

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

大海 健太[†] 西村 豪^{††} 小泉 寿男[†] 澤本 潤^{†††}

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

†††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高度化が行なわれており、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 プローブ、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 Method based on Inter Vehicle Communication Considering the Link Group and the Loading Ratio of Inter Vehicle Communication Device

Kenta Omi[†] Takeshi Nishimura^{††} Hisao Koizumi[†] Jun Sawamoto^{†††}

†Department of Computers and Systems Engineering, Tokyo Denki University

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

†††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 measure traffic flow 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り、この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

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。現在、ASV (Advanced Safety Vehicle : 安全先進自動車)において車両間通信の開発が進められており、近距離車両の位置情報をカーナビゲーションに表示することによって、安全性の向上を目指している。今後の車両間通信では MANET (Mobile Ad-hoc NETwork) の技術を応用したマルチホップによる情報伝達が検討されており、マルチホップ車両間通信の研究 [3] が行なわれている。また、近年、この車両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 [4] [8] が行われている。

車両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、車両間通信による車両情報の伝播方法と車両情報による交通流の計測方法が必要となる。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 [6] 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。そこで車両間通信による車両情報伝播方法ではすべての車両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 [7] 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 [5] が発生し、メッセージの衝突により、車両情報が伝播されなくなる。また、現在の交通流の計測では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、一定の時間を要する。

筆者らは秒オーダーのリアルタイムで車両情報を各車両が定期的に送信、伝播することによって他車両情報を受信した車両が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、交通の平準化を目指した交通情報システムを提案した。その中で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法を設計し、車両の移動を考慮した車両情報伝播シミュレー

ションによってフラッディング方式よりも密集地帯での伝播率を向上させることを確認してきた [11]。

しかしながら、この車両情報伝播シミュレーションでは車両密度の多い直線道路においてフラッディング方式よりも車両情報伝播率が向上したもの、実際の電子地図で車両密度が低い場合、車両情報の伝播率は十分ではなく、車両密度が低い場合において遠距離へメッセージを伝播させる方法が必要である。本稿では車両情報を用いて無駄なブロードキャストメッセージを削減し、その上で各車両がリンクごとのグループを考慮することによって一般車両の中から代表車両を決定し、代表車両が通信範囲を拡大した信号を送信することによって広範囲に車両情報を伝播させる方法を設計する。また、車両情報を用いた交通流の計測方法を設計し、通信範囲を変化させたときの車両情報の伝播方法および交通流の計測方法をシミュレーションおよび評価する。

2. 関連研究

車両間通信を用いて他車両情報を取得する研究に Traffic View [4] と RMDP (Received Message Dependent Protocol) [8] 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。

これら車両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. 車両間通信によるリアルタイム交通流計測方式

本研究で提案する交通情報システムは各車両が車両間通信を用いることにより、インフラに依存せず、かつ自車両の周辺道路の交通流をリアルタイムに計測し、運転手へ現在の交通状況をカーナビゲーション上に表示す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。

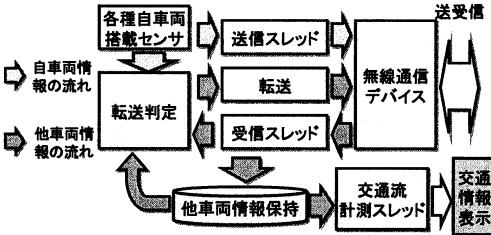


図 1. 提案システム構成図

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、交通流計測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両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交通流の計測方法が必要である。そこで伝播する車両情報、車両間通信による車両情報の伝播方法、交通流のリアルタイム計測方法を設計および定義する。

3.1 伝播する車両情報

本研究において車両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、無線車両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、D-GPSといった高精度位置測定方法があり、車両の位置はcmオーダーの誤差で車両の緯度、経度を得ることができる。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。GPSは位置を測定するだけでなく、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μ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μ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、交通流を測定するときは密度だけでなく、車両の状態を用いて交通流を測定する。また、電子地図から得られたリンク識別子によって車両の現走行リンク箇所を車両情報として送信する。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

| 識別子 | 速度 | 加速度 | 進行方向 | 緯度 | 経度 | 送信時刻 | リンク識別子 |
|-----|----|-----|------|-------|--------|--------|--------|
| 10 | 30 | 5 | 2.45 | 25.44 | 136.44 | 120030 | 102 |
| 11 | 45 | 2.5 | 3.43 | 25.43 | 136.45 | 120040 | 200 |
| 15 | 20 | -5 | 0.03 | 25.45 | 136.39 | 120115 | 230 |

