

渋滞緩和を目的とした車車間通信による混雑状況の伝播方式

寺内 隆志[†] 柴田 直樹^{††} 安本 慶一[†] 東野 輝夫^{†††} 伊藤 実[†]

[†] 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 〒630-0192

^{††} 滋賀大学 経済学部 情報管理学科 〒522-8522 馬場1丁目1-1

^{†††} 大阪大学 大学院情報科学研究科 〒565-0871 山田丘1-5

E-mail: [†]{takash-t,yasumoto,ito}@is.naist.jp, ^{††}shibata@biwako.shiga-u.ac.jp,

^{†††}higashino@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし 本研究では、車車間通信による情報交換とカーナビゲーションシステムの経路案内機能を連動させることで、全体として渋滞が緩和するよう各車両に経路案内を行う事を目的として、混雑情報の生成及び、伝播を行う方式を提案する。提案手法では、各地域をエリアに分割しエリア毎に車両の通過時間を集計し、これを混雑情報とする。また、車両が目的地に到達するまでの経路上の渋滞状況を取得できるようにするため、どのエリアに対しどの程度の情報取得必要があるかを、各車両から送られた通過予定経路をもとに集計し、これをもとに各エリアで集計した混雑情報を、その情報に対する需要のあるエリアにまで伝播させる。提案システムの一部を実装し、NETSTREAMを用いてシミュレーション実験を行った結果、車車間通信を用いた統計情報の作成・交換が十分に可能であるということを確認した。

キーワード 車車間通信, アドホックネットワーク, カーナビゲーションシステム, 渋滞緩和

A propagation method of congestion information using inter-vehicle communication for alleviation of traffic jam

Takashi TERAUCHI[†], Naoki SHIBATA^{††}, Keiichi YASUMOTO[†], Teruo HIGASHINO^{†††}, and
Minoru ITO[†]

[†] Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science Technology, 630-0192

^{††} Department of Information Processing and Management, Shiga University, 1-1-1 Bamba, 522-8522

^{†††} Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University, 1-5 Yamadaoka, 565-0871

E-mail: [†]{takash-t,yasumoto,ito}@is.naist.jp, ^{††}shibata@biwako.shiga-u.ac.jp,

^{†††}higashino@ist.osaka-u.ac.jp

Abstract In this paper, we propose a method to aggregate and propagate congestion information on roads using inter-vehicle communication, aiming at alleviating traffic jam by sharing information between cars equipped with navigation systems. In the proposed method, we divide the target area on the map into sub-areas so that statistic information on each sub-area such as average and maximum time to pass the area is aggregated and calculated by inter-vehicle communication. In order to allow each car to efficiently obtain congestion information of sub-areas through which the car is going to pass, the proposed method makes each car to aggregate demand information for each sub-area by inter-vehicle communication. Based on the aggregated demand information, the information on the sub-areas with higher demand are propagated at higher probability toward the cars which are willing to obtain the information. We have implemented part of the proposed method, and conducted simulations using NETSTREAM. As a result, we confirmed that the proposed method is useful enough for practical use.

Key words inter-vehicle communication, adhoc network, car navigation system, alleviation traffic-jam

1. はじめに

現在、日本をはじめとする様々な国において、大都市での交通渋滞は大きな問題になっている。国土交通省によると、渋滞による損失は日本全国で年間約 38 億時間、金額にして約 12 兆円と試算されている [1]。

