

## 緊急時通信を考慮した位置情報に基づく 車車間アドホックネットワーク方式の実車実験

川瀬 悠<sup>†</sup> 姜 巍<sup>†</sup> 永柳 圭 史<sup>†</sup>  
濱野 元 樹<sup>†</sup> 若山 公 威<sup>††</sup> 岩田 彰<sup>†</sup>  
白石 善 明<sup>†</sup> 鈴木 秀 昭<sup>†††</sup>  
藤田 充<sup>†††</sup> 吉川 泰 男<sup>†††</sup>

モバイルアドホックネットワーク技術の車車間通信システムへの利用が注目されている。車車間通信の用途は運転手や同乗者の快適性向上とリアルタイム性の高い安全情報の伝達の大きく2つに分けられる。用途および通信相手によって通信に求められる要求は異なり、複数の要求を同時に満たすシステムが必要である。そこで我々は、周辺車両の位置情報をネットワーク制御の付加情報とするプロアクティブ型のルーティングプロトコルをベースに、車車間通信に求められる機能を内包するアドホックネットワークシステムを提案し、実車実験を行って性能を評価する。

### Position-Based Inter-Vehicular Ad-Hoc Network Considering Emergency Information Service

HISASHI KAWASE<sup>†</sup>, JIANG WEI<sup>†</sup>, KEIJI NAGAYANAGI<sup>†</sup>,  
MOTOKI HAMANO<sup>†</sup>, KIMITAKE WAKAYAMA<sup>††</sup>, AKIRA IWATA<sup>†</sup>,  
YOSHIAKI SHIRAISHI<sup>†</sup>, HIDEAKI SUZUKI<sup>†††</sup>, MITSURU FUJITA<sup>†††</sup>  
and YASUO YOSHIKAWA<sup>†††</sup>

Mobile Ad-hoc network is expected to be used for the Car-to-Car communication system. The usage of Car-to-Car communication system is classified into profit service for driver and fellow passengers and high real-time vehicle safety services. Because the demand needed by the communication is different depending on the usage and the other party of the communication, the system that meets two or more demands at the same time is necessary. So, we proposed the Car-to-Car Ad-hoc network system based on routing of proactive that uses location, and experimented on it by using the car.

#### 1. はじめに

近年、車における安全性と快適性の向上を図り、ITS(Intelligent Transport Systems:高度道路交通システム)の研究が盛んに行われている。

ITSとは、最先端の情報通信技術を用いて人と道路と車両とを情報でネットワークすることにより、交通事故や渋滞などといった道路交通問題の解決を目的に構築する新しい交通システムのことであり、車車間通

信や車路間通信にモバイルアドホックネットワーク技術を用いることが検討されている。

車車間通信の機能として、1. 安全支援のための緊急情報の伝達、2. 交通情報などの定期的な交換、3. 運転手または同乗者による通信や外部ネットワークとの接続などが考えられる<sup>1)</sup>。これら機能は、それぞれ通信相手や通信に求められる要求が異なる。

「1. 安全支援のための緊急情報の伝達」の場合、通信相手はその緊急情報が道路交通上での安全を確保するために必要な範囲内すべての不特定多数の車両であり、通信に求められる要求は高いリアルタイム性と高いデータ到達率であるが、「3. 運転手または同乗者の通信」は通信相手は特定される車両あるいは外部ネットワークと接続可能なインフラ設備であり、求められる通信要求は通信を行う同乗者が不快に思わない程度の

<sup>†</sup> 名古屋工業大学  
Nagoya Institute of Technology  
<sup>††</sup> 名古屋外国語大学  
Nagoya University of Foreign Studies  
<sup>†††</sup> (株)デンソー  
Denso, Inc

通信速度である。「2. 交通情報などの定期的な交換」に関しては、周辺車両の交通情報と目的地への交通情報によって通信相手が変わる。前者は通信相手は自車両周辺の位置関係が変化する不特定多数の車両群であり、後者は目的地への道路交通情報を集積しているサーバへ接続するためのインフラ設備である。ここでは後者は機能3に含まれる。

そこで本稿では、機能によって様々に異なる通信要求を満たすために位置情報を付加情報として利用したプロアクティブ型のルーティングをベースに、特定の相手への通信ではデータの中継車両を自車両との予測される最大のトポロジ変化後の距離による優先度によって選択するユニキャストルーティング方式と、緊急情報の伝達では緊急情報と電波的に干渉し合わない周波数チャネルにより交換されるプロアクティブ型の定期的な経路制御メッセージによって得られた周辺車両情報を用いてフラッディング転送を行うか決定する制御フラッディング方式の2つを提案する。また、実験により提案する方式の性能を評価する。

