

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

佐藤 和也^{1,a)} 篠原 涼希^{1,b)} 峪口 雄太^{2,c)} 屋代 智之^{3,d)} 重野 寛^{1,e)}

概要: 交通情報の取得を目的とした自動車アドホックネットワーク (VANET) が研究されている。交通情報は場所との結びつきが強く、情報の取得に際して車両を限定しない。一方、情報指向型ネットワーク ICN は通信先ノードを特定せずに、要求/応答型通信によってコンテンツを取得するネットワークであり、VANET による交通情報取得と、ICN は非常に近い目標を持っていると言える。そのため、ICN を基盤とした自動車アドホックネットワーク (IC-VANET) が検討されている。本稿では、VANET のパケット中継制御および交通情報取得プロトコル、無線環境やモバイルノードで構築された ICN の既存研究を概観し、IC-VANET のメリットと課題について考察する。IC-VANET は、VANET の動的トポロジのために、期待されるメリットが十分に活かしていない。さらに、ICN は静的トポロジを前提とした設計であり、VANET の動的トポロジへの適用は応答パケットの転送の際に課題を生じる。そこで、IC-VANET のメリットを活かすために VANET 上に擬似的な静的トポロジを形成し、静的トポロジである道路情報に基づいたパケット転送を行う機構を提案する。

キーワード: ITS, VANET, ICN, IC-VANET, 情報指向型自動車アドホックネットワーク

1. はじめに

近年、高度道路交通システム (ITS: Intelligent Transport Systems) に向けた様々な技術が研究されている。ITS とは、車両や路側機が通信することで、自動車社会の安全性、快適性の向上を目的としたシステムであり、利用者に安全性を提供する安全運転支援アプリケーション、動画や音楽を配信する Infotainment アプリケーション、交通情報を提供する交通情報提供アプリケーションが研究されている [1]。そのための通信規格として、アメリカ、ヨーロッパでは 5.9GHz 帯を使う IEEE802.11p が標準化され、WAVE[2]、ETSI TC ITS[3] といった名称で詳細が検討されている。

ITS を実現する手段の中で、車車間通信が研究されてい

る。特に、インフラを介さず車両同士がマルチホップ通信によって接続することで構成されるネットワークは自動車アドホックネットワーク (VANET: Vehicular Ad-hoc Network) と呼ばれ、VANET を用いて交通情報を取得する研究が行われている。既存の交通情報システムとしては、インフラを用いる VICS[4]、スマートフォンを用いる Google Map[5] などがあるが、これらと比較して、VANET を用いた交通情報システムは管理コストを抑え、短時間での情報収集を可能にすると期待されている。

一方、情報指向型ネットワーク (ICN: Information-centric Networking) の研究が行われている。ICN はルータが通過したコンテンツをキャッシュすることによる、In-Network キャッシュを持つ。ICN は、通信先ノードの IP アドレスではなく、コンテンツ名を用いたパケット転送を行う、要求/応答型通信のネットワークである。ユーザは、Interest パケットを用いてコンテンツを要求し、Data パケットによってコンテンツを得る。ICN において、ルータは Interest の経路を経路情報としてテーブルに記録し、Data を Interest の経路と逆順に転送することでユーザへ返信する。

ICN を基盤として VANET を構築した、情報指向型自動車アドホックネットワーク (IC-VANET: Information-centric VANET) が検討されている。本稿では、IC-VANET を構築するために VANET と ICN、および IC-VANET の

¹ 慶應義塾大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Keio University
² 慶應義塾大学大学院理工学部
Department of Science and Technology, Keio University
³ 千葉工業大学情報科学部
Faculty of Information and Computer Science, Chiba Institute of Technology
a) sato@mos.ics.keio.ac.jp
b) shinohara@mos.ics.keio.ac.jp
c) sakoguchi@mos.ics.keio.ac.jp
d) yashiro@net.it-chiba.ac.jp
e) shigeno@mos.ics.keio.ac.jp

