情報指向型自動車アドホックネットワークにおける 仮想ノードを用いたルーティングプロトコル

峪口 雄太 1,a) 佐藤 和也 1 宮崎 稔也 1 重野 實 1 屋代 智之 2,b)

受付日 2018年5月7日, 採録日 2018年11月7日

概要:自動車アドホックネットワーク(VANET)に情報指向型ネットワーク(ICN)を取り入れる研究が現在行われている。各車両は車車間通信を用いたマルチホップな要求/応答型通信により情報を得ることが可能であり,各車両はコンテンツをキャッシュすることが可能である。既存研究では、車両の持つキャッシュを活用するための手法が十分に検討されていない。本論文ではキャッシュの活用頻度の向上に焦点を当て VN(Virtual Node)を用いたルーティングプロトコルを提案する。 VN とは、特定地点付近の車両間で情報を交換することで、形成される仮想的なノードである。 VN が交通情報を取得するうえでのパケット経由地点として用いられることで、ネットワークの性能の上昇を目指す。シミュレーションを用いて本提案手法と従来の VANET の方法を比較し、性能の評価を行った。

キーワード:自動車アドホックネットワーク,情報指向型ネットワーク, IoT

Routing Protocol Using Virtual Nodes in Information-Centric Vehicular Ad Hoc Networks

Yuta Sakoguchi $^{1,a)}$ Kazuya Sato 1 Toshiya Miyazaki 1 Hiroshi Shigeno 1 Tomoyuki Yashiro $^{2,b)}$

Received: May 7, 2018, Accepted: November 7, 2018

Abstract: Research to incorporate an information centric network (ICN) into a vehicular ad hoc network (VANET) is currently under way. Each vehicle can obtain information by multi-hop request/response type communication using inter-vehicle communication, and each vehicle can cache contents. In the existing research, methods to utilize the cache owned by the vehicle are not sufficiently examined. In this paper, we propose a routing protocol using Virtual Node (VN) focusing on improvement of cache utilization frequency. VN is a virtual node formed by exchanging information between vehicles near a specific point. VN aims to raise the performance of the network by using it as a point via which packets are acquired when acquiring traffic information. Using the simulation, we compare the proposed method with the conventional VANET method and evaluated its performance.

Keywords: Vehicular Ad-hoc Network, Information Centric Network, IoT

はじめに

高度道路交通システム(Intelligent Transport Systems:ITS)に向けた様々な技術が研究されている。特に近年 IoT 技術の発達により自動車も通信体として活用が見込まれている。自動車の通信手段の1つに Vehicular Ad-hoc Network(VANET)[1] がある。VANET による通信はインフラを介さず車両どうしが直接通信を行うため、管理コ

¹ 慶應義塾大学大学院理工学研究科 Graduate School of Science and Technology, Keio University, Yokohama, Kanagawa 223-8522, Japan

² 千葉工業大学情報科学部 Faculty of Information and Computer Science, Chiba Institute of Technology, Narashino, Chiba 275–0016, Japan

a) sakoguchi@mos.ics.keio.ac.jp

b) yashiro@net.it-chiba.ac.jp

ストを抑えることが可能である点,また近距離の通信でリアルタイム性の高い情報を提供できるという特徴がある.

一方近年 Information Centric Networking (ICN) [2] と 呼ばれる新たなネットワークアーキテクチャが研究されて おり、VANETへの導入が検討されている. ICN とは IP ネットワークに代わるコンテンツ指向型のネットワーク アーキテクチャである. VANET において情報を取得する 際それらの情報は地理的な場所に依存しており、特定の車 両を宛先に設定する必要はない. それゆえ ICN を VANET に導入することは有用性があるとされている. 既存研究で はルーティングの面ではワンホップ単位で宛先車両を指定 している点が ICN の宛先を考えなくてよいメリットを活 かせていない. キャッシュを活用することで、各車両はあ る地点の交通情報を取得する際, その地点に存在する車に 限らず、その情報を持つ他の車両からも情報の取得が可能 である. またキャッシュに関しては、キャッシュするか否 かの部分しか考慮しておらず、キャッシュを保持している 車両の移動に関して考慮がされていない.

キャッシュ効率を上げるためには、キャッシュを保持する車両が Interest を受信する必要がある。そのためキャッシング手法に加えてルーティングも同時に考慮する必要がある。本論文では ICN を基盤に構築された VANET を情報指向型自動車アドホックネットワーク(IC-VANET)[3] と呼ぶ。

本論文ではキャッシュの活用効率を上昇するため、VN (Virtual Node)を用いたルーティング・キャッシング手法を提案する。VN とは近傍の車両が情報を送信し合うことで道路上の特定地点に同じ情報をとどめておく論理的なノードである。VN は近隣の交通情報の収集や提供またキャッシュの保持を行い、パケットの中継地点として活用する。キャッシュを保持するノードがパケットを中継することでネットワークにおけるキャッシュの活用頻度が高まり全体の性能も上げることが可能である。さらに ICN とVANET の既存研究の活用も考慮したパケットの層構造を提案する。VN が ICN におけるコンテンツ名を参照し目的地の設定を行い、その他の車両は VANET の中継制御を行うことで、既存の知見を損なうことなく通信が可能となる。本論文では、VN によるパケットルーティングに着目し、シミュレーションを用いてその性能を評価する。

以下 2章で関連研究を述べ、3章で本論文での提案手法を説明する。そして 4章でシミュレーションを用いた評価を行い、5章で結論を示す。

2. 関連研究

本章では VANET と ICN について説明し, ICN を VANET に取り入れた通信機構に関して説明する. その 後本研究のアプローチに関して説明する.