## 2. 関連研究

車車間通信への適用が期待されるモバイルアドホックネットワークのプロトコルには様々なルーティング方式が研究されている。ユニキャストルーティング方式では、トポロジ情報に基づく方式と位置情報に基づく方式があり、さらにリアクティブ型とプロアクティブ型のルーティング方式に分けられる。また、ブロードキャストルーティング方式としてフラッディングがある。

### 2.1 ユニキャスト方式

リアクティブ型ルーティングでは、モバイルアドホックネットワークでトポロジ変化によるリンク切替えが多発すると経路再構築のためのメッセージ数が増加する。そこで、予めトポロジ変化を見越して長時間維持できるルートを検索する方法としてFORP(Flow Oriented Routing Protocol)<sup>2)</sup>が提案されている。ただし、FORPは通信の処理遅延が大きいことや経路のホップ数が増える問題がある。

プロアクティブ型のルーティングでは制御メッセージ交換間隔内でトポロジ変化を反映することができない。FSR(Fisheye State Routing)<sup>3)</sup>では、すべての端末がリンク情報を隣接端末とのみ交換する。そのため、メッセージ交換間隔を短くしても制御パケットがネットワーク中の端末数 $n$ のオーダーに収まる。また、近隣のトポロジ情報ほど正確に反映できるため、送信端末は遠方の受信端末の送信時の詳細な周辺トポロジ

を把握していなくても、受信端末にパケットが近くなるにつれてトポロジの反映が正確になるので遠距離のトポロジ変化の影響を受け難い。しかし、近距離でのリンク情報交換間隔でのリンク切断には依然弱い。

### 2.2 ブロードキャスト方式

多数の端末に同時にパケットを送信する手段としてフラッディングがある。フラッディングは経路探索などの制御メッセージの伝達に用いられる他、車車間通信では周辺の走行情報などを伝達、収集するための手段や緊急時の安全確保のための情報の伝達に用いることが考えられる。

しかし、フラッディングには大きな2つの問題点が存在する。まず、フラッディングはパケットを受信した端末が再ブロードキャストを繰り返すことでデータを複数の端末に伝達していくため、増えすぎたパケットによって有限な電波帯域を占領してしまうブロードキャストストーム<sup>4)</sup>が問題である。さらに、現在電波到達範囲や普及度から車車間通信に適しているIEEE802.11シリーズ無線規格に用いられるCSMA/CA方式はブロードキャストパケットの通信信頼性が低いため、コリジョンロス以外のパケットロスや、フラッディングパケット以外の電波の影響についても言及する必要がある。

## 3. デュアルチャネル通信の提案

通常時に車車間や車路間で通信を行っていることを想定すると安全確保のための緊急時の情報を伝達する際に、緊急時の通信パケットと通常時の通信パケットがコリジョンを起こすことによって必要な情報が伝達できない可能性がある。そこで我々は論文<sup>5)</sup>にて、緊急情報をフラッディングするパケットと通常時の通信パケットやルーティングに必要な制御パケットを異なる周波数チャネルを用いた2台の無線デバイスでそれぞれ送信することによって、確実に到達する必要がある緊急時データと通常時データのコリジョンロスを避ける方法を提案した。

我々の研究フロアに図1のように無線デバイスを2つ備えた無線端末を設置する。フロアの全長はおよそ40mであり、端末を設置した廊下の幅はおよそ2.5mである。

AdvertiseパケットとLinkStateパケットと呼ぶTTL(Time To Live)が1である2つの制御パケットの送信間隔を変更して、制御パケットを交換しているチャネルと、制御パケットを交換しているチャネルとは周波数的に交差しないチャネルについてそれぞれでフラッディングにおけるパケットロス率を比較した

