

# メッセージフェリーと車車間通信を併用した 渋滞情報収集システムの情報伝播効率の改善

新川 崇<sup>†1</sup> 木谷 友哉<sup>†1</sup> 柴田 直樹<sup>†2</sup>  
安本 慶一<sup>†1</sup> 東野 輝夫<sup>†3</sup> 伊藤 実<sup>†1</sup>

本論文では、車車間通信を用いた情報の収集・維持・伝播の効率を高めることを目標に、既知の経路を移動するノードを利用して効率的なデータ伝播を実現するメッセージフェリーと呼ばれる手法に注目し、フェリーとして事前に指定された経路を移動するバスを利用した渋滞情報収集手法を提案する。提案手法では、バスが周辺車両の持つ情報を収集・保持しながら、それらを周辺車両に再散布することで、一時的に車両密度が低くなったエリアでの情報伝播効率を改善するとともに、各車両が必要とする情報を効率良く取得できるようにする。提案システムを交通流シミュレータ NETSTREAM 上へ実装し、実験を行った結果、車両密度が低い領域において、提案手法は車両のみの通信を用いた手法に比べ、周辺車両へ伝播される情報量が 1.5 倍から 2 倍程度に増加し、より安定した情報の伝播が可能であることを確認した。

## A Traffic Information Sharing System Using Inter-vehicle Communication together with Message Ferrying Technique

TAKASHI SHINKAWA,<sup>†1</sup> TOMOYA KITANI,<sup>†1</sup> NAOKI SHIBATA,<sup>†2</sup>  
KEIICHI YASUMOTO,<sup>†1</sup> TERUO HIGASHINO<sup>†3</sup> and MINORU ITO<sup>†1</sup>

In this paper, we propose a method which efficiently collects, retains and propagates traffic information using inter-vehicle communication with "message ferrying" technique used in ad hoc network. In the proposed method, we use buses as message ferries which travel through regular routes. In our method, in order to improve information propagation efficiency in low car-density areas, buses collect as much traffic information as possible from cars in their proximity and periodically disseminate the collected information to neighboring cars. We have implemented the proposed system on the traffic simulator NETSTREAM and compared information propagation efficiency between our proposed method and the method only using inter-vehicle communication among cars. As a result, we have confirmed that our method should improve the efficiency up to 50%.

### 1. はじめに

近年、無線通信技術の発展にともない、道路と車両との間で情報の送受信を行うことにより、交通事故、渋滞などの道路交通問題の解決を図る高度道路交通システム (ITS; Intelligent Transport Systems)<sup>1)</sup> が注目を集めている。ITS では、有料道路の料金所付近

に集中する車両が引き起こす渋滞の解消を目的として開発された ETC (Electronic Toll Collection System)<sup>2)</sup>、渋滞や交通規制などの道路交通情報を提供する VICS (Vehicle Information and Communication System)<sup>3)</sup> など、渋滞緩和につながる様々なサービスが導入・検討されている。VICS は、FM 多重放送や各種ビーコンを用いて道路交通情報を提供するシステムであり、カーナビゲーションなどの車載器に渋滞、交通規制などの道路状況を文字や図形で表示することができる。しかし、情報を 1 度管理センタに集め、情報処理・編集などを経て配信が行われるため、受信情報に遅延が生じること、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、インフラの整備や維持に高いコストを必要とすることなどの問題があげられる。

<sup>†1</sup> 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科  
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

<sup>†2</sup> 滋賀大学経済学部情報管理学科  
Department of Information Processing and Management, Shiga University

<sup>†3</sup> 大阪大学大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

これらの点を補うため、各車両間で車車間通信によりリアルタイムに情報交換を行う研究<sup>4)–9)</sup>がさかんに行われている。我々は、道路を走行する各車両が道路の混雑状況を自律的に収集し、車車間通信のみを用いて渋滞情報の維持・伝播を行う方式を提案した<sup>4)</sup>。この方式（以降、先行研究と呼ぶ）では、道路地図を格子状のエリアに分け、エリア単位で作成した渋滞情報を車両間で交換する。各車両が全エリアの情報を保持し伝播させるのは、記憶容量および通信容量の点で困難なため、各車両が保持する情報は自身が走行しているエリアとその隣接エリア（以下、責任エリア）に制限している。そのため、車両密度が一時的に低くなった領域周辺では情報の伝播を仲介する車両がなくなり、情報の精度や伝播効率が悪くなったり、最悪の場合収集した情報が失われたりする可能性がある。

本論文では、先行研究における車車間通信を用いた情報の収集、維持、伝播の効率を様々な状況において高めることを目標に、既知の経路を移動するノードをデータ運搬のための媒介（フェリー）として用いることで効率的なデータ伝播を実現するメッセージフェリー<sup>10)</sup>という手法に注目し、フェリーとして定期巡回車両であるバスを利用した車車間通信による渋滞情報収集手法を提案する。一般にバスは特定のエリア付近にとどまって巡回するため、それらのエリアの情報の消失を緩和する効果があると考えられる。提案手法では、バスに一般車両よりも大容量の記憶装置を搭載し、バス周辺の車両が収集・保持している情報がバスに蓄積されるよう、車両・バス間での通信を行わせるとともに、バスに蓄積した情報を定期的に周辺車両に散布することで、一時的に車両密度が低くなったエリアでの情報伝播効率を改善する。さらに、各車両が必要とする情報を、限られた通信帯域の範囲内でバスから効率良く取得できるようにするため、車両・バス間で交換する情報の伝播は、必要な情報を列挙した制御パケットをあらかじめ交換させた後で行う。

提案する手法を、交通流シミュレータ NETSTREAM<sup>11)</sup> 上へ実装し、典型的な道路網に対して、提案手法と先行研究について周辺車両へ伝播されている情報量を比較した。実験の結果、車両密度が低い場合について提案手法を用いた場合、車両のみの通信よりも周辺車両へ伝播されている情報量が全体的に 50%程度増加し、より安定した情報の維持が可能であることを確認した。