2.1 VANET (Vehicular Ad-hoc Network)

VANET [1] は車両どうしがインフラを介さず車両間のみで構成されるネットワークである. VANET のようなアドホックネットワークでは車両どうしがマルチホップ通信を行う. アドホックネットワークではパケットをフラッディングすることで転送率を向上することができる. しかし、フラッディングではネットワーク内の通信量が増大するため、通信量を抑制しつつ転送率を向上する手法が提案されてきた. 本節では VANET におけるパケット中継方式について述べる. それらは以下の 2 種類に分類される.

2.1.1 Position Based Forwarding (PBF)

PBF はビーコン等を用いて周辺車両の位置を把握し、地理座標を基に転送車両を決定する. PBF はパケットをユニキャストするため、中継のオーバヘッドは小さくなるが、動的トポロジのため通信の成功率は低下する.

GPSR [4] はパケットを送信する車両の通信範囲に対し、目的地に最も近い車両を中継車両として選択する. GPCR [5] は目的地に近く、交差点上の車両を優先的に選択する. GyTAR [6] は GPCR と同様に交差点上の車両を選択するが、道路上の車両密度を考慮して通信経路を選択する.

2.1.2 Contention Based Forwarding (CBF)

CBFはバックオフとオーバヒアを用いた競合検知によりパケットを中継する。CBFでは、パケットはブロードキャストされる。パケットを受信した車両は待ち時間を設け、その間に他の車両によるパケットのブロードキャストを受信すると、パケットの中継をストップする。CBFは、ブロードキャストが繰り返されることで、中継のオーバヘッドが増大するが、通信の到達性が向上する。

CB-Flooding [7] では各車両はランダムな待ち時間を設定する. IVG [8] は、前中継車両との距離に応じた待ち時間を設定する. UGAD [9] は交差点上の車両が優先的な待ち時間を設定する. RO-CBR [10] は、道路トポロジに基づいて中継範囲を制限することで、オーバヘッドを削減する.車両密度の高い道路セグメントを通信経路として決定し、その道路セグメント内で競合検知を用いて中継する.

2.2 ICN (Information Centric Networking)

ICN [2] は IP アドレスの代わりにコンテンツ名を識別子として通信を行うアーキテクチャである。 ICN では IP アドレスの解決を必要とせず、ユーザはコンテンツ名のみを用いてコンテンツを取得することが可能となる。 ICN ではコンテンツの要求パケットである Interest と実際のコンテンツを含む応答パケットである Data,この 2 種類が用いられる。

ICN における各ルータは以下の 3 つの要素を持っている. Forwarding Information Base (FIB) はコンテンツ名 とそのコンテンツがあるサーバのフェースが記録されて

いる.フェースとはコンテンツが存在する方角のことであり、車両環境では目的地となる地理座標や交差点の座標や方角等が記録される.ルータに到着した Interest をコンテンツサーバへ向かって転送する際に使用される. Pending Interest Table (PIT) は Interest が到着した際にコンテンツ名ごとに、その転送元フェースをエントリとして記録するものである.対応する Data が到着した際にこのエントリを参照することでフェースのもとへコンテンツが正しく転送される. Content Store (CS) は Data がルータに転送された際にその複製を保存することができる領域である.よって対応する Interest がルータに到着した際、対応するData がルータに保存されていたら、ルータが Data を返信することも可能である.

図 1 は ICN の流れを示した図である。まずユーザ A がコンテンツを要求したとする。すると各ルータは FIB を元にコンテンツが存在するサーバへ Interest を転送する。サーバが Data を返信する際,各ルータは PIT を参照し Interest と逆の経路をたどりコンテンツをユーザ A のもとへ返信する。この際各ルータはコンテンツの複製を CS に保存する。そのためユーザ B が同一コンテンツを要求したとき,ルータから直接コンテンツを取得することが可能である。

2.3 ICN の VANET への導入

現在 ICN の仕組みを VANET に導入する研究が進められている。本節は、導入することによるメリットと関連研究に関して述べる。

VANET における交通情報取得も現在のインターネットと同様に、コンテンツ指向であるといえる。すなわち、ユーザはどこから、どうやって情報を取得したかではなく、情報が正しいか、または早く取得できたかを意識する。特に交通情報について考えてみると、交通情報は地理座標に依存する。この点において ICN の特徴は親和性が高いといえる。ユーザは交通情報を得たい地点に向けて Interest を転送し、該当する情報を取得できる。また、応答する車両は、その地点に存在する車両に限らず、該当する情報を持つ車両であればいずれの車両であっても Data を返信することができる。

現在 ICN の機構を VANET に導入する研究が始められ

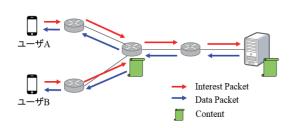


図 1 ICN の流れ

Fig. 1 The operation of ICN.