渋滞が発生する地域では、目的地までの経路上の渋滞状況や到着予想時刻を正確に把握するための交通情報に対する要求は高まっており、様々な方法が検討され、提供されている。VICS [2] は FM 多重放送や各種ビーコンを用いた渋滞情報を提供するシステムであり、市販のカーナビゲーションシステムを介して、渋滞情報を表示したり、渋滞している道路を避けた経路探索が可能である。しかし、VICS は情報を一度センターに集め、情報処理・編集等を経て配信が行われるため、受信情報にタイムラグが生じること、渋滞情報を受けた各車両が一斉に経路変更を行うと新たに違う経路で渋滞が発生しうること、費用対効果の関係から主要幹線道路にしか設置されないこと等の問題がある。パイオニアは、HDD を搭載し、渋滞予測機能を持つナビゲーションシステム「サイバーナビ」[3] を発売している。サイバーナビは、HDD に地図情報に加え各道路の過去の渋滞情報を搭載しており、この情報と VICS から得られた情報を用いて、渋滞予測をおこない、案内する経路の計算に反映させる。しかし、VICS と過去の統計情報を用いているため、VICS 対応エリア外での突発的な渋滞や地図情報の変更などには対応できないといった問題がある。自動車を移動体の交通観測モニタリング装置と捉え、きめ細かな交通流や交通行動、位置情報、車両挙動さらには気候や自然に係わる状況をモニタリングするプローブカーに関する研究が行われている [4]。これらは主に情報収集の研究であり、渋滞回避を直接の目的とするものではない。また、近年、インフラを必要としない車車間通信により車両間で情報交換を行う方法が注目されてきた。文献 [5]～[8] では、周辺の道路状況などを車車間通信によって伝達するためのプロトコルが提案されている。文献 [7]、[8] では、交通流シミュレータ NETSTREAM [9] を用いたシミュレーションにより、現実的な自動車の動きを考慮した効率よい車車間プロトコルが考案されている。また、[8] では、車車間の密度に応じたパケットの衝突を考慮し、情報伝達率を向上させたプロトコルが考案されている。しかし、これら従来の車車間通信プロトコルでは、単純な情報を比較的近距离に配布することを目的としており、広いエリアでの渋滞状況、目的地への到着予想時刻を正確に把握することに使用することは難しい。

上記の問題に対し、我々は、文献 [10] において、車車間通信による情報交換とカーナビゲーションシステムの経路案内機能を連動させることで、各車両が目的地へ向かう経路上の渋滞箇所を把握し、それを回避する新たな経路を協調して算出することで、渋滞の緩和を行うことを目的とする方式の提案を行った。本方式は、(1) リンク (道路) ごとの混雑状況 (平均通過時間) の収集と集計、(2) 集計情報の車車間での伝播、(3) 渋滞を回避する経路の算出、からなる。

本稿では、上記 (1) の機能について詳細な設計および実装を

行った。提案手法では、まず、対象区域を「エリア」と呼ばれる部分領域に分割し、各エリアごとにそのエリアを通過する時間を集計する。この時、信号の右折、左折による待ち時間などが経過時間に含まれるようにするため、各エリアへの入リンク、出リンクの組み合わせごとに、そのエリアを通過した車両のエリア通過時間を車車間通信により交換、集計する。その際、車両 ID に基づくハッシュ値を用いて、同じ車両のデータが、同じ統計データに何度もカウントされることの無いよう工夫を行った。以上の機能を、交通流シミュレータ NETSTREAM [9] 上へ実装し、性能評価を行った。実験の結果、提案方式により、混雑状況の収集が実用的な精度で行えることが確認できた。

2. 提案方式の概要

本章では、我々が文献 [10] で提案した車車間通信による渋滞緩和方式にベースに、本稿で拡張した方式についてその概要を述べる。

2.1 基本方針

提案手法の目的は、VICS のように地上のインフラを用いることなく、各車両が備える近距離無線装置、GPS、およびナビゲーションシステムのみを用いて、車車間通信により、渋滞を避ける経路を算出するために必要な情報を取得することである。

提案手法では、各車両は、以下の機能を有するカーナビゲーションシステムを搭載していると仮定する。

- IEEE802.11g 規格の無線 LAN 装置
- GPS
- 20GB 程度の利用可能な領域を持つ HDD
- 地図データを納めたメディアとドライブ

ただし、道路を通行している全ての車が上記のシステムを搭載している事を仮定しているのではなく、自動的に各地域を通行している車のうち提案システムの普及率を推定し、普及率に応じた経路を案内する事を目標とする。

