

VANETにおける車両の経路情報を利用した 情報伝播プロトコルの提案と評価

中村正人^{†1} 木谷友哉^{†2} 孫為華^{†1}
柴田直樹^{†3} 安本慶一^{†1} 伊藤実^{†1}

本研究では、VANETにおいてメッセージの複製によるオーバーヘッドを抑えながら、メッセージの宛先への到達率を向上させることを目標に、近隣車両の移動予定経路情報を利用した情報伝播手法を提案する。提案手法では、各走行車両がカーナビに設定された予定経路情報に沿って走行すると仮定し、車車間通信によってその経路を定期的に交換し、データの宛先に近づくると予測される車両にのみメッセージを複製することで無駄な中継トラフィックを減らす。シミュレーションによる実験の結果、提案手法は、メッセージ発生率が低い状況では Flooding と同程度、メッセージ発生率が高い状況では、Flooding の 1.6 倍のメッセージ到達率を得られた。

Proposal and Evaluation a Method for Information Delivery Protocol in VANET with Scheduled Routes of Cars

MASATO NAKAMURA,^{†1} TOMOYA KITANI,^{†2}
WEIHUA SUN,^{†1} NAOKI SHIBATA,^{†3} KEIICHI YASUMOTO^{†1}
and MINORU ITO^{†1}

In this paper, aiming at improving the delivery rate and suppressing the message overhead, we propose a method for efficient message delivery in VANET utilizing the route information in car navigation systems. In the proposed method, each car periodically exchanges the information on its current location and scheduled route preset in the car navigation system with neighboring cars by broadcast in the radio range. Using the exchanged information, each car replicates message in some of neighboring cars which will approach the destination location so that the total traffic amount is reduced. Through simulations, when the message generation rate was low, the proposed method achieved the same delivery rate as Flooding. When the message generation rate was high, our method achieved 1.6 times better delivery rate.

1. はじめに

近年、情報通信技術の高度化に伴い、無線通信を用いて車車間、路車間で情報の送受信を行うことにより、安全支援や渋滞などの道路交通問題の解決をはかる高度道路交通システム (ITS: Intelligent Transport System)¹⁾ が注目を集めている。代表的な ITS サービスの一つに、VICS (Vehicle Information and Communication System)²⁾ がある。VICS が道路に設置された路側センシング装置により交通情報を収集することに対し、携帯電話網を利用して情報を収集するテレマティクスサービス^{3),5)} も近年登場している。ただし、これらのサービスはセンタ型であり、インフラの利用コストがかかってしまう。

各車両に無線通信装置が搭載されるようになると、携帯電話網に頼らず、近隣の車両間での直接通信によって情報を交換し、流通させることが可能になる。このような車両間で自律的に構築されるネットワークは VANET (Vehicular Ad Hoc Network) と呼ばれ、近年盛んに研究が進められている。本稿では、車両が周囲の様々な情報をセンシングし、それを路側に設置された情報収集装置に送信するような環境を、DTVSN (Delay Tolerant Vehicular Sensor Network) と定義する。DTVSN では、遅延に寛容なメッセージを、VANET を用いて車両間で交換し、最終的に情報収集装置に配送する。しかし、VANET では、ネットワークノードとなる車両の高いモビリティのために、ノード間の接続関係が頻繁に変化するため、単純なマルチホップ通信や従来のモバイルアドホックネットワークの通信プロトコルでは安定した通信を行うことができず、任意の地点にメッセージを配送することは困難である。

本研究では、近年のカーナビゲーションシステムの普及と高性能化に着目して、メッセージの複製によるオーバーヘッドを抑えながら、情報の宛先地点への到達率を向上させることを目標に、ネットワーク内の各車両の移動予定経路情報を利用した情報伝播手法を提案する。現在販売されているカーナビゲーションシステムでは、運転者が目的地を入力することで、現在地から目的地までの最適経路を案内してくれる機能を標準で装備している。従って、運転手がこの予定経路に沿って移動すると想定すれば、この情報を利用してメッセージをルーティングすることにより、無駄なオーバーヘッドを減らしメッセージの宛先までの到達率を向

^{†1} 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 Technology

^{†2} 静岡大学 若手グローバル研究リーダー育成拠点
Division of Global Research Leaders, Shizuoka University

^{†3} 滋賀大学 経済学部 情報管理学科
Department of Information Processing and Management, Shiga University

上できる。提案手法では、近隣にいる車両の経路情報を取得するため、経路情報を含んだハローメッセージを車車間通信を利用して定期的に交換する。送信すべきメッセージの宛先と近隣車両の経路情報を比較し、近隣の各車両がメッセージの宛先に最も近づく時の距離（以下、最接近時距離と呼ぶ）を計算する。各メッセージに対して、近隣に自車両よりも最接近時距離が小さくなる車両 v が存在する場合には、そのメッセージを v に送信する。そうでない場合は Carry and Forward を行い、中継先となる近隣ノードが現れるまでメッセージを保存したまま移動する。これを繰り返し行うことでメッセージを宛先に向けて中継していく。