ている。ルーティングの面では、CODIE [11] では Interest が宛先車両へ届くまでのホップカウントと Data が返信される際のホップカウントを比較することで、Data が不必要に VANET 上に拡散することを防いでいる。また Bianら [12] は道路の形状をベースに周辺車両から転送先車両リストを作成し、マルチパスルーティングを行う手法を提案した。Leら [13] は、キャッシュヒット率を向上するためにキャッシング手法を提案している。各車両は Data をオーバヒアし、確率に基づいてキャッシュするか否かを決定する。Dengら [14] はコンテンツの人気度に基づいたキャッシング手法を提案している。

これらの既存研究はルーティング・キャシングの2点に関して課題がある。ルーティングに関してはワンホップ単位で宛先車両をしている。これはVANETで用いられるユニキャストのようなホスト指向なものでありICN的ではないといえる。キャッシングの面では各車両がキャッシュするか否かの部分しか考慮しておらず、キャッシュを保持した車両の移動による影響が考慮されていない。キャッシュ効率を上げるためには、キャッシュを保持する車両がInterestを受信する必要がある。そのためキャッシング手法に加えてルーティングも同時に考慮する必要がある。

3. 提案

本論文ではキャッシュの活用頻度の向上とパケット到達率の性能向上に焦点を当て、VN を用いた IC-VANET 機構を提案する.

3.1 提案概要

図 2 に本提案手法の全体像を示す。本手法は VN を特定地点に保持し、パケットの経由地点として活用することでルーティングを行う。パケット経由地点を活用することで、行きと帰りの経路を同一にすることが可能で ICN の機能を活かしたルーティングが可能となる。また VN はキャッシュを保持することが可能である。キャッシュが地理的に固定されていることで、情報要求者はキャッシュを持つ車両の移動を考えずに情報をキャッシュから取得することが可能となる。したがって情報要求者が移動する車両を目標として Interest を送信する必要はなく、目標地点に向けて

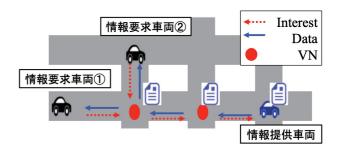


図 2 VN を用いた IC-VANET 機構 Fig. 2 IC-VANET mechanism using VN.

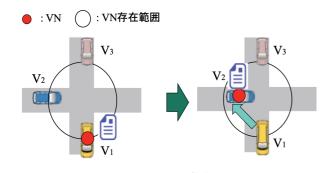


図 3 VN の維持 Fig. 3 Maintaining VN.

Interest を送信することで情報取得が可能となる. これは 情報要求者にとって地点という静的な情報のみで Data が 取得できる点、また通信成功率の向上が見込めるという点 でメリットがある. また道路を走行する車両は自身の進む 方向の情報を必要とするケースが多いことを想定する. そ のため同一の道路を同じ進行方向で進む車両群は同じ情報 を求める場合が多いことが考えられる. よってキャッシュ を活用することで同一の通信経路を用いた通信量を削減す ることが可能であると考える. VN を用いた機構では、た とえば情報要求車両 V1 が情報提供車両 V3 からコンテン ツを取得した後、情報要求車両 V2 が同一コンテンツを要 求した際、VN が持つキャッシュからコンテンツを取得す ることが可能である. 本研究の目的は各車両がコンテンツ 名により情報を得ることができ、また IC-VANET 上での キャッシュの活用効率を高め、結果として通信成功率を向 上させネットワークの性能も向上させることである.

3.2 VN (Virtual Node)

VNとは近傍の車両が協調して情報を渡しあうことで特定地点に維持される論理的なノードである. VNの役割は交通情報の収集や提供、キャッシュを地理的に固定すること、パケットの経由地点として使用する、という役割がある. VNを車両環境におけるパケット経由地点として活用することで、キャッシュの活用頻度を高める.

VN の維持の流れを図 3 に示す. VN が情報を提供する範囲を VN 存在範囲としてあらかじめ定義しておく. 左の図は交差点内に V1, V2, V3 の 3 台の車両が存在し V1 が VN として情報を保持していたとする. 右の図は左の図から時間が経過した場面を示している. 情報提供範囲から離脱する V1 は情報提供範囲内に存在する他の車両に自身の情報を送信する. 図の場合 V1 は V2 に情報が移動した様子を示している. 情報の転送が終了したら, 情報を受信した車両は新たに VN として振る舞う. これを繰り返すことで, 特定地点に同一の情報を保持することが可能となる. VN の維持時間に関しては交差点に平均 1.5 台の車両が存在することで十分な時間が確保できる [15]. また VN がなんらかの原因で存在範囲から外に出た場合新たに VN の生

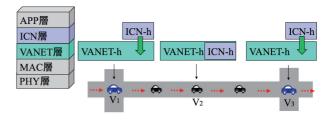


図 4 ネットワーク構造

Fig. 4 Network structure.

