

## Ad Hoc Network での相対位置情報を用いた車車間通信システム

松浦 克海<sup>†</sup> 伊藤 英明<sup>†</sup> 田頭 茂明<sup>†</sup>  
佐藤 健哉<sup>††</sup> 最所 圭三<sup>†††</sup> 福田 晃<sup>†</sup>

近年, 交通事故の防止や交通流の円滑化を目的とし ITS の研究が行われている。交通情報として, 車両の周辺情報を近隣車両に伝えることは, 交通事故の防止, 交通流の円滑化に大きく貢献する。こうしたサービスに用いる通信方法は, インフラを用いた通信よりも, 車車間通信が適している。車車間通信は, Ad Hoc Network を用いているので, コストがかかるブロードキャストを用いた通信となり, パケット量が増加するという問題がある。本稿では, この問題を解決するために, 車車間通信上で実現するアプリケーションの特性を考慮した伝達機構を提案する。具体的には, 情報を伝達する方向, 範囲, 周期を, 伝達する情報の種類や環境により制限することで, 効果的にパケットを伝達する。また, 提案する伝達機構を利用した交通状況揭示システムを設計する。

## Inter-Vehicle Communication Network Using Relative Position in Ad Hoc Network

KATSUMI MATSUURA,<sup>†</sup> ITO HIDEAKI,<sup>†</sup> SHIGEAKI TAGASHIRA,<sup>†</sup>  
KENYA SATO,<sup>††</sup> KEIZO SAISHO<sup>†††</sup> and AKIRA FUKUDA<sup>†</sup>

In recent years, ITS (Intelligent Transport System) have been researched in order to prevent traffic accidents and relieve traffic congestion. Information on surrounding area of a vehicle is very important for neighboring vehicles. The information can be used to prevent traffic accidents and relieve traffic congestion. The inter-vehicle communication is more suitable to transmit the information than communication using infrastructures. The inter-vehicle communication, however, has the problem of an increase in packets because the communication employs Ad Hoc Network and uses broadcasting. In this paper, in order to solve the problem, a transmission mechanism, which uses characteristics of applications on the mechanism, is proposed. By restricting direction, range and cycle of transmission according to the type of information and conditions such as weather and traffic congestion, the mechanism transmits packets effectively. Moreover, a traffic situation notice system using proposed transfer mechanism is designed.

### 1. はじめに

近年, モータリゼーションの発展にともなう, 環境の悪化や交通状態, 交通事故が深刻な問題となってきた。その一方で, 情報通信技術は急速に進歩している。そこで, この情報通信技術を用いた高度道路交通システム (ITS: Intelligent Transport System) が注目されてきている。料金所で一時停止せずに料金清算を行う自動料金収受 (ETC: Electronic Toll Collec-

tion) システムも実用化が目前となっており, 最新の道路情報をドライバーに提供する高度交通情報通信システム (VICS: Vehicle Information Communication Systems) は既に実用化されている。

しかし, 現在用いられているサービスのほとんどが道路上に設置されているインフラを前提としている。例えば, VICS では, 渋滞情報や事故などによる車線減少など, 道路状態に関する情報をドライバーに提供しており, 各車両へ道路上に設置されているインフラ設備から情報を送信することで, ドライバーに情報提供を行っている。しかし, このようなインフラ設備は主要道路にのみ設置されており, 生活道路などの狭い道や, 山道などには設置されていない。生活道路や山道では, 道路上の障害物が多くなり視界が悪いことが多く, 周囲の交通状況をドライバーに到達することにより, 交通事故の防止, 交通流の円滑化などを計る

<sup>†</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>††</sup> (株) ハーネス総合技術研究所 E&E 研究部  
Presently with Harness System Technologies Research, Ltd  
<sup>†††</sup> 香川大学工学部信頼性情報システム工学科  
Department of Reliability-based Information Systems  
Engineering Faculty Engineering Kagawa University

