

情報指向型自動車アドホックネットワークに向けた 仮想ノードを用いたパケットルーティング手法の検討

峪口 雄太¹ 佐藤 和也¹ 宮崎 稔也² 重野 寛¹

概要：情報指向型自動車アドホックネットワーク (IC-VANET) の研究が行われている。これは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) のアプローチを導入するものである。IC-VANET において各車両は車車間通信 (V2V) を用いたマルチホップ通信によって情報の取得を行う。典型的なアプリケーションとして交通情報の取得がある。VANET において交通情報は位置情報に依存し、車両の宛先を直接限定しない。また ICN はコンテンツ名を情報取得の際に使用するため端末自体を宛先として設定する必要はない。これらの特徴は親和性が高いと言える。本論文では仮想ノードを用いた IC-VANET のルーティング機構を提案する。仮想ノードとは車両同士が情報を転送し合い、特定の地点に情報が維持されることで形成される仮想的なノードである。キャッシュを持つ仮想ノードがパケットの中継地点として利用されることでキャッシュの利用効率が上がり全体としてネットワークの性能向上にもつながる。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。

A Consideration of Packet Routing Scheme with A Virtual Node in Vehicular Ad-hoc Networks Based on Information Centric Networking

YUTA SAKOGUCHI¹ KAZUYA SATO¹ MIYAZAKI TOSHIYA² HIROSHI SHIGENO¹

1. はじめに

近年 IoT 技術の進展により自動車の通信体としての活用が見込まれている。自動車における通信手段の一つに Vehicular Ad-hoc Network (VANET)[1] がある。VANET を用いた通信はインフラストラクチャを用いないため管理コ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。一方で車両全てが移動するためネットワークトポロジが絶えず変化し、宛先を指定した通信やスタティックな経路での通信は不安定であると言える。主な VANET の用途として近距離の交通情報の取得がある。

一方近年 IP アドレスに代わる新しいインターネットアーキテクチャの研究が進められている。これは Information Centric Networking(ICN)[2] と呼ぶ。ICN ではユーザは IP アドレスの代わりにコンテンツ名を識別子として情報取得を行う。ICN において各ルータはコンテンツ名によりパケットの転送方向を決定する。また各ルータはコンテンツそのものをキャッシュすることが可能でサーバの代わりにユーザの要求に応えることが可能である。

この ICN のアーキテクチャを VANET に導入する研究

が現在始められている。VANET と ICN の特徴は親和性が高いと言える。VANET において交通情報を取得する際、それらの情報は地理情報に依存しており、特定の車両を宛先に設定する必要はない。すなわちコンテンツの取得場所ではなくコンテンツそのものが重視される。ゆえに ICN を VANET に導入することは有用性があり導入が検討されている。我々は 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。

IC-VANET ではキャッシュを活用することでパケット到達率の向上およびネットワークにおける通信量の削減が見込める。しかし既存研究では車両のキャッシュの活用について十分な考慮がされていない。その結果キャッシュの活用効率が低下している。VANET では車両がキャッシュを所有していても、車両が移動することによりそのコンテンツの要求に応えることができずキャッシュをうまく活用できない場合がある。

本論文では IC-VANET における In-Network キャッシュを活用するために仮想ノードの概念を用いたパケットルーティング機構を提案する。仮想ノードとは複数の車両が互いに情報交換を行うことで道路上の特定地点に同じ情報をとどめることでできる仮想的なノードである。仮想ノードは近隣の交通情報の収集、提供、またキャッシュも保持し、

¹ 慶應義塾大学大学院理工学研究科

² 慶應義塾大学理工学部情報工学科

パケットの中継地点として機能する。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、In-Network キャッシュの活用効率が向上する。さらに、ICN と VANET の既存研究を活かすことを考慮した層構造を提案する。本論文では仮想ノードを用いたパケットルーティングに関するシミュレーションを行い、その効果を評価する。