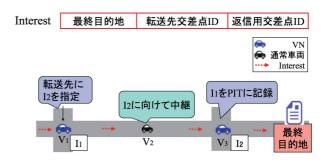


図 5 ルーティング手法 Fig. 5 Routing method.

成が行われる [16].

3.3 ルーティングプロトコル

本手法では VN を十分な交通量のある地点に設置して、 VN をパケットの中継地点として活用し VN 単位でルー ティングを行う. 以下でルーティングの際に用いられる ネットワークの構造とルーティング手法の詳細を説明する.

3.3.1 ネットワーク構造

図 4 は本手法で用いられるネットワークの構造を示したものである。本手法でのネットワーク構造は PHY 層, MAC層の上にマルチホップでルーティングを行う VANET 層, さらにその上にコンテンツ名に応じて目的地の設定を行う ICN 層がある。ICN 層は VN が参照し、パケットの目的地の設定を行い ICN 層のヘッダを目的地に応じて変更する。VANET 層は通常の車両が参照し、VN によって設定された目的地まで中継制御を行う。

3.3.2 VN を経由したルーティング

図 5 にパケットのルーティングを示す。Interest にはコンテンツ名、転送先の経由交差点の ID、返信用の経由交差点の ID の 3 要素を持つ。コンテンツ名はパケットの最終目的地となる道路の ID を用いる。転送先の経由交差点の ID は VN が自身と隣接する経由交差点の中から最終目的地に最も近いものを算出し、その経由交差点の ID を記載する。返信用の経由交差点の ID は VN における現在地にあたる経由交差点の ID を記載する。VN は Interest を受信した際に返信用の経由交差点の ID に記載されている ID を自身の PIT に記録する。こうすることで VN が Data を受信すると、PIT を参照し Interest を受信した経由交差点

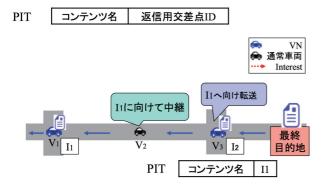


図 6 Data の返信 Fig. 6 Reply Data.

の方向へ Data を転送することが可能となる.

図 5 に Interest の流れを示す. 各交差点に VN が設置さ れている状況を考える. 交差点 I1 に存在する V1 が Interest を受信したとする. まず V1 は Interest の転送先交差点 ID が自身の交差点と一致するか確認する.一致する場合,自 身の CS を参照する. CS に該当するコンテンツが存在する 場合は Data を返信し、存在しない場合は中継を行う、中 継の際、ICN層によって、Interestのコンテンツ名から自 身の交差点と隣接する交差点のうち最終目的地に最も近い ものを選択する.この最も近い交差点は、実際の道路網構 造を考慮した道のりから判断する. 図の場合交差点 I2 が 選択される. よって V1 は転送先交差点 ID に I2 を, 返信 用交差点 ID に I1 を Interest に記載し中継を行う. V1 の 送信した Interest を V3 が受信した場合、コンテンツ名は 最終目的地, 転送先交差点 ID は I2, 返信用交差点 ID は I1 が記載されている. よって V3 は自身の PIT に I1 を記 録し、転送先交差点 ID を最終目的地に設定し、Interest を 送信する.

図 6 に図 5 における Data の返信の様子を示す。各 VN の PIT にはコンテンツ名と返信用交差点 ID が記録されている。Interest の送信により、V3 の PIT には返信用交差点として I1 が記録されていた。そのため V3 が Data を受信すると転送先交差点 ID を I1 として Data を返信する。交差点間の通常車両の中継は Interest と同様の方法で行われる。また各 VN はコンテンツをキャッシュとして保存する。また Data はそれ自身が生成された時刻を Data 自身が持っている。Data が生成されてから一定時間経過したものはキャッシュから破棄される。

3.3.3 VN 間に距離がある場合のルーティング

交差点 I1 と I2 の間が VN の通信範囲を超える場合,通常の車両によってパケットの中継が行われる。この際通常の車両は受信した Interest の転送先交差点 ID に向けて中継を行う。その様子を図 5,図 6 に示す。通常の車両は VANET 層により中継を行う。本手法では CBF に基づいてパケットを転送する。

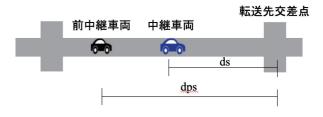


図 7 中継交差点までの距離

 ${\bf Fig.~7} \quad {\rm Distance~to~junction~intersection}.$

パケットを受信した通常車両はタイマーを起動し、時間 τ が経過したのちパケットを転送する. VN も同様に待ち 時間を設定し、その待ち時間は τ_{VN} とする. τ_{VN} は以下の 式で定義する.

$$\tau_{VN} = rand(\tau_{VNmin}, \tau_{VNmax}). \tag{1}$$

通常車両の待ち時間 τ は VN の待ち時間をもとに以下のように定義する。

$$\tau = \tau_{VNmax} + \frac{d_s}{d_{ps}} (\tau_{VNmax} - \tau_{VNmin}), \tag{2}$$

 d_s は自身の車両の位置から次の中継交差点までの距離, d_ps は前中継車両から次の中継交差点までの間の距離を表す。 図 $\mathbf{7}$ に d_s と d_ps の例を示す.したがって,通常車両は,次の中継交差点への距離が短いほど短い待ち時間が設定される.また通常車両の待ち時間は τ_{VNmax} より大きい値となる.したがって \mathbf{VN} は通常車両より短い待ち時間となる.

