

## 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システム

大海健太<sup>†</sup> 西村 豪<sup>††</sup> 神戸英利<sup>†††</sup> 小泉寿男<sup>†</sup> 澤本 潤<sup>††††</sup>

<sup>†</sup>東京電機大学 情報システム工学科 <sup>††</sup>東京電機大学大学院 情報システム工学専攻

<sup>†††</sup>三菱電機 <sup>††††</sup>岩手県立大学 ソフトウェア情報学部

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

あらまし 現在、高度交通システムの分野ではカーナビゲーションの発展が著しく、交通情報システムの高度化が進められている。交通情報システムの導入によって渋滞の経済損失削減が期待されており、VICS (Vehicle Information and Communication System), VICS プロブ、テレマティクスを用いたインターナビ・フローティングカーシステムの研究および実用化が行なわれている。そこで我々は次世代の車車間通信であるマルチホップと車両自身が取得する車両情報に注目し、通信基地局、情報収集センターおよびサーバを介さずに車車間通信によって各車両が他車両の車両情報をリアルタイムに取得し、交通情報の精度およびリアルタイム性を向上させるシステムを提案してきた。本稿では各車両が車両情報を秒オーダーで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渋滞を直接判別でき、リアルタイムに交通渋滞情報を運転手へ通知し、更なる交通量の平準化を目指した交通情報システムの構築を提案する。

キーワード 車車間通信, 交通流計測, 交通情報システム, 車両情報伝播方式

### A Real-time Traffic Flow Measurement System based on Vehicle Information by Inter-Vehicle Communication

Kenta Omi<sup>†</sup> Takeshi Nishimura<sup>††</sup> Hidetoshi Kanbe<sup>†††</sup> Hisao Koizumi<sup>†</sup> Jun Sawamoto<sup>††††</sup>

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

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

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

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

**Abstract** Currently, the car navigation system is advancing in the field of ITS (Intelligent Transport Systems), and the advancement of traffic information system is performed. Economic loss reduction of a traffic jam is expected by including traffic information system and VICS (Vehicle Information and Communication System), VICS probe, and Internavi Floating Car System with telematics have been researched and developed. Then, we focused on multi-hop inter vehicle communication and vehicle information acquired by itself, we designed traffic information system that improves accuracy and the real time feature of the acquired traffic information without communication base VICS center, traffic information center, or server, where each vehicle acquires other vehicle information using inter-vehicle communication in real time. In this paper, we propose construction of the traffic information system which aims at further leveling of traffic density, in which each vehicle can detect traffic jam without any traffic center because each vehicle transmits vehicle information with second order regularly and the system notifies a driver of traffic jam information in real time.

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

#### 1. はじめに

現在、高度交通システムでは9つの開発分野が定義されており、その中にはカーナビゲーションの高度化の分野がある 1)。VICS 2) は交通情報をカーナビゲーションの電子地図上に表示する交通情報システムである。交通情報を運転手が知ることによって渋滞が起きていない経路の選択を行い、運転手の心理的な安

定感を高めるとともに目的地到達所要時間を短縮し、車社会全体の経済損失の軽減につながる。VICS ではセンサが設置されているリンク (道路) 以外の交通情報は計測できないため、車両がセンシングしたデータであるプローブデータを光ビーコン、電波ビーコンといった双方向通信機によって収集し、センサ非設置道路上の交通量計測および交通情報精度を向上させる

VICS プローブが検討されている。また、テレマティクスを用いて車両情報を収集するインターナビ・フローティングカーシステムでは、リンク区間走行時間をセンターへ収集することによって、VICS 情報提供道路外の道路に渋滞情報を表示する。これらの交通情報システムは一度センターへ情報を集め、必要な交通情報を各車両へ配信するシステムである。一方、インフラに依存しない情報伝達方法として車車間通信の研究が行われてきた。ASV (Advanced Safety Vehicle : 先進安全自動車) 3) では車車間通信によってお互いの車両位置を通知し、近距離車両位置をカーナビゲーションに表示することによって、運転手へ警告を行うシステムが開発されている 4)。このように車車間通信はリアルタイムな情報を伝播することに用いられ、MANET (Mobile Ad-hoc Network) 技術を応用したマルチホップ車車間通信の研究 5) も行なわれている。また、近年、この車車間通信の技術を用いて車両情報を伝播し、交通量の計測や他車両の挙動を取得する研究 6) 7) が行われている。