以下、2章で VANET と ICN の説明、および IC-VANET に関して述べる。3章で本提案手法を、4章でシミュレーション評価を、5章で結論を述べる。

2. 関連研究

本章では VANET と ICN について説明した上で、IC-VANET の既存研究や問題点について説明する。

2.1 Vehicular Ad-hoc Network (VANET)

VANET[1] とはインフラストラクチャを用いずに車両間のみで構成されたネットワークである。VANET では車両同士が直接通信を行うためリアルタイム性の高い情報取得が可能である。一方全ての通信体が移動端末であるため車両の移動を考慮した通信方式を用いる必要がある。VANET の通信方式は主に以下の2つに分類される

2.1.1 Position Based Forwarding (PBF)

PBF はビーコンなどを用いて周辺車両を把握し、座標を基にして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、中継のオーバーヘッドは小さくなるが、動的トポロジのため通信の達成率は低下する。

GPSR[4] は目的地に最も近い車両を選択する。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。交差点上の車両を用いることは電波伝搬の観点および車両のモビリティ特性の観点から有効である。交差点付近では信号待ち等で停止するため車両が高確率で存在し、パケット中継に利用しやすい。

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。この待ち時間を短く設定することで優先的にパケットを中継することができる。CBF は、ブロードキャストが繰り返されることで、中継のオーバーヘッドが増大するが、通信の到達性が向上する。

CB-Flooding[7] は、ランダムな待ち時間を設定する。RO-CBR[8] は、道路トポロジに基づいて中継範囲を制限することで、オーバーヘッドを削減する。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

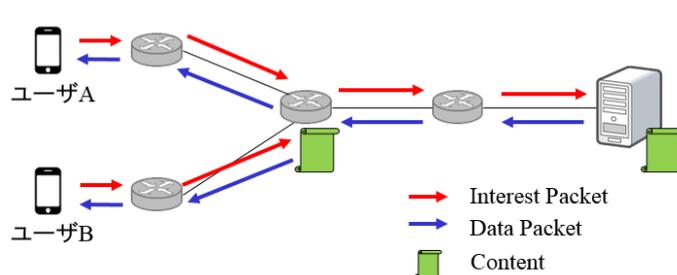


図 1 ICN の流れ

ト内で競合検知を用いて中継する。

2.2 Information Centric Networking (ICN)

現在、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 ICN[2] が開発されている。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 Data パケットが用いられる。ICN ルータは以下の3つの要素から成る。

Forwarding Information Base (FIB)

FIB はコンテンツ名とそのコンテンツがあるサーバの方向のインタフェースが記録されている。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)

PIT は Interest が到着した際にコンテンツ名ごとに、その転送元インタ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インタ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)

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 を元にコンテンツの存在するサーバへ 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 情報指向型自動車アドホックネットワーク (IC-VANET)

VANET における交通情報取得はコンテンツ指向である

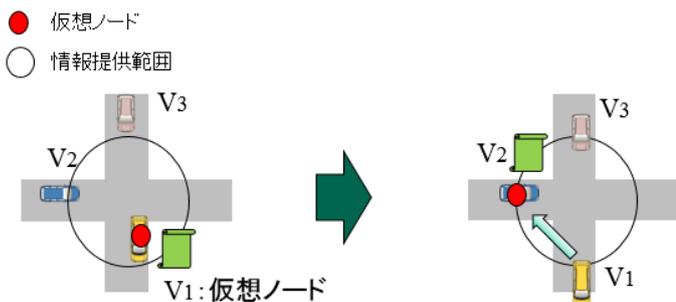


図 2 仮想ノード

と言える。このことから ICN のアーキテクチャを VANET に導入する研究が始められている。本論文では ICN が導入された VANET の通信機構を IC-VANET と呼ぶ。

現在 ICN の機構を VANET に導入する研究が始められている。CODIE[9] 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。C. Bian[10] ら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。

しかし、これらの既存研究はキャッシング手法のみを提案する。すでに述べたように、キャッシュを保持する車両が中継しなければ、キャッシュの活用効率は向上しない。ルーティングも同時に考慮する必要がある。