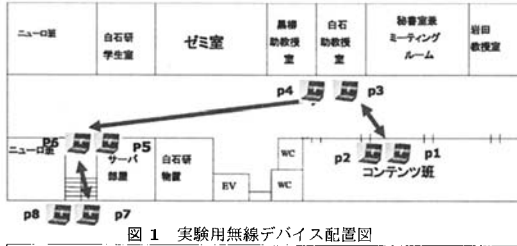


図 1 実験用無線デバイス配置図

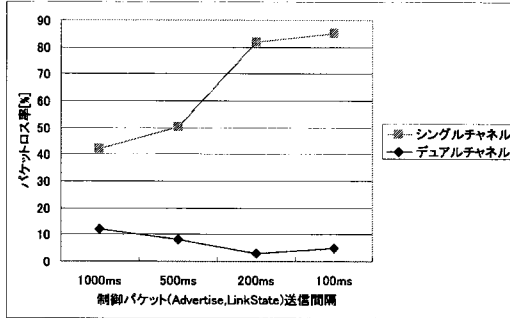


図 2 制御パケットと同一チャネルでパケットをフラッディングした場合と周波数的に重ならないチャネルでフラッディングを行った場合のロス率の比較

(図 2)。

デュアルチャネルを用いてフラッディングを行った場合、シングルチャネルに比べてロス率が非常に小さい。通常時の通信を頻繁に行っているチャネルで緊急時のデータ送信を行った場合に、通常時の通信とのコリジョンの影響が非常に大きいことを示しており、デュアルチャネルによる通信の効果が表れている。

#### 4. 提案方式

##### 4.1 車車間通信の機能定義

車車間通信は、大きく安全性と快適性の支援といった 2 つの用途に分けられる。具体的には第 1 章で述べたように次の 3 つの機能が必要である。

- (1) 安全支援のための緊急情報の伝達
- (2) 周辺車両の交通情報取得
- (3) 運転手および同乗者による他車両または外部ネットワークへの接続

(1) 緊急情報は必要範囲内の複数の車両に対して、(2) 交通情報は周辺車両に対して、(3) 他車両や外部ネットワークとの通信は特定の通信端末に対して通信を行うといったように通信相手を分けることができる。つまり (1) 緊急情報はフラッディング、(2) 周辺車両の交通情報取得は狭い範囲への定期的なパケット送信など、(3) 他車両や外部ネットワークとの通信はユニキャスト通信が適している。また、(2) の周辺車両の交通情報はトポロジ情報となり、(1) 緊急情報の伝達や (3)

特定端末への通信に利用することが出来る。

そこで、我々は定期的に隣接端末と交換する位置情報を付加情報として、機能 (1) 緊急時通信、機能 (2) 周辺車両の情報取得、機能 (3) 特定端末との通信の 3 つの機能をそれぞれ実装するプロトコルを提案する。

具体的には、周辺車両と定期的に位置情報などを交換することを考慮に入れて、プロアクティブ型の中でも遠距離のトポロジ変化の影響に通信性能が左右され難い FSR<sup>3)</sup> にデュアルチャネル通信機能と、GPS 情報を取得して周辺車両と交換する機能を実装し、周辺車両と定期的に交換する位置情報を、ユニキャスト通信の優先中継端末決定とフラッディング時の転送端末決定に用いることで、ユニキャスト通信とフラッディングの両性能を向上させる。

##### 4.2 提案 1- 予測車間距離による経路選択優先度指定方式

提案するシステムの機能の 1 つとして、プロアクティブ型ルーティングの弱点である制御パケット交換間隔内のトポロジ変化に対応するために、遠距離でのトポロジ変化に強い FSR に、GPS から得られた位置情報を元に制御パケット交換間隔後の周辺端末との車間距離を予測する機能を実装することで近距離のトポロジ変化に対応し、中継端末として車間距離が近過ぎず、離れ過ぎない距離の端末を選択することによって End-to-End で到達率を高くするルーティング方式を提案する。

###### 4.2.1 語句定義

本方式で用いる語句を定義する。

###### Advertise パケット

自車両の Advertise パケット送信時の位置と次回 Advertise パケット送信時の予測位置を隣接車両に知らせるためのパケット。AdvertiseRate 間隔で送信される。

###### LinkState パケット

自車両が現在知っている各車両の隣接車両情報 (LinkStateItem) をまとめて隣接車両に送信するパケット。RefreshRate 間隔で送信される。含まれる具体的な情報は LinkStateItem を参照。

###### 予測位置

AdvertiseRate 間隔で得られる現在と過去の GPS 情報の差分から、等速直線運動を行っていると仮定した場合の次回 Advertise パケット送信時に存在すると思われる自車両の位置。