## 2. 関連研究

近年、無線 LAN のアドホック通信機能を用いて、

車車間・路車間で通信を行うことで、リアルタイムに情報を交換する研究が目ざされている。Sun らは、少ないデータ遅延・データ損失でリアルタイム通信を実現することを目的に、車両の移動特性を利用して安定性の高い経路を構築する車車間ルーティングプロトコルを提案している<sup>5)</sup>。また、Nadeem らは、道路状況を想定した車車間通信をモニタするシステム<sup>6)</sup>を、Xu らは、時間と距離に応じた情報の伝達方法を考慮した車車間プロトコル<sup>7)</sup>を提案している。Saito らは、交通流シミュレータ NETSTREAM<sup>11)</sup>を用いて再現した道路状況において、情報を散布する間隔を変更することで情報伝達率を向上させ、現実的な車両の動きを考慮した効率の良い車車間プロトコルを考案している<sup>8),9)</sup>。これらの既存研究は、車両間の通信帯域の有効利用や、通信経路の確保に主眼を置いており、本研究が目的とする広範囲の情報収集および収集した情報の中長期的な維持については考慮していない。

我々は、先行研究として、文献 4) において、道路を走行する各車両が道路の混雑状況を自律的に収集し、特別なインフラを使わず車車間通信のみを用いて情報の管理・伝播を行う方式を提案した。この先行研究では、効果的に渋滞情報を作成するため、まず対象区域を「エリア」と呼ばれる部分領域に分割する手法をとる。各車両は各エリアに対して、エリアへ入った道路とエリアから出た道路の組合せごとにエリアを通過する時間を計測し、他の車両が計測した時間を受け取ることで渋滞情報の統計を作成する。車両は、各エリアの統計情報を車車間通信により交換、収集する。この方式を含めた従来の研究では、車車間通信で情報を伝播するに十分な車両密度を想定していることが多く、本研究の想定する一時的に情報の伝播ができなくなるような車両密度での通信については考慮されておらず、情報が伝播されずに消失する可能性がある。

### 2.1 メッセージフェリー

メッセージフェリーは、互いの位置が遠く離れており直接通信できないノード間でメッセージの送受信を行うために、既知の経路を移動するノードをデータ運搬のための媒介（フェリー）として用いることで効率的なデータ配信を行う手法である<sup>10)</sup>。アドホックネットワークでは、通信範囲の制限やノードの動作などによって、ネットワークが頻繁に分断され不安定になる。メッセージフェリーは、分断されたアドホックネットワーク環境における効率的なデータ配信を目的としている。

この手法において、ノードは、通信の役割に基づいて通常ノードとフェリーに分類される。通常ノードは

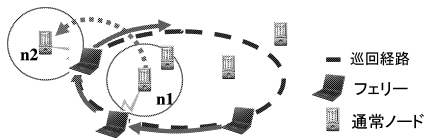


図 1 メッセージフェリーの概念図

Fig. 1 Conceptual diagram of the message ferrying technique.

自由に移動することができ、通信範囲内にいない他の通常ノードへメッセージを送りたい場合には、フェリーへメッセージを送信する。フェリーは配置されたエリアを既知の経路に従って移動し、送信ノードからメッセージを収集し、送信先または他のフェリーへメッセージを送信する。たとえば、図 1 のノード n1 とノード n2 のような互いに通信範囲外の通常ノード間でメッセージの受け渡しを行う場合には、フェリーがデータ配信を仲介する役割を担い、他のアドホックネットワーク環境へ移動することで、メッセージの送信が可能となる。

### 3. バスを利用した車車間通信による渋滞情報収集手法

本章では、フェリーとして定期的に巡回路を走行するバスを利用することで効率的に渋滞情報を収集する手法を提案する。

#### 3.1 車車間通信のみを用いた渋滞情報収集手法

文献 4) の方式と同様に、各車両は IEEE802.11g 規格の無線 LAN 装置、GPS、地図データを納めた HDD を有するナビゲーションシステムを搭載しているとし、各車両が自律的に渋滞情報を収集することを仮定する。対象区域の道路網はグラフとして与えられると考え、交差点間の道路をリンクと表現する。

##### 3.1.1 エリア通過時間の計測

送信すべき情報量が増えることを避け、情報を効率的に管理するため、対象区域を数百メートル四方の「エリア」と呼ばれる部分領域に分割する。各エリアにはユニークな ID が割り振られ、エリア分割の粒度は道路の密度や形状などに応じて変更できるとする。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、各エリアの ID、リンクの ID があらかじめ与えられている。

各車両は GPS を用いて各エリアを通過した時間（エリア通過時間）を自律的に計測する。信号や交差点の待ち時間を考慮するため、エリア通過時間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）の組合せ（以下、リンクペア）ごとに集計する。たとえば、図 2 において、エリア A9 を B-H-K-O の順で

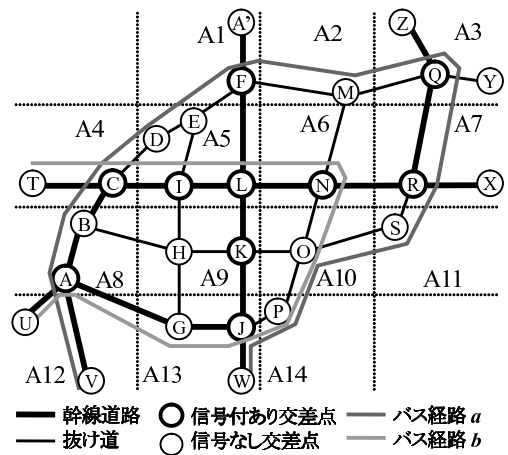


図 2 シミュレーションに用いた道路地図とバス経路

Fig. 2 Road map with bus routes used for simulation.