車車間通信と車両情報を用いて交通情報を提供するシステムを構築するためには、車車間通信による車両情報の伝播方法と車両情報による渋滞判別方法が必要となる。MANET ではルーティングテーブルの構築を効率よく行う研究 8) が行なわれているが、車は高速移動体のため、接続切断が頻繁に発生し、ルーティングテーブルの構築が困難である。車車間通信による車両情報伝播方法ではすべての車車間通信機搭載車両が車両情報を取得する必要があるため、フラッディング方式 9) のような放送型の伝播方法が挙げられる。フラッディング方式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。しかし、各車両が送信する車両情報の送信間隔を短くし、かつ通信台数が大規模になった場合、フラッディングではブロードキャストストーム現象 10) が発生し、車両情報が伝播されなくなる。また、現在は渋滞を判別するために道路上に設置されているセンサまたは車両の走行時間によって、リンクの交通流を計測しているが、リンクの交通流を測定する場合、一定の時間を要し、実際の交通状況と誤差が発生する。

そこで筆者らは秒オーダーのリアルタイムで各車両が車両情報を定期的に送信、伝播することによって他車両情報を受信、周囲の交通情報を解析し、リアルタイムに運転手へ交通情報を通知することにより、渋滞を回避し、現行システムよりも更に交通の平準化を目指した交通情報システムの構築を提案してきた 11) 12) 13)。

本稿では提案した交通情報システムを構築するため、また交通流計測の正確性向上のため、フラッディングを基に車両情報の伝播率を改善した車両情報の伝播方式と各車両が受信した車両情報からの渋滞判別方法を提案する。前者は既に受信した車両情報からブロードキャストメッセージを削減する車両情報の伝播方式と、

リンク毎にグループを形成し、グループ毎に代表メッセージを送信することでブロードキャストメッセージを削減する車両情報の伝播方式の2つからなる。後者はリンク内の車両位置に応じた重みを計算することによって、リンク毎の渋滞を判別する方式である。2では本研究の関連研究を示し、3では提案交通情報システムの提案を行う。4では各提案方式のシミュレーション評価を行う。

## 2. 関連研究

車車間通信を用いて他車両情報を取得する研究に Traffic View 6) と RMDP (Received Message Dependent Protocol) 7) がある。Traffic View は高速道路のような直線道路における先行車両の情報を取得するものであり、車両情報伝播方法は各車両の送信間隔を一定とし、車両の送信タイミングで車両が保持するすべての他車両の情報を後方の1ホップで到達するすべての車両に送信する。この動作を繰り返すことにより2ホップ以上はなれた車両へ車両情報を伝達する。

RMDPは車両の送信間隔内で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し、メッセージ衝突の軽減と伝播率を向上させる方法である。また、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伝播する研究においては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システム

本研究で提案する交通情報システムは、各車両が車車間通信を用いることにより、インフラに依存せず、自車両の周辺道路の渋滞をリアルタイムに判別し、運転手へ現在の交通状況を知ることによって交通の平準化を目指した交通情報システムである。図1に提案するシステムの構成図を示す。

本方式においては、送信スレッドによって定期的に自車両情報を送信し、受信スレッドによって他車両情報の取得、転送を行なう。また、交通渋滞判別スレッドにおいてはユーザが設定した交通情報更新間隔によって交通情報が更新される。このシステムを構築するためには、車車間通信による車両情報の伝播方法、伝播された車両情報による渋滞の判別方法が必要である。渋滞判別においては車両情報が多ければ多いほど正確性が増すため、車両情報の伝播方法に伝播率を向上させる手法を取り入れる。以下、伝播する車両情報の定義、車両情報の伝播率を向上させる車両情報の伝播方法、リアルタイム渋滞判別方法について述べる。

