

情報指向型自動車アドホックネットワークに向けた 特定地点における情報維持手法

峪口 雄太¹ 佐藤 和也¹ 重野 寛¹

概要: Vehicular Ad-hoc Network(VANET) は車両間の無線通信によって構築されるネットワークである。VANET では車両のモビリティがあるため宛先車両を指定しての通信は困難とされている。また交通情報は位置情報に依存し、車両を直接限定しない。一方でコンテンツ名を使用して情報取得を行う Information Centric Networking(ICN) がある。ICN においてユーザは情報取得の際に宛先を指定する必要はない。このことからユーザが宛先を指定しない ICN の特徴は VANET と相性が良いと考えられ VANET の通信に ICN を適用させたものを情報指向型車間ネットワーク (IC-VANET) とし、その研究が現在始められている。本論文では VANET と ICN の特徴を説明した上で IC-VANET のメリットに関して考察する。そして IC-VANET のメリットを活用するために、交差点上に情報の維持を行う手法を提案する。交差点内の情報保持車両が交差点を離れる前に交差点内の別の車両に情報を転送する。これを繰り返すことで情報の維持を行う。シミュレーションを用いて、情報の維持の時間について評価を行った。

An Information Maintenance Scheme in Vehicular Ad-hoc Networks Based on Information Centric Networking

YUTA SAKOGUCHI¹ KAZUYA SATO¹ HIROSHI SHIGENO¹

1. はじめに

近年高度交通システム (ITS) の研究が進められている。これは自動車とインフラストラクチャ、または自動車同士で通信を行い、その中で様々なアプリケーションを実現し、自動車社会をより便利で安全にしていくシステムである。ITS を実現する手段の一つにインフラストラクチャを介さずに車両同士がマルチホップ通信を行うことで構成されるネットワークがあり、これは Vehicular Ad-hoc Network (VANET)[1] と呼ばれる。VANET を用いた交通システムは管理コストを抑え、短時間での情報収集が可能になると期待されている一方で、車両の移動により、ネットワークトポロジが頻繁に変化するため、宛先を直接指定した通信、またスタティックな通信経路での通信は困難である特徴がある。

一方近年 IP アドレスに基づいたパケット転送に代わる新たなネットワークアーキテクチャが考えられている。コンテンツ名を使用して情報取得を行う Information Centric Networking (ICN) が現在研究されている。ICN は要求/応答型の通信であり、ユーザの要求パケットである Interest に対して実際のコンテンツを含んだ Data が返される。ICN においてユーザは取得したいコンテンツ名を含む Interest

を送信するのみで、コンテンツを所有しているサーバなどのアドレスの指定は行わない。ICN ルータは Pending Interest Table (PIT) を所有しており、ルータが Interest を受信した際に、Interest の受信方向を記録する。そしてルータが Data を受信した際に、PIT の情報を基に Data を Interest が通過した経路を逆にたどってユーザの下へ転送する。また ICN の特徴のひとつに Content Store (CS) がある。これは ICN ルータ自身にコンテンツを保存する機能であり、キャッシュを利用することで ICN の効率化が図れる。

以上のような ICN のユーザがアドレスを指定しない仕組みやキャッシュといった特性は、車両の移動により宛先の指定が困難な VANET との親和性が高いと考えられ、現在 ICN の機構を VANET に取り入れる情報指向型自動車アドホックネットワーク (IC-VANET: Information Centric VANET) [2] が研究されている。IC-VANET を用いるメリットとして ICN のキャッシュ機能を用いることで交通情報の分散処理が可能となる点が考えられるが、既存研究ではキャッシュを活用した手段が十分に考察されていない。また ICN は固定端末間の静的トポロジでの動作を前提に構築されたものであり、VANET の動的トポロジ上で適用する上での課題が存在する。