既存研究を概観し、IC-VANET に期待されるメリットと課題について考察する。特に ICN の In-Network キャッシュは、IC-VANET において大きなメリットをもたらすと考えられるが、既存研究では In-Network キャッシュを十分に活用できていない。さらに、VANET の動的なトポロジは、固定インフラ上の静的トポロジでの動作を前提とした ICN を基盤とすることで、Data を転送する上で課題を生じるが、IC-VANET の既存研究においてその点について十分な考察がされていない。

そこで本稿では、IC-VANET の In-Network キャッシュを活用し、Data の到達性を向上させるために仮想ノードの概念を導入した IC-VANET 機構を提案する。キャッシュや経路情報、隣接道路の交通情報といった情報を交差点内の複数車両によって保持し、ルータおよび情報提供者としての役割を担うノードを仮想的に維持する。仮想ノードをルータ、隣接道路をリンクと見なすことができる道路情報に基づいた静的なトポロジを VANET 上に形成することで、ネットワークの効率化と安定化を図る。

以降、2 章では VANET におけるパケットの中継制御手法と交通情報の取得手法における既存研究を紹介する。続いて 3 章で ICN の基本動作と、無線環境やモバイルノードによって形成されたネットワークにおける ICN の既存研究について述べる。そして 4 章で IC-VANET の既存研究およびメリットと課題について考察し、5 章で仮想ノードを用いた IC-VANET 機構を提案し、最後に今後の検討項目について整理する。

2. 自動車アドホックネットワーク (VANET)

VANET (Vehicular Ad-hoc Network) とは、インフラを介さず車両同士がマルチホップ通信によって接続することで構成されるネットワークである。VANET は、一般的なモバイル端末のアドホックネットワーク MANET と比較して、消費電力への制約が小さい、GPS やマップデータを利用したパケット転送が可能である、ノードのモビリティは道路の形状による制約を受けるといった特徴を持つ [6]。

2.1 パケット中継の制御

VANET において、パケットを中継する車両を制御し通信量を削減することは課題の 1 つであり多くの研究が行われてきた。パケット中継を制御する手法を Position-Based Forwarding (PBF) と Contention-Based Forwarding (CBF) に分類して紹介する。

Position-Based Forwarding (PBF)

PBF では、各車両はお互いにビーコンによって位置情報を交換し、次の中継車両を指定する。パケットを受信した車両のうち、指定された車両のみが中継を行う。宛先にもっとも近い車両を次の中継車両として指定する GPSR[7]、建

物による電波遮蔽を考慮し交差点上の車両を優先的に選択する GPCR[8]、交差点上車両のほかに道路上の車両密度を考慮した GyTAR[9] などがある。交差点上の車両を利用したパケットルーティングは、建物による電波遮蔽の影響を受けやすい都市部で特に大きな有効性を示すと指摘されている [10]。

Contention-Based Forwarding (CBF)

CBF では、パケットを受信した車両は条件に応じた待ち時間を設定し、同じパケットを受信しなかった場合にブロードキャストを行う。中継待ち時間を小さく定めた車両は優先的にパケットを中継し、大きく定めた車両は中継の優先度は低くなる。ランダムに待ち時間を決める CB-Flooding[11]、前中継車両との距離に応じて待ち時間を決める IVG[12]、交差点付近の車両が優先して中継を行う UGAD[13] などがある。

RO-CBR[14] では、パケット送信車両が道路トポロジと車両密度を考慮して中継する道路セグメントを決定する。指定された道路セグメント上の車両が距離に基づいた CBF を行う。これによってパケットの到達性を向上し、通信に伴うオーバーヘッドを抑制している。

2.2 VANET を用いた交通情報取得

VANET を用いた交通情報取得は、管理コスト面と情報取得の迅速さから注目されており、前節で挙げたプロトコルを用いたものも提案されている。交通情報収集プロトコルは、ブロードキャストによるプロアクティブ型交通情報収集プロトコルとユーザ車両からの要求/応答によるリアクティブ型交通情報収集プロトコルに分類される。

プロアクティブ型交通情報収集プロトコルは、各車両が速度情報などをブロードキャストすることによって隣接車両と交換する。CATE[15] では各車両は走行した道路に関して走行時間や速度といった情報を生成し、他の車両によって生成されたデータと統合した後、再びブロードキャストすることでネットワーク全体に交通情報を散布する。