ことができる。

最近では、特別なインフラ設備を必要としないため車と車が情報を直接通信する車車間通信が注目されている。車車間通信とは、各車両をネットワークのホストと認識し無線を用いて構成されたネットワーク上で情報を交換するサービスで、走行支援道路システム (AHS:Automated Highway Systems)、高度車両制御・安全システム (AVCSS:Advanced Vehicle Control and Safety Systems) の実現に重要な役割を担っている。車車間通信では、車車間通信ネットワーク (IVCN:Inter-vehicle Communication Network) を構築し、様々なサービスを行う。このネットワークでは、道路に設備されているインフラ設備は重要ではなく、インフラ設備がない環境でも通信できる。IVCNはネットワークポロジが動的に変化する特殊な自律分散型ネットワークであり、集中的に制御を行う管理局が存在せず各車両が自律的に通信制御を行う。このようなネットワークは、Ad Hoc Networkと呼ばれている。

我々は、車両の周囲の交通情報などの交通情報をドライバーに提供できるシステムの構築を目指す。周囲の交通流をリアルタイムにドライバーに提供し、運転補助を行う。このシステムにより、交通流の円滑化、交通事故の防止などを計る。

このような各車両に適した情報を提供する場合、インフラを用いたシステムでは全ての車両を監視することは困難である。このため、車同士が通信を行う車車間通信を用いて行う。

現在、車車間通信にはミリ波帯の割当てが検討されている。しかし、他車両、障害物等により電波が遮蔽されるために全車両と直接通信を行うことは困難であるので情報の中継機能が不可欠である。

車車間通信ネットワークでは無線を用いて通信し、また中継制御を集中的に管理を行うホストが存在しないことから、フラディング (flooding)<sup>2)</sup> による中継方式が検討される。しかし、フラディングによる中継を用いると、パケットを受信したホストが無作為に中継を行うので中継パケットの急激な増加が問題となる。

本稿では、車車間通信での中継パケットの増大を防ぐために、アプリケーションの特性を考慮した伝達エリアの制限と道路環境を考慮した通信方式の選択の二つの側面から検討を行う。通信エリアの制限として、車車間通信において扱う制御情報による伝達方向の制限と、環境情報 (天候等) による伝達エリアの制限の二つの方法を提案する。通信方法として、道路におけ

る車両から見た周辺車両の有無により、周期的に情報伝達を行う方法と、制御情報更新をトリガーとした情報伝達を行う方法のどちらかを選択できる通信方式を提案する。こうした伝達機構により、効果的にパケットを伝達する。本論文ではアプリケーションの特性や環境情報を用いた伝達機構の提案、及び提案機構を利用した交通状況揭示システムの設計を述べる。

## 2. 車車間通信

本稿で目的とする交通状況揭示システムの通信手段として車車間通信を考えている。車車間通信のような特徴を持つネットワークは Ad Hoc Network と呼ばれている。以下に Ad Hoc Network および、車車間通信に適応させたときの問題点を説明する。

### 2.1 Ad Hoc Network

近年、ノートパソコン、PDA やウェアラブル PC に代表される小型で高機能な携帯情報端末が普及し、いつでも必要なときに様々な情報を閲覧することが可能になってきている。多くの人が携帯端末を所持するような状況では、モバイル端末を持ち寄り、一時的にネットワークを構築し情報交換することが望まれている。このような要望を満たすためのネットワークとして、Ad Hoc Network がある。このネットワークは、以下の特徴を持つ。

- インフラ設備を必要としない
- 単一の BSS で構成される

特にアクセスポイントやバックボーンといった特殊なインフラ設備を準備しなくても、ネットワークが構成できるので、インターネットのようなインフラネットワークとは違った柔軟なネットワークを構成できる。

しかし、Ad Hoc Network は物理層で無線を用いるので、基本的に通信方法はブロードキャストになる。しかし、BSS 内の全ホストがブロードキャストを行うため、ネットワーク帯域、計算機資源の浪費だけでなく、ブロードキャストストームと呼ばれるパケットの衝突がネットワーク全体で発生し、ネットワーク自体が機能しなくなる可能性が非常に高い<sup>3)</sup>。現在では、ブロードキャストをできるだけ防ぐ研究が行われている<sup>4)~6)</sup>。