VN は次に転送する交差点を決定する役割があるため、目的地にパケットを到達させるためには VN の中継が必須となる. そのため VN の待ち時間を短く設定した.

4. シミュレーション評価

本章ではシミュレーションを用いて本手法の性能の評価・考察を行う.

4.1 シミュレーション環境

シミュレーションは実地図上に通信可能な車を走らせる形で行った。今回使用した map を図 8 に示す。これは Open Street Map (OSM) [17] から取得したニューヨークのマンハッタン地区のものである。この地図は規則正しい十字路が多数存在し、通信用電波が遮られにくいことから、通信の基本特性を調査するのに適していると考えられる。交差点の数は 62 であり、道路セグメントの数は 120 である。道路セグメントとは交差点と交差点の間の道路 1 つ1 つのことである。この各道路セグメントは 1 つのコンテンツを持ち、各コンテンツは 1 つの提供者から提供される。コンテンツ提供者は VN が担当する。各道路セグメントにおけるその両端のいずれかの VN が該当地点のコンテンツを持つものとする。全シミュレーションにおいてある道路セグメントのコンテンツを持つ VN は同様のものであると

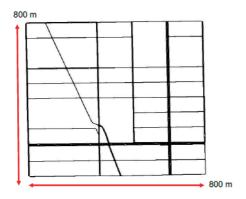


図 8 シミュレーション地図

Fig. 8 Simulation map.

表 1 シミュレーション条件 SUMO **Table 1** Simulation condition for SUMO.

Parameter	Value		
シミュレータ	SUMO 0.28		
モビリティモデル	Krauss		
制限速度	11.111 m/sec (40 km/h)		
車両台数	100		
目的地数	10 road segments/vehicle		

した. FIB には最終目的地に到達するまでに経由する経由 交差点すべてが入っているものとする. 本シミュレーショ ンでは VN が FIB を参照し次に到達させる経由交差点を 決定し, 交差点間での通常車両は VN の決定した経由交差 点に向け中継を行う.

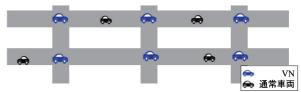
シミュレータには SUMO [18] と Scenargie [19] を用いた. SUMO は車両の移動を再現するシミュレータである. そこで算出された車両の移動モデルを Scenargie での入力ファイルとし,通信を行う. 表 1 は SUMO におけるパラメータを示す. 100 台の車両が環境内に存在し,さらに各交差点上に固定端末が設置されている. この固定端末が今回 VN とするものとした. この車両台数は VN が交差点に維持できるのに十分な台数である [20].

各車両は以下の動作を行う.車両はまずランダムで1つの道路セグメントを選択する.この際選択される道路セグメントは自身の位置から700m以上走行する必要のあるものが選択される.そして車両は選択された道路セグメントへ向かい走行する.到着した後は再び同様の方法で1つの道路セグメントが選択され、そこへ向かい走行する.この動作を10回繰り返す.この条件で今回のシミュレーション時間1,000秒の間にすべての移動を終えた車両は存在しなかった.表2はScenargieにおけるパラメータを示す.各車両は900秒の間30秒ごとにInterestを発行する.Interestの宛先は各車両がこれから通過する予定の道路セグメントの中から5つを選択し、送信される.このシナリオは車両が候補の走行経路に対して交通情報を要求することを想定している.キャッシュされた情報についてはコ

表 2 シミュレーション条件 Scenargie

Table 2 Simulatino condition for Scenargie.

Parameter	Value		
シミュレータ	Scenargie 2.1		
通信規格	IEEE802.11p		
チャネル周波数	5.9 GHz		
通信帯域幅	$10\mathrm{MHz}$		
変調方式	OFDM (QPSK 1/2)		
伝送速度	6.0 Mbps		
送信電力	10 dBm		
車両の通信範囲	150 m		
電波伝搬モデル	ITU-R.P.1411		
Data パケットサイズ	392 byte		
Beacon パケットサイズ	128 byte		
最大待ち時間	$0.5 \sec$		
最小待ち時間	0.1 sec		



	VN		通常車両		通常車両の
	中継	キャッシュ	中継	キャッシュ	通信方式
基本方式1	実施なし	実施なし	実施	実施	GPSR
基本方式2	実施	実施なし	実施	実施	GPSR
基本方式3	実施	実施	実施	実施	GPSR
基本方式4	実施	実施	実施	実施	CBF
提案方式	実施	実施	実施	実施なし	CBF

図 9 通信方式

Fig. 9 Communication method.

ンテンツ提供者が転送した時点から 60 秒間有効であるとした.