提案方式では、各リンク (道路) を通過するのに必要な時間を元に、目的地までの経路に含まれるリンクの通過時間の和を算出し、この時間ができるだけ少なくなるような経路を選ぶようにすることを基本方針とする。そのため、(1) 各リンクの通過時間の統計情報を常に保持できること、(2) あるリンクの統計情報は、それを必要とする車両が効率よく取得できること、が必要である。

2.2 節では、上記 (1) を実現する方式を、2.3 節では、上記 (2) を実現する方式について述べる。

以後、対象区域の道路網はグラフとして与えられると考え、交差点をノード、交差点間の道路をリンクと表現する。また、情報を効率よく管理するため、図 1 に示すように、対象地域を数百メートル四方の「エリア」と呼ばれる部分領域で区切ることとする。各エリアには ID が割り振られるものとする。分割の粒度は道路の密度や形状等に応じて変更する。各車両が備えるナビゲーションシステムには、エリアへの分割情報および各エリアの ID が、あらかじめ与えられているとする。

2.2 各リンクの通過時間に関する統計情報の収集と維持

各リンクの通過時間の統計情報は、(1) 各車両がそのリンク

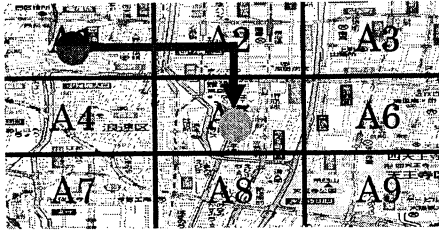


図1 対象地域のエリアへの分割

を通過した時間の収集および集計、に加え、(2)エリア毎の通過時間の収集・集計、により作成することとする。(2)を行うのは、単純にリンクの通過時間の和から、目的地までの所要時間を算出するのではなく、リンクをまたがる際の右折、左折、信号待ちなどの時間を考慮に入れるためである。

各リンクの通過時間の測定

車両がノードを通過した時、GPSの位置情報からノードを通過したことがわかる。この時、前にノードを通過した時刻の差分からリンクの通過にかかった時間を求める。リンクの通過にかかった時間は、信号での停車時間も含める。GPSの測位誤差により、赤信号で停車しているか、交差点直後で停車しているかわからない可能性があるが、渋滞時を除き、交差点直後で停車することはほぼありえないと考え、ノードの周辺10m以内で停車した場合は、赤信号の停車として扱う。

エリア毎の通過時間の集計

ノードの通過時に、GPSの位置情報からエリアの判定を行い、通過したノードが1つ前に通過したノードと違うエリアである場合、エリアの通過にかかった時間を作成する。エリアへ到達したリンクと、エリアから出たリンクの組み合わせ毎に通過時間を集計する。

各エリアの統計情報の管理および維持は、該当エリア、又は隣接するエリアにいる車両が行う。該当エリアとその隣接エリアにいる車両は、全て統計情報の管理と維持を行う。エリアを通過した別の車両が作成したエリア通過時間の情報を受け取ると、各車両は、保持している該当エリアの統計情報を追加、更新する。各車両は該当エリアから離れる前に、車車間通信により該当エリアまたはその隣接エリアにいる車両に、保持している統計情報を受け渡す。該当エリアを離れた車両は、該当エリアに対して保持している統計情報を破棄する。本方式の実装の詳細は、3章で述べる。

2.3 需要に基づいたリンクの統計情報の伝播

前節で述べた方法で収集した各エリアの混雑情報(通過時間)に関する統計情報は、これからそのエリアを通過する可能性のある車両に伝播される必要がある。そのため、各エリアの統計情報をパケットリレー方式で伝播させるが、情報を全ての方向に均等に伝播させると、速くに情報を伝播させるのに、より多くの時間がかかることが分かっている[7]。提案方式では、各エリアごとに、どのエリアの情報に対しより多くの需要があるか、統計情報を作成し、この情報に従って、需要の多いエリアの情報を重点的に伝播させる。

