

車々間通信のためのデータセントリック ルーティング (DCR) の設計と評価

加藤 隆志¹ 綾木 良太¹ 光川 真由¹ 島田 秀輝² 佐藤 健哉^{1,3,a)}

受付日 2011年3月30日, 採録日 2011年10月3日

概要: 近年, 車々間通信を活用した自動車の安全性向上を図る動きが活発化している. 車々間通信では, 宛先となる車両が不特定であるため, ID 情報に基づいたルーティングが困難である. また, アプリケーションの種別や周辺の状況により, 最適な中継方法が変わるため, 動的な中継制御が必要となる. 本論文では, これらの問題を解決するため, フラッディングをベースに, 各車両が情報の種別に応じて, 自律的に再送制御を行うルーティング方式を提案する. フラッディングをベースとするため, ID 情報を用いたルーティングが不要となり, 情報の種別に応じた再送制御により, 柔軟な中継が可能となる. シミュレーションにより, 特定の条件において提案方式が通常のフラッディングの方式と比較してパケットロス率が約 30%改善され, パケットの到達遅延に関して従来のアドホックネットワークのプロトコルと比較して約 10%以下の時間となっており, リアルタイムな運転支援アプリケーションを想定した場合, 提案方式が既存方式よりも適していることを確認した.

キーワード: 知的交通システム (ITS), 車々間通信, アドホックネットワーク, ルーティング

Design and Evaluation of Data Centric Routing (DCR) for Vehicular Ad-hoc Network

TAKASHI KATO¹ RYOTA AYAKI¹ MAYU MITSUKAWA¹ HIDEKI SHIMADA²
KENYA SATO^{1,3,a)}

Received March 30, 2011, Accepted October 3, 2011

Abstract: In recent years, vehicular ad-hoc network is paid to attention for the traffic safety. In the vehicular ad-hoc network, the destination node is unspecified. Therefore, it is difficult to manage the routing using ID information (for example, IP address) of node. In addition, because the best relay strategy changes according to a type of the application and the traffic situation, dynamic relay control is needed. To solve these problems, we propose the flooding based routing protocol that estimating re-flooding by the data type. In the proposed protocol, ID information of the node is unnecessary, and dynamic relay control by the data type is possible. In this paper, we describe the operation example of the proposed protocol, the design of the protocol and the comparison with existing routing protocols. We evaluate the proposal protocol and existing routing protocols by simulation. From the evaluation results in certain simulation conditions, packet loss rate of the proposed protocol is approximately 30% improved than that of the legacy pure flooding protocol, and packet delay time is about less than one-tenth of the ordinal ad-hoc network protocols, which means the proposal protocol is more suitable than existing protocols for the application that real-time driving assist.

Keywords: Intelligent Transport Systems (ITS), V2V communication, ad-hoc network, routing

¹ 同志社大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Doshisha University, Kyoto
610-0321, Japan

² 同志社大学理工学部
Faculty of Science and Engineering, Doshisha University,
Kyoto 610-0321, Japan

³ 同志社大学モビリティ研究センター
Mobility Research Center, Doshisha University, Kyoto 610-
0321, Japan

a) ksato@mail.doshisha.ac.jp

1. はじめに

自動車どうしが互いに情報交換を行い、安全性や利便性の向上を実現する研究が活発に行われている [1], [2]. 自動車どうしがセンサ情報を交換することで、実現が期待されるアプリケーション [3] として、追突防止を目的としたブレーキアシストや交差点における死角情報の提供、ドライバの運転負荷を軽減する隊列走行支援があげられる。情報交換に利用される通信手段としては、無線通信を用いたアドホックネットワークが、通信速度や実用性の面から利用されている [4]. 一般的なアドホックネットワークの研究においては、IP アドレス等のノード固有の ID 情報を用いたエンドツーエンドの通信経路確保を目的とするルーティングプロトコルを対象としたものが多い [5], [6]. 本論文では、ID 情報を利用したエンドツーエンドのルーティングをアドレスベースルーティングと呼ぶ。しかし、前述した車々間通信での利用が想定されるアプリケーションでは、宛先の情報が事前に判明している場合は少なく、アドレスベースルーティングの適用は困難である。一方で、定期的に車両のセンサ情報をフラッディングするプロトコルも研究されているが、利用できるセンサ情報やアプリケーションがプロトコルの特性に依存するため、柔軟性に欠ける [7].

本研究では、各車両が車載センサから得た情報を自動車間で交換し、安全性の向上や運転支援を行うアプリケーションを想定したルーティング方式の設計と評価を行う。アプリケーションの例としては、前方の障害物の存在を後続車両に伝達したり、交差点における死角情報を互いに交換したりするものを対象とし、ルーティングに IP アドレス等の ID 情報を用いず、各車両が抽象化された情報に基づいて、再送を制御する方式を提案する。各車両が再送判定を行うことで、自律的なルーティングが可能となる。

以下、2 章で既存のルーティング方式と車々間通信に適用した場合の問題点について述べ、3 章において提案するルーティング方式について説明する。4 章で提案方式の設計を行い、5 章で提案方式の有用性を確認するためのシミュレーション評価について述べる。そして、最後に 6 章でまとめとする。