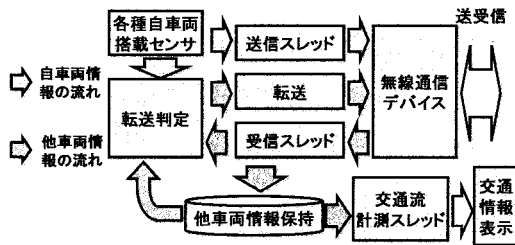


図 1 提案システムの構成

### 3.1 伝播する車両情報の定義

本方式において車車間通信によって送信，伝播する車両情報は，車両識別子，位置，速度，加速度，進行方向，送信時刻，リンク識別子であり，各車両は GPS 受信機，カーナビゲーション，無線車車間通信機を搭載しているものとする。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，各車両は搭載している GPS (Global Positioning System) 受信機によって車両の走行位置を特定できる。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，RTK-GPS 等高精度位置測定方法の導入により，車両の位置はサブ m オーダーの誤差で得ることが可能になるようとしている。また，現在，準天頂衛星によってインフラに依存せず，GPS による位置測定誤差を減らすことが検討されている [14]。GPS は位置を測定だけでなく，車載コンピュータの物理時計を GPS 衛星から送られてきた時刻情報によって衛星が持つ時刻と数  $\mu$  秒の精度で時刻同期させることができる。そのため各車両は他車両から送られてきたメッセージに付加されている送信時刻とメッセージの受信時刻を用いることによって  $\mu$  秒オーダーの範囲で送受信時刻差を取得することができる。速度，加速度，進行方向は現在の車両でもセンシングされており，渋滞を判別するときには密度だけでなく，車両の挙動によって渋滞を判別する。また，最新の転送車両の車両情報も併せて伝播する。これは後述の受信車両情報によるメッセージの削減に利用するためである。これら車両情報の定義より表 1 に各車両がメモリ上に保持する他車両情報例を示す。

表 1 保持する他車両情報例

ID	速度	加速度	進行方向	緯度	経度	送信時刻	リンク ID
01	30	5.0	2.45	25.44	136.44	120030	1732
02	45	2.5	3.43	25.43	136.45	120040	4723
22	20	-5.0	0.03	25.44	136.34	120115	9612

この車両情報は受信した車両の車両識別子が新しい場合は追加し，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，常に最新の車両情報を保持する。

### 3.2 車両情報によるメッセージの削減

車両情報の伝播方法では，各車両が特定車両の情報を取得するのではなく，周囲の車両の車両情報を得るため，フラディング方式のような放送型通信をベースとする。車両が自車両情報であるメッセージを定期的に送信し，そのメッセージをフラ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。そこで本研究では車両固有の情報である速度，加速度，進行方向を用いて相手の位置を予測し，ブロードキャスト転送メッセージを削減する方法を提案する。提案方式を以下，メッセージ削減方式と呼ぶ。

GPS 受信機は位置測定だけでなく，GPS 衛星と時刻同期できるため，各車両の物理時計は時刻同期している。つまり車両同士のメッセージ送受信時刻差がそのまま通信に要した時刻として求められるため，他車両がセンサによって取得した位置，速度，加速度，向き，時刻を車車間通信によって取得することにより，他車両の位置を予測することができる。ここで  $V_n$  は  $V_m$  より先に車両  $V_l$  へ車両情報を送信した車両であるとする。各車両が搭載する通信機器の通信範囲を  $\alpha$  [m]とし，車両  $V_n$  における 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  $n$  の送信時刻を  $S_n$  [ms]，車両  $V_m$  が送信したメッセージ  $m$  の受信時刻を  $R_m$  [ms]とする。そのときの車両  $V_l$  からみた車両  $V_n$  の移動距離  $l_n$  [m]を次式で表すことができる。

$$l_n = \frac{v_n(R_m - S_n) + \frac{1}{2}a_n \frac{(R_m - S_n)^2}{1000}}{3600} \dots(1)$$

また，経線を  $y$  軸，緯線を  $x$  軸とし，車両  $V_n$  の進行方向を  $\theta$  [rad]とすると， $l_n$  [m]移動後の予測位置  $X_n$  と  $Y_n$  は以下の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，車両  $V_l$  は  $V_n$  から受信したメッセージをブロードキャストしない。ここで，1 ホップ内の車両  $V_n$  と  $V_m$  の情報は既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。

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

図 2 に車両  $V_1, V_2, V_3$  による具体例を示す。車両  $V_3$  と車両  $V_1$  のメッセージを車両  $V_2$  が既に受信している場合， $V_1$  から  $V_2$  へ送られてきたメッセージを解析し， $V_3$  が  $V_1$  の送信範囲内に存在すると予測できた場合にブロードキャスト転送を行わない様子を示している。



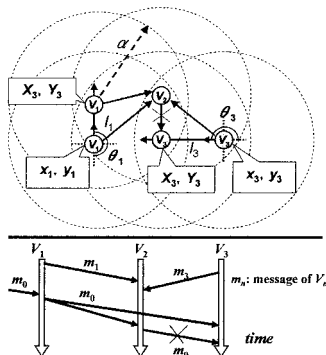


図 2 提案方式のブロードキャスト判別

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、ブロードキャスト転送は行わない。提案方式では既に受信して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。

### 3.3 リンクグループを用いた伝播方法

車両情報の伝播率向上を目指すため、3.2でのメッセージ削減方式に加えてリンクごとに代表車両を決定し、代表車両が信号到達範囲を拡大した状態で周囲のリンクへ収集した車両情報を送信する方式を提案する。提案方式を以下、リンクグループ方式と呼ぶ。