本論文では VANET へ ICN を適用させるにあたり、ICN

¹ 慶應義塾大学大学院理工学研究科

のキャッシュを活用することを考え、キャッシュを道路上で保持する仮想ノードの概念を用いた情報維持手法を提案する。仮想ノードとは、本論文で提案する手法であり、複数の車両を用いて道路上の特定地点に情報を保持するための機構である。交差点内のある車両を情報提供者とし、その車両が交差点から離れる際に交差点内に新たに進入する車両に情報を転送し、その情報を受信した車両が新たな情報提供者となる、これを繰り返すことで情報の維持を行う。これを ICN の機構を用いた要求/応答型の通信で行う。仮想ノードを ICN におけるルータとすることにより道路上に静的なトポロジを形成され効率的な情報取得が可能となる。本手法をシミュレーションを行い交差点内に情報を保持できる時間について評価を行った。

以下、2章で ICN と VANET の説明、そして IC-VANET に関して述べる。3章では本論文の提案手法を説明し、4章でシミュレーションとその評価を、5章で結論を述べる。

2. 関連研究

本章では VANET と ICN について関連研究を挙げ説明した上で、IC-VANET のメリットについて説明する。

2.1 Vehicular Ad-hoc Network (VANET)

VANET 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 の主な特徴を以下に示す [1]。

モビリティ

VANET を構成する端末は車両のみであり、全てが移動端末である。これによりネットワークトポロジへの参加と離脱が頻繁に発生する。よって通信経路を確保するためには車両の移動を考慮する必要がある。また車両は基本的に道路上のみを移動する。よって無作為な移動ではない分移動パターンのある程度の予測は可能である。

マルチホップネットワーク

車両 1 台の通信範囲には限界が存在する。よって通信範囲外の端末同士で通信を行うためには中継を行う必要がある。そのためすべての車両は中継機としての役割を持つ必要がある。

建物の存在

都市環境においては建物が多く存在し、距離的には通信範囲内にあっても建物に電波が遮蔽されて通信が行えない可能性もある。

以上の特徴から 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や、モビリティがある環境でパケット到達率を向上させることは課題のひとつであり様々な研究が行われている。GPSR[3] では宛先車両に最も近い車両が中継を行うことで宛先までのホップ数を削減する手法である。また GPCR[4] は交差点を考慮したパ

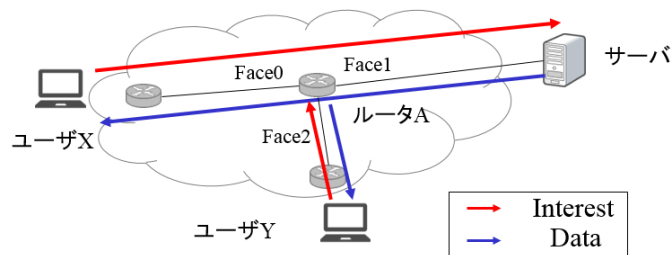


図 1 ICN の流れ

ケット中継と経路修復を行うことで不要なパケット中継を抑える手法である。

2.2 Information Centric Networking (ICN)

現在、IP アドレスを用いたネットワークアーキテクチャに代わる、コンテンツ名を用いて通信を行う Information Centric Networking (ICN) が研究されている。ICN では IP のような「どこ」通信をするかというロケーション指向なアーキテクチャではなく、「どの」コンテンツを取得するのかに重きを置いている。ICN ではコンテンツの要求パケットである Interest と、それに対する応答であり実際のコンテンツを含む Data パケットが用いられる。コンテンツ指向型のネットワークは様々なプロジェクトが進められており、同様のものに Named Data Networking (NDN)[5], Content-Centric Networking (CCN)[6] などがある。

ICN の一つである NDN では、各ルータには以下の 3 つの機能が備わっている。

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 における Interest と Data の流れを示した図である。まず最初にユーザ X がコンテンツ要求である Interest を送信したとする。Interest が到着したルータ A は FIB の情報を元にコンテンツのある Face1 へパケットを転送する。このとき PIT には Interest が到着した方向である Face0 が記録される。サーバから Data がルータ A に到着した際ルータは PIT の情報を元に Face0 へ転送が行われる。この際ルータ A の CS により Data の複製が保存される。このため Data 転送後に同じコンテンツ名の Interest がユーザ Y によって Face2 から到着した場合、ルータ A が Data を Face2 に転送する。

2.3 情報指向型自動車アドホックネットワーク (IC-VANET)

