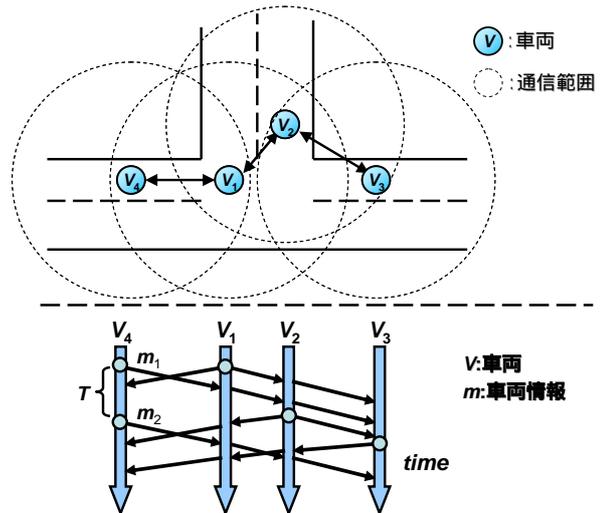


図 2. 車両情報送信例

同様に V_2 , V_3 , および V_4 が定期的に周囲の車両に自身の車両情報を送信することによって周囲の各車両が周囲の車両情報を得ることができる．この方法はメッセージを常にブロードキャストするので電波を受信した側は受信確認応答を返さない．

前述したように本方式ではすべての車両に情報を伝播させるための方法として Flooding 方式を用いると膨大な数のメッセージがネットワークを流れるのでブロードキャストストーム現象が発生し，メッセージが伝播されなくなってしまう．

そこで本研究では車両同士の情報の伝播方法煮に各車両の位置，速度，加速度情報を用いることによって Flooding 方式のメッセージ数を削減する VIB (Vehicle Information Broadcast) を用いる．

3.2 VIB によるメッセージの削減方法

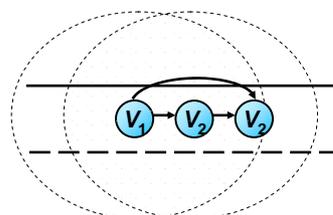


図 3. 密集地帯における通信範囲

市街地のように車両数が多い場所では車両が密集することが多々ある．密集地帯において，各車両が通信範囲内に存在し，図 3 において 1

ホップで周囲の車両にメッセージを伝達できるとした場合、Flooding方式を用いてメッセージを伝播すると、車両 V_1 がブロードキャストしたメッセージを受信した車両 V_2, V_3 はすでに受信したメッセージでないかぎりそのメッセージをブロードキャストする。つまり、車両 V_2, V_3 はすでに V_1 が送信したメッセージを受信していることになる。メッセージを送信した場合、送信元を中心に円のように電波が広がるため、例えばメッセージのあて先でない端末であっても、通信機器はこの電波を受信する。ここでメッセージを送信しても送信先すべてがすでに同じメッセージを受信していた場合、無駄なブロードキャストを防ぐために、各車両は以下の法則によって受信したメッセージをブロードキャストする。

- (1) 各車両は自身の車両情報を T 間隔で 1 ホップの通信範囲にいる車両にブロードキャストする。
- (2) メッセージを受信した車両はそのメッセージがすでに受信したメッセージであるまたは送信元との距離を測定し、一定の距離よりも遠い場合メッセージを破棄する。
- (3) すでに取得している車両情報である車両 ID, 速度, 加速度, 位置, 進行方向, 送信時刻により周囲の車両の位置を予測する。
- (4) メッセージ送信元の車両位置と直接通信範囲内の車両の予測位置より距離を導き出し、送信元と送信先の車両が通信範囲内に存在した場合、メッセージを受信した車両はブロードキャストしない。

ここで実際に車両が存在するにもかかわらず、その車両からメッセージを受信していない場合、各車両はその車両の存在を知ることはできないため、その車両は周囲に存在しないものと判断する。例えば図 3 において V_2 は V_3 のメッセージを受信していないとき、 V_2 は V_3 が通信範囲内にいないものとして、 V_1 から受信したメッセージをブロードキャストしない。また、 V_2 が V_3 からすでにメッセージを受信していた場