プロアクティブ型情報収集プロトコルの通信のオーバーヘッドは車両密度に応じて高くなる。

リアクティブ型交通情報収集プロトコルは、ユーザ車両が交通情報を取得したい地点への要求を出すことで情報取得を行う。VAN[16] では、情報要求車両はある目的地点に向けて要求パケットを転送し、経路上の車両から平均速度などの情報を収集する。目的地へ到達すると応答パケットとして交通情報が返信される。この際、経路上の車両は距離に基づいた待ち時間を設定する CBF を行なっている。

リアクティブ型情報収集プロトコルは、プロアクティブ型に比べて取得する情報量を削減し通信に伴うオーバーヘッドを抑制している。

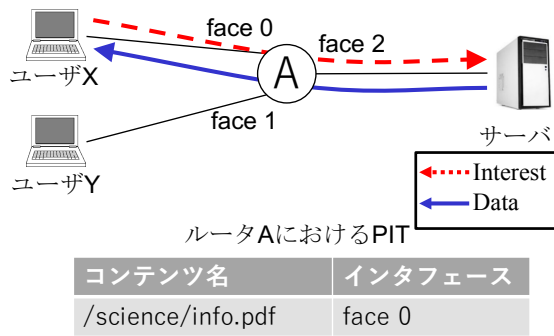


図 1: ICN におけるパケットの流れ.

3. 情報指向型ネットワーク (ICN)

情報指向型ネットワーク (ICN: Information-centric Networking) は、現行のインターネットに代わることを期待される新しいネットワークアーキテクチャである [17].

本章では ICN におけるコンテンツの要求と転送、無線環境における ICN の研究、ICN のモビリティについての研究を紹介する。

3.1 動作概要

ICN は、Interest パケットと Data パケットの 2 種類のパケットによってコンテンツの要求と転送を行う。Interest と Data はそれぞれコンテンツ名を含んでおり、ICN ルータは各コンテンツに一意に与えられたコンテンツ名に基づいてパケットをフォワーディングする。

ICN ルータは、次に示す 3 つの要素から成る。

Forwarding Information Base (FIB)

FIB は Interest をコンテンツサーバへ転送するための経路表であり、コンテンツ名とサーバ方向のインタフェースが記録されている。

Pending Interest Table (PIT)

PIT は Data 転送時にユーザ方向へパケットを転送するために用いられる記録表である。ルータは Interest を転送する際、Interest のコンテンツ名と到達したインタフェースを PIT に記録する。Data が到達すると、ルータは PIT を参照して Interest の転送元インタフェースに対してフォワーディングする。各ルータが PIT を参照しパケットをフォワーディングすることで、Data はユーザまで到達する。

図 1 は、ユーザ X からサーバの持つコンテンツへ Interest が転送されたときの様子を示している。ルータ A は FIB を参照してサーバへ Interest を転送する。このとき、Interest は face 1 から受信したので図中の表のように PIT を記録する。そして返信された Data を受信すると PIT に基づいて face 0 へ Data を転送する。

また、PIT は、複数方向から同コンテンツへの Interest を受信したルータが、リンクの通信量を削減するうえで重要

な役割を果たす。ルータは、複数方向から同コンテンツへの Interest があつた場合に PIT にインタフェースを追加する。Data が返信されると PIT に記録された複数のインタフェースに Data を転送する。これによって複数の Interest を受信した場合でもリンクを往復する Data 数を 1 つにする。例えば、図 1 において、ユーザ X から Interest を受信した直後にユーザ Y からも同じコンテンツへの Interest があつたとき、PIT のインタフェースに face 1 を追加する。そして Data がルータ A に到達すると、face 0 と face 1 へ Data を転送する。

Content Store (CS)

ICN ルータは転送したコンテンツをキャッシュとして CS に保存することができる。キャッシュしたコンテンツに対する Interest を受信した時、ルータはサーバの代わりに CS からコンテンツを返信し、Interest の転送を中止する。例えば、図 1 において、Data がルータ A を通過してユーザ X に返信されたとき、ルータ A はこの Data を CS にキャッシュする。そして、同じコンテンツに対してユーザ Y から要求があつた場合、ユーザ Y の Interest に対して CS から Data を返信する。