2. 既存ルーティングプロトコルの問題点

2.1 アドレスベースルーティング型

一般に、アドレスベースルーティングを行うプロトコルは、Reactive 型、Proactive 型の 2 種類に分類される [8]. Reactive 型は、通信開始時に宛先ノードまでの通信経路を探索し、経路確立後に通信を開始する方式である。経路の維持が不要なため、非通信時のネットワーク負荷がない。しかし、通信開始時に経路探索による遅延が発生するため、応答性が要求される車々間通信アプリケーションには適さない。代表的なプロトコルに DSR (Dynamic Source Routing) [9]

や AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) [10] がある。Proactive 型は、近隣ノードと定期的にルーティングテーブルの情報を交換し、つねに通信経路を維持する方式である。経路情報をつねに最新に保つため、通信開始時の遅延が小さい。しかし、経路を維持するために定期的な制御メッセージの交換が必要となり、ネットワークに負荷がかかる。代表的なプロトコルに OLSR (Optimized Link State Routing) [11] や TBRPF (Topology Broadcast Based on Reverse-Path Forwarding) [12] がある。

いずれの方式も、エンドツーエンドを前提としたプロトコルであるため、事前に宛先ノードの ID 情報が必要となる。本研究で想定する車々間通信アプリケーションでは、不特定の車両との通信を想定するため、アドレスベースルーティングは適さない。

2.2 フラッディング型

フラッディングを利用したプロトコルは、主に、ピュアフラッディング、重複パケットチェック方式、位置情報利用方式、隣接ノード情報利用方式の 4 種類に分類される [13].

ピュアフラッディングは、同一パケット番号のデータを受信した場合のみ、再送を抑制する方式である。情報を必要としない中継ノードにも負荷がかかり、また、再送タイミングの制御を行わないため、ネットワーク負荷が高い場合は、ブロードキャストストーム [14] によるパケットドロップ率が高くなる傾向があり、到達性の重視される通信には適さない。

重複パケットチェック方式は、データを受信後、再送までランダムな時間待機し、待機中に同じデータを受信した場合に、再送を中止する方式である。ブロードキャストストームの抑制が可能であるが、再送過程で待機時間が発生するため、遅延を許容できない通信には適さない。

位置情報利用方式は、発信ノードからの距離に反比例した待ち時間を設定し、最も遠方のノードが最初に再送する方式である。待機時間による遅延の発生が問題となる。

隣接ノード情報利用方式は、アプリケーションにおける要求以外においても、隣接ノードの位置情報を事前に把握するために定期的に Hello メッセージをやりとりし、最も遠方のノードを中継ノードに指定する方式である。すべてのノードが定期的にブロードキャストするため、アプリケーションの非通信時もネットワークに負荷がかかる。

隣接ノード情報利用方式の具体例として、CAVIAR (Collision Avoidance and Vehicular Information-exchange Anchored Relay) [15] があげられる。CAVIAR は、ユニキャスト用の CAVIAR-P2P (Peer-to-Peer)、ブロードキャスト用の CAVIAR-ARF (Anchored Relay Flooding)、CAVIAR-CRR (Crossing Recognition Relay) の 3 種類の通信方式を備えるが、ブロードキャストを利用する CAVIAR-ARF は、定期的に周辺車両と位置情報を交換し、情報を発信す

る際は、中継車両を指定して情報を送信することで、ネットワーク負荷を低減させる。CAVIAR-CRRは、交差点上の車両が、交差点に存在することを周辺車両に通知し、周辺車両が情報を送信する際に、当該車両を中継車両に指定することで見通し外通信時のパケット到達率の向上を図る。CAVIARでは、周辺車両の管理にID情報と定期的な通信が必要となり、また、要求条件の異なる複数のアプリケーションに対応できないという問題がある。

3. 提案方式

3.1 DCRの概要

本研究の提案方式では、各車両がセンサ情報から、必要に応じてメタ情報を生成し、自車のベクトル情報を含めて発信する。ここでは、センサ情報を、車両が搭載するミリ波レーダや赤外線カメラ等のセンサデバイスから得られる情報と定義し、メタ情報を、センサ情報から得られる意味情報と定義する。意味情報とは、アプリケーションが、情報の種別と内容を認識できるように抽象化した情報である。情報を受信した車両は、情報の有用性と中継すべきエリアを推定し、再送の実行を判断する。再送を行う場合は、自車のベクトル情報をデータに追記する。以降、情報を受信した車両以降は、中継履歴も再送の判断に利用可能となる。情報が、適切な車両に到達するか、中継方向が不適切、もしくは、時間的な理由等で無効になった時点で中継を終了する。提案方式では、中継車両が自律的に再送の実行を判断することで、複雑なルーティングやID情報が不要とし、既存方式の問題点を解決する。以下、データ内容に基づいて再送制御を行う提案方式をDCR (Data Centric Routing) と呼ぶ。

3.2 車々間通信への適応

DCRで利用する情報を以下に列挙する。

- 現在位置情報
走行中の位置をリアルタイムに更新可能な測位システム
- 車両のベクトル情報
車両の速度および進行方向
- 自動車移動可能な道路情報
現在位置情報から、道路上での自車の位置を検出可能なデジタル地図システム

3.3 提案方式の動作例

具体的なDCRの動作例を図1を用いて解説する。図1では、上方向を北とし、車両A・Bが西へ、車両C・D・Eが東へ走行中で、車両Fが北から左折待ちをしており、車両Pが路上駐車をしている。DCRでは、センサ情報と地図上での自車位置に基づいて、アプリケーションが情報を発信する。本節では、センサ情報に基づいて発信する例、

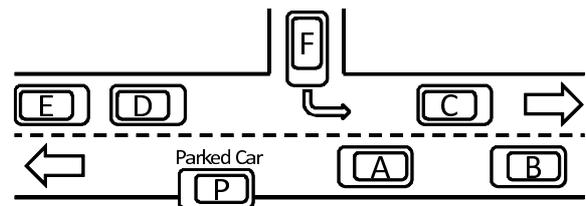


図1 DCRの動作例

Fig. 1 Operation example of DCR.