通過した場合、入リンクは B-H、出リンクは K-O となり、リンクペアは (B-H, K-O) となる。エリア通過データは、以下の 6 項組で表される。

(AreaID, InlinkID, OutlinkID, APT, MakeTime, CarID)

ここで、AreaID, InlinkID, OutlinkID は、それぞれエリアの ID、入リンクの ID、出リンクの ID である。APT はエリアの通過にかかった時間であり、MakeTime, CarID はそれぞれエリア通過データを作成した時間と作成した車両の ID である。

各車両は、エリア通過時間を計測した直後に通信範囲内を走行している車両にエリア通過データをブロードキャストする。エリア通過データを受信した車両は、受信したデータの MakeTime と CarID を自身が保持しているエリア通過データの値と比較し、一致する場合には、すでに保持しているデータであるため、受け取ったエリア通過データを破棄する。一致しない場合には、受け取ったエリア通過データから以下で説明する統計情報を作成する。

##### 3.1.2 統計情報の作成と伝播

エリア通過時間のデータ数が増加すれば、利用できる帯域幅には限界があるため、保持している情報をすべて伝播できなくなる可能性がある。そこで、送信すべき情報量が増えることを避けるため、各車両が保持するエリア通過時間の最大数として閾値 C を設定する。データ数が C を超えたとき、エリア通過時間の平均を計算することで統計情報を作成する。統計情報は、以下の 6 項組で表される。

(AreaID, inlinkID, outlinkID, AAPT, MakeTime, hash)

ここで、*AAPT* は統計情報の元となったエリア通過データの *APT* の平均値である。*MakeTime* は統計情報が作成された時間で、古くなった情報を破棄する場合に使用する。*hash* は、統計情報の元となったエリア通過データの *CarID* の集合から計算されるハッシュ値である。

異なる車両が統計情報を作成した場合においても、元となるエリア通過データ群が同一であれば、*hash* は同一になり、同じ元データから複数の統計情報を作成することを防ぐ。また、車車間通信によって複数回にわたり同じ統計情報を受信した場合においても、*hash* を参照することで、重複を回避できる。しかし、元となるエリア通過データが1つでも異なれば、違う *hash* になるため、ほぼ同じエリア通過データ群から複数の統計情報が生成されてしまうという問題がある。ある車両が車車間通信を用いて別の車両からエリア通過データ群を受信したとき、それらのデータうちの1つでも自車両が保持するエリア通過データ群に含まれているならば、すでにその車両とは他車両を介して間接的に情報交換が行われた可能性が高い。そのため、我々は先行研究<sup>4)</sup>において、その受信したデータをすべて廃棄することで、前述の問題を回避できることを示した。本論文で提案する手法においても先行研究の重複回避の方針を導入する。

各車両は、保持しているエリア通過データとともに統計情報をブロードキャストする。あるリンクペアの統計情報を受け取ったとき、同じリンクペアの統計情報とハッシュ値を照合し、すでに保持している統計情報は破棄する。ハッシュ値が異なる場合は、その統計情報を保持する。統計情報には有効時間を持たせ、生成されてからある一定時間が経過すると破棄する。各リンクペアの通過時間は、現在保持しているそのリンクペアの統計情報の平均で算出する。

### 3.1.3 車車間通信における情報の維持と破棄

車車間通信では通信容量に制限があるために他の車両に大量のデータを送ることができないこと、遠いエリアの情報は必要性が低く、さらにそれらの多くは生成されてから長い時間が経っている可能性が高いこと、車両が搭載するナビゲーションシステムの記憶領域も有限であることなどから、各車両がすべてのエリアの情報を保持することは合理的でない。文献4)では、現在のエリアの8近傍のエリアを責任エリアとし、各車両に責任エリアの情報のみを保持させることで、この問題に対処した。しかし、この方式では、車両密度が一時的に低くなった領域周辺で情報の伝播を仲介する車両がなくなり、情報の精度や伝達効率が悪くなった

り、最悪の場合収集した情報が失われたりする可能性がある。たとえば、ある車両がエリア *A* に入力したときに、通信範囲内にエリア *A* のデータを保持する車両が存在しなければデータを受信することができず、エリア *A* のデータが消失する。また、責任エリアの情報のみを保持しているため、一定以上離れたエリアの必要な情報を得ることができない。本論文では、メッセージフェリーに着目し、この問題の改善を試みる。

### 3.2 バスの導入による情報伝播効率の改善方式

上記の方式では、同じ装置を持ち同じプロトコルで運用される車車間だけで車車間通信を行い、渋滞情報の収集、維持を行う。しかし、現実の交通網では様々な種類の車両が存在する。特に、バスは定期的に同じ経路を巡回し、一般車両と比較してHDDの容量や無線範囲などについて特別な装置を載せることができると考えられる。そこで、一般車両を通常ノード、バスをフェリーとして、メッセージフェリーの手法を導入し、情報伝播効率の改善を図る。なお、バスなどの大型車両を情報の中継とすることにより、電波伝播路のシャドウイングによる通信不良を軽減させるなどの効果も期待される。

バスは一般車両と同様のIEEE802.11g規格の無線LAN装置、GPS、地図データを納めたメディアとドライブを有するナビゲーションシステムを搭載し、HDD容量の制限は一般車両よりも緩く、大容量であるとする。バスと一般車両の相違点を表1に示す。本手法で想定する各車両が保持するエリア通過データや統計情報などのデータ量は、それぞれ4バイト整数型の6項目組として1つあたり数十バイトである。9つの責任エリアそれぞれについて数十のリンクペア、それぞれ数千台分のデータを保持したとしても数十メガバイトであり、現在のカーナビゲーションシステムが保持する30GB程度のHDD容量で十分であると考えている。しかし、バスについては、情報を保持するエリアをより広くとることや、時間帯別の過去の渋滞の統計情報なども持つことを考え、一般車両よりはHDD容量的に余裕があるものと仮定する。

提案手法では、一般車両からの要求に対応するため

表1 バスと一般車両の相違点  
Table 1 Difference between regular cars and buses.