具体的には、以下の方式で需要情報を収集・集計し、伝播させる。

統計情報の作成

まず、エリア毎に、周辺の車両の現在地と目的地へ至るまでに通過予定のエリアの集合を収集し、需要情報を生成する。各車両は、現在地と目的地へ至るまでに通過予定のエリアの集合を周辺車両に対してブロードキャストし、その情報を受信した車両は自分の保持している需要情報とマージする。その際、3章で述べる方法と同様の方法で、重複して情報が処理されるのを回避する。

各エリアに対しどのエリアからどれだけの情報需要があるかを示す表を作成する。例えば、図1において、エリアA1にいる車両C1がエリアA2、A5を通過予定であるとき、表1(a)のように、A1の行の列A2、列A5と、A2の列のA5のエントリを1にした需要表を作成する。また、車両C1が、エリアA1にいる別の車両C2からC2が今後エリアA2を通過してエリアA3に向かうという情報を受け取ったとする。この時、C1は表1(b)に示すように、A1の列のA2、A3と、A2の列のA3のエントリを1増やした表に需要表を更新する。広範囲に及ぶエリア群に対し、このような情報を保持すると、情報量が大きくなる。そこで、提案手法では、各車両の現在地に近いエリアの情報はそのまま扱い、遠いエリアの情報に関しては、複数のエリアをまとめて扱う。現在地から遠くなるほど、多数のエリアをまとめて扱うことで、情報量が增大することを避ける。以上の操作を繰り返すことにより、車両が今後どのエリアの情報が必要とするのかを表す需要情報が作成され伝播される。

表1 需要情報の作成

(a) 情報受信前の需要表
通過エリア

AreaID	A1	A2	A3	A4	A5
A1	-	1	0	0	1
A2	0	-	0	0	1
A3	0	0	-	0	0
A4	0	0	0	-	0
A5	0	0	0	0	-

(b) 情報受信後の需要表
通過エリア

AreaID	A1	A2	A3	A4	A5
A1	-	2	1	0	1
A2	0	-	1	0	1
A3	0	0	-	0	0
A4	0	0	0	-	0
A5	0	0	0	0	-

需要情報を使った統計情報の伝播

このように収集・集計した需要情報をもとに、各エリアの統計情報を以下の手順で需要の高いエリアに伝播させる。まず、あるエリアの統計情報を保持している車両は、需要情報を受け取ると、統計情報と需要情報を周辺の車両に定期的を送信する。

これらを受け取った車両は、自分の予定経路が需要のあるエリアの一部に含まれる場合は、そのまま保持し、そうでない場合は放棄する。また、保持する場合は、その後移動中に、定期的に周辺車両に送信する。一般に、各車両は複数のエリアの統計情報を保持し伝播させる必要がある。各車両が1回の通信で全てのエリアの統計情報を送信するのは不可能なので、各エリアの渋滞状況と需要の高さをもとに、各エリアに関する情報を送信する確率を決定する。混雑しているエリア（すなわち、平均通過時間が長いエリア）の統計情報ほど、また、需要の高い情報ほど高い確率で送信されるようにする。

3. エリア毎の混雑状況の集計

2章で述べたように、各リンクに対して通過時間の情報を持つだけでは、右左折直進の違いによる通過時間が区別されない。そこでエリアごとの集計にしたいが、単純に、エリア毎の通過時間を集計すると、どの経路に対しての情報かがわからない。そこで、提案手法では、エリアに入ったリンク（入リンク）と出たリンク（出リンク）の組み合わせのそれぞれに対して、エリア通過時間を集計することとする。

図2において、点線がエリアの境界であるとする。図中央のエリアにおいて、エリアをまたぐリンクは、 α 、 β 、 γ 、 δ 、 ϵ の5つある。このエリアを通過する組み合わせは、これらのいずれかを入リンク、出リンクとする、合計 $5 \times 4 = 20$ 通りの組み合わせが存在する。提案手法では、これらの組み合わせそれぞれについて、通過時間の統計情報を収集・集計することとする^(注1)。