VANET における交通情報は地理座標との関連が強く、その地点の周辺にいるどの車両から交通情報を取得する車両は問わない。一方で ICN は IP アドレスの代わりにコンテンツ名を使用して通信を行うため宛先ノードを直接指定する必要はない。したがって、VANET での交通情報取得と ICN によるコンテンツ取得は親和性が高く、VANET の通信に ICN を基盤としたアーキテクチャを導入することでさらなる効率化が期待される。

現在 ICN の機構を VANET に取り入れる研究は様々ある。CODIE[7] 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[8] 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。

佐藤ら [2] は ICN のキャッシュを VANET 上で活用する IC-VANET を提案している。VANET 上にキャッシュを用いるメリットは地理的に近い情報の迅速な取得と、車両の移動への対処の 2 つある。

地理的に近い情報の迅速な取得

情報要求が同じ地点から複数あった場合従来は要求パケットと応答パケットが要求の数だけ同一経路を通過するのに対し、IC-VANET では一度 Interest と Data の通信が行われるとその通信系路上の車両は全て CS に Data が保存されている。そのため地理的に近い場所からの新たな要求があった際に宛先車両から情報取得を行うよりも短い経路で情報取得が可能となり、通信料削減や遅延の軽減にもなる。

車両の移動への対処

要求車両の移動により、Data を受信できなかった場合でも Data が通過した経路上の車両にはキャッシュとして一時的にその Data が保存されている。よって要求車両が Interest を再送した際にキャッシュから Data を受信できる可能性がある。

キャッシュを活用することは IC-VANET のメリットを活用する上で重要である。キャッシュ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の Interest を受信する必要があるが、VANET 環境では車両のモビリティによりキャッシュに対応する Interest を必ずしも受信できるわけではなく、IC-VANET を用いる上でのメリットが活用できていない。よって本論文ではキャッシュを持つ車両が対応する Interest を受信できるよう、特定地点への情報維持手法を提案する。

3. 提案

IC-VANET では情報提供者およびルータの役割を担うノードを複数の車両を用いて各交差点や重要施設の近くに仮想的に維持する。そして情報が維持されたノードを ICN におけるルータとすることで擬似的な静的トポロジを形成する。本論文では情報を特定地点に維持する方法として、仮想ノードの概念を用いて複数の車両を用いることで、交差点に仮想ノードを維持する手法を提案する。

3.1 提案の概要

本手法ではルータおよび情報提供者の役割を果たすノードを仮想的に維持する。維持する手法として Nomadic Agent (NA) [9] の考え方をを用いる。NA とは特定の場所の情報を決められた範囲内に残し続けることが可能な Mobile Agent である。情報を提供する範囲が与えられると、NA は範囲内にいる間に周辺端末と位置情報の交換を行い、範囲を出る際に周囲の適切な端末に情報を転送し、情報の維持を行う。

本手法でも同様に情報を提供する範囲をあらかじめ定義する。今回情報提供範囲は交差点を中心とする一定の範囲とした。よって交差点に情報を保持することとなる。VANET では車両のモビリティが存在するため、1 台の車両が同じ場所に情報をとどめることは不可能である。よって交差点内で情報を持つ車両が交差点を離脱する際に、交差点内に存在する別の車両に情報を転送する。これを繰り返すことで情報の保持を行う。これによって交差点内に固定端末のようなノードを仮想的に維持する。

3.2 仮想ノードの維持

本手法を説明するに当たって、仮想ノードとして情報提供者やキャッシュの役割を担う車両を仮想ノードと呼び、それ以外の車両を通常の車両と呼ぶ。

IC-VANET 上で情報の維持を行うにあたっては、情報維持のために用いる特別な Interest/Data を用いる。この Data にはキャッシュも含まれている。またこの Interest と Data は中継が行われず、すなわち 1 ホップ通信しか行わず、仮想ノードの維持のためのみに使用される。