キャッシュの取得は、ユーザのコンテンツ取得時間短縮、サーバの負荷軽減、リンクの通信量抑制、FIB や PIT の参照を必要としないことによるルータの負荷の軽減といった効果がある。

3.2 無線環境における ICN

基本的に、ICN は有線で接続されたルータで構成される静的なトポロジを前提としたネットワークであるが、IP アドレスを使用していない点で IoT に適していると考えられ、無線環境における研究が行われている [18]。また、Amadeo ら [18] は、有線環境においては Interest を受信したノードはコンテンツ名とインタフェースを PIT に記録するが、無線環境においてはインタフェースの代わりに MAC アドレスによってノードを識別するため、Interest を受信すると、コンテンツ名と MAC アドレスを PIT に記録する。

無線環境における ICN の課題として、文献 [19] では、ノードが FIB にないコンテンツへの Interest をブロードキャストしたときに、同一コンテンツへの Interest が周辺ノードの PIT に冗長に記録される点を挙げている。

3.3 ICN におけるモビリティ

ICN における、情報要求者と情報提供者の移動への対処について述べる。

情報要求者の移動に関しては、ICN は特別な機構を必要とせずにパケットを取得できる [20]。情報要求者が、あるコンテンツに対して Interest を出し、Data が返信される前に移動してしまった場合を考える。情報要求者が移動することで接続していたルータが変わる。Data は PIT の

情報に基づいて Interest の経路を逆順にたどるため、情報要求者に Data は届かない。しかし ICN ルータは転送した Data をキャッシュするため、情報要求者がタイムアウトによって Interest を再送したとき、サーバへ転送される途中でルータのキャッシュから Data を取得することができる。

一方で、情報提供者が Interest 到達前に移動した場合、Data は返信されない。情報要求者は Interest を再送するが、ルータの FIB が更新されない限り、情報提供者は Interest を受信することができず Data を返信できない。Data が返信されなかった場合の別経路探索 [21] が提案されている。

4. 情報指向型自動車アドホックネットワーク (IC-VANET)

交通情報は座標との結びつきが強く、目標地点の周辺にいる車両であればいずれから交通情報を取得しても構わない。一方、ICN は通信先ノードを特定せずにコンテンツを取得するネットワークである。したがって、VANET における交通情報の取得と ICN におけるコンテンツ取得は、通信先ノードを特定する必要がないという点で非常に近い目標を持っている。

さらに、VANET を用いた交通情報取得は、ICN を基盤とすることでさらなる効率化が期待できる。本章では、ICN を基盤とした自動車アドホックネットワーク (IC-VANET) について期待されるメリットと既存研究について考察し、提案機構へアプローチする。

4.1 IC-VANET に期待されるメリット

ICN の特徴である In-Network キャッシュと PIT は、IC-VANET にメリットをもたらす。本節では、IC-VANET に期待されるメリットについて考察する。

IC-VANET のメリットは以下の 3 点である。

- In-Network キャッシュによる、地理的に近い情報要求に対する通信量の削減および迅速な情報取得。
- PIT による、時間的に近い情報に対する通信量の削減。
- In-Network キャッシュによる、情報要求車両の移動への対処。

地理的に近い情報要求に対するメリット

交通情報の要求数は、地理的に近いほど増加することが考えられる。例えば、ある道路を走行する車両は、その先の交通情報について要求する可能性が高い。IC-VANET の In-Network キャッシュは、このような情報要求数が多い、すなわち地理的に近い情報要求に対して、より大きなメリットがある。

通常の VANET においてリアクティブ型の情報収集プロトコルでは、情報を取得するために常に要求パケットを目標地点まで転送する必要があり目標地点の車両は要求それ

ぞれについて応答パケットを返信する。そのため、必ず情報要求数と同じ数の応答パケットが転送される。また、情報を取得するのにかかる時間は、情報要求車両と目標地点間のパケット往復時間である。

一方、IC-VANET では、CS に保持している情報への Interest を受信すると Data を返信する。そのため、Data を返信した車両から目標地点間での通信量が削減され、また、パケットが 2 地点間を往復する時間を要することなく情報を取得できる。