### 2.2 車車間通信ネットワーク

車車間通信ネットワークは、道路に偏在する車両

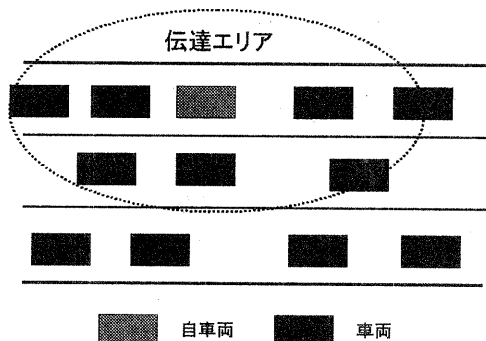


図1 渋滞時の伝達状況

をホストして構築するネットワークであり、以下の特徴を持つ。

- 無線によるブロードキャスト  
車車間通信では、物理層は無線を用いているので基本的に通信方法はブロードキャストとなる。
- ネットワークトポロジーの変化  
道路上において車両は走行しているため、ネットワークトポロジーが変化が激しい。

こうした特徴のためには、インフラネットワークと違った柔軟なネットワークが必要である。

次に、車車間通信ネットワークでのホストである車両を考察する。車両は道路上を走行することから、以下の特徴を持つ。

- 道路上を高速に移動  
歩行者に比べて非常に高速に動く。
- 進行方向が限定  
車両は道路上を走行しているため、道路に沿った方向にしか移動できない。

この特徴は、車車間通信ネットワーク全体のトポロジーは高速で変化するが、ホスト単位でみると移動する方向に対する自由度が低いと判断できる。

上記の特徴以外にも、道路環境によって変化する車両の特徴がある。例えば車両渋滞時においては、自車両を基準とした周辺車両（同一車線）の相対位置はあまり変化がないといった特徴がある。

## 2.3 車車間通信上での Ad Hoc Network の問題点

Ad Hoc Network は、各ホストの相対位置の変化によって生じるネットワークトポロジーの動的変化に対応していく必要がある。そのため一定の周期で全ホストと位置情報等の状態情報を更新しあうことで、ルーティングマップを随時更新する。車車間ネットワークでは、高速で車両（ホスト）が移動していることから、迅速に変化する周囲の状況に対応させるために、従来の携帯端末で構成される Ad Hoc Network より更新周期を短くしなければならない。

しかし、位置情報等の更新は自車だけでなく、周辺車両も行っているため、図1のような渋滞時には更新周期を早めることは、ネットワーク資源及び車両資源の浪費、及びブロードキャストストームなどのパケット衝突による問題を発生させる可能性が高くなる。このように、ただ情報の更新周期を短くするだけでは、Ad Hoc Network の問題点を改善できない。道路上の車両の密度により、最適な情報配信のタイミングが変化するため、通信が困難である。

また、Ad Hoc Network では全体のネットワークトポロジーを把握してルーティングテーブルを作成することにより、各車両に効率良く情報を配信できる。しかし、ルーティングテーブルの作成には、周期的にクエリーパケットをブロードキャストする必要があり、多大なコストがかかる。車車間通信は交通道路網の車両がネットワークホストのなるため、道路網と同じような広大なネットワークになる可能性が考えられる。こうした状況ではネットワークトポロジーの把握は困難である。

## 3. 交通状況揭示システム

### 3.1 概要

交通状況揭示システムは、ドライバーが周囲の交通状況を取得するのを補助するシステムである。前方車両のブレーキによる減速は、ブレーキランプが点灯することで後方車両に示されるが、エンジンプレーキによる減速などは後方車両に示されない。また自分のいる車線に車線変更しようとしている車が間横にいる場合など、その動作は運転車が判断することは難しい。こうした状況は交通事故などにつながるため、ドライバーに伝える必要がある。