	一般車両	バス
設備		<ul style="list-style-type: none"> <li>IEEE802.11g 規格の無線 LAN 装置</li> <li>GPS, 地図データを納めた HDD を有するカーナビゲーションシステム</li> </ul>
(HDD 容量)	30 GB 程度	一般車両よりも大容量
走行パターン	ドライブの意思で移動	定期的に同じ経路を巡回

に、バス周辺の車両が収集・保持している情報が積極的にバスに蓄積されるように車両・バス間での通信を行わせるとともに、バスに蓄積した情報を定期的に周辺車両に散布させることで情報伝播効率を改善する。一般車両は、3.1 節で述べた方式に従って渋滞情報の収集、および他の一般車両との通信による情報の維持・伝播を行いながら、バスが近くを走行している場合にはバスとも通信を行う。限られた通信帯域の範囲内で効率良く情報伝播ができるようにするため、必要な情報を列挙した制御パケットをあらかじめ交換したのち、車両・バス間で情報を交換する。

### 3.2.1 バスへの情報収集方法

バスが保持していない情報を積極的に収集するため、バスは自身がすでに保持しているリンクペアの情報を一般車両に伝えることで情報収集を行う。一般車両にはバスが通信範囲内を走行していることが分からないため、バスから周辺車両に制御パケットを送信することで、バスが自車付近にいることを知らせる。ここで、バスから送信される制御パケットをバスパケットと呼ぶ。バスパケットは、バスがすでに情報を保有しているリンクペアのリストを含み、リストの各項の内容は以下の3項目で表される。

(*AreaID*, *InlinkID*, *OutlinkID*)

ここで、*AreaID* はエリアの ID、*InlinkID*、*OutlinkID* は車両がエリアに入ったリンクと、エリアから出たリンクの ID である。バスパケットを受け取った一般車両は、バスパケットの内容を基に、自車が保持し、バスが保持していない情報のみをバスに送信する。

### 3.2.2 一般車両の情報取得

一般車両は、他の一般車両との通信に加えて、さらに必要な情報をバスに要求することで取得することができる。3.2.1 項で述べたように、一般車両からバスに情報を送信するとき、同時に自車が必要な情報の制御パケットを送信する。ここで、一般車両から送信される制御パケットを車両パケットと呼ぶ。

車両パケットには、たとえば、その車両が知りたいエリアとその優先順位からなる2項目

(*AreaID*, *Priority*)

のリストなどを含ませることができ、この場合、その車両パケットを受け取ったバスは、*AreaID* を基に車両が要求するエリアの情報を送信する。利用できる帯域幅には限界があるため、バスは優先順位が高い情報から順に車両パケットを送信した車両へ情報を送信する。要求される情報が多い、もしくは要求する情報の優先度がすべて最高優先度であるなどの無理な要求をされた場合には、車両パケットの内容を基にバスが送

信方法のスケジューリングを行う。情報の優先度の例としては、責任エリアの情報を優先的に送信する、道路状況を考えて重要な情報を送信する、バスが保持する情報をランダムに送信するなどが考えられる。

### 3.2.3 バスが保持する情報の維持と破棄

一般車両と同様にバスはエリア通過時間を計測する。これにより、バス経路上の情報については、つねに新しい情報を提供できる。一般車両は自車が必要とする情報以外は責任エリアの情報のみを保持することで、保持する情報量が膨大なることを防いでいるが、バスは責任エリア外の情報でも破棄せず、受信したエリアの情報をすべて保持するため、情報量が無制限に増加しうる。そのため、保持する情報を時間ごとに管理する(たとえば、作成してからある一定時間以上経過した情報を破棄する)ことで情報量が制限なく増加することを防ぐ。

## 4. 提案手法の実験と評価

情報伝播効率を評価するため、提案手法を交通流シミュレータ NETSTREAM<sup>11)</sup> 上に実装し、バスと車両が制御パケットを用いて通信した場合、周辺車両へ伝播されている情報量にどのような違いがあるかシミュレーションを行った。

### 4.1 車車間通信のシミュレーション

車車間通信のシミュレーションは以下のような設定で実装した。なお、実装したモジュールと NETSTREAM はシミュレータ内の時刻で1秒ごとに通信し、各車両の位置情報を取得することができる。シミュレーション時間は60分間とした。

#### 車車間通信に関する設定

バス、一般車両の通信範囲の半径を100mとし、その範囲内のバスおよび一般車両は通信が行えるとした。通信範囲内にいる複数の車両がいつせいにブロードキャストを行い、情報を送信しつづけると、衝突(collision)が発生し輻輳が起こる可能性がある。そのため、1秒を100タイムスロットに分割し、各車両が送信した各パケットが1スロットを占有するとし、同じスロットに複数のデータが存在した場合、パケットの衝突が発生し受信できないとした。また、シミュレーションは1タイムスロット単位で行った。1パケットサイズを1,500byteとし、1タイムスロットあたり1パケットを送信可能とした。

一般に、受信電波強度は距離の2乗に比例して減衰するが、パケット受信成功確率はある程度の受信電波強度があれば一定以上に保たれる。また、実際の通信では、受信電波強度は気温や湿度、風向きなどに大き

く影響される．そのため，ここでは，以下の式 (1) を用いて，送信側と受信側の距離に単純に反比例したパケットの受信成功確率  $P$  を用いた．

$$P = 0.98 \left( 1 - \frac{x}{100} \right) \quad (1)$$

ここで， $x$  は 2 車両間の距離 (単位 m) である．

シミュレーションでは，すべての一般車両とバスが提案システムを搭載しているとし，エリア通過データと統計情報の作成，送受信を行う．最高車両速度は，ともに 16.6 m/s (60 km/h) とする．