時間的に近い情報要求に対するメリット

IC-VANET では、短時間のうちに同じ交通情報に対する Interest を受信したときに、要求情報を PIT にまとめることで通信量を削減できる。例えば、ある車両が、目標地点へ向けて Interest を転送した直後に、別車両から同じ交通情報への Interest を受信したとする。このとき、この車両は Data を受信していないため CS に保存していないが、PIT が要求情報をまとめて、Interest のフォワーディングをしない。そのため、複数回の要求があつたにもかかわらず、PIT を記録した車両から目標地点間を通過する Data 数を 1 つに削減することができる。

情報要求車両の移動への対処

3.3 で示したように、ICN では、情報要求者が移動して Data を受信できなかった場合にも Interest を再送することで In-Network キャッシュから Data を取得することで情報要求者の移動に対処している。consumer の移動に対処できる点は IC-VANET でも同様に有効であるうえに、IC-VANET のような動的トポロジにおいてさらに効果的だと考えられる。

4.2 既存研究

IC-VANET の既存研究における、Interest 転送手法と Data 転送手法について述べる。

4.2.1 Interest 転送

通常の ICN において、ルータは FIB を参照することで Interest の転送方向を決定する。保持しているコンテンツの情報をすれ違った車両と交換する手法 [22] や、マップをグリッド上に区分し、通過したコンテンツとグリッドを結びつけた FIB を生成する手法 [23] などがある。

一方、コンテンツ名に地理情報を用いることで FIB の参照を必ずしも必要としない手法も提案されている [24], [25]。例えば StreetA の平均速度情報には /Street A/average speed のようなコンテンツ名が与えられる。このようにコンテンツ名に地理情報が含まれていれば、Interest を Street A へ転送すれば情報を取得できると判断できるため、車両は FIB の参照を必ずしも必要とせずに GPS とマップデータから転送方向を決定できる。

また、パケットの中継制御として、[23], citeICV-boosting は交差点上の車両に優先的にパケットを中継させるが、前

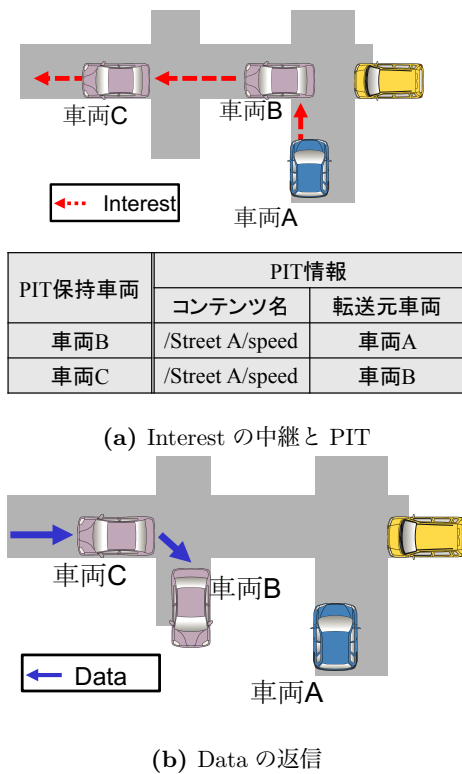


図 2: 車両 ID を PIT に記録した場合.

者は CBF, 後者は PBF を用いる.

4.2.2 Data 転送

文献 [23], [26], [27] は通常の ICN の動作と同様, PIT を参照し, Interest の経路を逆順に辿ることで Data を返信する. しかし, 車両 ID を PIT に記録する手法は, Interest 中継車両が Data 返信時に移動した場合, 情報要求車両へ Data を返信できない可能性がある.

図 2 に, PIT に車両 ID を記録した場合の動作について示した. 車両 A から車両 B, C の順に Interest が転送され, 図 2.(a) 中の表のように PIT が生成される. 次に Data が返信されるときに車両 B が図 2.(b) のように移動したとする. 各車両は PIT を参照して Data を転送し, 車両 B が Data を受け取る. 車両 B は車両 A に Data を転送しようとするが, 車両 A は Data を受信することができない.