こういった周囲の車両の情報を運転者に伝えることで、ドライバーの運転補助を行うことを想定した本

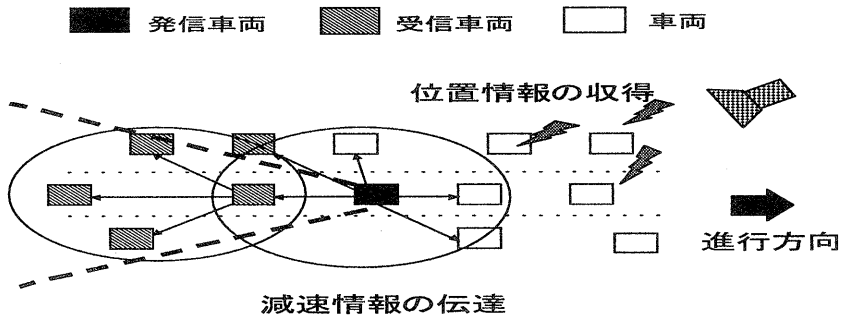


図2 相対方向を用いた情報伝達

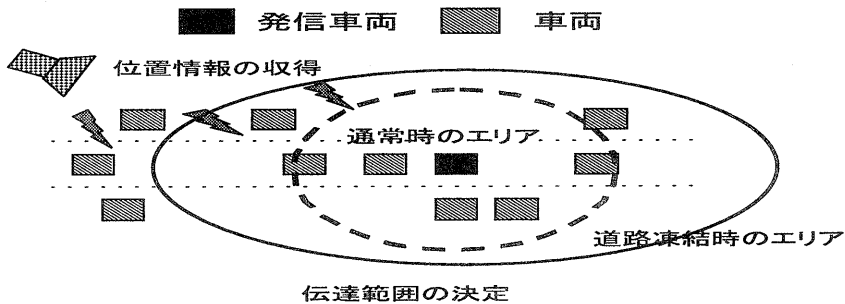


図3 天候情報を用いた伝達エリアの制限

システムを提案する。本システムでは、以下の二つのサービスを提供する。

- (1) 車両の制御情報(減速、加速等)の配信  
周囲の車両の突発的な行為を運転者に伝えることで交通事故を避けることを目的とする。
- (2) 自車両の周囲に近接して存在する車両の相対位置情報の提供  
現在の車両配置と各車の状態を一覧することで、運転者の運転補助を行うことを目的とする

我々は、このシステムを車車間通信を用いて構築し、リアルタイムに情報を運転者に提供することを目指す。車車間通信を用いてシステムを構築することで以下の利点を持つ。

- ローカルな交通情報のドライバーへの提供  
インフラと通信するような路車間通信と違い、車両同士で直接通信を行っているので、自車両の周囲の車両情報がリアルタイムに把握できる。これにより、各車両に適した交通情報(周囲の車の動き)をドライバーに提供できる。
- インフラを必要としないシステム  
基本的に、本システムでは車のみで構成されたネットワークで動作するので、道路上の設置されているインフラの有無に影響されない。

### 3.2 設 計

3.1 節で述べたシステムでドライバーに提供する情報は周辺車両の動作、存在位置などを考えている。以下、具体的な例を示す。

表 1 制御情報による送信方向

情報種別	操作	送信先
減速情報	ブレーキ、エンジンブレーキ	後方車両
加速情報	アクセル	前方車両
左折	左指示器、ステアリング	進行方向の車両
右折	右指示器、ステアリング	進行方向の車両 及び前方の対抗車
車線変更	指示器、ステアリング	移動先にいる車両

- 車両の操作情報  
主に警告として周囲の車両に伝える情報。  
ブレーキ、アクセル等の情報。
- 速度情報  
現在、車両が走っている速度
- 相対位置情報  
自車両から見た周囲の車両の相対的な位置情報。
- 移動計画  
現在地から目的地までの道程

自車両と周辺車両での上記のような情報を把握することで、各車両を中心としたエリアの交通状況を把握することが可能となり、ドライバーへの運転補助が提供できる。

だが、このようなサービスを提供するには、2.3 節で示した問題を解決しなければならない。我々が構築しようとしているシステムが持つ特徴を利用ことで以下に示すような改善案を提案する。

- (1) 周囲の車両の操作情報提示  
自車の動作 (制御情報) の急激な変化を警告として周囲の運転者に提示する。提示情報は相対位置により優先度が異なり、優先度の高いものから提示していく。情報を提示するエリアは道路環境等の情報から判断する。
- (2) 近隣車両の相対位置を提示  
自車両に近接している車両の有無を把握し、運転者の視認を手伝い運転補助を行う。車両の有無を確かめるのは同一方向に走行している車両のみである。
- (3) 情報の種類による自車両からの送信方向選定  
制御情報に種類により送信方向を選択する。詳しくは表 1 に示す。