#### 道路地図に関する設定

幹線道路の交差点とそれらの抜け道で構成される一般的な道路地図 (図 2) を用意した．道路地図のパラメータは，地図のサイズが約 1.2 km × 1.2 km，交差点数が 27，リンク数が 78 (単方向を 1 とし，双方向で 2 とカウント) であり，各エリアの大きさは 300 m × 300 m とする．幹線は図 2 において太線で示される道路であり片側 2 車線，そのほかは抜け道であり片側 1 車線としている．また，太丸で表される 10 カ所の交差点には信号が設置されており，幹線どうしの交差点ではそれぞれ 60 秒ずつ，幹線と抜け道の交差点ではそれぞれ 60 秒と 30 秒青信号になるように設定している．

NETSTREAM では，各道路の最大車両密度，車線数や地図全体の発生車両台数などの設定を基に，各道路上の現実的な車両発生間隔などをシミュレートする．そのため，固定密度ではなく，時間によって車両密度は変動する．ここでは，バスを用いた提案手法の効果を評価するため，予備実験により以下の 2 つの平均車両密度となるように前述の各パラメータを設定した．

- 低車両密度：車車間通信のみで情報の伝播が可能と考えられる最低限の車両密度 (道路長平均 94 m あたり 1 台)
- 超低車両密度：車車間通信のみで情報の伝播ができない場合が発生する車両密度 (道路長平均 313 m あたり 1 台)

図 2 に示すように，地図上でバスが走行する経路を  $a$ ,  $b$  の 2 種類用意し，バスの走行台数は，経路  $a$  が 5 分ごとに 1 台，経路  $b$  が 7 分ごとに 1 台，それぞれ指定した位置から出発し巡回するように設定する．これは 1 時間に 4 本程度のバスが数系統巡回している郊外の道路を想定している．本論文で評価に用いた NETSTREAM では，バスに該当する車両がどの時刻にどの交差点を通過するかを指定することが可能である．NETSTREAM は，車両が指定された時刻以前に到達した場合はその時間まで停車させ，その時刻以

降に到達した場合は 15 秒間停車させるようにシミュレーションを行っている．本実験では，バスが停留所で停車することを考慮するため，交差点の一部をバス停と見なし，そこを通過する時刻を指定する．

#### 統計情報に関する設定

統計情報を作成するエリア通過データの最大数として閾値  $C = 5$  と設定し，作成から 10 分経過したエリア通過データと統計情報は破棄する．

#### 制御パケット・情報の送信間隔に関する設定

一般車両が送信する情報の送信間隔について，エリア通過データが作成された直後に 5 秒間に 5 回，保持しているエリア通過データと統計情報を 5 秒間に 1 回，ともにランダムなタイミングでブロードキャストする．バスが送信する制御パケットの送信間隔について，2 秒間に 1 回ランダムなタイミングでブロードキャストする．バスからの制御パケットを受信した一般車両は，受信してから 1 秒以内にその返信となる情報とバスへの要求となる制御パケットを送信する．同様に，一般車両から制御パケットを受信したバスは，1 秒以内にその返信となる情報を送信する．また，車両から要求する車両パケットの *AreaID* は責任エリアとし，ここでは簡単のため，優先度は各責任エリアにランダムな値を割り振る．

#### 4.2 実験の評価

提案手法を評価するため，バスを利用した場合と利用しない場合について，あるリンクペアの統計情報を保持している車両台数の変化を各車両密度の場合について調べた．バスの有無による結果に公平性を期するため，バスを利用しない場合でも，地図上に現れる車両台数は同数とした．実験は，シミュレーションを 100 回行い，あるリンクペアの統計情報を持つ車両台数，その統計情報から推定されるエリア通過時間を求めた．対象とするリンクペアは，図 2 に示されているエリア A5 のリンクペア (C-I, L-N)，エリア A8 のリンクペア (V-A, B-C)，エリア A9 のリンクペア (J-K, K-L) とした．ここで，リンクペア A5 (C-I, L-N) と A8 (V-A, B-C) は，それぞれバス経路  $a$ ,  $b$  上のエリアのリンクペアである．また，リンクペア A9 (J-K, K-L) は，バスを含まないエリアのリンクペアである．以上の 3 経路について，各車両密度におけるシミュレーション結果を表 2，表 3 に示す．

#### 低車両密度の実験結果

低車両密度の場合のシミュレーション結果を表 2 に示す．同表 (a)–(c) において，提案手法のバスを利用した方法により統計情報を持つ車両台数が増加していることが分かる．特に同表 (a), (b) からは，バス路

表 2 統計情報を持つ車両台数とエリア通過時間の推定値 (低車両密度)  
 Table 2 Number of cars which have area passage statistics and area passage estimation time (low car-density).