###### 位置情報テーブル

自車両の位置情報のログを保管するテーブル。

更新した最新の GPS 情報と予測位置情報を保管。Advertise パケットに付加するシーケンス番号はここで管理。

#### 予測車間距離

自車両が保持している最新の予測位置と隣接車両から Advertise パケットにて送信された予測位置から計算される車間距離。

#### 距離メトリック

隣接車両との予測車間距離に応じて距離の区間に対して割り当てられるリンクの重み。距離メトリックが小さい程、優先度は高い。

#### 隣接テーブル

隣接車両の ID, 最新の位置, 予測位置, 距離メトリック, 自車両との前後関係を保持するテーブル。

#### LinkStateItem

ある車両に対する隣接車両の ID, メトリックをまとめたもの。根となる車両を, その LinkStateItem における「親車両」と呼ぶ。(ex. 親車両:車両 A - 車両 B:2, 車両 C:1, 車両 D:4 の場合, 車両 A の隣接車両として車両 B,C,D がそれぞれメトリック 2,1,4 で与えられる範囲にいる)

#### リンクテーブル

ネットワーク内の端末の LinkStateItem をまとめたテーブル。ユニキャストのルーティングはこのテーブルを元に Dijkstra 法によって最小メトリックを取る経路を選択する。

#### 4.2.2 提案方式 1-詳細

本方式は, 以下の流れでルーティング情報となる位置情報とリンク情報を交換する。

- (1) AdvertiseRate(2) 経過, Advertise パケット受信 (6), RefreshRate 時間経過 (12), LinkState パケット受信 (14) のいずれかのトリガまで待機 (トリガによって () 内の番号へ)
- (2) GPS 受信機にアクセス, 位置情報を取得
- (3) 1 つ前の自身の位置情報から, 等速直線運動を仮定して AdvertiseRate 後の予測位置を計算
- (4) 現在位置と予測位置, インクリメントしたシーケンス番号を自身の位置情報テーブルに更新
- (5) Advertise パケットに現在の位置と予測位置, シーケンス番号を入れて TTL=1 で隣接車両にブロードキャスト
- (6) 受信した Advertise パケットのシーケンス番号と隣接テーブルの該当車両のシーケンス番号を比較し, 新しい情報の場合は現在位置, 予測位

置, シーケンス番号を隣接テーブルに更新

- (7) 自身の位置情報テーブルの予測位置と Advertise パケットの予測位置から予測車間距離を計算
- (8) 予測車間距離をあらかじめ設定してある距離範囲とメトリックの対応テーブル (図 6) から距離メトリックを割り振る
- (9) 自身の現在位置と未来位置の 2 点を結ぶ直線と直交し, 自身の現在位置を通る直線を計算し, その直線に対して進行方向ベクトル向きに前後を決定
- (10) Advertise パケット送信端末の距離メトリック, 前後関係を隣接テーブルに更新
- (11) リンクテーブルの自身を親車両とする LinkStateItem の該当隣接車両とのメトリックを更新する
- (12) 自身の位置情報テーブルのシーケンス番号を LinkStateItem のシーケンス番号として更新
- (13) (14) の処理によって得られたネットワーク内の車両を親車両とする LinkStateItem を含むリンクテーブルを LinkState パケットに載せて隣接車両に TTL=1 でブロードキャスト
- (14) 受信した LinkState パケットの LinkStateItem から, 自身のリンクテーブルに存在する LinkStateItem と比較して, シーケンス番号が新しい親車両の LinkStateItem と自身のリンクテーブルに存在していない LinkStateItem をリンクテーブルに新規, 更新する。

提案方式では, 予測位置を算出するため前回の GPS 位置から「等速で走行した」と仮定し, 次の AdvertiseRate 後まで「等速で走行する」と仮定している。路面の摩擦係数が 0.7 だとして, 制動時間 T の式 1 と制動距離 D の式 2 より時速 100km 走行時に急ブレーキを踏んだときの位置誤差は 4 秒で約 50m 程度 (図 3) であり, AdvertiseRate を 1~2 秒と仮定した場合は通常の走行において等速運動と仮定しても大きな誤差はない。

$$T = v / (g * \mu) \quad (1)$$

$$D = v^2 / (2 * g * \mu) \quad (2)$$

(v : 速度 [m/s], g : 重力加速度,  $\mu$  : 摩擦係数)



図 3 急停車時の等速運動を仮定した場合の予測位置に対する誤差

また、リンクに使用する車間距離が予測位置に基づく理由は、Advertise 間隔内における最大のトポロジ変化を考慮するためである。特に、隣接車両が離れていく場合はトポロジ変化がパケット受信率に大きく影響を与えるため、回避する。

さらに予測位置に対して距離メトリックを割り振る際に近過ぎず、かつ障害車両などの影響をあまり受けないようなパケット受信率が高い距離の車両を最も中継端末としての優先度が高いように設定し(図4 図5 図6)、転送パケット数の爆発的な増加を避けつつ、高い End-to-End 受信率となる経路を選択することが可能とする。