VN の有無やキャッシュの有無, 通信方式を変え図 9 に 示す5種類の比較方式を用いて評価を行った.この際各5 種類の通信方式で車両の移動モデルは同一のものを使用し た. 通常車両は基本方式ではキャッシュと中継を行い. 提 案手法では中継のみを行う. VN は基本方式1では通信に 参加しない. 基本方式2では中継のみを行い, 基本方式3 と4と提案方式では中継とキャッシュを行う. 通常車両の 通信方式は基本方式 1, 2, 3 では GPSR [4] を, 基本方式 4と提案方式は CBF を採用した. また本実験では各車両 がキャッシュとして保持できるコンテンツの数を 0,10, 20の3つの場合で評価を行った。キャッシュがすべて使 用されたときは LRU (Least Recently Used) に基づいて キャッシュの入れ替えがおこる. 長時間使用されていない キャッシュはその Data に関する通信がその車両の周辺で おきていないということになるため、優先的に削除される. 提案方式ではキャッシュを保持する VN がパケット経由地 点として機能することで、キャッシュの活用頻度が向上す ることが期待される. 本実験では Data の取得率, 通信に

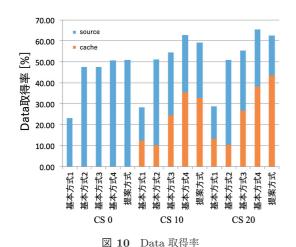


Fig. 10 Data get rate.

要した距離、ネットワーク内を流れるパケットの総数、以上4つの項目で性能の評価を行った.

4.2 Data 取得率

図 10 は各方式における Data の取得率を示す. CS サイ ズが 10,20 の場合,提案方式は Data の総取得率,キャッ シュからの Data 取得率ともに高い値を示した. 特に CS サイズが20のとき、基本方式3に対してキャッシュから の取得率は約17%,総取得率は約8%高い.基本方式3と 提案方式ではキャッシュを行うノードの数は前者の方が多 いにもかかわらず Data の総取得率は後者の方が高い値を 示している. また提案方式では Data の総取得率のうち, 約 75%がキャッシュから Data を取得していることが分か る. 移動する車両を宛先とせずとも目的地の位置を宛先と することで目的地の VN やキャッシュから Data を取得で きることが分かる. これは VN によってキャッシュを特 定地点に固定し、パケットの経路も VN を経由するもの に固定したためだと考えられる. 基本方式では、要求ごと に中継ノードが異なるため、キャッシュを保持するノード が Interest を受信する機会が少ない. 一方提案方式ではパ ケットの経路が VN. つまりキャッシュを保持するノード を中継するためキャッシュの利用機会が増加したと考えら れる. このことからキャッシュを活用することによる有用 性が示された. 基本方式 4 と提案方式では基本方式 4 の方 が約 4%高い値を示している. これは VN を含むすべての 車両がフラッディングを行っているためだと考えられる.

また基本方式1は他の3つの方式と比較しDataの総取得率が20%以上値が低いことが分かる.これは基本方式1はVNが通信に参加しておらず、シミュレーション内の通信端末の数が少ないからだと考えられる.

4.3 通信に要した距離

図 11 は各方式における CDR (Communication Distance Reductionratio) を示す. これはコンテンツ要求者からコ

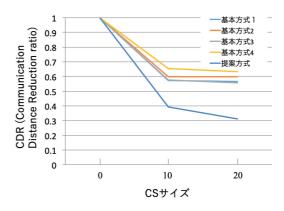


図 11 通信に要した距離

Fig. 11 Distance required for communication.

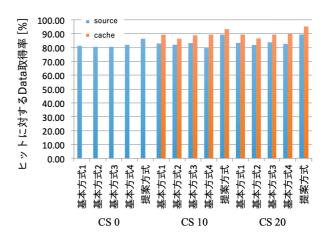


図 **12** Data 返信の成功率

Fig. 12 Data reply success rate.

ンテンツ提供者までの距離を1として実際に通信に要した 距離の値を示している.値が1より小さい範囲はキャッ シュヒットにより短い通信距離でコンテンツが取得できた ことを示す. 基本方式の場合 CS サイズが 20 のとき, CDR は、CS サイズが 10 のときとほぼ同等の値を示した. 基本 方式におけるキャッシュの取得率はほぼ同等であったた めである.一方,提案方式では,CS サイズが20のとき, CDR は CS サイズ 10 のときより小さい値を示した. CS サイズが増加したことで、VN のキャッシュヒットの機会 が増加したためである. ICN のキャッシュを活用すること で通信に要する距離が削減できていることもこの評価から 確認できる. CDR が小さいということは、遠距離の交通情 報の取得率を向上する可能性を示唆している. このシミュ レーションでは 800 m 四方のマップを用いたが、さらに大 きなマップでは提案機構の有効性がさらに大きくなる可能 性がある.

また図 12 は Data がコンテンツ提供者, またはキャッシュにヒットしてからコンテンツ要求者に達する確率を示すものである. CS サイズが 10 の場合と 20 の場合, いずれもキャッシュから Data が返信される方が 5%成功率が高いことが分かる. これは図 11 の結果も考慮すると, Data を

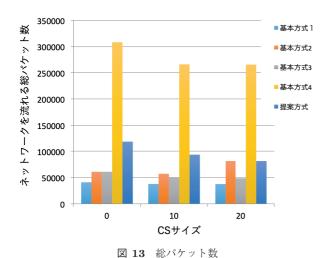


Fig. 13 Total number of packets.