提案手法を評価するために、豊田中央研究所が開発した交通流シミュレータ NET-STREAM⁴⁾ とネットワークシミュレータを用いて、メッセージの宛先への到達率を調べるシミュレーション実験を行った。シミュレーションによる実験の結果、提案手法は、メッセージ発生率が低い状況では Flooding と同程度、メッセージ発生率が高い状況では、Flooding の 1.6 倍程度のメッセージ到達率を得られた。

2. 関連研究

本章では、既存の情報収集サービスを分類し、DTVSN アプリケーションを実現するための関連技術について説明する。

2.1 交通情報収集サービスの分類

インフラ利用型の情報収集・提供サービスとして広く用いられているものに VICS²⁾ が挙げられる。利用者は VICS 受信機を導入するだけで、現在の交通情報を取得することができるが、車両感知器が設置されていない道路の情報は取得できないことや、設置コストがかかるといった問題がある。

テレマティクス利用型であるプローブシステム^{3),5)} では、各車両が携帯電話網のような広域無線通信を利用して、自車両の情報をセンターのコンピュータへ送信する。本田技研工業株式会社が提供するインターナビプレミアムクラブ³⁾ では、カーナビと連携させることで精度の高い渋滞予測や最速到着ルートの提案を可能とする。また、文献 5) では、バスをプローブカーとして利用し、バスが収集した情報と道路上に設置されたセンサから得た情報を基に高速バスの到着時刻を予測する方法が提案されている。これらのシステムは、広範囲の情報取得が可能であるが、通信費の発生や、携帯電話網の帯域圧迫という問題が発生する。

車車間通信を利用した情報収集では、広域無線を利用しないので、低コストに情報をやり取りすることができる。車車間通信を用いた多数の車両間の無線通信ネットワークを VANET (Vehicular Ad hoc Network) と呼ぶ。

2.2 VANET による情報収集

本節では、DTVSN アプリケーションを実現するための関連技術について説明する。

2.2.1 VANET の特徴

VANET では、一般的な MANET と異なる以下のような特徴を持つ。

- 車の高い移動性による不安定なネットワークトポロジ
- 道路・交差点といった物理的構造に沿った特徴的な移動パターン
- 不均衡な車両密度

MANET で使用される AODV⁶⁾ や DSR⁷⁾ といった汎用のルーティングプロトコルは、これらの特徴を考慮していないため、ノード群が常に連結された状態ではうまく動作するが、エンドツーエンド間でノード群が分断される状況においてはデータをうまく届けることができない。

2.2.2 VANET のメッセージルーティングプロトコル

VANET における広域でのデータ伝搬においては、不均衡な車両密度のため、目的地へのエンドツーエンドのパスが存在しないことが考えられる。このような環境に対し、中継先ノードがない場合には、そのデータをストレージに保存し、中継先ノードが現れた時にデータを送信することで、配送先までデータの運搬を行う Carry and Forward^{9),10)} と呼ばれる手法が提案されている。

Carry and Forward を用いた最も簡素なルーティングプロトコルとして、Vahdat らによって Epidemic Routing が提案されている⁹⁾。Epidemic Routing ではノードはある確率でメッセージを複製する。単純なフラッディングに比べて少ないメッセージ量で輻輳を起こさずに情報を届けることができる。この手法は、ノードの密度や移動性に応じた適切な感染率を決定することが困難であることが知られている。

文献 10) では、Carry and Forward をあらかじめ決められたルートを移動するノードに適用し、分断されたアドホックネットワーク間でデータを共有・配信することを目標としたメッセージフェリーという手法を提案している。この手法では図 1 のように、ノードは通常のレギュラーノードと、既知のルートに沿って移動するフェリーノードに分けられる。図 1 のように直接通信することのできない 2 つのレギュラーノード間の通信は、フェリーノードにメッセージを仲介・運搬してもらうことで実現する。フェリーは宛先ノードの近くでメッセージの配布を行う。

一方で、地理情報を利用してルーティングを行う手法に、Geocast¹¹⁾ がある。Geocast では、宛先として地理的な位置を指定し、その周辺領域に存在するすべてのノードにパケットを転送することを目標とする。宛先への直線距離に応じたルーティングをするため、Geocast はノード密度が十分高い場合には有効な手法であるが、図 2 のように宛先地点までの直線