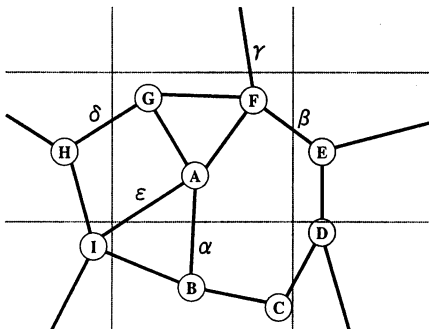


図2 エリア通過の例

ある車両が新しいノード n に到達した時、 n の所属エリア A_1 が、直前に通過したノードの所属エリア A_2 と違っていた場合、先ほどまでいたエリア A_2 の通過時間が分かる。従って、車両はこのタイミングでエリアの通過時間の情報を更新する。

例えば、図2において、車両が H-G-A-B という経路を通過する場合、ノード G に到達した時点で図中央のエリアに入ったことが識別できるので、この時、入リンクとしてリンク H-G を記録し、リンク H-G の G のエリアと H のエリアに含まれ

る長さの比で、リンクの経過時間を比例配分し、現在時刻から後者の時間を差し引いた時刻を、このエリアへの進入時刻（前のエリアからの退出時刻）として記録する。また、車両がノード B に到達した時点で、エリアが変わったことが分かるため、outlink としてリンク A-B を記録し、リンク A-B のそれぞれのエリアに属している長さに応じて経過時間を比例配分し、B の側の時間を現在時刻から差し引いた時刻をエリアからの退出時刻とし、この値とエリアへの進入時刻の差分からエリアの通過時間を計算する。同時に生成した情報をブロードキャストする。この情報を基に統計情報の生成を行う。

すぐに統計情報を更新すると、車車間通信を通して一部の情報が重複して処理されてしまう可能性がある。この問題を避けるため、提案方式では、統計情報とともに、最近処理した車両の ID と時間から生成されるハッシュ値と、対応するエリア通過時間のデータをいくつか保持しておく。

具体的には、各車両は新しいエリアに到達するたびに、エリア通過データと呼ばれる情報を生成し、ブロードキャストする。エリア通過時間のデータは、以下に示す6項組である。

(AreaID, inlinkID, outlinkID, PTT, PCT, Tag)

AreaID はエリアの番号である。inlinkID, outlinkID はエリアに到達したリンクと、エリアから出たリンクの ID である。PTT はエリア通過にかかった時間で、PCT はエリア終端の通過時刻である。Tag は車両 ID および現在時刻から生成されるハッシュ値である。

エリア通過データを生成あるいは受信した各車両は、生成あるいは受信したデータのハッシュ値を、自身が保持しているエリア通過時間データリストの各データのハッシュ値と比較し、どれとも一致しないときに限り、そのデータをリストに追加する。どれかと一致する時は、重複受信となるため、データを放棄する。そして、リストが更新されるたびに、リストの全ての情報を車車間通信でブロードキャストする。

エリア通過データリストの増大により、送信すべき情報量が増えるのを避けるため、各車両が保持するリストのエントリ数が与えられた閾値 C (10 程度) になったときに、これらのデータから統計情報を生成する。

統計情報は、以下の6項組の集合である。

(AreaID, inlinkID, outlinkID, PTT, PCT, hash)

ここで、AreaID はエリアの番号、inlinkID, outlinkID はエリアへ到達したリンクと次のエリアへ到達したリンクの ID である。PTT は、AreaID のエリアに inlinkID から入り、outlinkID から出た車両の通過時間の平均値である。PCT は日の分類と時間帯の ID である。hash は、統計データの元となったエリア通過データリストのハッシュ値の集合から計算されるハッシュ値である。

なお、既に統計情報を持つある (areaID, inlinkID, outlinkID) の組に対し、エリア通過データの数が C を超え、新たに統計情報が生成される際には、重複防止のため、新たな統計情報は既存の統計情報にマージされず、統計情報のリストとして保持