地図上での自車位置に基づいて発信する例について述べる。

- センサ情報に基づいた情報の発信
車両Aが、センサにより路上駐車中の車両Pを検知した場合について述べる。まず、車両Aは「西行き走行車線に障害物あり」という具合に抽象化し、発信する。このとき、車両B・C・D・Fが情報を受信したとする。各車両は、車両Aの現在位置情報とベクトル情報、自車の道路情報から、自車との相対位置と進行方向を算出する。車両Bは、自車の進行方向の情報で、車両Aの後方を走行中のため、再送し、後方へ伝達する。車両Cは、自車よりも後方の情報で、車両Aと進行方向が逆のため、再送しない。車両Dは、自車の進行方向の情報のため、再送し、後方へ伝達する。車両Fは、自車の進行方向外の情報で、走行中の車線でないため、再送しない。結果、車両Pの存在は、車両A・B・D・Eとそれぞれの後続車両に伝達される。
- 自車の位置情報・デジタル地図システムに基づいた発信
車両Fが、交差点進入時に自車の存在を周辺車両に通知する場合について述べる。車両Fは、自車が交差点に進入することを検知すると、「交差点にて、北から進入車あり」という情報を発信する。このとき、車両A・C・Dが情報を受信したとする。各車両は、車両Fの現在位置情報とベクトル情報、自車の道路情報から、自車との相対位置と進行方向を算出する。車両Aは、最も効率良く中継可能な交差点内に位置するため、再送する。車両Cは、自車よりも後方で、反対車線の車両には不要な情報であるため、再送しない。車両Dは、進行方向の情報で、走行車線上の情報のため、再送し、後方へ伝達する。結果、車両Fの存在は、車両D・Eおよび後続車両に伝達される。

4. 提案方式の設計

4.1 レイヤ構造

DCRは、OSI参照モデルにおける第3層および第4層で動作し、第5層以上で複数の車々間通信アプリケーションを動作させる構成をとる。各アプリケーションは、識別用のID番号を持ち、DCRはID番号に基づいて、アプリケーションデータを各アプリケーションへ割り振る。第3

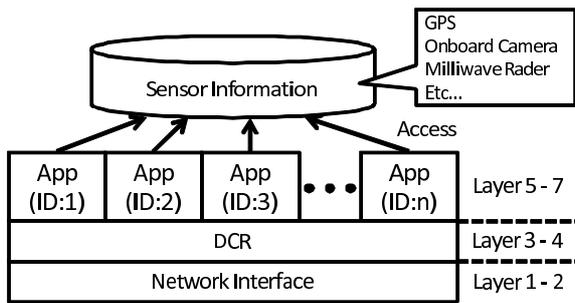


図 2 DCR のレイヤ構造
Fig. 2 Network layer of DCR.

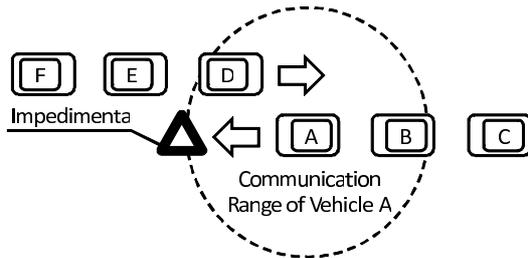


図 3 DCR における通信手順の例
Fig. 3 Example of communication procedure.

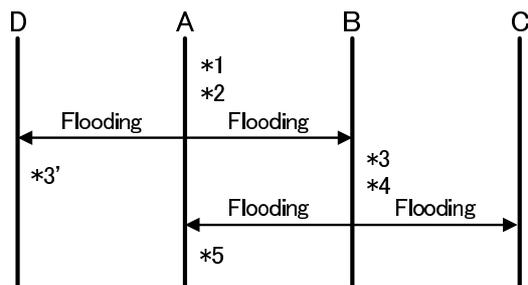


図 4 DCR における通信手順の例 (シーケンス図)
Fig. 4 Sequence of communication procedure.

層では、ホップリミットや TTL (Time To Live) による再送制御および、重複パケットの検出を行い、第 4 層でアプリケーションデータの割り振りを行う。アプリケーションごとの要求条件の違いに対応するため、各アプリケーションが、車両の各種センサ情報を利用して、発信と再送の制御を行う。すなわち、DCR は適切なアプリケーションへデータを割り振り、DCR 自体では再送制御を行わない設計としている。DCR のレイヤ構造を図 2 に示す。また、パケットの詳細なフォーマットは、付録 A.1 に示す。

4.2 通信手順

本節では、DCR の手順を図 3 を用いて述べる。図 3 では、車両 A, B, C が左方向へ、車両 D, E, F が右方向へ走行中とし、車両 A がセンサにより、進路上に障害物を検知したとする。車両 A が、障害物の情報を周辺車両に発信した場合の通信手順を図 4 に示す。図 4 において、実線矢印は通信、*は各車両での処理とする。

まず、車両 A はセンサにより障害物を検出し (*1)、車々

表 1 ns-2 でのシミュレーションパラメータ

Table 1 Simulation parameters of ns-2.