合でも、 V_1 の通信範囲内に V_3 が存在すると判定した場合、車両 V_2 は V_3 にメッセージを送信しない。

各車両が搭載する通信機器の通信範囲を α [m]とし、車両 V_n がGPS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_i の送信時刻を S_{im} [ms], 受信時刻を R_{im} [ms]とする。そのときの移動距離 l_n [m]を次式で表すことができる。

$$l_n = \frac{v_n(R_{im} - S_{im}) + \frac{1}{2}a_n(R_{im} - S_{im})^2}{3600}$$

図 4 に車両 V_3 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 の予測位置より、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。

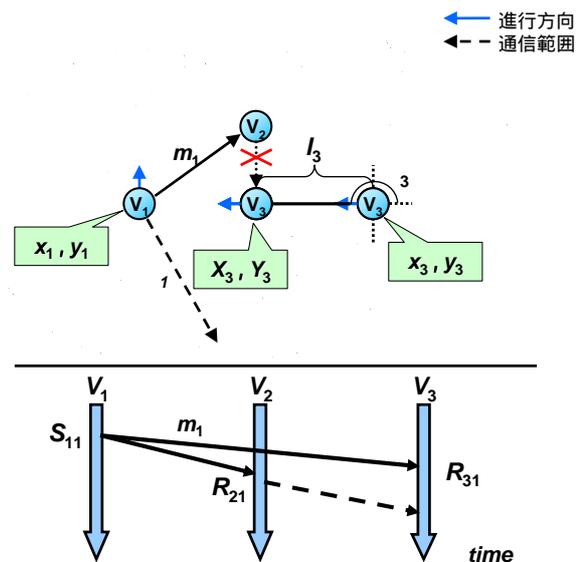


図 4 . 提案法式のルーティング判別

また、経線を y 軸, 緯線を x 軸とし, 車両 V_n の進行方向を θ_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。

$$X_n = x_n + l_n \cos \theta_n$$

$$Y_n = y_n + l_n \sin \theta_n$$

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直接通信可能な車両の情報以下の条件のとき、メッセージをブロードキャストしない。ただし、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

両情報をすでに受信していた車両 V_m の位置を x_m, y_m とする .

$$m \leq \sqrt{(X_n - x_m)^2 + (Y_n - y_m)^2}$$

3.3 車両情報の保持

車両情報の保存にはデータベースシステムを用いる . 表 1 に取得した車両情報の保存内容例を示す .

表 1 . 車両情報取得一覧

ID	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 ID の車両情報が更新され , 新規 ID は追加される . 自身の車両情報はデータベースに格納せず , 車両情報を阻止するとき送信時に各センサより測定されたデータを用いる . また , 本方式では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 , すでに周囲にいない車両のデータを格納し続けると車両搭載記憶媒体の資源を無駄に消費してしまう . この資源の無駄な消費を抑えるため , 送信時刻を基準とし , 数秒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するものとし , データは逐次削除される .

3.4 交通量の表示方法

広域交通流をシミュレーションするシミュレータに NETSTREAM [9] が開発されている . NETSTREAM は道路上にいる車両全体の流れをシミュレーションし , 最適な経路案内のために開発された . 本研究の交通流計測方式では取得した車両情報より , 各車両が道路の混雑状況を定期的に計算し , カーナビゲーションに表示する . 計測に使用する車両情報は速度 , 進行方向 , 位置 , 送信時刻であり , また , 各車両は電子地図から測定区間の道路長を取得できるものとする . 各車両は送信時刻と計測時刻の差からその車両が現在どの道路上にいるかを予測する . 計測した結果を図 5 のようにナビゲーションシステムへ表示し , 運転手へ渋滞経路情報を提供する .