3. 提案

本章では仮想ノードの概念を導入した IC-VANET 機構について提案する。

3.1 仮想ノード

仮想ノードとは複数の車両が協調して情報を渡りあうことで特定地点に維持される仮想的なノードである。仮想ノード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、パケットの中継がある。この仮想ノードを ICN におけるルータとして扱うことで車環境に擬似的な静的トポロジを形成する。

仮想ノードの維持は以下の図 2 のような動作で行われる。仮想ノードが情報を提供する範囲を情報提供範囲としてあらかじめ定義しておく。ある車両が仮想ノードとして情報を保持していたとする。その車両が情報提供範囲を離脱する際に自分が持つ情報を情報提供範囲内の他の車両に送信する。受け取った車両は新たに仮想ノードとして振舞う。これを繰り返すことで、同じ情報が特定地点に保持されることになる。

3.2 ルーティング手法

本提案手法では仮想ノードがパケットの中継地点とし

ICN層	コンテンツ名 (=パケット目的地)
VANET層	車両ID (=次の中継車両)

図 3 パケット構造

て機能することで、パケットの転送を行う。パケットは ICN で用いられる Interest と Data を採用する。さらに仮想ノードがキャッシュの役割も果たすことでキャッシュの活用効率の上昇も図る。以下の図 3 にパケットの構成を示す。

本手法では各交差点に 1 つずつ仮想ノードがある状況を想定する。パケットには ICN 層と VANET 層を持つ。ICN 層にはコンテンツ名およびパケットの経由地点が用いられる。コンテンツ名はパケットの最終目的地を使用する。VANET 層では経由地点へのルーティングに必要な情報が記される。以下にその詳細を述べる。

コンテンツ名 上に述べたようにコンテンツ名はパケットの目標地点とする。

直前の中継交差点 Id 既存研究と同様に、Data を返信するためにこれは記述されるが、既存研究とは異なり、直前の中継車両 Id の代わりに交差点 Id が記述される。Interest を転送する仮想ノードは、現在地の交差点 Id をパケットに記して転送する。次に Interest を中継する仮想ノードは直前の中継交差点 Id を PIT に記録する。そして、その車両が Data を受信すると、PIT を参照し、Interest を転送した交差点に Data を転送する。

次の中継交差点 Id 次にパケットを中継する仮想ノードが交差点 Id によって示される。一致する交差点 Id 上にいる仮想ノードが CS を参照し、ICN 層プロトコルによって次の経由地点(交差点)を決定する。これはパケットの ICN 層に記述される。パケットはこの交差点を經由し、パケット目的地まで転送される。

次の中継道路 Id, 次の中継交差点の座標, 前の中継車両の座標 次の中継交差点が離れていて、次の仮想ノードがパケットを受信できない場合に両地点間にある通常ノードがパケットを中継する。パケットを中継した仮想ノードは次の中継交差点 Id を ICN 層に記す。また、その交差点の座標と、その交差点を結ぶ道路セグメントの道路 Id を VANET 層に記す。パケットを受信した通常ノードは、そのノードが走行している道路セグメントが一致していた場合に、次の中継交差点に向けて CBF によってパケットを中継する。

パケット生成時刻 古い情報を CS から取得しないために、Data パケットは、それ自身が生成された時刻を記録する。Data パケットを受信した車両は、キャッシュするとき、コ

式では仮想ノードと通常車両は区別されずにパケットの中継ノードとして選択される。対して提案方式は利用可能な In-Network キャッシュのサイズが限られるが、キャッシュを保持するノードがパケットの経由地点として機能することでキャッシュ活用が向上することが期待される。我々は、提案方式の有用性を確認するために、Data 取得率とネットワーク内の総パケット数という 2 つの軸で評価を行った。また各ノードの CS のサイズを 0,10,20 と変化させた。