#### (4) 伝達範囲 (ホップ数) の決定

環境情報により伝達範囲を定める。具体的に環境情報として、

- 天候  
雨天時は晴天時に比べ、ブレーキ等の制動距離が長くなる。このように自然現象によって運転操作によって生じる効果が変わる。悪天候ほど伝達ホップ数を広げる必要がある。
- 車の密集度  
車が密集しているような状態では、ブレーキ操作を行ったとき、後方車両でも同一情報が多発する。このような場合では伝達エリアを小さく制限しないと、膨大なパケットが発生しブロードキャストストームといったパケット衝突問題が生じる原因となる。
- 道路の種類  
高速道路を走っている車は、一般道よりも高速で移動している。これは、自車両に関連するエリア領域も大きくなるので道路の種類によっても伝達エリアを一般道よりも広げる必要がある。

の 3 種類に分けられる。現段階では環境情報によるホップ数の制限は明確に定義していない。

#### (5) 道路状態に適した通信方法の選択

道路において、自車両周辺の車両の密度 (周辺車両の存在数) により情報伝達を行うタイミングを変更する必要がある。このため周辺車両の存在によって通信方式を変更する必要がある。通信方式は、周期的なパケット配信と、制御情報更新をトリガーとしたパケット配信の二つを提案する。特徴は以下に述べる

- 制御情報更新をトリガーとしたマルチキャスト  
道路上に存在する車両が密な状態 (渋滞時) は相対位置関係を用いて車両の制御情報が変化したときに情報を伝達する方式。周期的に通信を行うよりも各種リソースを節約でき、相対位置によるマルチキャストで無駄なパケットの伝達を防ぐ。

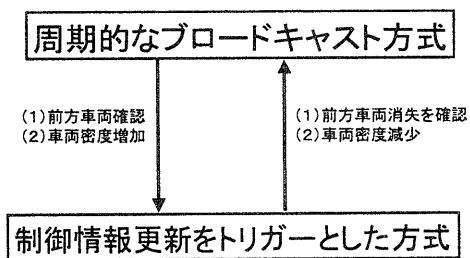


図4 前方エリアの通信方式の選択

### － 周期的なブロードキャスト通信

道路上に存在する車両が疎な状態、もしくはエンジン起動時など周囲の車両を把握するため、従来の Ad hoc Network で用いている方式を使う。周期的にブロードキャストを行う。

通信方式の選択は図4で示してある。本システムで提供する機能の(1)と(2)で変更タイミングが違う。

### 3.3 実 装

システム上で扱う情報として3.2節の(1)(2)で示した車両制御情報と各車両の相対位置とに大きく二つに分けることができる。

これらのサービスは通信手段が異なる。(1)の警告を周囲の車両におくるのであれば、制御情報の変化をトリガーとし、変化が起こったときのみ情報を送信してやれば良い。(2)の周囲の車両を把握するには、周期的に周囲に車両の存在確認をとる必要がある。

(1)においても例外がある。前方に車両が存在しない場合に、途中で前方車両が出現する可能性がある。このため操作情報が変化しなくても警告を伝える場合が考えられる。こうした状況が発生するのは自車両の前方車両の確認がとれない場合である。このときは前方に周期的に警告パケットを送信する。

(2)においても通常は、周期的に情報を更新すれば良いが、渋滞時では2.3節で示した問題点と、渋滞時では各車両の相対位置はほぼ変わらないという特徴により、操作情報をトリガーとした通信を行う。このように提供サービスごとに通信方式を変更するための情報を変える。以下、パケット受信時、パケット送信時を説明する。

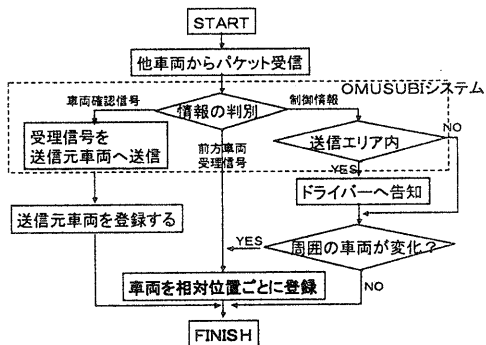


図5 受信時の処理判別フロー

#### 3.3.1 パケット受信

図5に示す手順で処理を行う。車両はパケットを受信すると、受け取った情報の内容を判別し、それぞれ情報に従った処理を行う。現時点で定義した情報は、

- 車両制御情報  
減速等のドライバーに提供する情報
- 車両確認信号  
自社周辺に車両が存在しているか問い合わせのための信号
- 車両受信信号  
車両確認信号を受け取り、その信号の送信元に送る信号