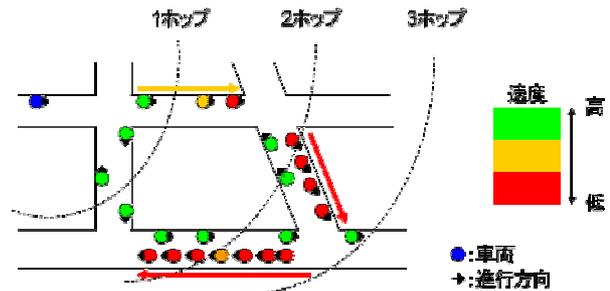


図 5 . 渋滞情報の計測表示イメージ

本方式では渋滞情報を VICS と同様にカーナビゲーション上に周囲の道路の交通状況を矢印と色で表示する . 主要道路以外も表示するため , 混雑および渋滞が発生している箇所のみ交通情報を提供する .

4. シミュレーションおよび評価と考察

シミュレーションは図 6 のような格子状の道路を想定したマップ上に 20 台の車両をランダムに配置し , 道路に沿って移動させる . 格子状マップの交差点間の距離は 200m とし , マップの大きさは縦横それぞれ 1km とした . 各車両は速度を変化させながら仮想道路上を走行し , 送信間隔 T で自身の車両情報を送信する .

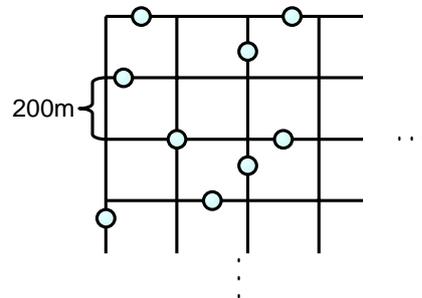


図 6 . シミュレーションマップ

このとき以下の方法で評価を行う .

- 各車両の車両情報送信間隔 T を 1[s] ~ 10[s] まで変化させたときの Flooding 方式 , Traffic View の伝播方式および VIB 方式による車両一台が受信するメッセージ数およびデータ量を比較する . また , 送信および転送件数を測定し , 受信メッセージ数から送信メッセージの到達率を求め , 新規受信データの送信時刻を受信時刻と比較することで受信車両情報のリアルタイム性を測定する .

- ・ 測定期間は 1 分間とし，車両情報の量は多くても 1kbyte を想定した．
- ・ 通信プロトコルには UDP を用いメッセージ受信確認応答を行わない．
- ・ 各車両が搭載している通信機器の電波範囲は 500m と想定した．
- ・ 車両速度は 40 ~ 60[km] で変化させ，分岐路では進入経路以外をランダムに選択する．今回のシミュレーションでは交差点での停止を想定しない．
- ・ 各車両はデータベースを用いて車両情報を格納し，受信した送信時刻の新しいメッセージを格納する．
- ・ 1 台のコンピュータ上でシミュレーションを行うことにより，各車両が参照する物理時計は完全同期している．
- ・ 各車両の位置を監視しているプロセスが存在し，各車両が常に電波到達可能範囲であるかを判定している．

Traffic View の伝播方式は各車両が持つすべての車両情報を 1 ホップで送信可能な周囲の車両へ各車両が一定の送信間隔で送信することによって車両情報の伝播が行われる．例えば車両 V_1 , V_2 , V_3 が存在し， V_1 の送信可能範囲に V_2 ,

V_2 の送信可能範囲に V_3 があるとき， V_1 の車両情報は V_2 へ送信され， V_2 は V_1 の車両情報を自身の車両情報を送信するタイミングで同時に送信する．そのため，送信間隔が大きいと車両情報が伝播されず，Flooding方式と比べリアルタイム性に限界がある．

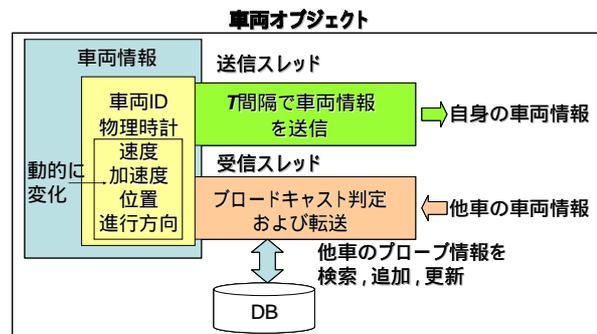


図 7 . 各車両のオブジェクト構成

車両オブジェクトの構造を図 7 に示す．各車両オブジェクトは送信スレッドおよび受信スレッドを起動し，車両情報を共有させ車両情報の速度，加速度，位置，進行方向を動的に変化させる．また送信スレッドは T 秒間隔で自身の車両情報を送信可能範囲へブロードキャストし，受信スレッドは周囲の車両から受信した車両情報をデータベースへ格納し，他の車両へブロードキャスト転送を行う．