	通常車両		仮想ノード	
	中継	キャッシュ	中継	キャッシュ
基本方式 1	●	●		
基本方式 2	●	●	●	
基本方式 3	●	●	●	●
提案方式	●		●	●

図 5 方式

表 1 シミュレーション条件 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

表 2 シミュレーション条件 Scenargie

Parameter	Value
シミュレータ	Scenargie 2.1
通信規格	IEEE802.11p
チャンネル周波数	5.9 GHz
通信帯域幅	10 MHz
Modulation Method	OFDM(QPSK 1/2)
Transmission Rate	6.0 Mbps
送信電力	10 dBm
車両の通信範囲	250 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 Bytes
Max Waiting Time	0.5 sec
Min Waiting Time	0.1 sec

4.3 結果と考察

図 6 は各手法における Data 取得率を示す。オレンジはキャッシュからの取得率、青は source からの取得率を示す。これらの合計を総取得率とする。基本方式 1 では、中継ノードが他の手法よりも少ないため、いずれの CS サイズの場合でも低い数値を示す。まず、CS サイズが 0 のとき、基本方式 2 と 3 は同等の手法なので両者は同じ数値を示す。CS サイズが 10 のとき、基本方式 3 は基本方式

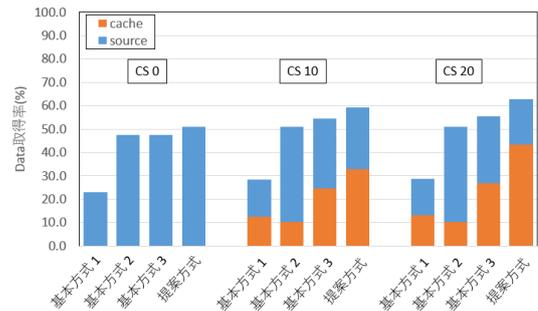


図 6 Data 取得率

2 より高いキャッシュ取得率、総取得率を示した。これは、基本方式 3 における In-Network キャッシュのサイズが基本方式 2 に比べて大きいためである。次に、CS サイズ 0 と 10 を比較すると全ての手法において、総取得率が向上した。キャッシュからの Data 取得率が向上したためである。CS サイズ 10 と 20 を比較すると、基本方式のグラフの形状は変化しなかった。CS サイズを変更しても、基本方式では各通信に対して同じノードが中継する。つまり、中継ノードではキャッシュ置換が発生せず、それらの中継ノードの CS が十分に使用されていない。提案機構では、いずれの CS サイズについても最も高いキャッシュ取得率と総取得率を示した。CS サイズが 20 の時、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。基本方式では、要求ごとに中継ノードが異なるために、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、提案機構では、キャッシュを保持するノードが Interest を受信する機会が増加する。そのため、キャッシュの利用機会が増加した。さらに、CS サイズが 10 と 20 のときの提案機構における総取得率とキャッシュ取得率を比較すると、両者とも向上している。これは、パケットを中継するノードの CS が十分に使用されていることを示す。提案機構では、仮想ノードが Data を中継することで、より多くの Data をキャッシュし、キャッシュをより頻繁に置換している。以上から、中継ノードを限定することで、In-Network キャッシュのサイズが限られるが、キャッシュの利用機会が向上することが示された。また、中継ノードの CS をより活用できることが確認された。

図 7 は、各手法における総パケット数を示す。縦軸のオーダーは 10 の 4 乗である。CS サイズが 10 の時、各手法における総パケット数は CS サイズが 0 の時より少ない。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 の時、基本方式における総パケット数は CS サイズが 10 の時と変化はないが、提案では削減されている。これは、提案では CS サイズが 20 の時、キャッシュヒットが増加するためである。しかし、提案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