の3種類である。車両確認のパケットなら送信元に自分がいることを教えるために、送信元に車両受信信号を送信してやれば良い。車両受信信号は、車両が存在する相対位置を登録すれば良い。車両制御情報ならば表1に記述してある通りのエリアに自車両が所属しているかを確認し、その情報をドライバーへ告知するかどうか判断する。また車両受信信号等が無いときなどは、各サービスの通信方法を変更する。

#### 3.3.2 パケット送信

図7の手順に従った処理を行う。車両の制御情報に変化が起こったとき、情報の種別ごとに(相対的な)方向を選択する。これをOMUSUBIシステムを用いて送信する。このとき環境情報を用いて範囲を制限する。

### 3.4 OMUSUBIシステム

Ad Hoc Networkでは、そのネットワーク自体が極めて偶然性が高く、動的にネットワークトポロジーが変化するため、同一ネットワーク内でパケットを送り

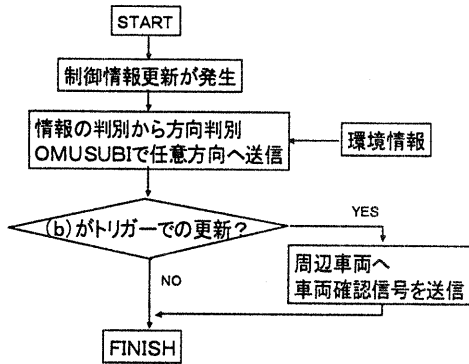


図 6 送信時の処理判別フロー (a)

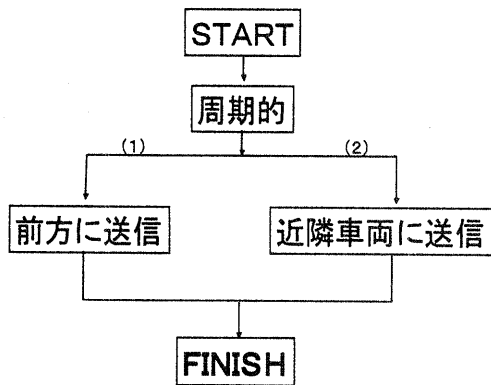


図 7 送信時の処理判別フロー (b)

たいホスト、もしくはグループを指定する際に名前を用いることは非常に困難であり、かつ好ましくない。また Ad Hoc Network における通信を単純にブロードキャストで行うことは各種リソースの浪費が問題となる。そこで我々は、従来の無線を用いた Ad Hoc Network に位置情報を利用することで、ホスト間の相対的な位置関係により送信相手を指定するマルチキャスト機能を追加したシステムを、OMUSUBI(ad hOc MulticaSt UBiquitous Information) システムとして提案している<sup>9)</sup>。図 5 の点線で囲んだ四角で囲んだ部分が OMUSUBI システムを用いている。

#### システム概要

提供されている機能として、相対位置関係を考慮にいたれた通信、グループを考慮した通信をサポートしている。このような通信を実現するための、基本的な機能として、

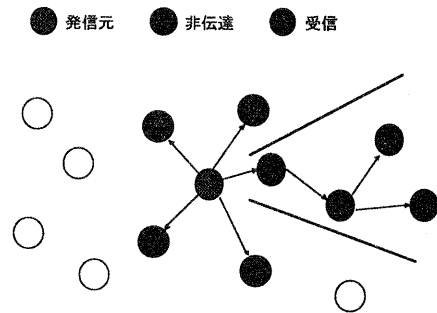


図 8 OMUSUBI システムの概要

- 相対位置関係を考慮したルーティング機能  
パケット送信ホストから見た、相対位置関係や伝達ホップ数を条件としたパケット伝送を行うことで、伝達方向を絞り込みブロードキャストパケットを大幅に減少させる。ホスト ID を用いず、ホストの現在位置を指定して通信を行うので Ad Hoc Network に適している。
- グループ管理機能  
グループの生成、管理、破棄を行う。本稿で提案するシステムでは用いないので説明を省略する。
- 複数メディアを利用した位置情報取得機能  
ホストの相対位置関係を得るために利用する絶対位置情報を取得するための機能である。GPS や、PHS など複数のメディアを利用する。