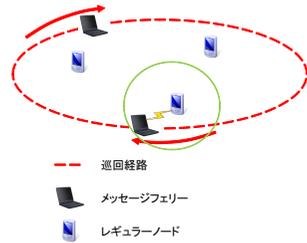


図1 メッセージフェリーの動作

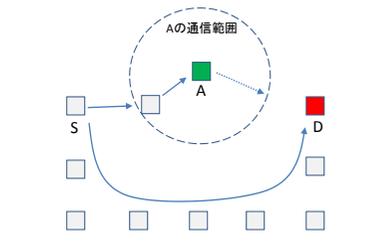


図2 Geocast によるルーティングミス例

距離上の領域のノード密度が低い場合などには、宛先へ至るパスがあるにもかかわらず、宛先にパケットを配送できない場合が発生する。

2.2.3 DTN

VANETのような接続関係が不安定なネットワークにおいて、通信の即時性を必要としないデータを対象に、配信地点へのデータ到達率の向上を目標とするDTN (Delay Tolerant Network)⁸⁾と呼ばれる技術が注目を集めている。DTNでは、各中継ノードは従来のネットワークのようにメッセージを即時的に中継送信するのではなく、周囲に中継先ノードがない場合はそのデータをストレージに保存し、周囲に中継先ノードが現れたときに改めてメッセージを送信する。これにより、途中分断が起こるようなネットワークにおいても宛先までのメッセージ伝送を可能とし、高い耐障害性を持つ。Carry and ForwardもDTNの技術の一種であるといえる。VANETにおいて、ノードとなる車両はメッセージを保持したまま高速に移動できることや、デジタル地図を搭載したカーナビを装備しているために移動経路が高い精度で予測できる。これらの特性を利用することで、さらに効率的なメッセージ配送が可能になると考えられる。

DTNの環境を対象として、SpyropoulosらはSpray and Wait¹²⁾という手法を提案している。この手法では、転送開始時にソースノードがメッセージを複数複製し、それを他のノードに転送する。受け取ったノードはCarry and Forwardを行うことで、目的地に届ける到達確率を高めている。複製する数が増えるほど目的地への到達確率も高まるが、その分通信帯域を消費する。またネットワークの大きさやノード数によって、適切なメッセージの複製数を決定するのは困難である。

文献13)では、モバイルセンサが遅延が許されるメッセージを伝播する環境(Delay Tolerant Mobile Sensor Network)を対象に、GPSを必要としないメッセージルーティングプロトコル(MTAD)を提案している。このプロトコルでは、ノードの移動方向や速度から、

シンクノードと将来通信を行う可能性が高いノードを発見し、メッセージの複製を行う。

3. 移動予定経路情報を利用したメッセージ伝播手法

本章では、対象とするアプリケーションと想定する環境についての仮定を述べ、問題を定義する。

3.1 想定環境

3.1.1 対象とするアプリケーション

本研究が対象とするアプリケーションは、メッセージの伝播に遅延が許されたアプリケーションである。メッセージは車両がセンシングを行うことで生成される。メッセージには宛先と配送期限が設定されている。具体的には、車両がセンシングした情報を、情報収集装置に届けるようなアプリケーションを想定する。

3.1.2 環境に関する仮定

本研究で対象とする環境として、幹線道路とその抜け道からなる一般的な道路網を持つ都市部を想定する。都市部の道路網は、交差点の集合 V と交差点間の道路の集合 E で構成されるグラフ $G=(V,E)$ で表され、車両はこのグラフの任意の地点を走行する。幹線道路の路側帯には、車両から送られたメッセージを受信・保持することのできる情報収集装置が設置されており、メッセージを持つ車両がその地点でメッセージを送信することで、情報収集装置に蓄積される。

3.1.3 車両に関する仮定

各車両の装備として、以下を仮定する。

- IEEE802.11に準拠した無線通信機器
- デジタル地図、GPS、経路案内機能を有したカーナビゲーションシステム
- 交通情報や天気情報をセンシングするためのセンサ
- センシング情報を保存するためのストレージ

ここで経路案内機能とは、カーナビゲーションシステムに目的地を入力することで、目的地までの最適経路を案内してくれる機能である。各車両は都市部を走行中、車両に設置されたセンサで交通情報や天気情報といった任意の情報をセンシングする。センシングされた情報は自車両のストレージに保存され、車車間通信を用いて他の車両と送受信することができる。

3.1.4 センシングメッセージに関する仮定

メッセージは、それを生成した車両のID m_{ID} 、宛先 $m_{place}(\in V)$ 、配送期限 ttl からなる3項組のヘッダ情報 (m_{ID}, m_{place}, ttl) を持つ。配送期限が切れたメッセージは、ストレージから破棄されるとする。

3.2 問題設定

本研究では、生成されたメッセージに対して、それを遠距離にある特定地点へ届けることを考える。本研究の目的は、できるだけ多くのメッセージを、その配送期限以内に宛先に届けることである。そのためには、メッセージの生存時間内に遠距離にある特定地点へのメッセージ伝播を可能にする情報伝播手法が必要である。この節では、この特定地点へのメッセージ伝播問題の形式的な定義を与える。