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。また、周囲の車両の車両情報を用いて、交通量を測定するため、測定範囲外のリンク識別子を持つ車両情報は破棄される。

3.2 車両情報の伝播方法

3.2.1 受信車両情報によるブロードキャストメッセージの削減

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に、放送型通信のフラッシュティング方式をベースとし、既に受信した車両情報を用いてブロードキャスト転送制御を行う方法を設計する。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ッシュテ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。そのためMANETにおけるブロードキャストの効率化の研究[9]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、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。

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、時刻を車両間通信を用い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。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_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。

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

また、経線をy軸、緯線をx軸とし、車両 V_n の進行方向を θ_n [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。

$$X_n = x_n + l_n \cos\theta_n \quad \dots (2)$$

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

プ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、メッセージをプ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 の情報は既に受信して保持しているものとし、プ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。

$$\sqrt{(X_m - X_n)^2 + (Y_m - Y_n)^2} \leq \alpha_n \text{ または}$$

$$\sqrt{(x_l - X_m)^2 + (y_l - Y_m)^2} > \alpha_l \quad \dots (3)$$

図 2 に既に 1 ホップ内の車両情報を受信している状態で他車両が送信車両の送信範囲内に存在するか判定し、プロードキャスト転送しない例を示す。

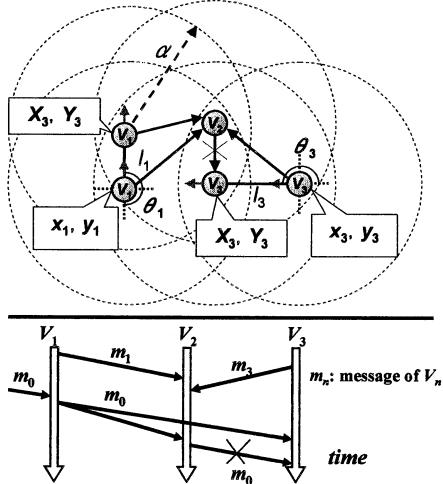


図 2. 提案方式のプロードキャスト判別法

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、プロードキャスト転送は行なわない。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、プロードキャスト判定を行なう。プ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プロードキャストの判定を行なう。

3.2.2 リンクグループを用いた伝播方法

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する。図 3 にリンク代表車両による通信範囲拡大の例を示す。

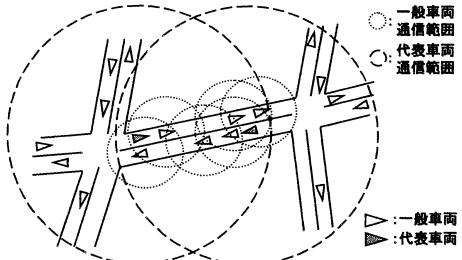


図 3. 一般車両と代表車両の通信範囲例

リンク上では一般車両と代表車両に区別され、代表車両は新しくリンクに進入した車両が代表車両となり、リンクへ進入するたびに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、リンク毎に定期的に送信する。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。以下に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プ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。

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を取得した場合、車両情報は保持するが、プロードキャスト転送は行なわない。また、新しい代表車両が前方へ代表交換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 2 台存在する場合がある。

3.3 リアルタイム交通流計測方法

一般に交通流では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は減少していく。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できるが、すべての車両が車両間通信機を搭載しているとは限らない。また、リンク上のセンサによる交通流の計測では計測箇所を通過するすべての車両を計測することができるため、交通流を特定できるが、一定時間の計測が必要である。そこで本研究では車両の速度、加速度、方向、位置を用いて車両間通信機を搭載していない車両を考慮し、保持している車両情報からリアルタイムに交通流

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 α を次式で表す。

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

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

また、図 4 にリンク位置による重み付け例を示す。

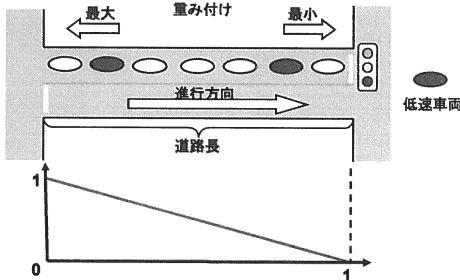


図 4. リンク位置による重み付け例

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、非渋滞要素を負としたリンクごとの総和を求め、正ならば渋滞、負ならば非渋滞であると判定する。リンク上の車両情報が取得できず、0 となった場合、リンクの車両密度が低いと予測できるため、非渋滞であると判定する。また、計測した渋滞情報は VICS と同様に渋滞が起きているリンクの横に赤矢印で表示する。