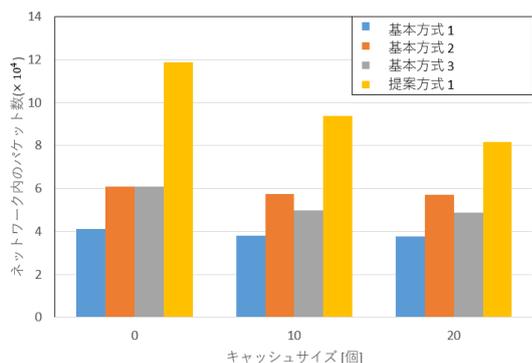


図 7 パケット数

が考えられる。本論文では、仮想ノードは、最小ホップ数となる隣接交差点にパケットを転送する。したがって、数ホップ先の交差点が通信範囲内であっても、必ず隣接交差点を中継するため各パケットのホップ数が増加する。今回の条件では、各車両は最大で約 250m の通信が可能である。基本方式では、250 m 先方の車両に 1 ホップでパケットを転送できるが、提案では、その間に交差点が n 個存在すれば、 n ホップの通信が必要となる。ホップ数の増加によりネットワーク内のパケット数が増加する。基本方式 3 と提案について、CS サイズ 0 における Source hit までの平均ホップ数を比較する。基本方式においてそれは 3.35hop であるのに対して、提案においてそれは 5.12hop である。確かに、ホップ数が増加していることが確認できる。

5. おわりに

IC-VANET では、キャッシュを活用することで通信の達成率を向上し、通信量を削減することができる。しかし既存研究ではキャッシュの活用に関して十分な考慮がされていなかった。本論文では仮想ノードを導入した IC-VANET 機構を提案した。仮想ノード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の中継地点として使用されることである。パケットは ICN 層と VANET 層を持ち、ICN 層においてパケットの経由地点として仮想ノードが設定され、ルーティングが行われる。シミュレーション評価を行った結果、Data の総取得率とキャッシュ取得率に関して提案手法はいずれの場合も最も高い結果となり、本手法によってキャッシュの活用効率は上昇したことが分かった。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 1.6 倍から 2.0 倍の値を示しており、ネットワーク内のトラヒックの制御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, Vol. J89-B, No. 6, pp. 824–835, 2006.
- [2] Van Jacobson, Diana K Smetters, James D Thornton, Michael F Plass, Nicholas H Briggs, and Rebecca L Brainerd. Networking named content. In *Proceedings of the 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] Brad Karp and Hsiang-Tsung Kung. Gpsr: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks. In *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, pp. 243–254. ACM, 2000.
- [5] Christian Lochert, Martin Mauve, Holger Füller, and Hannes Hartenstein. Geographic routing in city scenarios. *ACM SIGMOBILE mobile computing and communications review*, Vol. 9, No. 1, pp. 69–72, 2005.
- [6] M. Jerbi, S. M. Senouci, T. Rasheed, and Y. Ghamri-Doudane. Towards efficient geographic routing in urban vehicular networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 58, No. 9, pp. 5048–5059, Nov 2009.
- [7] B Williams and T Camp. Comparison of Broadcasting Techniques for Mobile Ad Hoc Networks. *Proceedings of the 3rd ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, pp. 194–205, 2002.
- [8] Ryosuke Akamatsu, Keiji Obara, and Hiroshi Shigeno. Road-Oriented Geographic Routing Protocol for Urban Vehicular Ad Hoc Networks. *IEEE 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops WAINA 2015*, pp. 721–726, 2015.
- [9] S. H. Ahmed, S. H. Bouk, M. A. Yaqub, D. Kim, H. Song, and J. Lloret. Codie: Controlled data and interest evaluation in vehicular named data networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 65, No. 6, pp. 3954–3963, June 2016.
- [10] C. Bian, T. Zhao, X. Li, and W. Yan. Boosting named data networking for efficient packet forwarding in urban vanet scenarios. In *The 21st IEEE International Workshop on Local and Metropolitan Area Networks*, pp. 1–6, April 2015.
- [11] OpenStreetMap contributors. Planet dump retrieved from <https://planet.osm.org>. [Online] <https://www.openstreetmap.org> (Last checked: 2018-01-12).
- [12] Scenargie. <https://www.spacetime-eng.com/jp/>, 2017.