このような課題が生じるのは, 動的トポロジの VANET に対し, ICN は静的なトポロジを前提として設計されているためである.

4.3 提案機構へのアプローチ

以上から, PIT と In-network キャッシュは, IC-VANET が期待されるメリットをもたらすうえで非常に重要である. PIT および CS を活用するためには, それらを保持する車両が対応するコンテンツへの Interest を受信する必要がある. しかし, IC-VANET においてはその動的なトポロジのために, 保持している PIT, CS に対応する Interest を必ずしも受信できず, その結果, IC-VANET は期待され

るメリットを十分に発揮できていない.

そこで本稿では, PIT および CS を保持する車両が対応する Interest を受信できるようにする手法を目指す.

5. 静的トポロジの形成による IC-VANET の提案機構

本稿では, 仮想ノードの考えを導入し, 特定地点に情報を保持することで静的なトポロジを擬似的に形成する手法を提案する. これにより, PIT とキャッシュを持つ車両が必ず Interest を中継するため, IC-VANET のメリットを活かすことが可能になる.

本稿の提案機構について以下の点に分けて説明する.

- 交差点における情報保持および仮想ノードの維持.
- コンテンツ名に含まれる地理情報に基づいた Interest 転送.
- Interest/ Data パケットの拡張によるパケット中継制御.
- 仮想ノードによる情報収集.
- 道路情報に基づいた PIT の記録.

5.1 仮想ノードと静的トポロジ

本提案機構では, 情報提供者およびルータの役割を担うノードを交差点上に維持する. VANET において同じ車両が常に交差点に留まることはないため, 同じ車両の PIT やキャッシュを利用することはできない. そこで, ある交差点において PIT やキャッシュを持つ車両が, その交差点を離脱する際に周辺にいる別車両に情報を渡すことで, 交差点上に情報を保持する. これによって, PIT やキャッシュを提供するノードが交差点上に仮想的に維持される.

このように複数の車両間で情報を特定地点に留め, PIT やキャッシュを提供するノードを仮想ノードと呼ぶものとする. 交差点上の仮想ノードをルータ, 仮想ノード間を繋ぐ道路はリンクとみなすことができる. 以上から, 複数車両によって情報を保持することで, 擬似的な静的トポロジを VANET 上に形成することができる.

5.2 交差点における情報保持および仮想ノードの維持

交差点に PIT およびキャッシュを保持するために, Nomadic Agent[28] の考え方をを用いる. Nomadic Agent は, MANET 環境において特定地点内にサービスを提供するエージェントが, 周辺にいるノード間を移動し, 物理的にその地点にとどまるための手法である.

IC-VANET において当手法を適用するにあたり, Interest/ Data による要求応答型通信を用いた情報保持を行う. 交差点内に侵入した車両は, 定期的に Interest をブロードキャストし情報保持車両の PIT やキャッシュを要求する. 情報保持車両は, 交差点を離脱する際に, 受信した Interest に対して保持していた情報を Data として送り返す.

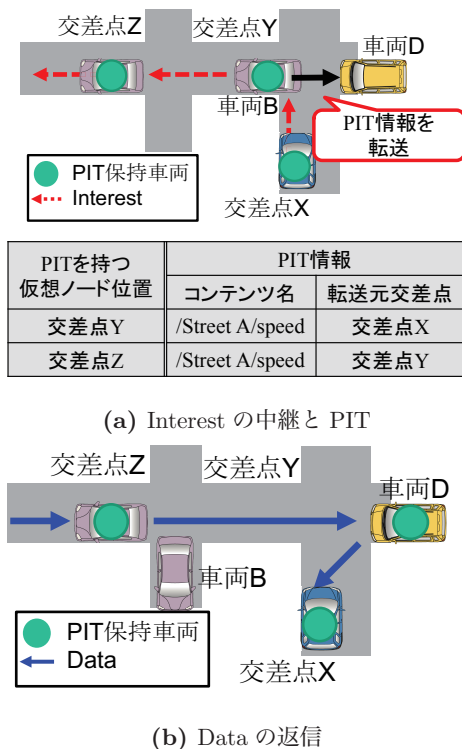


図 3: 道路情報に基づいて PIT を記録した場合.