4. シミュレーションおよび評価と考察

本研究室で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を作成している。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交通流計測方法をシミュレーションし、評価する。図 5 に試作カーナビゲーション実行画面を示す。



図 5. 試作カーナビゲーション実行画面

4.1 車両情報伝播の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) 通信シミュレーション設定
- 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 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。
- 各車両の電波到達通信範囲をそれぞれ 100, 200, … 1000m と固定し、固定した送信間隔で 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。
- フラッディング方式と車両情報を用いたブロードキャストメッセージを削減する提案伝播方式の評価を行う。
- 道路内にいるすべての車両情報を受信対象とする。

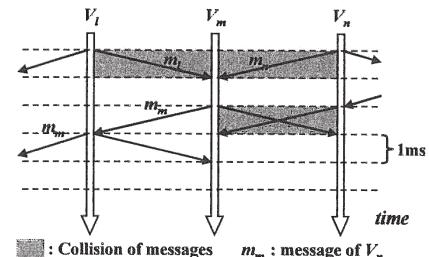


図 6. シミュレーションの送受信モデル

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。

(2) 車両移動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、車両はこの地図上を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。
- 車両の挙動は OV 模型 (Optimal Velocity Model: 最適速度模型) [10] を用いて車両の加速度を表現する。
- 車両の最大速度は 60km/h とし、最低速度は 0km/h とする。

図 7 に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。

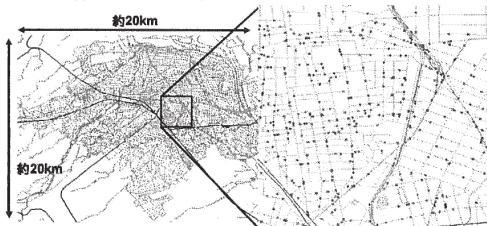


図 7. 川越市の電子地図および車両の配置図

4.2 車両情報伝播の評価と考察

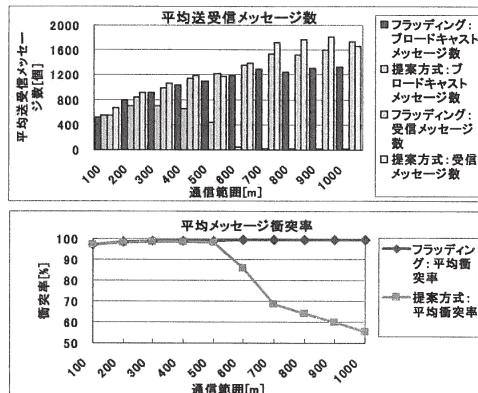


図 8. 直線道路における送受信メッセージ数と衝突率

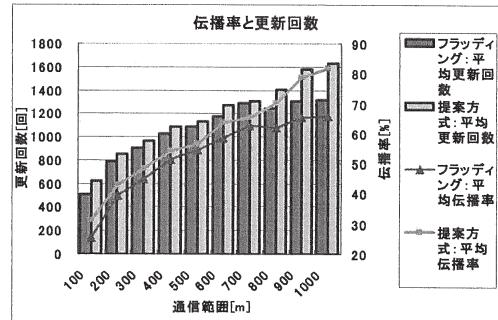


図 9. 直線道路におけるメッセージ伝播率と車両情報更新回数

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。

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、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、提案方式により無駄なブロードキャストをする車両が大幅に減ったためである。また、それによって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。

通信範囲を 100m～1000m と変化させたときの川越市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 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。