Simulator	ns-2 version 2.34	
	Space Model	TwoRayGround
Network Interface	Wireless (2.4 GHz)	
Transmission Range	100 m	
Antenna Height	1.5 m	
MAC	IEEE 802.11b (Data Rate 11.0 Mbps)	
Traffic	Packet Size	100 byte

間通信アプリケーション (以下、障害物検出アプリケーション) がセンサ情報をトリガとして、送信情報の生成および、DCR に対して送信命令を行う (*2)。発信された情報は、車両 B, D が受信する。車両 B は、受信した情報から障害物検出アプリケーションが再送の判定を行う (*3)。本例では、障害物が車両 B の進路上に存在するため、後続車両に伝えるべく、DCR に対して再送命令を行う (*4)。車両 B の発信した情報を受信した車両 C は車両 B と同様の処理を行う。一方、車両 A は重複データとして、再送を中止する (*5)。また、車両 D は、障害物検出アプリケーションが、自車および後続車両に関連性の低い情報と判定し、再送を中止する (*3')。

5. 評価

5.1 シミュレーション環境

DCR の性能評価に Network Simulator 2 [16] (以下、ns-2) を用いた。ns-2 は、離散イベント型シミュレータで、OSI 階層モデルに基づいたレイヤが実装されており、各層において様々なシミュレーションが行える。比較プロトコルには、ピュアフラッディング、AODV、OLSR をあげた。本評価で用いたシミュレーションパラメータを表 1 に示す。なお、評価では全車両がネットワークに対応した車両とし、車線幅は一般的な幹線道路を想定して 3m、初期の車両間距離は、悪天候下において 60 km/h 走行時に、前方車両の事故を回避可能な 60m とした。60 km 走行時に急ブレーキをかけた場合、一般的に停止距離は約 44m (空走 17m + 制動 27m) となり、雨天時の停止距離は 1~3 割増すとされており、この増加分を加算し車両間距離を設定した。また、パケットサイズは、ITS 情報通信システム推進会議が定める実験用ガイドライン [17] より、100 byte とした。評価項目は、本研究で想定するアプリケーションで必要となる性能を対象とした。具体的には、交差点での死角情報の交換で重要となるデータ到達性、隊列走行支援で重要となる接続安定性、後続車両への急ブレーキ情報を中継する際に重要となる即時性の 3 つである。

5.2 データ到達性

データ到達性を評価するため、1 辺 200m の碁盤の目状

の道路において、各車両が交差点の60m手前で進入通知した場合における全エリア内の到達パケット数（情報交換に必要なとなる送信に成功したパケット数）とロスしたパケット数（送信に失敗しロスしたパケット数）を計測する。ロスパケットが発生した場合は再送を行い、そのパケットは隣接ノードに到達するため、ここでいうデータ到達性とは、パケットがロスせず再送の必要なしに到達する確率のことである。図5、図6に示すモデルを評価モデル1とする。道路外のエリアは遮蔽物とする。アプリケーションの特性上、宛先が不特定多数となるため、重複制御のみのピュア

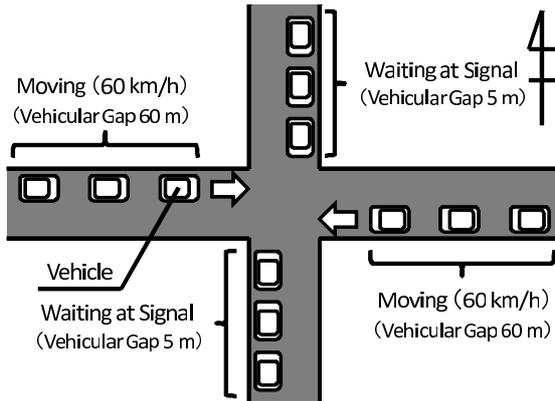


図5 各交差点の車両の配置
Fig. 5 Cars layout in the intersection.

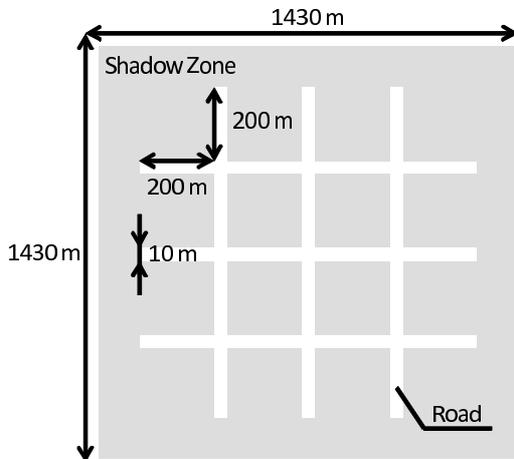


図6 基盤の目上の道路の全体図
Fig. 6 Grid of streets and avenues.