図 3 にリンク代表車両による通信範囲拡大の例を示す。

リンク上では車両は一般車両と代表車両に区別され、新しくリンクに進入した車両を代表車両とする。車両がリンクへ進入すると自身が代表車両であると判断し、前方車両へ代表車両交代メッセージを送信する。代表車両はそのリンクに存在するすべての車両の車両情報をまとめ、リンク代表メッセージを作成する。代表車両は各リンク識別子と進行方向から得られた変数により、送信時刻を設定し、リンク代表メッセージを定期的に送信する。また、代表メッセージにおいてもフラッディングをベースとしたメッセージ送信を行い、代表車両のみによって転送される。また、リンクの判定では交差点と交差点の間の一本の道路を 1 つのリンクとする。

以下に具体的な代表車両の動作を示す。

- ① リンク進入車両は自身が代表車両であると判断し、前方車両へ代表車両交代メッセージを送信する。
- ② リンクごとに定められた送信タイミングで自身が所属しているリンク上に存在する車両情報をリンク代表メッセージとしてフラッディングする。
- ③ リンク代表メッセージを受信した代表車両は周囲の車両へ代表メッセージをブロードキャストする。
- ④ 自身よりもリンク後方から代表交代メッセージを受信したら代表を交代する。

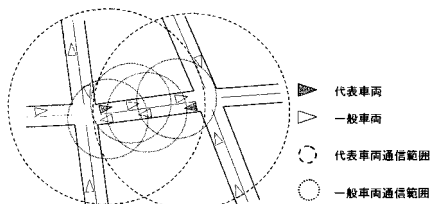


図 3 一般車両と代表車両の通信範囲例

各車両が他のリンクから送られてきた一般車両メッセージや代表メッセージを取得した場合、車両情報は保持するが、ブロードキャスト転送は行わない。また、新しい代表車両が前方へ代表交代メッセージを送る場合、リンクの長さによっては信号が届かない場合があるので同一リンク上に代表車両が複数存在する場合があります。

### 3.4 リアルタイム交通渋滞判別方式

3.2及び3.3で提案した伝播方法を用いて得られた車両情報から、渋滞を判別する方法を提案する。仮に、道路上に存在するすべての車両から車両情報を取得することができれば、車両位置によってリンクの車両密度を測定でき、渋滞を判定することが可能である。しかし、すべての車両が車車間通信機を搭載しているとは限らない。また、車車間通信によって周囲のすべての情報を取得するのは困難である。そこで本研究では車車間通信によって得られた車両の速度、加速度、方向、位置、リンク ID を用いて車車間通信機を搭載していない車両を考慮し、リンク毎の渋滞をリアルタイムに判別する方法を提案する。提案方式を以下、渋滞判別方式と呼ぶ。

リンク上で渋滞要素となりうる車両を以下のように定義する。交通情報の提供における渋滞の車両速度定義は 10km/h 以下であり、渋滞箇所では加速度が低くなるため、速度 10km/h 以下、加速度 5km/h/s 以下の車両が渋滞要素であると定義する。また、リンク出口付近は信号機および右左折車両による停車車両が存在することを考慮し、リンク内の車両位置によって車両情報に重み付けを行なう。進行方向の出口付近の重み付けを低くし、リンクの入り口付近の重み付けを高くする。重み付けパラメータ  $\beta$  を次式で表す。

$$\beta = -P + 1 \cdots (4)$$

$$P = \frac{\text{入り口からの車両位置 [m]} \cdots (5)}{\text{道路長 [m]}}$$

渋滞要素と非渋滞要素は車両位置によってこの重み付けパラメータを判定し、渋滞要素を正 (最大値 1)、非渋滞要素を負 (最小値 -1) としたリンクごとの和を求め、負ならば非渋滞、正ならば渋滞であると判定する。正になった場合、求めた和の数値は渋滞の可能性を表す値として扱う。0 に近ければ渋滞の可能性が低く、大きくなればなるほど渋滞の可能性が高い。図 4 では実際に渋滞要素に正の値、非渋滞要素に負の値を重み付けし、和を求めている。その和は 0.9 となり、このリンクは渋滞であると判断する。