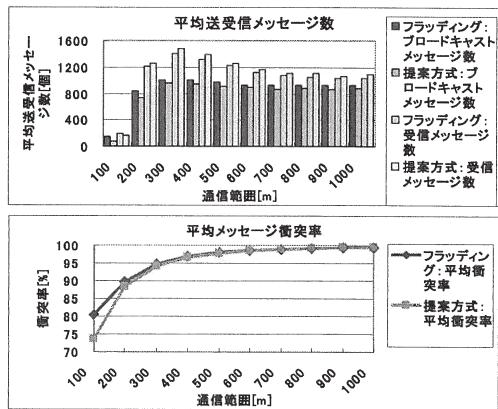


図 10. 川越市における送受信メッセージ数と衝突率

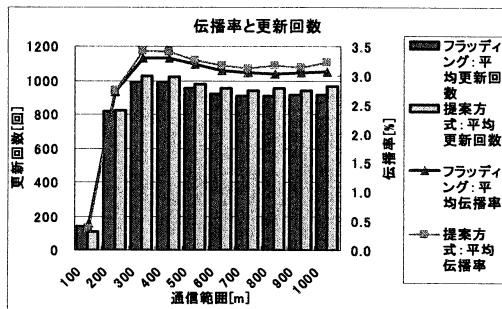


図 11. 川越電子地図におけるメッセージ伝播率と車両情報更新回数

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 度程と低かったが、ブロードキャストメッセージの削減により、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 とした場合はほとんどの車両が通信範囲に入らず、送信、受信とも低い値となった。渋滞は局所的に発生するため、十分な通信範囲の確保が必要であると考える。通信範囲が 200m 以上では伝播率が約 3.0% 以上となり、提案方式は通信開始時に転送を行なわないにも関わらず、10 秒という短い時間でフラッディングよりも高い伝播率を得ることができた。また、通信範囲が 1km においても伝播率は 3.0% 以上得られることができ、通信範囲を拡大した代表ノードが存在した場合でも伝達率向上させることができると期待できる。

4.3 交通流計測の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簡易的な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計測の一一致率を比較する。

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 分間の通過台数と平均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。

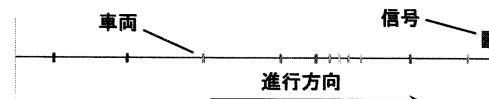


図 12. シミュレーション実行画面

また、シミュレーション結果の Q-K 曲線を図 13 に示す。

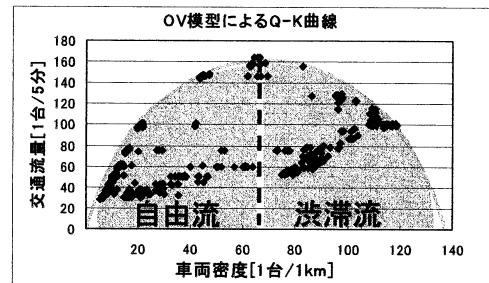


図 13. OV 模型による Q-K 曲線

OV 模型によって描いた Q-K 曲線を用いて自由流、渋滞流を判別し、5 分間隔ごとに車両情報を用いた交通情報の一一致率を測定する。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% まで固定させ、各搭載率における交通情報一致率を測定する。
- 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 ($\alpha=1$) および曲線を考慮した次式の関数と比較を行なう。

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

4.4 交通流計測の評価と考察

交通流計測一致率の評価結果を図 14 に示す。

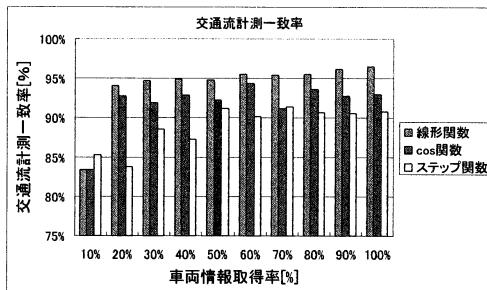


図 14. 交通流計測一致率

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法の方がステップ関数と比べても 5%程度の一一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、車両間通信機を搭載していない車両を考慮して交通流を計測できることが確認でき、提案方式の関数を用いることによって高い一致率が得られることがわかった。

5.まとめと今後の研究

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プロードキャストメッセージを削減する方法を設計した。また、代表車両を決定することによって車両情報を広範囲へ伝播させる方法を設計した。シミュレーションでは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。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って車両密度を考慮しない交通流計測方法を設計、評価した。評価では OV 模型を用いた交通流シミュレータを構築し、提案交通流計測方式を用いて交通流の計測一致率を比較した。

実際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た。

今後は本研究室で作成したコンピュータ上で動作する試作カーナビゲーションを用いて小規模な実装実験を行なっていきたい。

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] Sadayuki Tsugawa, "Inter-Vehicle Communications and their Applications to Intelligent Vehicles: An Overview", Intelligent Vehicle Symposium, June 17-22, 2004
- [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] 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] Peter Davis, Satoko Itaya, Jun Hasegawa, Akio Hasegawa, Naoto Kadokami, Akira Yamaguchi, Sadao Obama, "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
- [8] 塚本淳, 斎藤正史, 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
- [9] Williams, B. and Camp, T.: "Comparison of Broadcasting Techniques for Mobile Ad Hoc Networks", MobiHoc 2002, pp. 194-195, June 2002
- [10] 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
- [11] 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", 情報研報, Vol.2006, No.121, pp.65-70