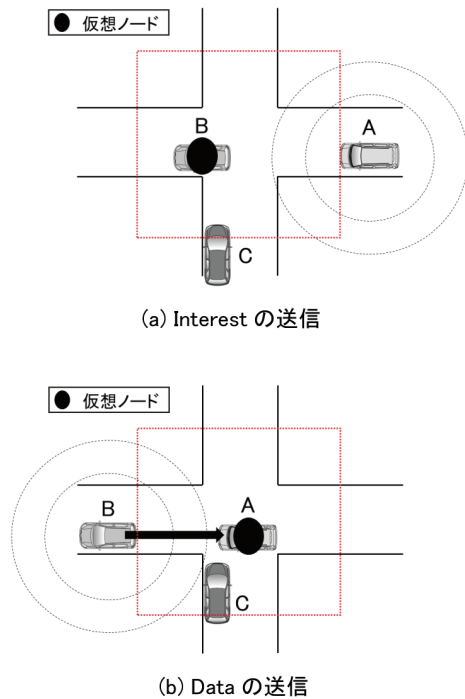


図 2 仮想ノード維持の様子

仮想ノードの維持には通常の車両が要求を行い、仮想ノードがそれに応答すると同時に仮想ノードの移動を行うという2つの段階により行われる。図2は仮想ノードを維持する流れを示す図である。この図は交差点を示しており赤の点線で囲われている内部は情報提供範囲である。(a)では通常の車両が仮想ノードに情報を要求しており、(b)は(a)の図の時点から時間が経過したところであり仮想ノードの移動を行っている図である。また今回情報提供範囲は通常の車両、仮想ノード共に把握できているものとする。以下に詳細を説明する。

(a) Interest の送信

情報提供範囲に通常の車両が進入すると通常の車両は周期的に Interest をブロードキャストする。この Interest は仮想ノードのみが受信処理を行い、各 Interest には自身の車両 ID が含まれている。図では通常の車両である車両 A や車両 C が情報提供範囲の中に存在しており Interest を送信している。

(b) Data の送信

仮想ノードは情報提供範囲を抜けた際に1番始めに受信した Interest に対して Data を返信する。Data には保持されている情報に加え受信した Interest の送信元車両の ID が含まれている。Data を受信した通常の車両は自分の ID と受信した Data に含まれている ID を比較し、同じであった場合は新たに仮想ノードとなり、違う場合はその Data は破棄される。図では仮想ノードであった車両 B は情報提供範囲を抜けた際、始めに車両 A からの Interest を受信し

たとする。車両 B は車両 A の ID を含む Data をブロードキャストする。Data を受信した車両 A と C は自身の ID と Data に含まれる ID を比較し、今回車両 A が ID が一致しているため車両 A が新たに仮想ノードとなる。ここで元々仮想ノードであった車両 B は Data を送信した時点で仮想ノードではなくなる。

4. シミュレーション評価

本章では提案手法をシミュレーションを用いて評価を行い、その結果と考察を述べる。

4.1 シミュレーション環境

今回以下の図3のような格子状の道路地図を用いて、中央の交差点に情報を保持可能な時間について評価を行った。

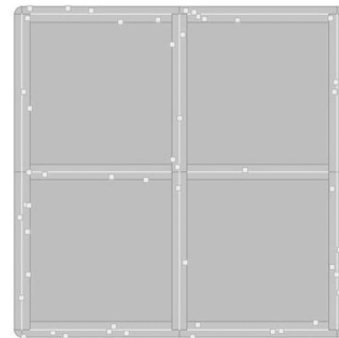


図 3 シミュレーション道路地図

通信シミュレータとして scenargie2.0 を用いた。シミュレーションで用いたパラメータを以下の表1に示す。

表 1 シミュレーション条件

シミュレーター	Scenargie2.0[10]
シミュレーション時間	1000 秒
シミュレーション領域	800m × 800m
車線数	片側 1 車線
モビリティモデル	Random WayPoint
車両台数	100 台~200 台
車載器搭載割合	30%~100%
パケット送信周期	1s
チャンネル周波数	5.9GHz
通信帯域幅	10MHz
電波伝搬モデル	ITU-R_P.1411
パケットサイズ	256Byte
通信規格	IEEE 802.11p
送信電力	10dBm
車両速度	20km/h