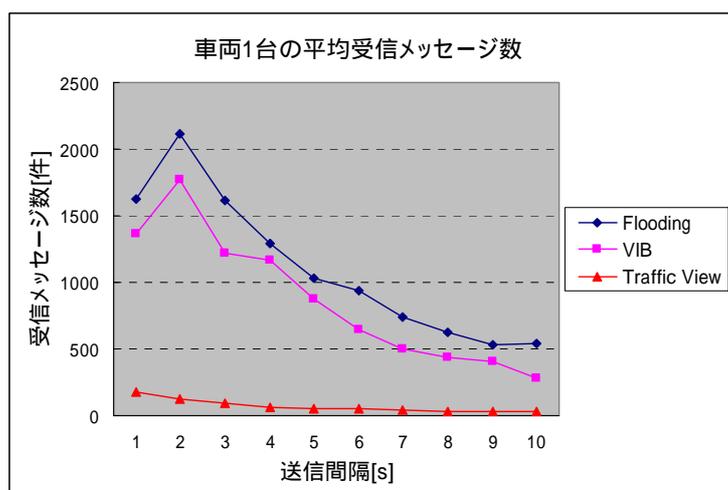


図 8 . 車両 1 台の平均受信メッセージ数

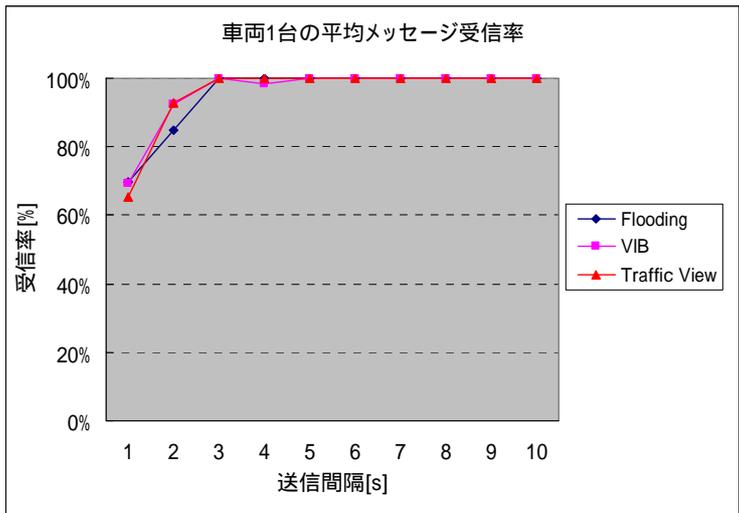


図 9 . 車両 1 台の平均メッセージ受信率

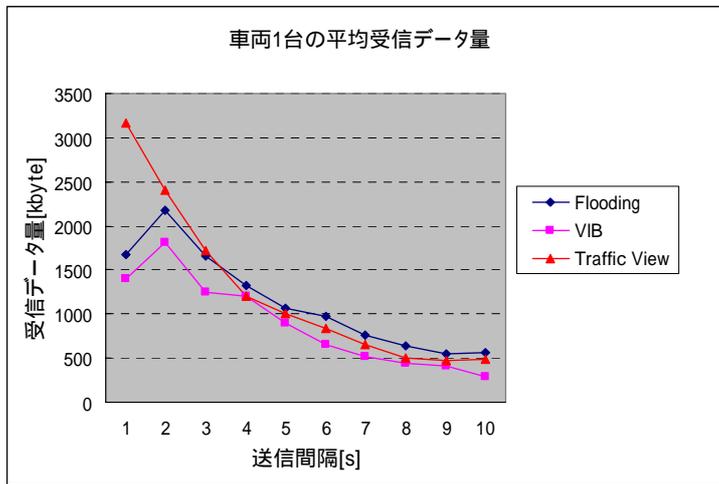


図 10 . 車両 1 台の平均受信データ量

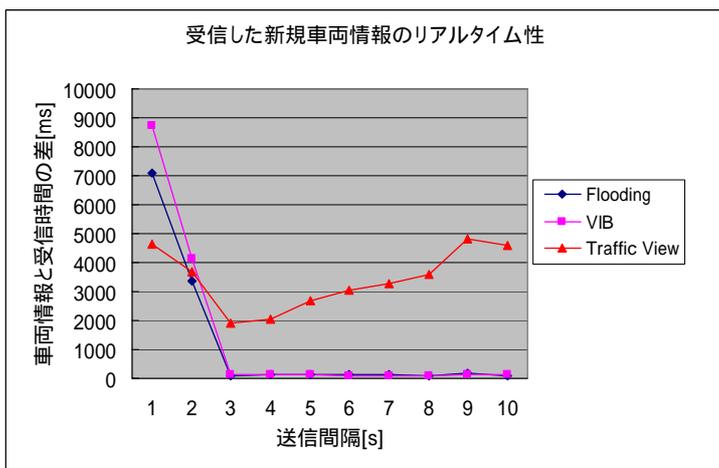


図 11 . 受信車両情報のリアルタイム性

図 8 ~ 11 に評価結果を示す．図 8 は 1 分間に VIB 方式で Flooding 方式よりもメッセージ数をおける車両 1 台の平均受信メッセージ数を表し，削減できたことを表している．送信間隔が 1 秒

のときの受信メッセージ数が送信間隔 2 秒よりも少ないがこれは送信メッセージが衝突を起し、送信先へ配送されなかったことを示している。図 9 に示したメッセージ到達率が送信間隔 1 秒のときおよそ 70% であるのがその原因と考えられる。図 8 では Traffic View の伝播方式が交換されるメッセージ数が少ないが、図 10 に示した 1 台あたりの平均受信データ量をみると Traffic View の方が VIB および Flooding 方式よりも受信データ量が多い。これは自身が保持するすべてのデータを送信するために冗長なデータが増えてしまっていることを表している。この冗長なメッセージの分、メッセージ到達率がほぼ等しいにもかかわらず Traffic View は送信間隔 1 秒のとき図 11 に示すリアルタイム性に優れている。しかし、各車両のメッセージが確実に到達するとき、即時転送を行う Flooding および VIB 方式が車両情報のリアルタイム性に優れていることがわかる。

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周囲の車両の車両情報を収集し、各車両がインフラに依存せず、周囲の交通状況をリアルタイムに計測する方式を提案し、交通情報をカーナビゲーション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、車両が密集している場合、Flooding 方式ではメッセージ数が増大してしまうため、車両情報を用いたメッセージ数の削減方法を提案した。また、簡易的な車両の移動を考慮した車両情報の伝播方法をシミュレーションし、本方式と他方式の比較検討を行った。