フラディングを比較対象とした。固有パラメータを表2に示す。

評価モデル1の結果を表3に示す。評価の結果、DCRの到達パケット数がピュアフラディングと比較して7.53%に抑えられた。また、パケットのロス率（送信した全パケット数のうち、ロスしたパケット数の割合）もピュアフラディングと比較してDCRでは15.15%に低減された。

5.3 接続安定性

接続安定性を評価するため、片側1車線道路において、対面する車両群が互いにトラフィックを発生させた状態でのスループットを計測する。図7に示すモデルを評価モデル2とする。

評価モデル2では、シミュレーション開始5.0秒後から全車両が60km/hで走行し始め、車両0から車両4宛（以下、T1と表記）および車両5から車両9宛（以下、T2と表記）へのトラフィックを発生させる。シミュレーション開始35.0秒後に車両0と車両5がすれ違い、シミュレーション開始49.3秒後に最後尾の車両4と車両9がすれ違う。計測対象は、車両4と車両9の受信スループットとした。固有パラメータを表4に示す。

シミュレーション結果を図8、図9に示す。ピュアフラディングでは、再送制御が非効率で、パケットの衝突が頻繁に発生するため、他の方式よりもスループットが

表2 評価モデル1の固有パラメータ
Table 2 Simulation parameters of Model 1.

Nodes	108
Simulation Time	50.0 sec
Simulation Area	1,430 m × 1,430 m
Shadowing Model	ShadowingVis

表3 評価モデル1の評価結果
Table 3 Network traffic of model 1.

	PureFlooding	DCR
Number of Send Packets	1,857	140
Number of Loss Packets	1,917	25
Loss Rate	50.83%	15.15%

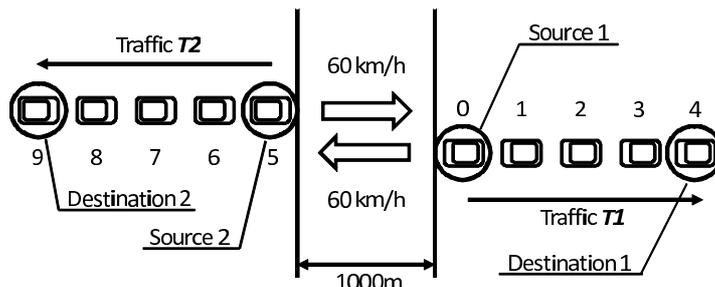


図7 評価モデル2の概要図
Fig. 7 Opposing traffic.

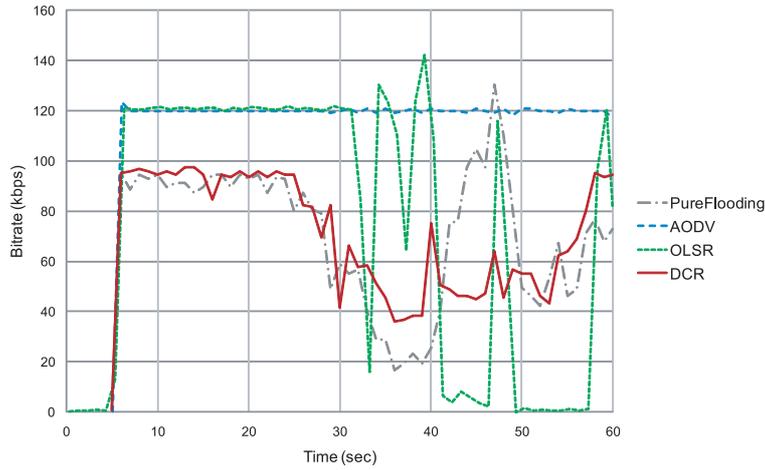


図 8 T1 のスループット

Fig. 8 Throughput of T1.

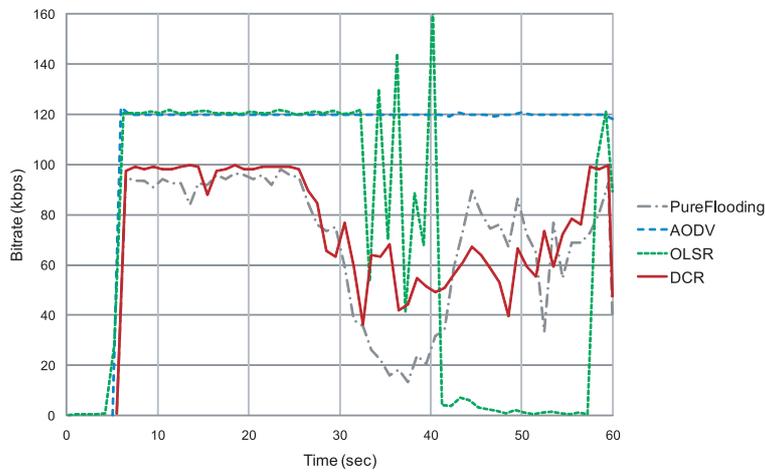


図 9 T2 のスループット

Fig. 9 Throughput of T2.

表 4 評価モデル 2 の固有パラメータ

Table 4 Simulation parameters of Model 2.