3.2.1 入力

予め以下の要素が入力として与えられるとする。

- 地図データ：道路網を示すグラフ $G = (V, E)$ として与えられる。
 - V ：交差点の集合。各交差点は緯度、経度の組で表現される。
 - E ：交差点間の道路の集合。
- R ：移動予定経路情報の集合。それぞれの経路情報 ($r \in R$) は E のリストで表現される。
- C ：車の集合。それぞれの車 ($c \in C$) は以下の 2 つの情報を持つ。
 - ID ：車両個別の ID。
 - $route$ ：移動予定経路情報 ($route \in R$)。
- B ：情報収集装置の集合。それぞれの情報収集装置 ($b \in B$) は以下の 3 つの情報を持つ。
 - ID ：情報収集装置個別の ID。
 - $store$ ：届けられたデータを保存するストレージ。
 - $bplace$ ：情報収集装置の位置 ($bplace \in V$)。
- M ：発生するメッセージ m の集合。それぞれのメッセージ ($m \in M$) は以下の 3 つの情報を持つ。
 - m_{ID} ：メッセージを生成した車両の ID ($m_{ID} \in c.ID | c \in C$)。
 - m_{place} ：メッセージの宛先地点 ($m_{place} \in b.place | b \in B$)。
 - tll ：メッセージの配送期限。

3.2.2 出力

各車両が発信したメッセージを宛先に伝達するためのアクション（ある時刻におけるメッセージの送信または受信）の集合。

3.2.3 目的

M のメッセージのうち、配送期限 tll 以内に宛先地点に届くメッセージ数を最大化する。

3.2.4 制約

制約条件として、以下のものがあげられる。

- 提案システムを搭載した車両の集合 $C' (\subseteq C)$ に含まれる車両 $c' (c' \in C')$ は $c'.route$

にそって移動する。

- 提案システムを搭載していない車両 $c'' (\in C - C')$ は、任意のルート $r (\in R)$ を移動する。
- 車両は経路途中でそれぞれの通信範囲内にいる車両から得た情報以外は分からない。
- 各車両は、それぞれの無線通域内の隣接車両とのみ通信可能であり、チャンネル数は 1 とする。

4. 提案手法

4.1 基本方針

前節で定義した問題では、車両が複数のメッセージを所持している場合、全てのメッセージを通信範囲内の車両に送信しては、輻輳が発生しメッセージを送信しきれない可能性がある。そこで無駄なメッセージオーバヘッドを減らしつつ、メッセージの到達率を高めるために、どの車両にメッセージを送信すべきかを選択しなければならない。そこで提案手法では、周辺車両の情報を基にメッセージの送信先を決定する。提案手法を、周辺車両の情報を取得する情報交換ステージと、メッセージを送信する車両を決定するメッセージ送信ステージの 2 つから成る。

- 情報交換ステージ：通信範囲内にいる車両と経路情報を交換する。
- メッセージ送信ステージ：予定経路情報を利用して、どの車両にメッセージを送信するかを決定する。

情報交換ステージでは、3.2 節で定義した問題の入力を取得し、メッセージ送信ステージでは問題を解くための動作を決定する。以降、各ステージについて詳細に述べる。

4.2 ステージの動作

4.2.1 情報交換ステージ

情報交換ステージでは、メッセージの送信相手を決定するための情報を取得する。

表 1 のように、車両 ID と車種、車両の現在位置（緯度、経度情報の組）、経路情報（交差点 ID のリスト）を含んだパケットをハローメッセージ、また表 2 のように、取得したハローメッセージを記録しておく表を、ネイバーテーブルと定義する。ネイバーテーブルには、車両 ID、経路情報、その車両の現在位置情報、TTL（ハローメッセージの生存時間）が含まれている。情報交換ステージでは、各車両が周期 P 秒ごとにハローメッセージをブロードキャストすることで、近隣車両の情報を取得する。ハローメッセージを受信した車両は、ネイバーテーブルを更新する。既にネイバーテーブルに存在していた情報は、TTL を P 秒に更新する。 P 秒の間更新されなかった情報は、ネイバーテーブルから削除する。

表 1 ハローメッセージの例

車両 ID	車種	経路情報				現在位置情報
12	バス	E_1	E_2	E_3	...	(X_1, Y_1)

表 2 ネイバーテーブルの例

車両 ID	車種	経路情報				現在位置情報	TTL
12	バス	E_1	E_2	E_3	...	(X_1, Y_1)	3
27	一般車両	E_1	E_5	E_8	...	(X_2, Y_2)	1

表 3 車種に応じた信頼度の例

車種	信頼度
バス	100%
タクシー	80%
一般車両	60%

4.2.2 メッセージ送信ステージ

メッセージ送信ステージでは、情報交換ステージで取得した情報を基に、所持メッセージをどの車両に送信するかを決定する。メッセージ送信先の選定方法として、カーナビの移動予定経路情報を利用して、自車両と比較してメッセージの目的地により近付くと考えられる車両のみにメッセージを送信していく。これにより、目的地への到達に必要なメッセージの複製をできるだけ抑え、余分なオーバーヘッドが減らせると考えられる。