提供する場所から要求者までの距離が近いほど、通信の成功率も高いといえる。以上から、キャッシュヒットが Data 取得率を向上するうえで重要であることが確認された。

4.4 総パケット数

図 13 に各方式におけるネットワークを流れる総パケッ ト数を示す. パケット数はある車両が Interest, もしくは Data をブロードキャストした際に1つとカウントする. こ れは中継車両の送信するパケットも含む. たとえばある車 両が Interest を送信し、目的地に到達するまでに 9 台の車 両が中継して目的地に到達した場合, ネットワークを流れ たパケット数は 10 とカウントされる. CS サイズが 10 の とき、各手法における総パケット数は CS サイズが 0 のと きより少ない. これは、キャッシュヒットによって source までの通信が削減されたためである。また、CS サイズが 20 のとき、基本方式における総パケット数は CS サイズが 10 のときと変化はないが、提案方式では削減されている. これは、提案方式では CS サイズが 20 のとき、キャッシュ ヒットが増加するためである. 提案方式における総パケッ ト数は, 基本方式 3 と比較して, 1.8 から 2.2 倍を示した. この原因は、ICN層におけるルーティングプロトコルに よるホップ数増加が考えられる. 提案方式では車両の通信 範囲にかかわらずすべての交差点上の VN を経由してルー ティングが行われている. 車両1台の通信範囲が今回約 150 m であるのに対し、場所によっては車両の半径 150 m の地域に交差点が3個以上含まれている地点もある. その ため必要以上のホップ数を要したことにより、ネットワー ク内のパケットの総数が増加したと考えられる. また基本 方式4は他のどの方式の2倍から3倍の値を示している. これは基本方式4はすべての車両がフラッディングを行う ためオーバヘッドは大きくなることが示されている. 本シ ミュレーションでは VN はすべて固定端末で実施している. よって VN を維持するために車両間で VN を移動させるた めのパケットは総パケット数には含まれていない. 我々は VN を維持するための維持コストは問題にならないと考えている. 我々の先行研究 [15] と [16] で交差点に車両が行き交う環境で VN を 800 秒以上動的に維持, また VN が維持されている交差点の交通情報を問題なく提供可能であることを達成している. そのため本シミュレーションでは維持は問題なく行えていることを想定し, VN が動的である場合の検証は行っていない.

本シミュレーションではすべての交差点に VN がつねに存在する状態を想定した.この想定はつねに車両が交差点を行き交う状態でのみ実現される.しかしこのような状況は必ずしも起きないと推定される.したがって車両が自身の周辺車両の数を把握し、一定以上の車両密度が検出されたら VN を生成する仕組みが必要であると考えられる.

5. おわりに

本論文では VN を導入したルーティング・キャッシング手法を提案した. VN の役割は交通情報の収集や提供、キャッシュを特定地点に保持すること、パケットルーティングの際に中継地点として活用されることである. ネットワーク構造は ICN 層と VANET 層の 2 層を含み、ICN層において VN がパケット経由地となる目的地を設定し、VANET 層は通常の車両が経由地まで中継するのに用いられる. シミュレーション評価を行った結果. Data の層取得率とキャッシュからの取得率に関して提案手法は最も高い結果となった. またコンテンツの送受信に必要とされる距離も提案手法において最も短い距離で実現が可能となった. 一方で、ネットワーク内の総パケット数に関しては、提案手法は他の手法と比較して 1.8 倍から 2.2 倍の値を示しており、VN の配置方法に関しては課題が存在することを確認した.

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 16H02811 の助成 によるものです。

参考文献

- [1] 間瀬憲一:車々間通信とアドホックネットワーク,電子情報通信学会論文誌 B, Vol.89, No.6, pp.824-835 (2006).
- [2] Jacobson, V., Smetters, D.K., Thornton, J.D., Plass, M.F., Briggs, N.H. and Braynard, R.L.: Networking named content, Proc. 5th International Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies, pp.1–12, ACM (2009).
- [3] 佐藤和也,篠原涼希,峪口雄太,屋代智之,重野 寛: 擬似的に形成した静的トポロジを用いた情報指向型自動 車アドホックネットワークの提案,情報処理学会研究報 告, Vol.31, No.7, pp.1-7 (2017).
- [4] Karp, B. and Kung, H.-T.: Gpsr: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks, Proc. 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, pp.243–254, ACM (2000).
- [5] Lochert, C., Mauve, M., Fuler, H. and Hartenstein, H.: Geographic routing in city scenarios, ACM SIGMOBILE