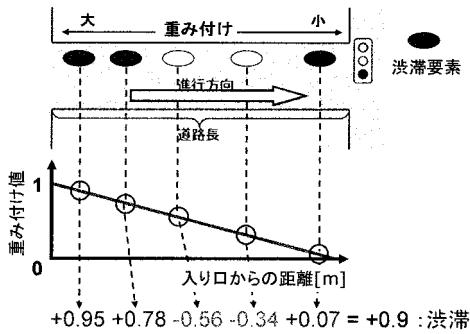


図 4 車両位置による重み付け例

#### 4. シミュレーションによる評価と考察

本研究においては提案交通情報システムを実装、実験するため、コンピュータ上で動作する試作カーナビゲーションの作成を行った。本稿ではこの試作カーナビゲーション上で提案した車両情報の伝播方法と車両情報を用いた渋滞判別方法をシミュレーションし、評価する。

##### 4.1 車両情報伝播シミュレーション

###### 4.1.1. シミュレーション方法

車両情報伝播シミュレーションでは直線道路と実際の電子地図を用いて行い、これらの道路上を移動する車両を配置し、通信範囲を変化させたときの伝播効率を評価する。各シミュレーションの設定を以下に示す。

- (1) 通信シミュレーション設定
- フラッドイング方式、メッセージ削減方式、リンクグループ方式の評価を行う。
  - 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 は行なわない。
  - 衝突の検出はメッセージの受信側で行なう。
  - 送信車両情報の送信には 1ms の時間がかかると想定する。また、送受信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。
  - 各車両の送信間隔は 1 秒間で固定する。
  - フラッドイング、メッセージ削減方式では各車両の電波到達通信範囲をそれぞれ 100, 200, … 1000m とする。
  - リンクグループ方式では一般車両、代表車両双方の通信範囲を 100, 200, … 1000m と設定する。ただし、一般車両の通信範囲 < 代表車両の通信範囲となる設定のみ測定を行う。
  - それぞれの方式で 10 秒間測定する。
  - 電波の減衰率は考慮しない。
  - 測定項目は車両 1 台の平均車両情報伝播率、平均更新回数、平均送信ブロードキャストメッセージ数および平均受信メッセージ数、平均メッセージ衝突率とする。
  - 道路内にいるすべての車両情報を受信対象とする。

図 5 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。赤い部分がメッセージの衝突を表しており、図 4 ではメッセージ  $m_n$  と  $m_l$  が衝突していることを表している。メッセージの衝突判定は受信側で行い、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。

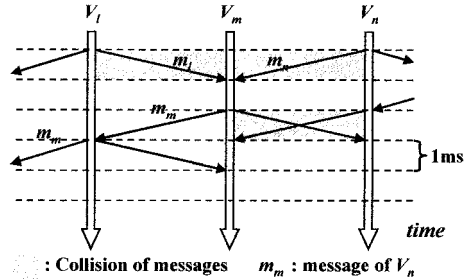


図 5 シミュレーションの送受信モデル

###### (2) 車両挙動のシミュレーション設定

- 直線道路は片側 1 車線、双方向 2 車線の 1km の道路を想定する。
- 直線道路には 200 台の車両をランダムに配置し、直線道路を往復する。
- 実際の電子地図は埼玉県川越市を想定し、車両はこの地図上にランダムに移動する。
- 川越市は約 20km 四方の電子地図であり、3000 台の車両をこの地図上にランダムに配置する。
- 川越市、直線道路共に車両の挙動は OV 模型 (Optimal Velocity Model: 最適速度模型) 15) を用いて車両の加速度を表現する。
- 川越市、直線道路共に車両の最大速度は 60km/h とし、最低速度は 0km/h とする。

図 6 に作成した試作カーナビゲーション実行画面を示す。このカーナビゲーションには埼玉県の地図データ 16) が組み込まれており、現在位置の表示機能、施設検索機能、地図拡大縮小機能、ルート探索機能がある。

図 7 に試作カーナビゲーションから得た川越市の電子地図および車両の配置図を示す。なお、この電子地図は 11077 個のリンクで構成されている。

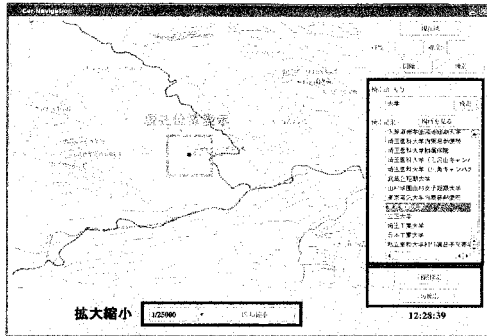


図 6 試作カーナビゲーション実行画面

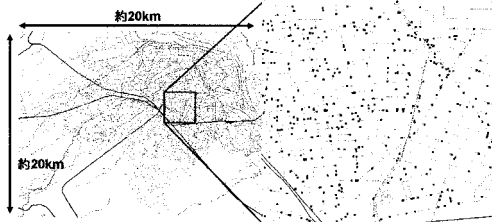


図 7 川越市の電子地図および車両の配置図

#### 4.1.2. シミュレーション結果

フラディング方式、メッセージ削減方式における通信範囲を 100m~1000m と変化させたときの直線道路環境における平均送受信メッセージ数、平均メッセージ衝突率を図 8、平均車両情報更新回数、平均車両情報伝播率を図 9 に示す。

