

VANET において固定基地局を用いて高到達確率を保証する 経路制御法 RDV の拡張に関する一検討

荒木大志^{†1} 吉廣卓哉^{†2}

概要: 我々の研究グループでは、VANET において主要な交差点に固定基地局を設置し、指定した値以上のパケット到達確率を基地局間で達成する経路制御法 RDV を提案している。RDV は、基地局間の高信頼なパケット交換を可能にするが、SADV 等の遅延を意識した経路制御法と比較して、到達遅延が大幅に長くなるのが課題であった。本研究では、RDV を拡張することで複数経路を利用する。具体的には、宛先に至る途中の固定基地局において複数経路が利用できる場合には、パケット転送経路を分岐し、それぞれの経路に対して指定到達確率を達成できるようにパケットを複製して転送する。提案手法により、宛先までの到達遅延を大幅に改善し、また、交通障害等の一時的なネットワーク障害時でも高信頼なパケット転送を実現する。

キーワード: VANET, 固定基地局, 経路制御, 距離ベクトルルーティング

1. はじめに

現代では、世界中に数多くの車両が走行している。それに伴い、高度道路交通システム(ITS: Intelligent Transport Systems)と呼ばれる交通の効率化, 安全化, 快適化を目的とした様々なシステムやサービスが考案されている[1]。日本でこれらの一部は、DSRC(Dedicated Short Range Communication)[2] や VICS(Vehicle Information and Communication System)[3]といった路側に設置された狭域通信機器や光ビーコン, 電波ビーコン等を用いた情報通信システムにより提供されることが多い。しかし、これらのシステムを用いて通信範囲を拡大し国内の道路全体をカバーするには膨大なコストがかかる。

低コストに通信範囲を拡大できる手法として、MANET (Mobile Ad hoc Network)の車々間通信への利用が考えられる。MANET とは移動可能なモバイル無線端末同士がその場で自律的にネットワークを構築し、複数の端末を経由して通信を行うネットワーク形態である。MANET では多くの場合、リンク状態型ルーティング方式や距離ベクトルルーティングが用いられている。しかし、これらのルーティング方式をそのまま車両に適用させると車両特有の高いモビリティのため、ネットワーク維持が困難であり不安定なネットワークとなる。

そこで近年、MANET を応用し車両同士がネットワークを構築しマルチホップ通信を行う VANET (Vehicular Ad hoc Network)[4]に関する研究が盛んに行われている。VANET では多くの場合にジオグラフィックルーティング方式が利用されている。これは、各車両が GPS 等から位置情報を取得し自身の通信範囲内に存在する車両の中から宛先に最も近い車両を選択しパケット送信を繰り返すことで、最終的にパケットを宛先に届けるルーティングである。しかし、車両の移動に伴ったリンク切断が頻発するので、パケットを宛先まで高確率に転送するには一定以上の車両密度が必要

となる。周辺にパケットを送信できる車両が存在しない場合でも、車両がパケットを保持し続ける Carry and Forward と呼ばれるルーティング手法がある。これは、車両がパケットを保持したまま移動し通信可能な車両と遭遇したときパケット送信を行う。しかし、この手法でも道路全体の車両密度が低い場合では、パケットを搭載している車両が他の車両にパケットを送信できない可能性があるため、パケットを宛先まで転送することは困難である。

そこで Ding らは、交差点にインターネットに接続されていない無線基地局を設置するアイデアを導入することで、パケットの到達確率を大幅に向上させるルーティング手法 SADV(Static-Node-Assisted Adaptive Data Dissemination in Vehicular Networks)[5]を提案した。SADV では、各交差点に設置された基地局が、隣接する基地局間の転送遅延を測定し、その情報を他の基地局と共有することで、最短遅延の経路を計算し、パケットが経路に沿って転送されることを支援する。経路の方向に進行する車両にパケットを送信することで、各基地局はパケットが高い確率で宛先に到達するように制御する。さらに、各基地局で2つに複製したパケットを最短および2番目に短い次ホップに送信することで、SADV の到達確率は、Carry and Forward より大幅に向上した。SADV では、基地局はほとんどの交差点に設置されることを前提とする。隣接するノードに確実にパケットを送信することで、宛先への高い到達確率を実現している。しかし、パケットを運ぶ車両は、道路の途中で停止または、脇道に進行する可能性があるため、パケットが次ホップの基地局に届かない場合がある。そのため交差点の大部分に基地局を配置することで、この問題を解決できるが、設置や維持に膨大なコストがかかる。

上記の問題を解決するために、我々の研究室では、RDV(Reliable Distance-Vector Routing for Static-node-assisted Vehicular Networks)という無線基地局を用いた新たなルーティングプロトコルを提案した[6]。RDV では、転送先の

^{†1} 和歌山大学大学院システム工学研究科

^{†2} 和歌山大学システム工学部

基地局へのパケットを高確率で運ぶ車両を選択するために、各基地局は交差点で取得した車両の統計情報を用いる。各基地局は、他の基地局への車両の到達確率を計算する。この値と宛先までの距離を用いてパケットの複製数を算出する。複製したパケットを全て送信することで、信頼性の低い経路であっても宛先へのパケットの到達確率を向上させている。つまり、部分的な交差点の設置であってもパケットの平均到達確率が予め設定した値以上になることを保証する。RDVでは、平均到達確率の保証を提供するために、複製したパケット全てを送信する必要があるため、交通量の多い経路を優先的に選択するルーティングメトリックを導入している。しかし、選択する経路が必ずしも最短遅延ではなく、さらに経路に偏りが生じるためネットワークの局所で輻輳が発生する問題点がある。