5.3 コンテンツ名に含まれる地理情報に基づいた Interest 転送

コンテンツ名には地理情報が含まれており、仮想ノードは GPS とマップデータの参照によって次の中継先交差点を決定し、FIB の参照を必要としない。

5.4 Interest/ Data パケットの拡張によるパケット中継制御

仮想ノード間のパケット中継は、冗長な通信を防ぐために中継制御が必要である。本提案機構では、仮想ノードによって定められた次の中継先交差点情報と、前中継元車両の位置情報に基づいて CBF による中継制御を行う。そのために Interest および Data パケットに中継先交差点情報と前中継元車両の位置情報を格納するフィールドを拡張する。

5.5 仮想ノードによる情報収集

仮想ノードは、交通情報をより座標と結びつけるために隣接道路の交通情報を収集することで、情報提供車としての役割も担う。仮想ノードは周期的に Interest をブロードキャストして、交差点を通過した車両から隣接道路の交通情報を収集する。

5.6 道路情報に基づいた PIT の記録

本提案機構における PIT は、車両 ID ではなく、道路情報に基づいた PIT の記録を行う。仮想ノードが PIT を保

持し、パケットフォワーディングを行うが、車両 ID を記録する従来の PIT では、やはり中継車両が移動してしまうために、4.2.2 に示した問題は解決されない。静的トポロジである道路情報を利用し、Interest を受信した仮想ノードは、Interest の前中継元交差点を PIT に記録する。

図 3 に道路情報を用いた PIT 記録を行なった場合の動作を示す。Interest が、交差点 X にある仮想ノードから、交差点 Y の仮想ノードを経由し交差点 Z へと転送された場合を想定する。このとき、交差点 Y および交差点 Z 上の仮想ノードは図 3.(a) 中の表のように PIT を記録する。そして、Data が返信される前に交差点 Y で仮想ノードの役割を担っていた車両 B が交差点を離脱したとする。このとき、車両 B の保持していた PIT が車両 D に転送され、車両 D が交差点 Y における次の仮想ノードとなる。そして図 3.(b) に示すように、交差点 Z 上の仮想ノードは Data を受信すると PIT を参照し、交差点 Y に向けて Data を転送する。交差点 Y 上における仮想ノードである車両 D は Data を受信すると、PIT を参照し、交差点 X に向けて Data を転送する。このようにして、VANET の動的トポロジ上でも Data を安定して情報要求車両へ転送することができる。

6. おわりに

本稿では、IC-VANET に期待されるメリットをもたらす障害となっている課題を解決するために、複数の車両によって情報を交差点に留め、静的なトポロジを形成する手法を提案した。また、静的トポロジである道路情報を利用した交差点ベースのパケット転送について提案した。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 16H02811 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] D'Orey, P. M. and Ferreira, M.: ITS for sustainable mobility: A survey on applications and impact assessment tools, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 15, No. 2, pp. 477-493 (2014).
- [2] ITS-AMERICA: <http://itsamerica.org/>, Retr. Feb. 2017.
- [3] ETSI-IntelligentTransportSystem: <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/intelligent-transport>, Retr. Feb. 2017.
- [4] VICS—一般財団法人道路交通情報システムセンター: <http://www.vics.or.jp/>, Rete. Feb. 2017.
- [5] bright side of sitting in traffic: Crowdsourcing road congestion data, O. G. B. T.: <https://googleblog.blogspot.jp/2009/08/bright-side-of-sitting-in-traffic.html>, Retr. Feb. 2017 (2009).
- [6] 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).
- [7] Karp, B. and Kung, H. T.: GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks*, *MobiCom '00 Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, No. Boston, Massachusetts, USA, pp. 243 - 254 (2000).