(注1)：図は説明のため簡単な地形となっているが、エリアの大きさ、リンクの密度により、実際にはもっと多数のリンクが含まれることになる。

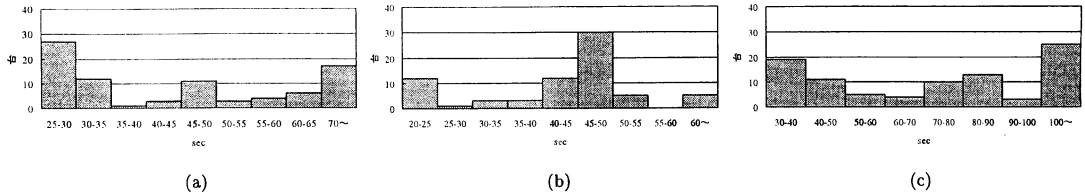


図3 車両が作成した全情報の分布

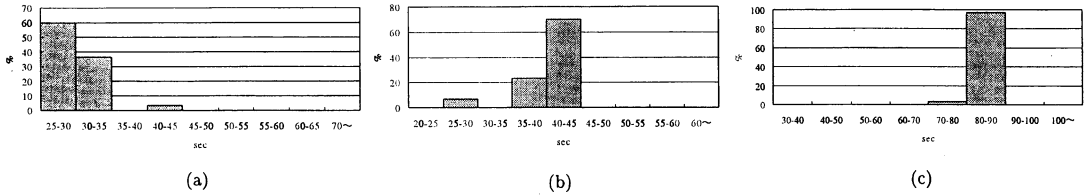


図4 車車間通信により集められた情報の分布

される。そして、リストの統計情報は、新たな時間帯になると全てマージされ、以後一つの統計情報として保持される。

各車両は、保持しているエリア通過時間データのリストと統計情報全てを、一定時間(5秒程度)毎にブロードキャストする。このデータを受け取った車両は、ハッシュ値を照合して、保持していないデータに関しては、追加する。また、上記の場合と同様に、交換したエリア通過時間データの数が閾値に達した場合、統計情報を生成する。この時、既に所持する統計情報の中に生成した統計情報と同じハッシュ値のものがあればその情報は破棄される。

4. 実験

提案手法のうち、4章で述べた部分に関して、交通流シミュレータ NETSTREAM [9] を用いてシミュレーション実験を行った。NETSTREAM は豊田中央研究所で開発され、車両の規制速度や車線数を道路ごとに変更設定することなどが可能で交通量の概算などが行える。

4.1 シミュレーション設定

実験に用いたパラメータは、フィールドサイズが約 1.2km × 1.2km、エリアの大きさが 400m × 400m、ノード数 21、リンク数 78 とした。また、車車間通信の到達半径は 100m、統計情報をブロードキャストする間隔は 5 秒/回、最高車両速度は 16.6m/s (60km/h)、統計化を行う閾値 $C=10$ とし、30 分間のシミュレーションを行った。この間各車両は 1 秒に 1 回自車位置情報等のデータを出力し、その位置情報に基づいて車車間通信を擬似的に行わせた。なお、発生車両数は 1000 台とした。

4.2 統計情報の評価

あるエリアに注目し、入リンクと出リンクの組ごとに、エリアの通過時間の統計情報がどのように作成されているかを調べた。なお、入リンク、出リンクの組の総数は、本実験では 46 であった。

まず、シミュレーション時間中、エリアを通過した全ての車両により作成された通過時間情報を収集した。結果の分布を図 3 に示す。なお、車車間通信により、ある車両がこれらの情報

を全て取得するのは実際には無理である。次に、30 分経過時点でシミュレータ上に存在する車両 30 台をランダムに選び、その車両が所持している統計情報の抽出を行った。結果を図 4 に示す。なお、これらの図において、横軸はエリアの通過時間、縦軸は該当する経過時間を要した台数を表している。また、図の 3, 4 の (a) は、各車両が比較的スムーズに走行し、エリア通過時間が全体的に最小通過時間に近い値が多かった(入リンク、出リンク)の組における通過時間の分布である。同様に、(b) は、エリア通過時間が全体の平均値に近い値のものが多かった(入リンク、出リンク)の組における通過時間の分布であり、(c) はエリア通過時間が最長通過時間に近い値が多かった(入リンク、出リンク)の組における分布である。