Nodes	10
Simulation Time	60.0 sec
Simulation Area	2,000 m × 500 m
Data Rate	100 kbps

低い。また、すれ違い時は、対向車両が発信したデータも受信するため、スループットが低下している。AODVは、通信時に経路を確立するため、伝送効率が高く、すれ違い時も通信も安定している。OLSRも同様にスループットは高いが、急激なトポロジの変化に不向きな特性上、すれ違い時のトポロジ変化に追従できず、通信が途絶している。DCRは、フラッディング型のため、AODV、OLSRと比較すると伝送効率は低いが、対向車両が発信したデータの再送を抑制しているため、ピュアフラッディングよりもスループットが高く、すれ違い時も通信が途絶せず安定している。シミュレーション結果において、スループットが一時的に 120 kbps となっているのは、中継車両が経路途絶

等により送信に失敗し、再送を試行している間に送信バッファが溜まり、経路が回復した際にまとめて送信しているためである。これらのシミュレーションにより、DCRは、AODVやOLSRのように通信相手を選定する必要がなく、ピュアフラッディングよりスループットが高く通信が安定していることが分かる。

5.4 即時性

通信の即時性を評価するため、60mごとの等間隔に並んだ車両群において、先頭車両が発信した最初の packets が最後尾の車両へ到達するまでの遅延時間を計測する。本モデルを評価モデル3とする。本評価モデルでは、何も通信を行っていない初期状態であるコールドスタート（アドレススペースルーティング型では経路情報を持たない）状態を想定し、急ブレーキ情報等の緊急性の高い1 packet が送信された場合の遅延時間を計測したものであり、評価モデル2とは想定している環境が異なる条件となる。アドレススペースルーティング型のAODVおよびOLSRについて

表 5 評価モデル 3 の固有パラメータ

Table 5 Simulation parameters of Model 3.

Nodes	5, 10, 15, 20
Simulation Time	10.0 sec
Simulation Area	2,000 m × 500 m

表 6 ノード数ごとの遅延時間 (msec)

Table 6 Delay time (msec).

Nodes	PureFlooding	AODV	OLSR	DCR
5	7	140	5,881	7
10	14	195	5,416	14
15	22	243	5,752	22
20	31	289	5,764	31

は、自律的に宛先車両のアドレスを特定する手段を持たないため、セルラ網を通じて、車両の位置情報を管理するインターネット上のサーバから、宛先のアドレスを取得するものとする。セルラ網の遅延時間は、現行の第3世代移动通信サービスの仕様で定義されていないため、次世代通信規格であるLTE (Long Term Evolution) の仕様 [18] より110msec (接続遅延 100 msec, 往復伝送遅延 10 msec) を用い、ルーティングプロトコルはコールドスタートでシミュレートする。固有パラメータを表 5 に示す。

シミュレーション結果を表 6 に示す。ピュアフラッディングと DCR では、最初の 1 パケットを先頭ノードから最後尾ノードまで伝送する際にどちらの方式も 1 ノードずつリレーするため伝送過程に違いが出ず、同じ遅延時間となった。ホップ数が 5 台の場合、7msec の遅延時間を要し、ホップする車両が 1 台増加するごとに約 1.4msec ずつ増加する。AODV は、経路確立までの時間がホップ数に依存するため、台数に比例して遅延時間が増加した。具体的には、ホップする車両が 1 台増加するごとに約 5msec ずつ増加する。ホップ数が 20 台の場合の遅延時間は 289msec となり、ピュアフラッディングの 3 倍の遅延時間となった。OLSR は、経路情報の交換周期に影響され、遅延時間が 5,000msec を超えた。これは OLSR において、定期的なトポロジ情報を交換する TC (Topology Control) メッセージの発信周期に起因する。

5.5 考察

データ到達性の評価では、DCR のネットワーク負荷が、ピュアフラッディングと比較して低下した結果、パケットのドロップ率が低下し、データ到達性が向上した。DCR では、情報を発信した車両の対向車両および後続車両、進入する交差点を越えた場所を走行中の車両が情報を受信した場合、再送を中止し、不要な車両へのデータ中継を抑制することで、ネットワーク負荷の低減に成功した。評価モデル 1 では、ネットワーク負荷およびデータ到達性の観点から DCR が適している。

接続安定性の評価では、隊列走行支援アプリケーションを想定した。隊列走行支援を行うために、60 km/h (1 秒間に約 16.7 m) で走行中の車両が位置情報を連続して送信する場合、送信周期による位置の誤差を 1 m 以下にするためには、平均すると 1 秒間に 16.7 回の周期で 1,000 byte のパケットを送信する必要があるため、最低 13.4 kbps の通信帯域が必要となる。また、100 km/h 走行時には、同様に最低 22.2 kbps の通信帯域が必要となる。評価モデル 2 では、本条件を満たす AODV と DCR が適している。

即時性の評価では、後続車両へ急ブレーキ情報を中継するリアルタイム性の求められるアプリケーションを想定した。車々間通信アプリケーションにおいて、リアルタイム性を実現する場合、通信遅延時間は 100 msec 以下 [17] が望ましい。評価モデル 3 では、ホップ数が 20 台の場合でも 100 msec 以下の遅延時間を実現しているピュアフラッディングと DCR が適している。