(a) バス経路 a 上のエリア A5 のリンクペア (C-I, L-N)

経過時刻	N	統計情報を持つ車両台数 n		T	エリア通過時間の推定値 t	
		$\bar{n} \pm \sigma_n, (n_{max}, n_{min})$			$\bar{t} \pm \sigma_t$	
		バスを利用	一般車両のみ		バスを利用	一般車両のみ
10	71	56.5 ± 5.1, (73, 48)	48.5 ± 2.1, (53, 43)	52.7	35.6 ± 4.3	35.5 ± 3.4
20	52	33.3 ± 9.6, (61, 21)	21.5 ± 0.8, (23, 20)	51.0	60.2 ± 5.9	61.1 ± 5.6
30	22	29.7 ± 1.3, (33, 26)	27.8 ± 1.0, (29, 25)	57.0	60.6 ± 6.6	62.6 ± 8.1
40	48	44.6 ± 10.6, (99, 34)	36.8 ± 2.4, (41, 30)	48.9	51.8 ± 6.0	54.5 ± 6.5
50	51	51.8 ± 4.3, (74, 41)	44.6 ± 2.3, (49, 37)	51.1	58.2 ± 5.5	61.6 ± 6.1
60	56	23.9 ± 3.4, (30, 16)	22.4 ± 3.9, (31, 12)	56.0	62.6 ± 4.7	63.8 ± 4.8

(b) バス経路 b 上のエリア A8 のリンクペア (V-A, B-C)

経過時刻	N	統計情報を持つ車両台数 n		T	エリア通過時間の推定値 t	
		$\bar{n} \pm \sigma_n, (n_{max}, n_{min})$			$\bar{t} \pm \sigma_t$	
		バスを利用	一般車両のみ		バスを利用	一般車両のみ
10	16	46.3 ± 2.5, (53, 40)	24.6 ± 5.9, (40, 15)	49.6	52.2 ± 3.8	52.6 ± 4.1
20	14	16.4 ± 7.3, (50, 3)	4.1 ± 8.1, (11, 1)	72.2	63.1 ± 3.6	71.4 ± 2.0
30	8	22.8 ± 6.1, (55, 14)	13.6 ± 4.8, (24, 2)	49.2	52.9 ± 11.6	37.6 ± 5.5
40	9	32.4 ± 5.8, (84, 25)	19.9 ± 8.7, (30, 1)	57.8	58.6 ± 5.7	54.3 ± 12.7
50	18	33.7 ± 5.1, (60, 14)	16.2 ± 8.3, (28, 4)	65.4	59.8 ± 6.7	59.4 ± 5.7
60	14	14.8 ± 1.7, (17, 6)	9.4 ± 6.0, (17, 1)	64.1	62.9 ± 4.7	63.4 ± 5.5

(c) バス経路を含まないエリア A9 のリンクペア (J-K, K-L)

経過時刻	N	統計情報を持つ車両台数 n		T	エリア通過時間の推定値 t	
		$\bar{n} \pm \sigma_n, (n_{max}, n_{min})$			$\bar{t} \pm \sigma_t$	
		バスを利用	一般車両のみ		バスを利用	一般車両のみ
10	40	63.1 ± 1.2, (66, 60)	61.6 ± 0.9, (63, 59)	28.2	28.1 ± 1.5	28.6 ± 2.0
20	23	24.9 ± 3.7, (46, 18)	22.3 ± 1.4, (25, 18)	28.3	28.3 ± 3.0	28.3 ± 3.2
30	18	40.0 ± 8.6, (98, 31)	34.2 ± 1.2, (36, 31)	36.5	36.6 ± 3.9	34.7 ± 3.2
40	32	41.4 ± 1.4, (45, 38)	34.6 ± 1.0, (36, 33)	31.2	30.8 ± 5.1	31.1 ± 5.0
50	28	42.0 ± 6.2, (68, 31)	38.0 ± 1.4, (41, 35)	23.5	38.8 ± 2.4	23.6 ± 2.6
60	25	26.1 ± 0.9, (28, 24)	26.2 ± 1.0, (31, 24)	25.2	24.0 ± 1.8	23.7 ± 1.8

N: 実際の通過車両台数,  $\bar{n}$ : 統計情報を持つ車両台数の平均,  $\sigma_n$ : n の標準偏差,  $n_{max}, n_{min}$ : n の最大値と最小値, T: 実際のエリア通過時間の平均値,  $\bar{t}$ : エリア通過時間の推定値の平均,  $\sigma_t$ : t の標準偏差

線を含むエリアの統計情報が広く伝播されていることが確認できる。同表 (b) では、提案するバスを利用する手法は一般車両のみの手法と比較して、統計情報を持つ車両台数が 1.5 から 2 倍になっている。しかし、同表 (c) においては、提案手法の効果が大きく現れておらず、そのエリアにいる各車両の通信可能範囲にバスが入らなかったためだと考えられる。

次に、エリア通過時間の推定値に注目すると、提案手法も一般車両のみを使う手法も、ほとんどの時間帯において、実際のエリア通過時間の誤差 10% 以内に収まっていることが確認できる。この結果から、各一般車両の通信可能範囲に他の車両が 1 台入るか否かといった程度の車両密度の場合、バスを利用して情報の伝播効率を図る効果はあまり大きくないことが分かった。また、エリア通過時間の推定の精度は、一般車両のみでの情報収集でもあまり変わらないことが分かった。

超低車両密度の実験結果

超低車両密度の場合のシミュレーション結果を表 3 に示す。この車両密度においても、提案するバスを利用する手法は一般車両のみの手法と比較して、統計情報を持つ車両台数が増加していることが分かる。特に顕著であるのは、同表 (b) において、一般車両のみを用いた手法では、統計情報を持つ車両台数の最小値  $n_{min}$  がすべての時間帯において 0 になっているが、提案するバスを利用する手法では 0 になることはなくなっている点である。さらに、経過時刻 30 分の時間帯では、一般車両のみを用いた手法が 100 回のどのシミュレーションにおいても統計情報が 1 度完全に失われてしまったのに対し、提案するバスを利用する手法では、統計情報を作成、伝播させることができています。

次に、エリア通過時間の推定値を比較すると、一般車両のみを用いた手法では、統計情報を保持している車両台数が少ない時間帯において推定値の標準偏差が

表 3 統計情報を持つ車両台数とエリア通過時間の推定値 (超低車両密度)  
Table 3 Number of cars which have area passage statistics and area passage estimation time (ultra low car-density).