図4 遠い車両を選択した場合:障害車両の影響  
パケット数が増え過ぎる



図5 近い車両を選択した場合:メッセージ数の増加

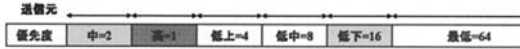


図6 距離範囲におけるメトリックの段階的な割り当て

さらに、ネットワーク全体のメトリックを参照することで全体的に見て最も安定したルートを見出す。データ送信時は Dijkstra 法を用いて、リンクのメトリックの合計が最小になる中継端末を選択する。

### 4.3 提案 2-隣接車両位置情報を元にした周辺車両密度と送受信車間距離によるフラッディング転送制御

提案するシステムの2つ目の機能として、緊急情報のフラッディング時に提案するシステムの1つ目の機能で交換を行った位置情報を利用し、周辺の車両密度と受信したパケットを直前に転送した車両との距離によって、フラッディング転送を行うか決定する方法を提案する。

本方式は緊急時の通信に用いることを想定するために、素早く、確実に情報をフラッディングすることを最大の目標とする。そのため、車両密度が低く、緊急時同士のコリジョンによるロスの影響よりも、IEEE802.11 の CSMA/CA 方式のブロードキャストパケットの低信頼性カバーのために多数の車両から複数回受信機会を設ける方が受信率が上がると考えられる時はフラッディング制御によるメッセージ削減はあまり起きないようにする。

本方式では、伝達速度を重視するために各々のパケット受信車両により即座に転送抽選を行って転送・非転

送を決定する。確率式のパラメータは、直前の転送車両との距離と、受信したパケットの転送方向(図7)の近隣車両数である。これは、自車両よりもパケットの転送方向側にあるパケットが受信している可能性が高いか低いかにより転送する必要性が変化するためである。



図7 緊急時情報の転送方向

そこで、提案1によって得られた隣接車両の位置情報を用いて、受信したパケットの直前転送端末からの距離によって、転送方向の周辺車両数の重みを変えた確率型フラッディング制御を行う。説明のためメトリックの割り当て範囲に対して近距離から順に POS 値=1,2,3,4 と割り当てる(図8)。さらに、自車両を

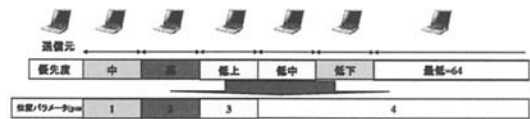


図8 緊急時 POS 値

挟んでパケット進行方向にある POS 値1の端末数を  $n$ 、POS 値2の端末数を  $m$  とする。メトリックの割振りから POS2 の範囲まではパケット受信率が高いので、直前転送車両と自車両との POS 値 ( $POS_d$ ) によって自車両のパケット進行方向の車両に重みを変化させてパケット到達率に反映させる手段として式3~6のように転送確率  $P$  を決定した。

$$POS_d = 1: P = 1 - 0.1 * (n + m) \quad (3)$$

$$POS_d = 2: P = 1 - 0.05 * n \quad (4)$$

$$POS_d = 3: P = 1 - 0.03 * n \quad (5)$$

$$POS_d = 4: P = 1 \quad (6)$$

## 5. 実験による評価

### 5.1 実験環境

提案システムの性能を評価するため、従来のFSRをプロアクティブ部に実装した(株)スカイリーのHybrid型ルーティングミドルウェアであるDECENTRA<sup>6)</sup>に提案手法を実装し、名古屋工業大学構内(図9)およびデンソー額田テストコース(図10)を用いて実験を行った。

実験に使用した機器は以下の通りである。

- ノート端末:EPSON Endeavor2850 WindowsXP

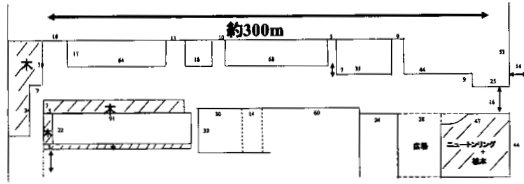


図 9 大学構内テストベッド-直線約 300m, 電波環境:悪

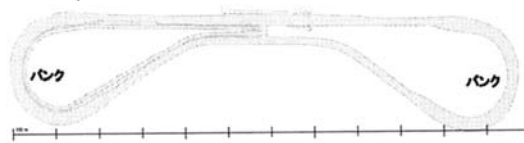


図 10 額田テストコース-直線約 800m, 電波環境:良

### Professional SP2

- 無線 LAN デバイス:BUFFALO WLI-U2-KG54
- 無線 LAN チャンネル:通常時 IEEE802.11b 3ch, 緊急時 IEEE802.11b 13ch
- GPS 受信機:GlobalSat 社 BU-353 精度 10m
- 学内実験端末:高さ 1.5m, 無線 LAN デバイス間 60cm(図 12)
- 実験車両 (車高):プレビス (1.46m), エスティマハイブリッド (1.76m)-図 11,LexusIS350(1.43m), エスティマ (1.73m), Lexus 600hL(1.475m),