フラディング方式、メッセージ削減方式における通信範囲を 100m~1000m と変化させたときの川越市における平均送受信メッセージ数、平均メッセージ衝突率を図 10、平均車両情報更新回数、平均車両情報伝播率を図 11 に示す。なお、リンクグループ方式については現在作業中であり、発表時に説明予定である。

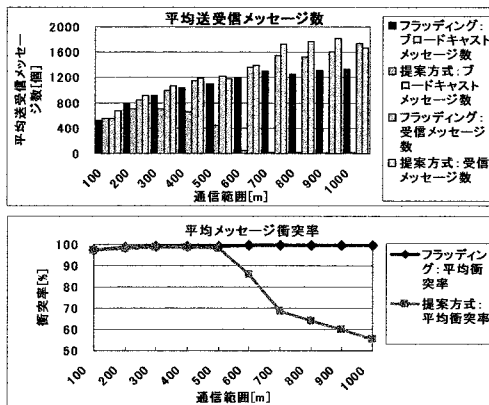


図 8 直線道路における送受信メッセージ数と衝突率

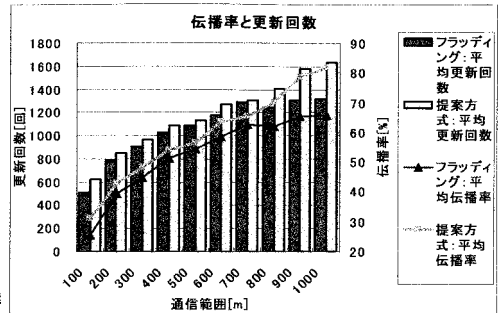


図 9 直線道路におけるメッセージ伝播率と更新回数

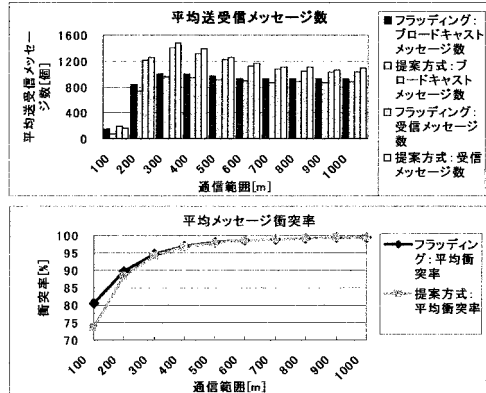


図 10 川越市における送受信メッセージ数と衝突率

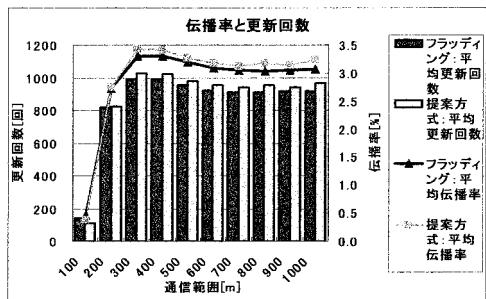


図 11 川越市におけるメッセージ伝播率と更新回数

## 4.2 交通渋滞判別シミュレーション

### 4.2.1. シミュレーション方法

交通流計測のシミュレーションでは交通流シミュレータを構築し、交通流の基本図である交通流(Q)-車両密度(K)曲線を描き、この Q-K 曲線を用いて提案方式とシミュレーションの渋滞、非渋滞計測一致率を比較する。

交通流シミュレータには大きく分けてマクロモデルとミクロモデルが存在する。本研究の提案システムは車両 1 台 1 台の車両の挙動を用いているため、ミクロモデルの OV 模型を用いて交通シミュレータを構築した。OV 模型は前方車両との距離から車の速度が決定