(a) バス経路  $a$  上のエリア A5 のリンクペア (C-I, L-N)

経過時刻	$N$	統計情報を持つ車両台数 $n$ $\bar{n} \pm \sigma_n, (n_{max}, n_{min})$		$T$	エリア通過時間の推定値 $t$ $\bar{t} \pm \sigma_t$	
		バスを利用	一般車両のみ		バスを利用	一般車両のみ
10	24	12.8 ± 0.8, (15, 11)	10.2 ± 0.8, (11, 8)	48.3	45.6 ± 5.0	45.0 ± 5.2
20	18	5.8 ± 0.4, (6, 4)	5.8 ± 0.3, (6, 5)	48.8	46.7 ± 5.0	47.2 ± 5.1
30	8	1.3 ± 0.4, (3, 1)	1.0 ± 0.0, (1, 1)	33.9	52.1 ± 9.4	55.6 ± 11.6
40	16	12.2 ± 1.1, (14, 8)	8.8 ± 1.6, (10, 4)	54.3	52.9 ± 5.3	52.8 ± 4.5
50	18	10.4 ± 1.1, (12, 8)	9.5 ± 0.8, (11, 9)	49.8	51.8 ± 4.6	49.9 ± 4.3
60	17	5.8 ± 0.4, (6, 4)	5.7 ± 0.5, (6, 4)	41.8	45.5 ± 4.5	45.2 ± 3.7

(b) バス経路  $b$  上のエリア A8 のリンクペア (V-A, B-C)

経過時刻	$N$	統計情報を持つ車両台数 $n$ $\bar{n} \pm \sigma_n, (n_{max}, n_{min})$		$T$	エリア通過時間の推定値 $t$ $\bar{t} \pm \sigma_t$	
		バスを利用	一般車両のみ		バスを利用	一般車両のみ
10	5	7.3 ± 1.3, (10, 3)	3.7 ± 0.9, (5, 0)	58.4	57.7 ± 7.0	71.4 ± 20.7
20	7	5.1 ± 1.4, (6, 1)	4.6 ± 1.8, (6, 0)	53.3	54.7 ± 5.7	49.4 ± 11.9
30	3	3.8 ± 1.6, (6, 1)	0, (0, 0)	57.7	51.7 ± 6.4	-
40	5	4.0 ± 0.6, (6, 2)	2.8 ± 0.6, (4, 0)	65.6	62.8 ± 3.4	65.8 ± 12.3
50	6	1.2 ± 0.3, (2, 1)	0.6 ± 0.3, (2, 0)	78.8	79.7 ± 6.4	45.5 ± 42.0
60	6	6.9 ± 0.7, (8, 5)	6.4 ± 0.7, (7, 0)	52.7	47.3 ± 6.3	45.3 ± 5.5

(c) バス経路を含まないエリア A9 のリンクペア (J-K, K-L)

経過時刻	$N$	統計情報を持つ車両台数 $n$ $\bar{n} \pm \sigma_n, (n_{max}, n_{min})$		$T$	エリア通過時間の推定値 $t$ $\bar{t} \pm \sigma_t$	
		バスを利用	一般車両のみ		バスを利用	一般車両のみ
10	12	13.2 ± 1.2, (18, 10)	11.3 ± 1.1, (13, 7)	36.6	35.2 ± 2.6	34.4 ± 3.1
20	10	5.9 ± 0.3, (6, 5)	5.9 ± 0.3, (6, 4)	32.7	36.2 ± 3.4	35.7 ± 4.0
30	2	2.4 ± 0.6, (5, 1)	0.9 ± 0.3, (1, 0)	28.5	35.7 ± 1.8	33.1 ± 9.8
40	10	14.6 ± 2.8, (20, 7)	9.4 ± 0.7, (10, 7)	23.1	21.8 ± 0.5	21.6 ± 0.0
50	8	13.2 ± 0.5, (14, 10)	13.2 ± 0.3, (14, 12)	32.1	26.2 ± 2.1	26.2 ± 2.6
60	12	6.7 ± 0.6, (8, 5)	6.4 ± 0.5, (7, 5)	29.2	25.3 ± 2.2	25.5 ± 2.4

大きくなり、推定精度が悪化している。これから情報量が極少になったときに急激に推定値の精度が悪化すると考えられる。対して、提案手法では、統計情報を持つ車両台数が比較的多く、推定精度が著しく悪化するようなことは起こっていない。

#### 4.3 実験結果の考察

一般車両のみで通信を行った場合と比較して、提案手法では、より安定した情報の維持が可能であることを確認した。また、超低車両密度の場合において、一般車両のみで通信を行い、情報が完全に失われた場合でも、提案手法を用いれば、ある程度情報の維持が可能であることを確認した。バス経路を含まないエリアについては、バスの通信範囲内を走行していない車両が多いため、提案手法の効果は小さい。今後は、バスの通信範囲外の車両についても情報の維持を保証するため、制御パケットのマルチホップ通信などを用いて、情報の伝播範囲を拡大する必要がある。なお、対象とする車両密度は小さいために、パケットの衝突はあま

り起きておらず、輻輳がほとんど発生しなかった。

次に、収集したエリア通過データの統計情報が表すエリア通過時間と実際の車両のエリア通過時間を比較した結果、統計情報を持つ車両台数が5台以上と十分に伝播できている場合は、バスを利用するしないにかかわらず、誤差が10%以内に収まっていることが確認できた。今回の実験結果では、統計情報を持つ車両台数が数台程度の場合においても、バスの有無による収集した統計情報が表すエリア通過時間の精度の差は大きくならなかったが、情報の絶対量がさらに少ない場合には誤差が大きくなりうる。特に、表3(b)に示されるように、バスを使わないときには情報を取得できない時間帯があったが、バスを使うことによって情報を取得できることになった点は提案手法の効果であると考えられる。