6. まとめ

本研究では、リアルタイムな運転支援を行う車々間通信アプリケーションに適したルーティング方式、DCR の設計と評価を行った。車々間通信を実現する既存プロトコルには、IP アドレス等のノード固有の ID 情報に基づいて、ルーティングを行う AODV や OLSR 等があるが、宛先アドレスの解決や経路探索による遅延時間が問題となり、リアルタイム性が要求される車々間通信アプリケーションには適さない。また、プロトコルの特性上、不特定多数の車両と情報を交換する用途には不向きである。フラッディングを行う方式では、ブロードキャストストームによるネットワークへの負荷が大きく、また、再送制御方法もプロトコルに依存するため、車々間通信アプリケーションごとに適した動的なデータ中継ができない。DCR では、フラッディング型をベースとして、車両識別用の ID 情報を用いず、受信情報に基づいて、各車両が再送を制御する。中継車両が再送を制御することで、送信車両は複雑なルーティングが不要になり、経路確立時の遅延や経路維持のための通信コストがかからない。

シミュレーションにより、特定の条件において提案方式が通常のフラッディングの方式と比較してパケットロス率が約 30%改善し、パケットの到達遅延に関して従来のアドホックネットワークのプロトコルと比較して約 10%以下の時間となっており、リアルタイムな運転支援アプリケーションを想定した場合、提案方式が既存方式よりも適していることを確認した。

謝辞 本研究の一部は科研費 (21500084) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 水井 潔, 長谷川孝明, 永長知孝, 加藤 晋, 高橋常夫, 堀松哲夫: ITS 通信コンセプトリファレンスモデルに関する検討—車両情報共有の観点から, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.106, No.82, pp.29-34 (2006).
- [2] Festag, A., Baldessari, R., Le, L., Zhang, W., Sarma, A. and Fukukawa, M.: 交通安全・情報系サービス提供を実現する「路車・車車間通信システム」, NEC 技報, Vol.61, No.1 (2008).
- [3] 加藤 晋, 津川定之: 車車間通信の先進車両制御安全システムへの応用, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, Vol.2001 年, 基礎・境界 (20010257), pp.531-532 (2001).
- [4] 徳田清仁: DSRC 型車々間通信システムによるユビキタスネットワーク環境下での安全アプリケーションの実現, 沖テクニカルレビュー, 第 200 号, Vol.71, No.4, pp.20-23 (2004).
- [5] 葉 雄志, 谷口健太郎, 河野隆二: AODV を基にした車車間通信ネットワークにおけるルーティングプロトコルに関する一検討, 電子情報通信学会技術研究報告, ITS106-82, pp.23-15 (2006).
- [6] 吉田成志, 新井国充, 浅見重幸, 三木哲也: 車両アドホックネットワーク向けルーチング方式の提案, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J88-B, No.8, pp.1434-1443 (2005).
- [7] 齋藤正史, 塚本 淳, 船井麻祐子, 梅津高朗, 北岡広宣, 寺本英二, 東野輝夫: 先行経路上の道路情報取得用アドホック通信プロトコルの開発, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.11 (2005).
- [8] 阪田史郎, 青木秀憲, 間瀬憲一: アドホックネットワークと無線 LAN メッシュネットワーク, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J89-B, No.6, pp.811-823 (2006).
- [9] Johnson, D.B., Maltz, D.A. and Hu, Y.-C.: The Dynamic Source Routing Protocol (DSR), RFC 4725 (2007).
- [10] Perkins, C., Belding-Royer, E. and Das, S.: Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing, RFC 3561 (2003).
- [11] Clausen, T. and Jacquet, P.: Optimized Link State Routing Protocol (OLSR), RFC 3626 (2003).
- [12] Ogier, R., Templin, F. and Lewis, M.: Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF), RFC 3684 (2004).
- [13] Williams, B. and Camp, T.: Comparison of Broadcasting Techniques for Mobile Ad Hoc Networks, *Proc. ACM Int. Symp. Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MOBIHOC)*, pp.194-205 (2002).
- [14] Ni, S., Tseng, Y., Chen, Y. and Sheu, J.: The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad-hoc Network, *Proc. 5th annual ACM/IEEE Int. Conf. Mobile Computing and Networking (MOBICOM)*, pp.151-162 (1999).
- [15] 浅見重幸, 鹿島康史, 新井国充: 情報交換型車々間通信プロトコル CAVIAR の開発, 日本無線技報, No.52, 2007-45 (2007).
- [16] The Network Simulator - ns-2, available from <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [17] ITS 情報通信システム推進会議: 5.8GHz を用いた車々間通信システムの実験用ガイドライン ITS FORUM RC-005 1.0 版 (2007).
- [18] 3GPP: TR36.913 V8.0.0 Requirements for Further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced) (Release 8) (2008).

付 録

A.1 パケットフォーマット

DCR のパケットフォーマットを図 A.1 に示す. DCR では, 各車両がパケットのヘッダから車々間通信アプリケーションを判断し, データをアプリケーションに振り分けて, 再送制御を行わせる. ヘッダには, アプリケーションの ID 番号, パケットの送信時刻, 送信車両の位置情報, ベクトル情報, オプション情報を格納する. 中継車両は, 中継時刻, 自車の位置情報, ベクトル情報を追記し, 次回受信した車両は, これらの情報を再送制御に利用する.