実験に際して, 大学構内および額田テストコースにおける車間 (端末間) 距離とパケット受信率の関係を示す. 図 13, 図 14 はそれぞれ大学構内と額田テストコースの 1139byte パケット 1000 回の送信におけるユニキャスト通信のパケット受信率である. 物理的な環境の変化がパケット受信率にどの程度影響を与えるかを調査するため, 大学構内では人や車が少ない休日の 21:30~翌 1:00 と, 人や車の多い平日の 15:00~18:00 の 2 通りについて, 額田テストコースでは障害車両がない見通せる状態と障害車両があり電波を出していない場合と電波を出している場合の 3 通りについて行った.

図 13 および図 14 より本実験環境において 100m 以内に関しては周辺の環境変化に対するパケット受信率への影響は小さいが 100m 以降では徐々に周辺の環境変化に対する影響が表れる. 従って, 本実験において距離メトリックを割り振る際に優先範囲の最大値は 100m 程度とするのが良く, 優先範囲の最小値を最大値の半分である 50m とし, 以降のメトリック範囲も 50m 刻みとする.

### 5.2 走行実験-提案 1

額田テストコースにおいて提案 1 のユニキャスト通



図 11 車両への無線 LAN デバイス取り付け図:  
地面からの高さ=車高+0.5m

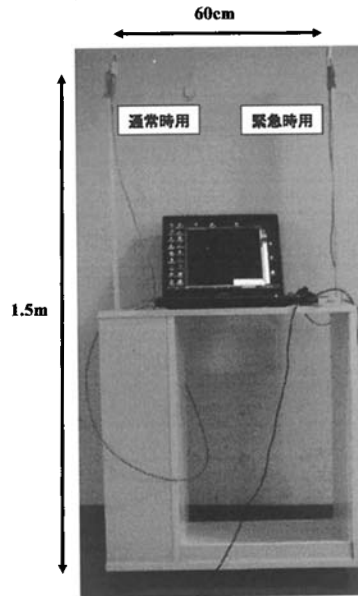


図 12 大学構内実験装置

信機能を評価するため, ホップ数が最短となるようなルートを選択する従来方式 (FSR) と提案方式 1 について走行する車両を用いて性能評価を行った.

実験では車両 5 台 (先頭からプレビス, エスティマハイブリッド, Lexus IS350, エスティマ, Lexus600hL) を用いて, 先頭車両から最後尾の車両に向けて 1139byte パケットを 300ms に一度送信した. 車両速度と車間距離は 800m の直線を用いて作り, 時速 60km で 50m 間隔 (送受信間 200m) および 75m 間隔 (送受信間 300m) の 2 通りについて行った. ただし, カーブがバンクとなっており, バンク内ではそれぞれ見通し距離が変化するため, 無線ネットワーク

表 1 車車間通信実験における  
従来方式と提案方式 1 の比較

	車間 50m		車間 75m	
	従来方式	提案 1	従来方式	提案 1
送信パケット数 n	463	474	458	452
パケット到達率	80.1%	91.8%	69.6%	94.3%
平均ホップ数 h	1.20	2.81	1.60	3.93
到達 100% に 必要な パケット数 $N_{ok}$	4.02	3.85	7.33	4.89