まず、自車両の経路情報を利用して、所持メッセージがそれぞれの目的地に対してどの程度近づくかを計算する。以下では、車両が宛先装置に最も近づく距離を、最接近時距離と定義する。ハローメッセージを受信して、ネイバーテーブルが更新された場合、所持している全てのメッセージそれぞれについて、以下の操作を繰り返し適用する。

Step 1. 各メッセージ m に対して、自車両の最接近時距離を計算する。

Step 2. ネイバーテーブルの情報から、各メッセージ m に対する各近隣車両の最接近時距離を計算する。

Step 3. 各メッセージ m に対して、自車両の最接近時距離が一番小さいならば、そのままメッセージ m を保持する。自車両よりも最接近時距離が小さい車両がいるならば、最も最接近時距離が小さい車両にメッセージ m を送信し、自車両は m を破棄する。

最接近時距離の計算には、各交差点を頂点、その間の道路を辺とした、ダイクストラ法によって算出する。宛先拠点から経路上の各交差点に対して最小距離を求めていき、その中で最小となった距離を、最接近時距離とする。

4.3 車両が経路通りに走行しない場合への対処

提案手法では、移動予定経路情報を利用してよりメッセージの目的地へ近付くと考えられる車両へメッセージを送信する。しかし、現実の環境では全ての車両が必ずそのように移動するとは限らない。車両が経路通りに移動しない場合、送信したメッセージが生存期限内に目的地へ到着せず、メッセージ到達率が低下してしまう。一方、現実の環境では、バスは必

ず固定のルートを走行することや、タクシーは必ず客の目的地へ移動するというように、車種によって移動パターンは異なると考えられる。そこで、移動予定経路通りに動く確率を信頼度として定義し、表 3 のように車種に応じて異なる信頼度を与える。

提案手法では、バスのような必ず固定のルートを移動する車両に高い信頼度を与える。複数の車両の最接近時距離が同じ場合、より信頼度の高い車両に優先してメッセージを送信することで、車両が経路通りに移動せずにメッセージが失われ、メッセージ到達率が低下することを防ぐ。

4.4 バッファ管理手法

想定アプリケーションのような環境では、より多くのメッセージを複製すれば、メッセージが目的地へ到達する可能性は増加する。しかし、その分メッセージオーバーヘッドは増加し、輻輳が発生してしまい、結果的に到達率が低下することが考えられる。そこでどのメッセージを優先して複製させるか、またバッファが一杯の時にどのメッセージを優先して削除するかは重要な問題である。

提案手法において、信頼度を利用してメッセージを送信した場合、バスのように必ず固定経路を移動する、信頼度の高い車両にメッセージを送信することが出来れば、自車両よりも確実に目的地に近付いてくれることが分かる。そこで、信頼度に応じて送信したメッセージをバッファから削除することで、無駄なオーバーヘッドの削減を狙う。提案手法では、メッセージの削除を信頼度に応じて確率的に削除する。例えば、バスに送信した場合は 100% の確率でメッセージを削除し、一般車両に渡した場合は 60% の確率でメッセージを削除する。以上の変更を加えたメッセージ送信ステージのアルゴリズムを次に示す。

Step 1. 各メッセージ m に対して、自車両の最接近時距離を計算する。

Step 2. ネイバーテーブルの情報から、各メッセージ m に対する各近隣車両の最接近時距離を計算する。

Step 3. 各メッセージ m に対して、自車両の最接近時距離が一番小さいならば、そのままメッセージ m を保持する。自車両よりも最接近時距離が小さい車両がいるならば、最も最接近時距離が小さい車両にメッセージ m を送信する。最も最接近時距離が小さい車両が複数台いる場合、より信頼度の高い車両にメッセージを送信する。

Step 4. メッセージを送信したならば、信頼度を利用して、メッセージ m をバッファか

ら確率的に削除する．

5. シミュレーション実験

提案手法のメッセージ到達率を調べるために、交通流シミュレータにより車の移動経路を生成し、独自に作成したネットワークシミュレータを用いて提案手法の評価を行った．

車車間通信の実験においては、現実的な車の挙動をシミュレートすることが必須である．そこで本実験では、豊田中央研究所が開発した交通流シミュレータ NETSTREAM⁴⁾ を利用した．NETSTREAM は車両の規制速度や信号の時間間隔、および交通量などを指定し、現実的な車の挙動を生成することができる．

ネットワークシミュレータでは、通信方式として IEEE802.11 を用い、通信範囲を 150m、同一無線範囲内での利用可能通信帯域幅を 12Mbps、チャンネル数を 1 とした．また、MAC 層で CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) を近似するため、ミリ秒の間隔で検出を行い衝突を回避する機能を組み込んだ．パケットの伝送成功率に仲上分布¹⁴⁾ を用いた．