今後の研究として、さらなるメッセージ数を削減する方法を考案するとともに、実際の電子地図および信号を考慮したシミュレーションを行い、実際に運転手へどの程度の渋滞情報を提供できるかを検討していきたい。

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] http://www.enri.go.jp/report/hapichi/pdf2003/11_ito_hk.pdf, 伊藤憲 坂井丈泰, "準天頂衛星による GPS 補強システムの有効性の検討"
- [4] 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
- [5] 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.
- [6] 岩橋 努, 澤本 潤, 樋口 博, 台蔵 浩之, 渡辺 尚, "車車間通信を利用した Positionics 適用プロトコルによる交通情報システム", DICOMO2004, pp.501-504, July 2004
- [7] S.-Y. Ni, Y.-C. Tseng, Y.-S. Chen, and J.-P. Sheu, "The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network", Mobicom, pp.151-162
- [8] Y.-B. Ko and N. H. Vaidya. "Location-aided routing in mobile ad hoc networks", Mobicom, pp.66-75, 1998
- [9] 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.
- [10] 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
- [11] 齋藤正史, 塚本淳, 船井麻祐子, 梅津高朗, 北岡広宣, 寺本英二, 東野輝夫, "先行経路上の道路情報取得用アドホック通信プロトコルの開発," 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 11, pp. 2695-2703, 2005 年 11 月