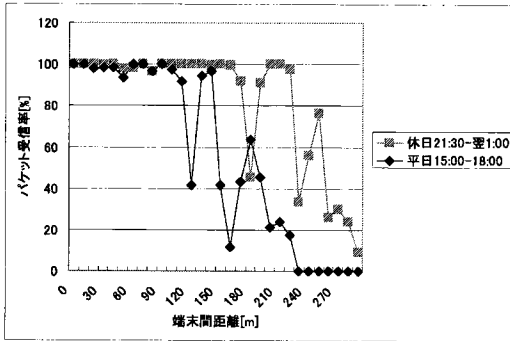


図 13 大学構内-端末間距離 対 パケット受信率

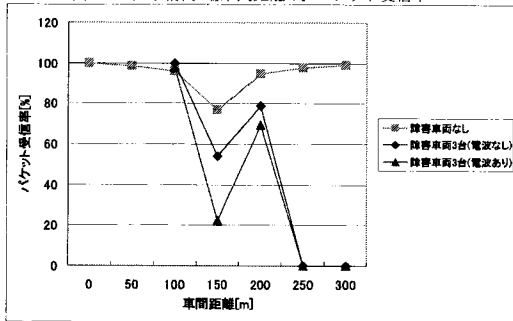


図 14 額田テストコース-端末間距離 対 パケット受信率

ポロジが変化する。車間距離 50m と 75m について従来方式と提案方式 1 についてパケット到達率, 到達パケットの平均ホップ数, 到達率 100% を満たすために必要な制御パケットを除くネットワーク中のパケット数について表 1 にまとめた。なお, 到達 100% に必要なパケット数とは, 送信パケット数  $n$ , 平均ホップ数  $h$ , ロスパケット数  $l$ , パケットロス時の MAC 最大再送数  $=7$  としたときの実験で得た到達率での 1 送信あたりのメッセージ数  $N_0$  (式 7) に対して, Ack を含めた往復でのロス率が  $L=(l/n)^2$  であるとき到達率が 99.99% を越えるまでパケットロス時に同じロス率でアプリケーション層にて再送制御を行った場合 (Resend 回) のパケット数  $N_{ok}$  (式 8) である。

$$N_0 = (n * h + l * 7) / n \quad (7)$$

$$N_{ok} = \sum_{k=1}^{Resend} N_0 * L^{k-1} \quad (8)$$

$$(L^{Resend} = 0.0001) \quad (9)$$

また, 図 15, 図 16 は車間距離 50m での従来方式と提案方式 1 の車間距離とホップ数の変化を示すグラフである。受信できたパケットに対してホップ数が棒グラフで表されており, 受信できなかった場合は空白になる。

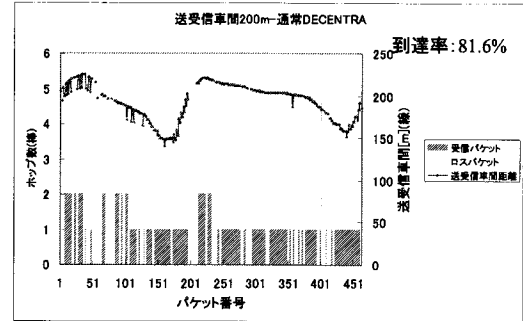


図 15 従来方式における車間距離 50m(送受信間 200m) の車間距離推移に対するホップ数の変化

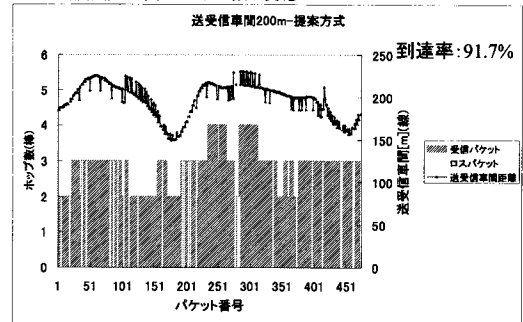


図 16 提案方式 1 における車間距離 50m(送受信間 200m) の車間距離推移に対するホップ数の変化

表 1 および図 15, 図 16 より, 平均ホップ数は増えるがその分安定したルートを選択していることがわかる。特に, カーブなどの見通し距離の変化によるトポロジ変化に対して提案方式 1 の方が追従するようにホップ数を変化させているといえる。さらに, 表 1 から MAC 再送がパケットロス時に最大回数である 7 回行われることを考慮するとパケット到達率 100% するために再送を繰り返す場合に最終的に必要なメッセージ数も提案方式では少なく, 再送回数も少なくなるため優れた性能を示した。

### 5.3 走行実験-提案 2

緊急時通信に関する提案 2 の評価を行うために, 額田テストコース (図 10) を走行する 5 台の車両 (時速 60km, 車間距離 50m と 75m の 2 通り) と大学構内 9 における端末間距離 40m としたときの 9 台の設置

端末によって無制御フラッディングと提案方式 2 で 1139byte パケットを先頭車両(端末) から 300ms に一度フラッディングする実験を行い、それぞれについて受信率、パケット拡散時間、メッセージ削減率について評価した。

図 17 に車間距離 50m と 75m、および静止端末間 40m の大学構内の実験についてのフラッディングパケットの受信率を、図 18 に車間距離別の全車両が受信できたパケットについて、転送率を示した。提案