されるモデルであり、以下の設定でシミュレーションを行なった。

- ▶ 走行道路は 1km 直線道路とし、車線数を 1 とした片方向の道路を想定する。図 12 に道路長を 200m としたときのシミュレーション実行画面を示す。
- ▶ 減速車間距離は 17m とし、最大速度を 16.7[m/s] (約 60km/h)、感度を 1.0 とする。
- ▶ 車両を直線に 1, 2, …10 秒間隔で道路へ進入させ、進入間隔は 10 分ごとにランダムで決定する。
- ▶ 交通流の計測地点は入り口から 250m の地点を測定し、5 分間の通過台数と車両密度を測定する。
- ▶ 実際の一般道路と同じように道路出口には信号を設置し、30 秒ごとに赤・青に変化し、赤のときは信号前で停車する。
- ▶ シミュレーションは 100 時間 (サンプル数 1200) 行い、車両の移動時間は 10ms 刻みとする。シミュレーション結果の Q-K 曲線を図 13 に示す。

OV 模型によって描いた Q-K 曲線から得られた、車両密度 66.4 台/km 未満は非渋滞、66.4 台/km 以上は渋滞というデータを真値として、5 分間隔ごとに渋滞判別方式を用いて判別した渋滞、非渋滞の真値との一致率を測定する。また、上記の設定に加え、以下の設定で測定を行なう。

- ▶ 車車間通信機搭載車両を考慮してリンク上の車両情報取得率を 10, 20, …100%まで変化させ、各車両情報取得率における渋滞判別方式を用いたときの渋滞、非渋滞の測定一致率を測定する。
- ▶ 5 分間隔で車両情報を用いた提案方式の交通流計測を行い、Q-K 曲線の渋滞情報と比較する。
- ▶ また、提案方式の重み付け関数の他にステップ関数 ( $\beta=1$  の固定値) および曲線を考慮した次式の関数と比較を行なう。

$$\beta = \frac{(\cos(P \times \pi) + 1) \dots (6)}{2}$$

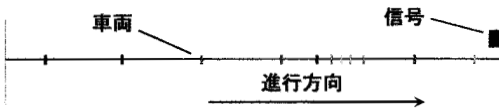


図 12 シミュレーション実行図

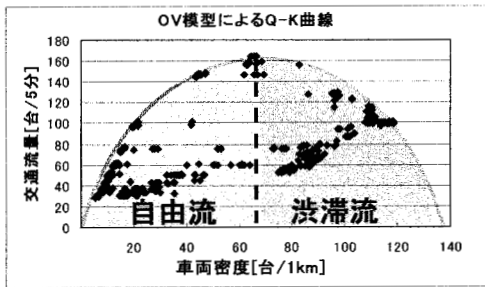


図 13 OV 模型による Q-K 曲線

#### 4.2.2. シミュレーション結果

渋滞判別方式による渋滞判別一致率の評価結果を図 14 に示す。

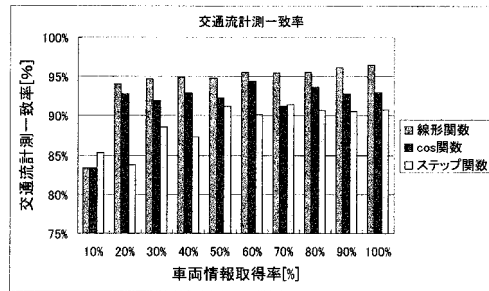


図 14 交通流計測一致率

#### 4.3 評価と考察

車両情報伝播シミュレーションでは、図 8 より、1km の直線道路において通信範囲が 500m まで衝突率は 1% 程度の改善しか見られなかったが、図 9 より通信範囲が 600m を超えると衝突率がフラッディングよりも 10% 以上低下しているのがわかる。これは通信範囲が大きくなり、マルチホップで伝播する範囲が限定され、メッセージ削減方式により無駄なブロードキャストメッセージが大幅に減少したためである。また、それとともなって平均更新回数が向上し、フラッディングよりも約 5%~15% 伝播率が向上した。

川越市のシミュレーションでは車両密度が低く、伝播する範囲が広いため、図 10 よりブロードキャストメッセージの削減は 70 程度と低かったが、ブロードキャストメッセージの削減方式により、図 11 より衝突率は 0.1%~0.5% 程度削減することができ、平均受信メッセージ数も 50~70 程度フラッディング方式より向上した。20km 四方の地図に 3000 台をランダムに配置した場合、車両密度が低く、通信範囲が 100m とした場合ほとんど車両が通信範囲に入らず、送信、受信とも低い値となった。通信範囲が 200m 以上では伝播率が約 3.0% 以上となり、10 秒間という期間でフラッディングよりも高い伝播率を得られた。しかし、直線道路でのシミュレーションと違い、通信範囲を大きくしても伝播率は上昇しなかった。通信範囲を大きくするとそれだけ他の車両の通信範囲と重なりやすくなる。そのため 1ms のスロット分割で行なった通信シミュレーションでは、密集地帯でメッセージの転送タイミングが重複することが多くなり、衝突率が増加すると共に、伝播率は向上しなかった。このことはメッセージ削減方式で 20km 四方の範囲で交通情報を取得するには困難であることを示している。リンクグループ方式では一般車両はリンク内のみで通信し、リンク代表メッセージのみが別リンクへ伝播されていくため、メッセージ衝突の減少、伝播率の改善が期待できる。