実験は、NETSTREAM で出力した交通流データをネットワークシミュレータに読み込ませ、ミリ秒単位でシミュレーションを行った．

5.1 シミュレーションの設定

5.1.1 シミュレーションパラメータの設定

シミュレーションに用いた道路地図と、パラメータを、それぞれ図 3、表 4 に示す．道路地図のサイズは 1.4km × 1.6km、道路は全て片側 1 車線とした．シミュレーションでは、分断された車両ネットワークを発生させるため、10 分間の総発生車両台数を 462 台（最大同時発生車両台数 166 台、道路長平均 152m 当たり 1 台）と比較的少なめに設定した．全ての車両がカーナビゲーションシステムを搭載して車車間通信が可能であり、走行中にセンサを用いてなんらかの情報をセンシングすると仮定する．実験では、バス:タクシー:一般車両 = 1:2:7 の比率で設定した．バスは 100%、タクシーは 80%、一般車両には 60% の信頼度を持たせた．例えば、10 台のタクシーがいた場合、経路通りに走行するタクシーは 8 台、経路通りには走行しないタクシーは 2 台となる．また、それぞれのメッセージの宛先には図 3 の情報発信・収集装置 A, B, C, D のいずれかがランダムで設定されており、メッセージを所持している車両の無線範囲内 (150m) に宛先地点が含まれた時、メッセージが到達するとした．すれ違う車両間でハローメッセージを少なくとも 1 度受信するために、送信間隔 P を次のように定めた．車両の移動速度を時速 60km とすると、秒速約 16.67m である．2 台の車両がこの速度ですれ違うとすれば、車両が半径 150m の通信範囲内に存在する時間は、約 4.50 秒となる．そこで、ハローメッセージの送信間隔はそれ以下である 3 秒

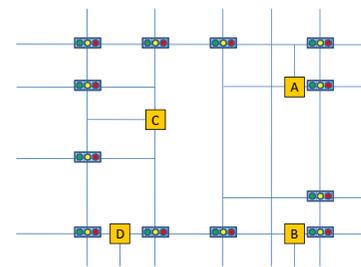


図 3 道路の形状

表 4 シミュレーションパラメータ

フィールドサイズ	1.4km × 1.6km
車両の最高速度	時速 60km
交差点数	26
発生車両台数	462 台
メッセージ発生率	0.10 ~ 0.50 (個/秒)
無線通信範囲	150m
ハローメッセージ送信間隔	3 秒
ハローメッセージサイズ	100byte
データサイズ	1.5kbyte
シミュレーション時間	10 分
データの宛先装置の数	A,B,C,D の計 4 箇所
データの生存時間	300 秒

と設定した．

5.1.2 比較手法

提案手法の比較対象としてフラディング、Geocast¹¹⁾、Epidemic Routing⁹⁾ を用いた．それぞれの手法はハローメッセージを受信した時、メッセージの無線範囲へのブロードキャストを行うようにした．また、一度受信したデータは TTL を過ぎるまでは廃棄せず、Carry and Forward を行わせた．Geocast はネイバーテーブルの車両の位置情報を参照し、宛先への距離が最小となる車両に、メッセージをユニキャストで送信させた．Epidemic Routing の他車両へのデータ感染率は、30%と比較的低く設定した．これは、車は車群で移動することが多いために、車群中の車両に何度も感染させようとし、その結果、感染率を高くすると車群の全車両に 100%感染させてしまうからである．

5.2 評価項目と比較手法

本節では、行った実験の種類、提案手法を評価するための評価項目及び比較対象手法について述べる．

5.2.1 実験

実験 1:メッセージ発生率を変化させた場合

センシングする間隔が短いほどより多くの情報を生成することが出来るが、その分バッファに蓄積されるメッセージの数やメッセージオーバーヘッドは増加する．これらの影響を調べるために、各車両のメッセージ発生率を 0.10~0.50 (個/秒) と変化させ実験を行った．

実験 2:経路の設定率を変化させた場合

提案手法では、他車両の経路情報を利用してメッセージのルーティングを行うため、経路を設定していない車両がいれば、ルーティングの性能は悪化する．経路設定率の変化による提案手法の性能変化を調べるために、経路設定率を変化させて実験を行った．ここで、移動

予定経路を設定していない車両は、Epidemic Routing を行うものとした。また、移動予定経路を設定している車両は、Epidemic Routing によって送信されたメッセージを受信できるが、メッセージの送信は周囲の移動予定経路を設定している車両にのみ行うものとした。