- バージョンフィールド
プロトコルのバージョンを表現
- スイッチフィールド
ルーティング方法を表現 (初期値 0, 0 以外はピュアフラッディングモード)
再送を制御しないアプリケーションからも利用可能とするため, 通常のホップリミットおよび TTL による制御オプションを設定
0 の場合, DCR (アプリケーションで再送を判定)
1 の場合, ホップカウントフィールドにホップリミット値を設定
2 の場合, TTL フィールドにパケット生存時間を設定
3 の場合, ホップリミット値とパケット生存時間の両方を設定
- ホップ数フィールド
中継回数を格納する (初期値 0, 中継時に 1 加算, 最大 127 ホップ)
また, ヘッダ長を求める場合に利用 (byte 数 = ホップ数 \times 4 + 96)
スイッチフィールドが 0 以外の場合はホップリミットとし, 中継時に 1 減算
- TTL フィールド
スイッチフィールドが 2 または 3 の場合に, パケット生存時間を表現
1 秒単位で指定 (初期値 0, 最大 31 秒間)
- 優先度フィールド
パケットの処理優先度を 8 段階で表現 (初期値 0, 数値が大きいほど優先度が高い)
高優先度のパケットから優先的に再送
- リピートフィールド
パケット中継時のフラッディング反復回数を表現 (初期値 0 で 1 回のみフラッディング)
最大 4 回まで指定可能 (送信間隔はランダム) で, パケット到達率を高める場合に利用
- アプリケーション ID フィールド
アプリケーションの識別子 (初期値 0 のとき, 該当ア

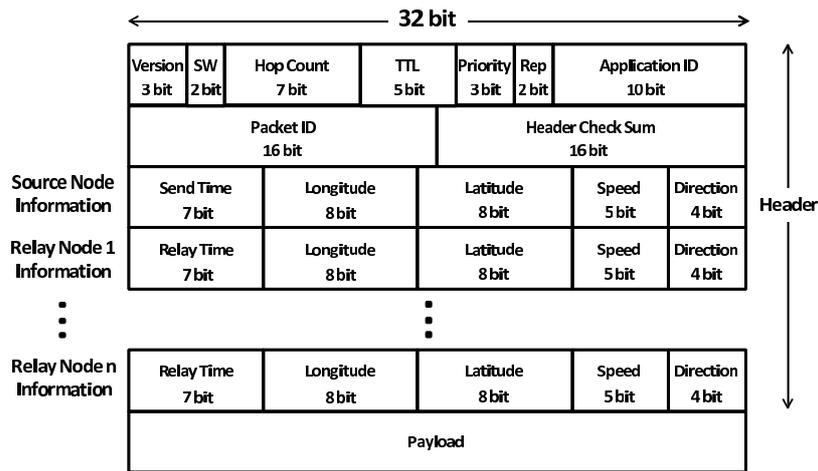


図 A.1 DCR のパケットフォーマット
Fig. A.1 Packet format of DCR.

アプリケーションなしを表現)

DCR がデータを転送するアプリケーションを特定する際に使用

- パケット ID フィールド
各パケットを識別するための ID 番号 (乱数により決定)
同一 ID のパケットを再受信した場合、再フラグディングを抑制
- ヘッダチェックサムフィールド
パケットヘッダの CRC チェックサムを格納 (中継するごとに中継ノードが再計算)
- 送信時刻フィールド
送信ノードのパケット発信時刻を記録 (時刻は、GPS から取得可能な GPS 時刻とする)
記録精度は 100 ms とし、各車両の GPS 時刻の許容誤差は 5.0 sec 未満とする
- 座標フィールド (経度・緯度)
ノードの経度情報と緯度情報を記録 (座標情報は、GPS から取得)
記録精度は 0.25 秒 (約 7.7 m) とする
- 速度フィールド
ノードの速度を記録
精度は 5 km/h とし、150 km/h を記録速度の上限とする
- 進行方向フィールド
ノードの進行方向を表現
方角を 16 分割した際に、どのエリアに進んでいるかを記録
- 中継時刻フィールド
中継ノードのパケット中継時刻を記録 (仕様は、送信時刻フィールドに準ずる)

- ペイロード
アプリケーションが、センサ情報に基づいて生成した抽象データを格納
イーサネットフレームの断片化を防ぐため、最大長は 896 byte とする



加藤 隆志

2008 年同志社大学工学部情報システムデザイン学科卒業。2010 年同志社大学大学院工学研究科情報工学専攻博士課程修了。現在、古野電気株式会社 ITS ビジネスユニット開発部所属。



綾木 良太 (学生会員)

2009 年同志社大学工学部情報システムデザイン学科卒業。2011 年同志社大学大学院工学研究科情報工学専攻博士課程修了。現在、大阪大学大学院情報科学研究科博士後期課程在学中。



光川 真由

2010 年同志社大学理工学部情報システムデザイン学科卒業。現在、同志社大学大学院工学研究科情報工学専攻博士課程在学中。



島田 秀輝 (正会員)

同志社大学工学部研究員。2001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。2004年同研究科博士後期課程修了後、特任助教を経て、2009年より現職。博士(工学)。



佐藤 健哉 (正会員)

同志社大学モビリティ研究センター長兼大学院工学研究科情報工学専攻教授。1986年大阪大学大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了。同年住友電気工業情報電子研究所入社。1991～1994年スタンフォード大学計算機科学科客員研究員。2000年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。米国AMI-C, Inc. Chief Technologistを経て、2004年より現職。2008年から名古屋大学大学院情報科学研究科附属組込みシステム研究センター特任教授兼務。博士(工学)。