シミュレーション時間は 1000 秒、また情報提供範囲は交

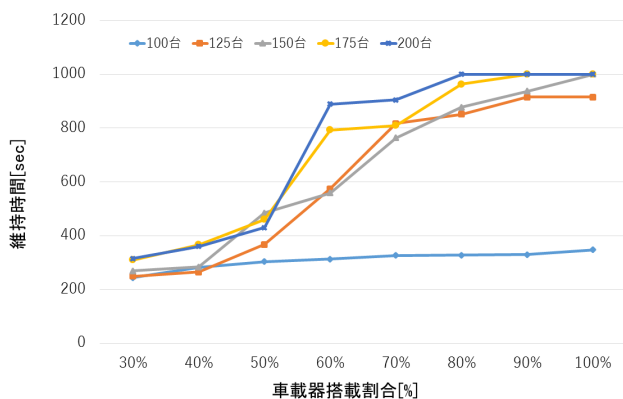


図 4 搭載率と維持時間

差点を中心とした一辺が 40m の正方形とした。また仮想ノードが交差点の中心から 100m 離れた時点で仮想ノードの維持は行えていないと判定し、シミュレーション開始時からその時点までを仮想ノードの維持時間とした。また通常の車両が情報提供範囲内に存在する際の Interest の送信周期は 1 秒とした。シミュレーション環境での車両台数、また本提案手法の搭載割合を変化させて評価を行った。

シミュレーション開始時に仮想ノードを交差点内に発生させる必要がある。そのためシミュレーション開始時に中央の交差点に静止している車両を 1 台設置した。この車両は最初の仮想ノードであり、交差点に進入してくる他の通常車両の最初の Interest に応答して仮想ノードの移動が行われる。渡した後は通信を一切行わずに消滅し、その後のシミュレーションに影響を及ぼさないようにした。

シミュレーションにおける評価項目は仮想ノードの維持時間である。仮想ノードの維持時間は今回 1000 秒が最大となり、長時間であるほど優れているということになる。また 800 秒以上の維持ができており、本シミュレーションでは長時間の維持ができておりとする。

4.2 結果と考察

4.2.1 仮想ノードの維持時間と車両台数に関する評価

図 4 はシミュレーションエリア内の車両台数と車載器搭載割合に応じた維持時間の関係性を評価したものである。車載器搭載割合とはシミュレーションエリア内に存在する車両のうち、本提案手法を使用可能な車両の割合のことである。このグラフの系列はエリア内の車両台数を示す。グラフから車両台数が 100 台のときは車載器搭載割合に関わらず維持時間は 300 秒程度であることが分かる。これはシミュレーション領域に対して車両密度が小さく、その結果交差点に進入する車両が十分でなく、仮想ノードが Interest を受信できなかったからであると考えられる。また車載器搭載割合が 30% の部分を見ればいずれの場合も維持時間が 400 秒に達していない。対して全車両台数が 125 台以上では車載器搭載割合が上昇するにつれ維持時間も増加して

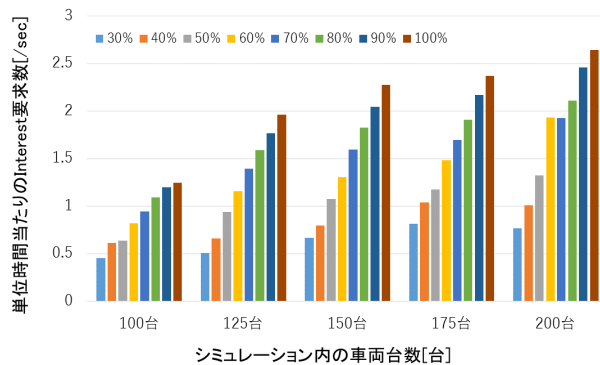


図 5 搭載台数と Interest 要求数

いる。よって今回のシミュレーション領域の場合車両台数 125 台以上で車載器搭載割合が 70% 以上のとき、800 秒以上の長時間の維持が可能であるとわかる。仮想ノードの維持ができなくなるケースとして以下の二つがあげられる。ひとつは十分な交通量がなく、仮想ノードが情報提供範囲から抜ける際にひとつも Interest を受信することなく交差点の中心から 100m の地点まで到達した場合。もうひとつは仮想ノードは Data をブロードキャストするが、Interest を送信した車両が Data を受信できなかった場合である。