5.2.2 比較手法

提案手法の比較対象としてフラディング、Geocast¹¹⁾、Epidemic Routing⁹⁾を用いた。Flooding、Epidemic Routing では、同じエリアで同一のメッセージがループしてしまうブロードキャストストームが発生しないように、メッセージの ID と送信時間を利用したループ回避機能を組み込んだ。一度受信したデータは TTL を過ぎるまでは廃棄せず、Carry and Forward を行わせた。Geocast は近隣の車両の位置情報を参照し、宛先への距離が最小となる車両に、データをユニキャストで送信させた。Epidemic Routing の他車両へのデータ感染率は、30%と比較的低く設定した。これは、車は車群で移動することが多いために、車群中の車両に何度も感染させようとし、その結果、感染率を高くすると車群の全車両に100%感染させてしまうからである。

5.3 実験結果と考察

本節ではシミュレーション実験の結果を示し、考察を行う。

5.3.1 実験 1:メッセージ発生率を変化させた場合

実験 1 では、メッセージの発生率を 0.10 から 0.50 (個/秒) と変化させ、シミュレーションを行った。メッセージ到達率、メッセージオーバーヘッド、平均遅延時間の変化をそれぞれ図 4、図 5、図 6 に示す。また、メッセージ発生率が 0.10 の場合の、制限時間内に到着したメッセージ数のヒストグラムを図 7 に示す

図 4 から、提案手法はカーナビゲーションシステムの経路情報を利用しており、目的地付近を通る車両と出会えば、確実にメッセージを到達させることができるため、最も高い到達率を記録した。Flooding はメッセージ発生率が低い時、提案手法と同じく高いメッセージ到達率を達成したが、メッセージ数が増えるに連れ、輻輳が発生し、著しく到達率が低下した。Epidemic は確率的にデータを複製していくため、実験環境である密度の低い状況では複製回数が少なく、到達率が非常に悪い結果となった。Geocast はグリーディに目的地付近にメッセージを転送するが、密度の低い状況では、データを渡された車両が進路を変えてしまうと、再度メッセージを渡せる相手が見つからない場合が多く、到達率が悪い。

図 5 から、提案手法は将来的により目的地に近づく車両にのみメッセージを複製するため、メッセージの複製数を抑えることができ、小さなメッセージオーバーヘッドを達成している。Flooding や Geocast はブロードキャストを繰り返してメッセージを複製していくため、メッセージ発生率が高くなるとその分オーバーヘッドも大幅に増加している。また Geocast が一番小さな値となっているのは、実験環境が低車両密度であり、地理的に目的地に近づく

車両があまり存在しないために、メッセージの複製数が抑えられていることが原因だと考えられる。

図 6 では、平均遅延時間は Geocast が一番良い値を示していることが分かる。これは Geocast が地理的に目的地に近い車両に、マルチホップ通信でメッセージを送信するためである。提案手法は一見平均遅延時間が悪いように見えるが、図 7 から分かるように、提案手法では到着するメッセージ数が多いために、その分平均遅延が大きく見える。

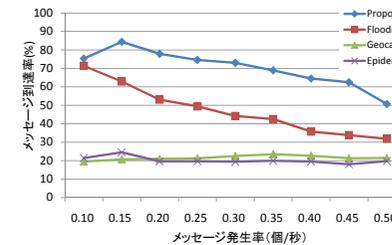


図 4 メッセージ発生率を変化させた場合のメッセージ到達率の変化

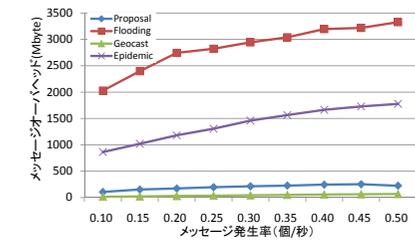


図 5 メッセージ発生率を変化させた場合のメッセージオーバーヘッドの変化

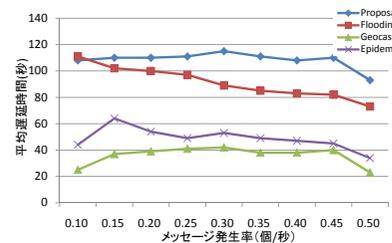


図 6 メッセージ発生率を変化させた場合の平均遅延時間

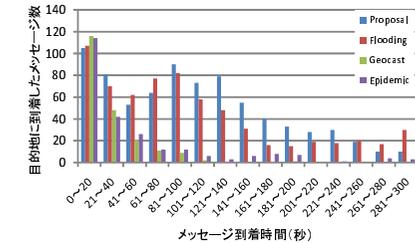


図 7 メッセージ発生率 0.10 の場合の制限時間内に到着したメッセージ数

5.3.2 実験 2:経路の設定率を変化させた場合

実験 2 では、移動予定経路を設定している車両の割合を 0~100%に変化させて実験を行った。ここで、移動予定経路を設定していない車両は、Epidemic Routing を行う。また、移動予定経路を設定している車両は、Epidemic Routing によって送信されたメッセージを受信できるが、メッセージの送信は周囲の移動予定経路を設定している車両にのみ行うもの