#### 5. まとめ

本論文では、車車間通信に基づく渋滞情報収集シス



テムへバスを導入することで、情報伝播効率を改善する手法を提案した。提案手法では、バス周辺の一般車両が収集・保持している情報がバスに蓄積されるように車両・バス間で通信を行わせるとともに、バスに蓄積した情報を定期的に周辺車両に散布させることで、一時的に車両密度が低くなったエリアでの情報伝播効率を改善することができた。

提案システムを交通流シミュレータ NETSTREAM 上へ実装し、実験を行った結果、先行研究と比較して提案手法では、車両密度が低い場合について平均で周辺車両へ伝播されている情報量が 1.5 倍から 2 倍程度に増加し、より安定した情報の維持が可能であることを確認した。

今後の課題として、バスの通信範囲内を走行する車両が少ない場合でも、マルチホップ通信を用いて効率良く情報交換するための伝播方法や、車両密度が高い状況において輻輳を起ささないように、周辺領域の車両密度を考慮した制御パケットの定期的な伝播方式についても検討していく必要がある。また、実環境を考慮した電波伝播モデルを導入することにより、パケット受信確率の精度を向上させ、性能評価の精度の向上を図ることも考えている。さらに、伝達する情報として、エリア通過時間だけではなく、事故や崖崩れなどの突発的な交通障害や、その他の安全性に関連する情報などを取り扱うことも考慮していきたいと考えている。

## 参 考 文 献

- 1) 国土交通省：国土交通省道路局 ITS ホームページ．<http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/>
- 2) 財団法人道路システム高度化推進機構 ORSE：ETC 総合情報ポータルサイト．<http://www.go-etc.jp/>
- 3) Vehicle Information and Communication System Center: VICS HOME PAGE.  
<http://www.vics.or.jp/>
- 4) Shibata, N., Terauchi, T., Kitani, T., Yasumoto, K., Ito, M. and Higashino, T.: A Method for Sharing Traffic Jam Information using Inter-Vehicle Communication, *Proc. 2nd Int'l Workshop on Vehicle-to-Vehicle Communications 2006 (V2VCOM 2006)*, CD-ROM (2006).
- 5) Sun, W., Yamaguchi, H., Yukimasa, K. and Kusumoto, S.: GVGrid: A QoS Routing Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks, *Proc. 14th IEEE Int'l Workshop on Quality of Service (IWQoS 2006)*, pp.130–139 (2006).
- 6) Nadeem, T., Dashtinezhad, S. and Liao, C.:

Traffic view: A Scalable Traffic Monitoring System, *Proc. 2004 IEEE Int'l Conf. on Mobile Data Management (MDM 2004)*, pp.13–21 (2004).

- 7) Xu, B., Ouksel, A. and Wolfson, O.: Opportunistic Resource Exchange in Inter-vehicle Ad-hoc Networks, *Proc. 2004 IEEE Int'l Conf. on Mobile Data Management (MDM 2004)*, pp.4–12 (2004).
- 8) Saito, M., Funai, M., Umedu, T. and Higashino, T.: Inter-vehicle Ad-hoc Communication Protocol for Acquiring Local Traffic Information, *Proc. 11th World Congress on Intelligent Transport Systems*, CD-ROM (2004).
- 9) Saito, M., Tsukamoto, J., Umedu, T. and Higashino, T.: Evaluation of Inter-Vehicle Ad-hoc Communication Protocol, *Proc. 19th Int'l Conf. on Advanced Information Networking and Applications (AINA2005)*, pp.78–83 (2005).
- 10) Zhao, W. and Ammar, M.H.: Message Ferrying: Proactive Routing in Highly-partitioned Wireless Ad Hoc Networks, *Proc. 9th IEEE Int'l Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems (FTDCS 2003)*, pp.308–314 (2003).
- 11) 馬場美也子, 棚橋 巖, 北岡広宣, 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 (2005).

(平成 19 年 4 月 9 日受付)

(平成 19 年 10 月 2 日採録)



新川 崇 (学生会員)

2005 年岡山県立大学情報工学部情報システム工学科卒業。2007 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。現在、セイコーエプソン (株) に勤務。



木谷 友哉 (正会員)

2002 年大阪大学基礎工学部情報科学科卒業。2006 年同大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。博士 (情報科学)。2005 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手。2007 年より現在、同助教。組合せ最適化問題、組み込みシステム、ネットワークシステムに関する研究に従事。IEEE, 電子情報通信学会各会員。



柴田 直樹 (正会員)

2001年大阪大学大学院基礎工学研究科情報数理系専攻博士後期課程修了。博士(工学)。現在、滋賀大学経済学部情報管理学科准教授。分散システム, ITS, 遺伝的アルゴリズム等の研究に従事。IEEE 会員。



安本 慶一 (正会員)

1991年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。1995年同大学大学院博士後期課程退学後、滋賀大学経済学部助手。2002年より現在、奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科准教授。博士(工学)。分散システム, マルチメディア通信システムに関する研究に従事。ACM, IEEE 各会員。



東野 輝夫 (フェロー)

1979年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。1984年同大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。同年同大学助手。現在、同大学大学院情報科学研究科教授。2007年10月より独立行政法人科学技術振興機構, CREST, 研究代表者。工学博士。分散システム, 通信プロトコル, モバイルコンピューティング等の研究に従事。本会フェロー, IEEE Senior Member, 電子情報通信学会, ACM 各会員。



伊藤 実 (正会員)

1977年, 1979年, 1983年にそれぞれ大阪大学基礎工学部卒業, 基礎工学研究科博士前期課程修了, 基礎工学研究科博士後期課程修了。1979年大阪大学基礎工学部助手。1986年大阪大学基礎工学部講師。1989年大阪大学基礎工学部助教授。1993年より現在、奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授。工学博士。関係データベース理論, オブジェクト指向のデータベースのアプリケーション, DNAプローブ等の研究に従事。ACM, IEEE 各会員。