交通渋滞判別シミュレーションでは、図 14 の結果より車両情報によってある瞬間の状態から交通流を測定する方法は車車間通信機搭載率が低い状態でも、



80%以上の一致率が見られた。また、リンク入り口付近に高い重み付けを行う提案方式の方がステップ関数と比べても5%程度の一致率の上昇が見られた。また、 $\cos$  関数のように曲線ではなく単純に線形関数を用いた方がより正確な測定結果を得られることがわかった。このことから速度、加速度などの車両情報を用いて交通流の計測を行う方法が有効であることを示し、車両情報が20%以上取得できれば、渋滞の判別を行えることが確認できた。つまり、一定の範囲内で車両情報伝播率が20%以上になれば提案システムは構築可能であるといえる。

## 5. まとめ

本稿では車車間通信によって車両が計測した車両情報を伝播し、受信した車両情報を用いて交通流をリアルタイムに計測するシステムを提案した。車両情報の伝播方法として各車両が秒オーダーで定期的にフラッディングメッセージを送信し、既に受信した車両情報によって転送ブロードキャストメッセージを削減する方法を提案した。並びに、リンクごとに代表車両を決定し、代表車両が信号到達範囲を拡大した状態で周囲のリンクへ収集した車両情報を送信する方法を提案した。実際の電子地図と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、通信距離に応じて伝播率が変化し、提案方式であるメッセージ削減方式の方がフラッディングよりも伝播率を向上させることを確認できた。なお、リンクグループ方式のシミュレーションについては現在作業中であり、発表時に説明予定である。

また、リアルタイムに交通流を計測する方法として、ある時点での車両情報とリンク位置の重み付けによる渋滞判別方法を提案し、評価した。評価ではOVモデルを用いた交通流シミュレータを構築し、提案渋滞判別方式を用いて渋滞、非渋滞の計測一致率を比較した。シミュレーションの交通状況との一致率は取得車両情報が10%であっても80%以上という高い一致率を得ることができ、車両情報の伝播率が十分でなくても渋滞を判別できることを示した。

今後の課題として、任意の車両密度における適切な電波範囲、送信間隔、交通情報提供範囲をシミュレーションにより決定し、作成した試作カーナビゲーションを用いた実装実験を行なっていく予定である。

## 参考文献

- 1) <http://www.its.go.jp/ITS/j-html/whatsITS/9fields.html>, 国土交通省道路局 ITS ホームページ 9つの開発分野
- 2) 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
- 3) <http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/index.html>, 車両・交通システムの安全テクノロジー：自動車総合安全情報
- 4) 堀松 哲夫, "車車間通信システムの標準化検討", 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol.2007, No.2, pp.27-44
- 5) Sadayuki Tsugawa, "Inter-Vehicle Communications and their Applications to Intelligent Vehicles: An Overview", Intelligent Vehicle Symposium, June 17-22, 2004
- 6) Tamer Nadeem, Sasan Dastinezhad, and Chunyuan Liao, "Traffic View: A Scalable Traffic Monitoring System", 2004 IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM), January 19-22, 2004
- 7) 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
- 8) Y.-B. Ko and N. H. Vaidya. "Location-aided routing in mobile ad hoc networks", Mobicom, pp.66-75, 1998
- 9) 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
- 10) 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
- 11) 西村 豪, 小泉寿男, "車両情報量を考慮した車間通信によるリアルタイム交通流計測方式", 情処研報, Vol.2006, No.22, pp.1-8
- 12) 西村 豪, 小泉寿男, 澤本 潤, "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", 情処研報, Vol.2006, No.121, pp.65-70
- 13) 大海健太, 西村 豪, 小泉寿男, 澤本 潤, "リンクグループと車車間通信機搭載率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", 情処研報, Vol.2007, No.28, pp.7-14
- 14) [http://www.enri.go.jp/report/hapichi/pdf2003/11\\_itohk.pdf](http://www.enri.go.jp/report/hapichi/pdf2003/11_itohk.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"
- 15) 杉山 雄規, "交通の物理", ながれ : 日本流体力学会誌, Vol.22, No.2(20030425) pp. 95-108
- 16) <http://www.orkney.co.jp/product/datapack.html>, オークニー GIS データパック