4.2.2 交差点内の車両密度に関する評価

図 5 は車両台数と車載器搭載割合を変化させて単位時間あたり Interest がいくつ送信されているか評価したものである。情報提供範囲内の車載器搭載車両は 1 秒に 1 回 Interest を送信するため、単位時間当たりの Interest 要求数は情報提供範囲内の車載器搭載車両の台数となる。このグラフの横軸はシミュレーション領域内の全車両、縦軸が単位時間当たりの Interest 送信数、系列は車載器搭載割合を示す。先程の図 4 で全車両台数が 125 台以上、車載器搭載割合が 70% 以上のとき長時間の維持ができておりがわかっている。よって図 5 の 125 台以上 70% 以上の部分を見ればいずれも単位時間当たりの Interest 要求数が 1.5 以上あることが分かる。

4.2.3 車両密度と維持時間に関する評価

図 6 は単位時間当たりの Interest の送信数と維持時間の関係性を評価したものである。先程の図 5 の単位時間当たりの Interest 送信数を横軸にとり、維持時間を確認した。グラフから横軸 1.5 以上のとき 800 秒以上の維持ができておりがわかる。以上 3 つのグラフから仮想ノードの長時間の維持には、交差点の場合情報提供範囲内に平均 1.5 台以上の車載器搭載車両が存在する環境が必要であると考えられる。

5. おわりに

本論文では、交差点に複数車両を用いて仮想ノードを維持する手法を提案した。提案にあたって情報を決められた

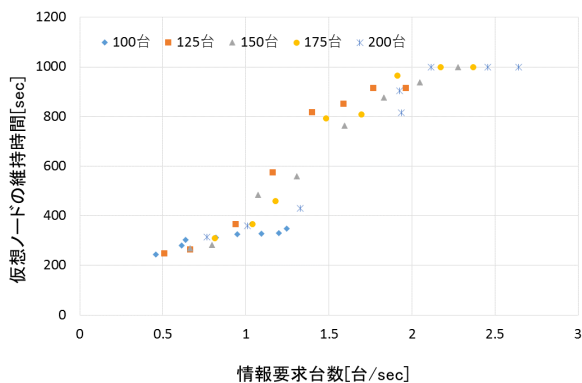


図 6 Interest 要求数と維持時間

範囲に保持する Nomadic Agent (NA) を参考にした。提案手法では情報提供範囲に通常の車両が進入した際 Interest をブロードキャストを行う。仮想ノードは情報提供範囲から抜けた際に始めに受信した Interest に対して Data を返信する。その際 Data には受信した Interest の車両 ID を挿入しておく。Data を受信した通常の車両はその Data に含まれている車両の ID と自身の車両 ID を比較し、同じであればその車両が新たに仮想ノードとなり、同じでなければその Data は破棄される。これを繰り返すことで情報提供範囲内に仮想ノードを維持することが可能となる。

シミュレーションによる評価を道路地図内の車両の台数と、本手法の車載器搭載割合を変化させて行った。結果、交差点の場合情報提供範囲内に平均 1.5 台以上の車載器車両が存在することで 800 秒以上の長時間の維持が可能であることを確認した。

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] 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] 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.
- [3] 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.
- [4] Christian Lochert, Martin Mauve, Holger Füllner, and Hannes Hartenstein. Geographic routing in city scenarios. *ACM SIGMOBILE mobile computing and communications review*, Vol. 9, No. 1, pp. 69–72, 2005.
- [5] Lixia Zhang, Alexander Afanasyev, Jeffrey Burke, Van Jacobson, Patrick Crowley, Christos Papadopoulos, Lan Wang, Beichuan Zhang, et al. Named data networking. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 44, No. 3, pp. 66–73, 2014.
- [6] Van Jacobson, Diana K Smetters, James D Thornton, Michael F Plass, Nicholas H Briggs, and Rebecca L Bray-

nard. Networking named content. In *Proceedings of the 5th international conference on Emerging networking experiments and technologies*, pp. 1–12. ACM, 2009.

- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 屋代智之, Thomas F. LaPorta. 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.
- [10] Scenargie. <https://www.spacetime-eng.com/jp/>, 2017.