- [8] Lochert, C., Mauve, M., Füllner, H. and Hartenstein, H.: Geographic routing in city scenarios, *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, Vol. 9, No. 1, p. 69 (2005).
- [9] Jerbi, M., Senouci, S. M., Rasheed, T. and Ghamri-Doudane, Y.: Towards efficient geographic routing in urban vehicular networks, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 58, No. 9, pp. 5048–5059 (2009).
- [10] Frank, R., Giordano, E., Cataldi, P. and Gerla, M.: TrafRoute: A different approach to routing in vehicular networks, *2010 IEEE 6th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, WiMob'2010*, No. 2, pp. 521–528 (2010).
- [11] Williams, B. and Camp, T.: 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).
- [12] 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).
- [13] 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).
- [14] Akamatsu, R., Obara, K. and Shigeno, H.: 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).
- [15] Leontiadis, I., Marfia, G., Mack, D., Mascolo, C., Pau, G. and Gerla, M.: On the Effectiveness of An Opportunistic Traffic Management System for Vehicular Networks, *Performance Evaluation*, Vol. 12, No. 4, pp. 1537–1548 (online), DOI: 10.1109/TITS.2011.2161469 (2011).
- [16] Chen, W., Zhu, S. and Li, D.: VAN: Vehicle-assisted shortest-time path navigation, *2010 IEEE 7th International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems, MASS 2010*, No. 2008, pp. 442–451 (2010).
- [17] Jacobson, V., Smetters, D. K., Briggs, N. H., Thornton, J. D., Plass, M. F. and Braynard, R. L.: Networking Named Content, *Proceedings of the 5th International Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies CoNEXT '09*, pp. 1–12 (2009).
- [18] Amadeo, M., Campolo, C., Molinaro, A. and Mitton, N.: Named Data Networking: A natural design for data collection in Wireless Sensor Networks, *2013 IFIP Wireless Days (WD)*, pp. 1–6 (2013).
- [19] 國安哲郎, 重安哲也: 適応的なリクエストコンテンツ転送制御を導入した WSN 向けコンテンツ指向型データ収集手法の提案, 情報処理学会研究報告 IPSJ SIG Technical Report, Vol. 169, No. 6, pp. 1–7 (2017).
- [20] Zhang, Y., Zhang, H. and Zhang, L.: Kite: A Mobility Support Scheme for NDN, *1st International Conference on Information-Centric Networking - (ICN)*, No. 1, pp. 179–180 (2014).
- [21] Carofiglio, G., Muscariello, L., Papalini, M., Rozhnova, N. and Zeng, X.: Leveraging ICN In-network Control for Loss Detection and Recovery in Wireless Mobile networks, *3rd ACM Conference on Information-Centric Networking (ICN 2016)*, pp. 50 – 59 (2016).
- [22] Yu, Y. T., Li, Y., Ma, X., Shang, W., Sanadidi, M. Y. and Gerla, M.: Scalable opportunistic VANET content routing with encounter information, *Proceedings - International Conference on Network Protocols, ICNP* (2013).
- [23] Grassi, G., Pesavento, D., Pau, G., Zhang, L. and Fdida, S.: Navigo: Interest forwarding by geolocations in vehicular Named Data Networking, *Proceedings of the WoW-MoM 2015: A World of Wireless Mobile and Multimedia Networks* (2015).
- [24] 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*, Vol. 2015-May, IEEE, pp. 1–6 (2015).
- [25] Wang, L., Wakikawa, R., Kuntz, R., Vuyyuru, R. and Zhang, L.: Data naming in vehicle-to-vehicle communications, *Proceedings - IEEE INFOCOM*, pp. 328–333 (2012).
- [26] Grassi, G., Pesavento, D., Pau, G., Vuyyuru, R., Wakikawa, R. and Zhang, L.: VANET via named data networking, *IEEE INFOCOM Workshop on Name-Oriented Mobility*, No. 1, pp. 410–415 (2014).
- [27] Wang, L., Afanasyev, A., Kuntz, R., Vuyyuru, R., Wakikawa, R. and Zhang, L.: Rapid traffic information dissemination using named data, *Proceedings of the 1st ACM workshop on Emerging Name-Oriented Mobile Networking Design - Architecture, Algorithms, and Applications - NoM '12*, New York, New York, USA, ACM Press, p. 7 (2012).
- [28] 屋代智之, Porta, T. F. L.: Nomadic Agent System: インフラに依存しない位置情報サービス提供システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 12, pp. 2952–2962 (2005).