といったものを提供している。

#### 4. 関連研究

文献 11) では、車車間通信を用いて運転支援を行うことの有効性を証明されており、車車間通信の ITS の貢献度が高いことを示している。文献 10) においては、情報受信車両が自律的にパケットの中継制御を行う方法と、情報送信車両が ACK の確認を行い、送信パケットの中継制御を行う方法の 2 種類提案されている。文献 12) では、PN 符号を動的に割り当てる車車間通信プロトコルについて、論じられている。また、文献 13) において、強い指向性をもつレーザー光でスペクトル拡散 (DS-SS) 通信を用いた、車車間通信が論じられている。

しかし、これらは車車間通信ネットワーク上で車両

情報により送信方向を選択することや、道路状況において通信方式を変更する方法は述べられていない、

## 5. おわりに

本稿では、車車間通信を用いることでリアルタイムに変化する自車両の周囲の交通状況をドライバーに提供するシステムを提案した。このシステムの構築にあたり、Ad Hoc Networkで問題となっていた中継パケットの増加を、システムで用いられている情報を用いることで、改善することを述べた。

今後の課題としては、シミュレーションを用いた本稿での提案システムの実験を行うこと、今回、定義しなかった環境情報での伝達ホップ数の制限の定義が挙げられる。また本システムは、周囲の車両で起こった情報をリアルタイムでドライバーに提供しているが、カーナビゲーション等で得られた目的地までの道程といった情報を利用することで、高度な交通情報をドライバーに提供できるシステムに拡張することも今後の課題である。

## 参 考 文 献

- 1) M. Aoki, H. Fuji: Inter-Vehicle Communication: Technical Issues on Vehicle Control Application, IEEE Commun. Mag., vol34, no.10, pp90-93, Oct. 1996.
- 2) 電子通信学会編: パケット交換技術とその応用, コロナ社, 1980.
- 3) Sze-Yao Ni, Yu-Chee Tseng, Yuh-Shyan Chen, and Jang-Ping Sheu: The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network, Proc. IEEE/ACM Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking MOBICOM, pp.151-162, 1999.
- 4) Robert Castañeda and Samir R. Das: Query Localization Techniques for On-demand Routing Protocols in Ad Hoc Networks, Proc. IEEE/ACM Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking MOBICOM, pp.186-194, 1999.
- 5) Charles Perkins and Elizabeth Royer: Ad Hoc on Demand Distance Vector (AODV) Routing, IETF Internet Draft, <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-aodv-02.txt>, 1998.
- 6) Y.Ko and N.H.Vaidya: Location-aided Routing(LAR) in Mobile Ad Hoc Networks, Proc. IEEE/ACM Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking MOBICOM, pp.66-75, 1998.
- 7) Philippe Jacquet, Paul Muhlethaler, and Amir Qayyum: Optimized Link State Routing Protocol, IETF Internet Draft, <http://search.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-olsr-01.txt>, 2000.
- 8) Josh Broch, David B. Johnson, and David A. Maltz: The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks, IETF Internet Draft, <http://search.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-dsr-03.txt>, 1999.
- 9) 伊藤 英明, 松浦 勝海, 田頭 茂明, 佐藤 健哉, 最所 圭三, 福田 晃: OMUSUBI システムによる Ad Hoc ネットワークでのマルチキャスト通信について DICO MO 2000. pp.205-210, 2000.
- 10) 島津 義嗣, 村田 英一, 吉田 進: ITS 車車間通信における中継パケット制御法電気情報通信学会論文誌, Vol.J82-B, No.11, pp.2018-2025, 1999.
- 11) Ari Widodo, 長谷川孝明: 車車間ネットワークを含めた高度交通システムの評価のための自律走行交通流シミュレータ 電気情報通信学会論文誌, Vol.J82-B, No.11, pp.2018-2025, 1999.
- 12) 屋代 智之, 松下 温: 動的に PN 符号を割り当てる車車間通信プロトコル:DPA 電気情報通信学会論文誌, Vol.J81-A, No.4, pp.496-504, 1998.
- 13) 屋代 智之, 松下 温: 車車間通信を用いた車車間ネットワークの構築に関する提案, 電気情報通信学会論文誌, Vol.J82-B, No.1, pp.9-18, 1999.