- Mobile Computing and Communications Review, Vol.9, No.1, pp.69–72 (2005).
- [6] Jerbi, M., Senouci, S.M., Rasheed, T. and Ghamri-Doudane, Y.: Towards efficient geographic routing in urban vehicular networks, *IEEE Trans. Vehicular Tech*nology, Vol.58, No.9, pp.5048–5059 (2009).
- [7] Williams, B. and Camp, T.: Comparison of Broadcasting Techniques for Mobile Ad Hoc Networks, Proc. 3rd ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, pp.194–205 (2002).
- [8] Bachir, A. and Benslimane, A.: A multicast protocol in ad hoc networks inter-vehicle geocast, *IEEE Semiannual* Vehicular Technology Conference, Vol.4, pp.2456–2460 (2003).
- [9] Akamatsu, R., Suzuki, M., Okamoto, T., Hara, K. and Shigeno, H.: Adaptive delay-based geocast protocol for data dissemination in urban VANET, 2014 7th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking, ICMU 2014, pp.141–146 (2014).
- [10] Akamatsu, R., Obara, K. and Shigeno, H.: Road-Oriented Geographic Routing Protocol for Urban Vehicular Ad Hoc Networks, *IEEE 29th International Con*ference on Advanced Information Networking and Applications Workshops WAINA 2015, pp.721–726 (2015).
- [11] Ahmed, S.H., Bouk, S.H., Yaqub, M.A., Kim, D., Song, H. and Lloret, J.: Codie: Controlled data and interest evaluation in vehicular named data networks, *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol.65, No.6, pp.3954– 3963 (2016).
- [12] Bian, C., Zhao, T., Li, X. and Yan, W.: Boosting named data networking for efficient packet forwarding in urban vanet scenarios, The 21st IEEE International Workshop on Local and Metropolitan Area Networks, pp.1–6 (2015).
- [13] Le, T., Lu, Y. and Gerla, M.: Social caching and content retrieval in Disruption Tolerant Networks (DTNs), 2015 International Conference on Computing, Networking and Communications, ICNC 2015, pp.905–910 (2015).
- [14] Deng, G., Wang, L., Li, F. and Li, R.: Distributed Probabilistic Caching strategy in VANETs through Named Data Networking, *Proc. IEEE INFOCOM*, Vol.2016-Sept., pp.314–319 (2016).
- [15] 峪口雄太, 佐藤和也, 重野 寛:情報指向型車車間ネット ワークに向けた特定地点における情報維持手法, 情報処理 学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO-2017) シンポジウム, pp.564-569 (2017).
- [16] 宮﨑稔也, 峪口雄太, 重野 寛,屋代智之:VANET におけるアクセス性を考慮した特定地点での交通情報収集・提供手法の検討,情報処理学会第 175 回マルチメディア通信と分散処理・第 87 回モバイルコンピューティングとパーベイシブシステム・第 73 回高度交通システムとスマートコミュニティ合同研究発表会, Vol.2018-ITS-73 (2018).
- [17] OpenStreetMap contributors: Planet dump retrieved from https://planet.osm.org (online), available from https://www.openstreetmap.org (accessed 2018-01-12).
- [18] Krajzewicz, D., Erdmann, J., Behrisch, M. and Laura, B.: Recent Development and Applications of SUMO – Simulation of Urban MObility, *International Journal on Advances in Systems and Measurements*, Vol.5, No.3-4, pp.128–138 (2012).
- [19] 大和田泰伯,前野 誉,金田 茂,久永良介,高井峰生: Scenargie を用いた ITS シミュレーション,マルチメディ ア通信と分散処理ワークショップ論文集,pp.233-234 (2008).

[20] Higuchi, T., Joy, J., Dressler, F., Gerla, M. and Altintas, O.: On the feasibility of vehicular micro clouds, 2017 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), pp.179–182 (2017).



峪口 雄太 (学生会員)

2017年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業. 現在,同大学大学院理工学研究科修士課程在学中.



佐藤 和也

2016 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業. 現在,同大学大学院理工学研究科修士課程修了.



宮崎 稔也 (学生会員)

2018 年慶應義塾大学理工学部情報工 学科卒業. 現在,同大学大学院理工学 研究科修士課程在学中.



重野 寛 (正会員)

1990 年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業. 1997 年同大学大学院理工学研究科博士課程修了. 現在,同大学理工学部教授. 博士(工学). 情報処理学会学論文誌編集委員,同 DPS 研究会主查, Secretary of IEEE ComSoc

APB 等を歴任. 現在, 情報処理学会理事, 同 ITS 研究会主査, Co-Chair of IEEE ComSoc APB ISC. ネットワーク・プロトコル, ITS 等の研究に従事. 著書『ユビキタスコンピューティング』(オーム社),『情報学基礎第 2 版』(共立出版)等. 電子情報通信学会, IEEE, ACM 各会員.



屋代 智之 (正会員)

1992年慶應義塾大学大学院理工学研究科計測工学専攻修士課程修了. 1998年同大学院後期博士課程了. 同年より千葉工業大学工学部情報ネットワーク学科専任講師. 現在,同大学情報科学部情報ネットワーク学科教授. 博士

(工学). 高度道路交通システム (ITS), モバイル・コンピューティング等の研究に従事. ITS 研究会主査, 論文誌編集委員会 NWG 主査, 調査研究運営委員長等を歴任, 著書『ITS と情報通信技術』(裳華房)等. 電子情報通信学会, 人工知能学会, IEEE 各会員.