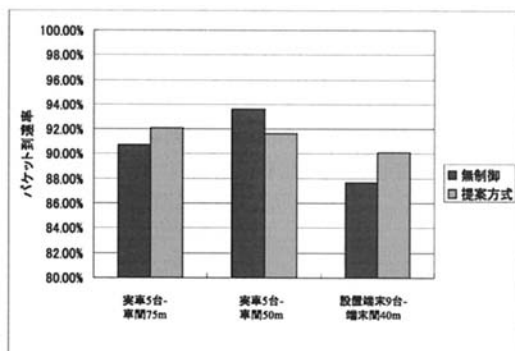


図 17 車間距離(端末間距離) に対する無制御方式と提案方式 2 のフラッディング受信率比較

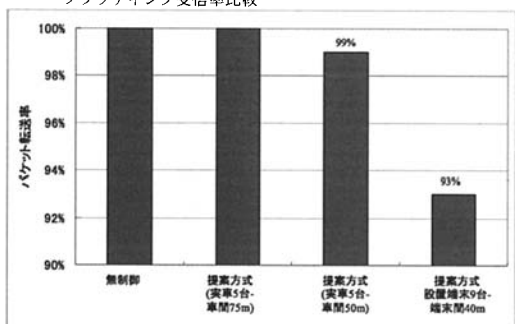


図 18 車間距離(端末間距離) 別の全車両(全端末) 受信成功パケットにおける転送端末の割合

方式 2 について今回の実験では受信率はほぼ変化がない。これは、車両密度(端末密度) が小さいためコリジョン回避の制御がほとんど意味をなさなかったからである。しかし、図 18 では、車間距離を短くすると、また、端末数を増やすと送信メッセージ数が削減されていることがわかる。今回の実験では端末数が不十分だったため、期待する程の効果は上がらなかったと考えられる。

## 6. まとめ

本稿では、モバイルアドホックネットワーク技術を車車間通信に適用するにあたって車車間通信に考えら

れる機能を元に、周辺車両の走行情報を取得する際に得られる位置情報を共通のパラメータとして、ユニキャスト通信とフラッディングのそれぞれの性能を向上させるシステムを提案した。ユニキャスト通信では、トポロジ変化に対して柔軟に対応できる FSR に予測位置と優先距離の概念を導入したことで End-to-End のパケット到達率を向上させることに成功し、緊急時に行うであろうフラッディングでは、送信方向の近隣車両数に応じて転送確率を変化させることで、密度に応じてネットワークのパケット数を削減できることを示した。

しかし、緊急時の通信手段としてフラッディングを行う場合に到達の確実性が重要視されるため、車両密度が低い場合やネットワーク内の電波環境が悪い場合、ブロードキャストパケットに MAC 層での再送機能がないことによる信頼性の低さが大きく問題となる。

そこで今後の課題として、共通のパラメータである周辺車両の位置情報を元に車両密度(特に送信方向の車両密度) に応じてパケット再送数を制御するようなプロトコル改良を行っていくことで、緊急時情報伝達の確実性を高めることが必要である。

## 参考文献

- 1) H. Hartenstein, B. Bochow, A. Ebner, M. Lott, M. Radimirsch, and D. Vollmer, "Position-aware ad hoc wireless networks for inter-vehicle communications: the Fleetnet project," Proc. ACM MobiHoc'01, 2001.
- 2) W. Ssu and M. Gerla, "Ipv6 flow handoff in ad-hoc wireless networks using mobility prediction," Proc. IEEE GLOBECOM, pp.271-275, Rio de Janeiro, Brazil, Dec. 1999.
- 3) G. Pei, M. Gerla, and T.-W. Chen, "Fisheye State Routing in Mobile Ad Hoc Networks", Proceedings of Workshop on Wireless Networks and Mobile Computing, Taipei, Taiwan, Apr. 2000.
- 4) Y.-C. Tseng, S.-Y. Ni, Y.-S. Chen, and J.-P. Sheu, "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network," Wireless Networks, vol. 8, nos. 2/3, pp. 153-167, Mar.-May 2002.
- 5) de Silva Heethaka Pradeep Ruwanthath, H. Kawase, A. lwata, K. Wakayama, H. Umeda, "Car-to-Car Communication System Using a Dual Channel Mobile Ad-Hoc Network," 情報処理学会研究報告, 2007-DPS-130, 2007-CSEC-36, pp165-170, March 2007.
- 6) "SKYLEY NETWORKS" <http://www.skyley.com/>