とした。このときのメッセージ到達率、メッセージオーバーヘッド変化をそれぞれ図8、図9に示す。

図8から、経路の設定率が増加するごとに、経路情報を利用した安定性の高いルーティングを行えるため、メッセージ到達率が増加していくことが分かる。また、設定率が80%を超えるとメッセージ到達率の増加はみられなかった。

図9から、設定率が60%を超えるまではメッセージオーバーヘッドが増加していることが分かる。これは、提案手法はEpidemic Routingに比べ、通信帯域利用効率が良いために、その分Epidemic Routingを使用する車両が通信できる機会が増加するためだと考えられる。

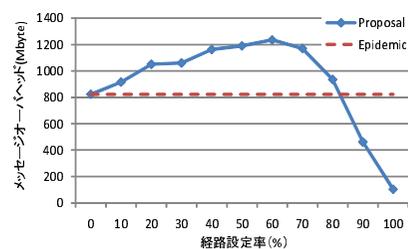
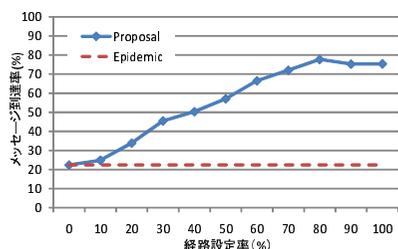


図8 経路の設定率を変化させた場合のメッセージ到達率 図9 経路の設定率を変化させた場合のメッセージオーバーヘッドの変化

6. ま と め

本研究では、遠距離にある目的地にメッセージを配送する際の到達率を向上させることを目標とした、カーナビゲーションシステムが提供する車両の移動予定経路情報を利用した情報伝播手法を提案した。シミュレーションによる実験の結果、提案手法は、メッセージ発生率が低い状況ではFloodingと同程度、メッセージ発生率が高い状況では、Floodingの1.6倍程度のメッセージ到達率を得られた。これより提案手法であるカーナビの経路情報を利用したルーティング手法が、メッセージ到達率を向上させる上で有用な手法であることを確認できた。

今後の課題として、到達率を維持しながら平均遅延時間を短縮させるために、マルチホップ通信を併用して効率よく情報伝播を行う手法を検討する必要がある。

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 道路交通情報通信システムセンター，
<http://www.vics.or.jp/>.
 3) 本田技研工業株式会社：“インターナビ・プレミアムクラブ”，<http://www.premium-club.jp/>.
 4) 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 NET-STREAM”，情報処理学会論文誌，Vol.46, No.1，pp. 226–231，2005.
 5) Kobayashi, H., Kawabata, S., Nakayama, H., and Yoshinaga, T.: “Development of Information System for Predicted Arrival Time of Expressway Bus at Nagoya Area,” *Proc. of 11th World Congress on Intelligent Transport Systems*, CD-ROM, 2004.
 6) Perkins, C.E., and Royer, E.M.: “Ad hoc on-demand distance vector routing,” *Proc. of 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMACSA'99)*, pp. 90–100, 1999.
 7) Johnson, D., and Maltz, D.: “Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks,” *Mobile Computing, Kluwer*, pp. 153–181, 1996.
 8) Delay Tolerant Networking Research Group
<http://www.dtnrg.org/wiki/>.
 9) Vahdat, A., and Becker, D.: “Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks,” *Duke University Technical Report CS-2000-06*, 2000.
 10) Zhao, W., and Ammar, M.H.: “Message Ferrying: Proactive Routing in Highly-partitioned Wireless Ad Hoc Networks,” *Proc. of 9th IEEE Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems (FTDCS 2003)*, pp.308–314, 2003.
 11) Young-B, K., and Nitin, H.V.: “Geocasting in mobile ad hoc networks:location-based multicast algorithms,” *Proc. of IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMACSA'99)*, pp.101–110, 1999.
 12) Spyropoulos, T., Psounis, K., and Raghavendra, C.S.: “Spray and wait:An Efficient Routing Scheme for Intermittently Connected Mobile Networks,” *Proc. of ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking (WDTN-05)*, pp.252–259, 2005.
 13) Fulong, X., Ming, L., Jiannong, C., Guihai, C., Haigang, G., and Jinqi, Z.: “A Motion Tendency-Based Adaptive Data Delivery Scheme for Delay Tolerant Mobile Sensor Networks,” *Proc. of IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2009)*, (CD-ROM), 2009.
 14) Killat, M., Schmidt-Eisenlohr, F., Hartenstein, H., Rssel, C., Vortish, P., Assenmacher, S. and Busch, F.: “Enabling Efficient and Accurate Large-Scale Simulations of VANETs for Vehicular Traffic Management,” *Proc. of 4th ACM Int'l workshop on Vehicular ad hoc networks (VANET2007)*, pp. 29-38, 2007.