表 2 に図 3(a), (b), (c) の実際の車両の通過台数、最小通過時間、最長通過時間を示す。また、表 3 に、全車両の平均通過時間、車車間通信で得られた統計情報における平均通過時間を示す。

この 3 組のデータの、図 3 と図 4 の (a)~(c) の通過時間の分布、および表 3 に示す通過時間の全体の平均値と車車間通信で得られた統計情報における平均値を比較すると、提案手法を用いた時、車両が収集・作成した統計情報は平均値ではなく、より最頻値に近くなっていることが分かる。これは、3 章で述べた工夫を行っても、未だ統計情報の重複カウントが発生してお

表 2 各リンクペアの通過時間に関するデータ 1

(in,out)link	全車両数(台)	最小時間(sec)	最長時間(sec)
(a)	82	27.0	71.0
(b)	70	21.0	93.0
(c)	90	30.0	138.0

表 3 各リンクペアの通過時間に関するデータ 2

(in,out)link	全体平均	統計平均	全体の最頻値
(a)	43.4	29.6	27.5
(b)	43.7	44.9	47.5
(c)	73.3	84.8	105

単位は全て (sec)

り、少数派の車両の通過時間より、多数派の車両の通過時間のほうがより統計情報に影響を与え易くなっているためである。しかし、これにより、何らかの理由で数台の車が周りとは比べ不規則な動きをした場合でも、それが統計情報の品質に悪影響を与える割合も低くなると言った副次的な利点も得られている。重複の完全な除去は今後の課題である。

5. ま と め

本稿では、渋滞緩和を目的とした車車間通信による道路の混雑情報の収集・集計方式の提案を行った。提案手法の一部を実装し、シミュレーションを行った結果、車車間通信を用いて、混雑情報を収集して統計化し、伝播することが十分に実用可能であることが確認できた。今後の課題として、提案方式の完全な実装と、より現実に近い道路網および交通状況を対象としたシミュレーション実験が挙げられる。

謝 辞

本研究を実施するに当たり、交通流シミュレータ NETSTREAM を使用する許諾をいただきました。株式会社豊田中央研究所、ならびに、助力を頂戴している同研究所の寺本英二氏、北岡広信氏、森博子氏に深く感謝いたします。

文 献

- [1] 国土交通省, "全国の渋滞状況",
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/data/jutai/index-d.html>
- [2] 国土交通省, "VICS のシステム概要",
<http://www.its.go.jp/etcvics/vics/>
- [3] 株式会社パイオニア, "HDD[サイバーナビ]",
<http://www.hdd-cybernavi.com/lineup/index.html>
- [4] 岩橋努, 澤本潤, 樋口博, 台藤浩之, 渡辺尚: "車車間通信を利用した Positionics 適用プローブカーによる交通情報システム", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2004) シンポジウム, pp.501-504, July 2004.
- [5] Bo Xu and Ouri Wolfson: "Opportunistic Resource Exchange in Inter-vehicle Ad-hoc Networks", 2004 IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM 2004), January 2004.
- [6] Tamer Nadeem, Sansan Dashtinezhad and Chunyuan Liao: "Traffic view: A Scalable Traffic Monitoring System", 2004 IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM 2004), January 2004.
- [7] Masashi Saitou, Mayuko Funai, Takaaki Umedu and Teruo Higashino: "INTER-VEHICLE AD-HOC COMMUNICATION PROTOCOL FOR ACQUIRING LOCAL TRAFFIC INFORMATION", Proceedings of the 11th World Congress on ITS, CD-ROM 4066.pdf, November 2004.
- [8] Masashi Saito, Jun Tsukamoto, Takaaki Umedu and Teruo Higashino: "Evaluation of Inter-Vehicle Ad-hoc Communication Protocol", Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2005), pp.78-83, March 2005.
- [9] 馬場美也子, 棚橋麻, 北岡広信, 森博子, 寺本英二: "交通流シミュレータ NETSTREAM", 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.1, pp. 226-231, January 2005.
- [10] 寺内 隆志, 柴田 直樹, 安本 慶一, 東野 輝夫, 伊藤 実: "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.