本研究では、複数経路を利用するように RDV を拡張する。具体的には、宛先に至る途中の固定基地局において複数経路利用できる場合には、パケット転送経路を分岐し、それぞれの経路に対して指定到達確率を達成できるようにパケットを複製して転送する。提案手法により、宛先までの到達遅延とネットワークの局所的な輻輳を大幅に低減する。また、交通事故などの一時的なネットワーク障害時でも高信頼なパケット転送を実現する。

本稿は、次のように構成されている。第二章では、RDVについて説明する。第三章では、提案手法の説明する。第四章では、シミュレーションにより提案手法の性能を評価する。

2. RDV

2.1 前提条件

前提とする道路交通網は一般道であり、主要な交差点に基地局(以下ノード)が設置される。車両とノードは通信範囲内で互いに通信することができる。ノードはバックボーンネットワークに接続されていないとする。

あるノードからみて車両が他のノードを通過せずに到達できるノードを隣接ノードと定義する。あるノード S からノード D に到達するまでに車両が遭遇するノードの数をホップ数として定義する。また、あるノード S からノード D に到達するまでに必要な車両の台数をキャリアという単位で定義する。

2.2 経路表の作成

RDV は、距離ベクトル型ルーティングアルゴリズムに基づいて設計されている。まず、各ノードから車両 1 台 (1 キャリア) で高確率に到達できるノードを発見する。1 キャリアの経路情報をノード同士が車両を介して交換し合うことで、自身から車両複数台で到達可能な宛先ノードとそのノードに到達するためにパケットを中継する 1 キャリアノード、そして距離(キャリア)を把握する。各ノードは、メトリックが最小となる経路を選択することで最適な経路を選

択することができる。これらを実現するために RDV では以下の制御メッセージを用いる。

- 1) Hello メッセージ
- 2) Statistic メッセージ
- 3) 1-Carry メッセージ
- 4) Multi-Carry メッセージ

1)Hello メッセージは、2 ホップ前、1 ホップ前に通過したノードの組に対して、自身に到達した車両数を集計するためのメッセージである。2)Statistic メッセージは、各ノードが Hello メッセージで把握した到達車両数を隣接ノードに広告するためのメッセージである。Statistic メッセージを受信したノードは、ある車両が隣接ノード n_1 を通過して自身に通過した後、隣接ノード n_2 に向かう確率を計算することができる。3)1-Carry メッセージは、Statistic メッセージで把握した車両の到達確率を他のノードに広告する。1-Carry メッセージを受け取った各ノードは、複数ホップ離れたノードに到達できる確率を計算し、車両一台で高確率で到達可能なノードを 1 キャリアノードとして把握する。4)Multi-Carry メッセージは、1-Carry メッセージで把握した 1 キャリアノードを他のノードに広告する。これにより各ノードは、車両複数台で到達可能なノードと距離(キャリア)、そしてそのノードに到達するための中継ノードを把握することができる。

2.3 ルーティングメトリック

RDV では、交通量の多い経路を優先的に選択するため、道路に対してメトリックを定義し、このメトリックの下で最短経路を転送経路として用いる。つまり、各経路の交通量の逆数をメトリック値とし、この値の和が最小となる経路を選択する。

メトリックの具体的な計算のために、1 キャリアの距離に位置するある一組のノード N_s および N_d を仮定する。ノード N_s は最初に、 N_d に到達する最も高い確率を持つ前ホップ N_p つまり $\text{argmax}_{N_p} p(N_p, N_s, N_d)$ を検索する。 N_s から N_d までのパケットを運ぶことができる単位時間の車両台数は、 N_p から N_s に到達した車両台数 $c(N_p, N_s, *)$ と N_p から N_s に到達した車両が N_d に進行した確率 $p(N_p, N_s, N_d)$ の積をとることで求める。従って、 N_s から N_d までのメトリック $metric(N_s, N_d)$ は、以下の式(1)で表す。

$$metric(N_s, N_d) = \frac{1}{c(N_p, N_s, *) \times p(N_p, N_s, N_d)} \quad (1)$$

メトリック値は、1-Carry メッセージの処理で、 $p(N_p, N_s, N_d)$ を計算するとき各ノード N_s で計算されます。また、距離ベクトルの計算のために Multi-Carry メッセージの処理にも使用され、メトリックに基づいて宛先までの最短パスを計算します。

2.4 パケットの複製

パケットを高確率で宛先まで転送するために、必要な数

のパケットの複製を行う。あるノード N_s で宛先を N_d としたパケットが発生し、 N_s から N_d まで c キャリーの距離であるとする。このとき道路の管理者などが要求する宛先へのパケットの平均到達確率を D_{prob} とおく。まず、この水準を満たすために必要な 1 キャリー毎の到達確率 C_{prob} を求める。 C_{prob} は以下の式(2)で求める。

$$(C_{prob})^c = D_{prob} \quad (2)$$

最後に、パケットの複製数 n を求める。計算式は以下の(3)を満たす最小の自然数である。

$$n \geq \frac{\log(1 - C_{prob})}{\log(1 - p)} \quad (3)$$

ノードは、パケットを受信した時、上記の計算式に基づいて複製数を求める。計算結果に従いパケットの複製を行い、中継ノードへの転送を繰り返すことで、送信元から宛先までのパケットの平均到達確率が D_{prob} 以上になることを保証する。

3. 提案手法

3.1 概要

提案手法は、ノードが各宛先に対して第一経路に加えて新たに第二経路の計算を行い、両方の経路を利用してパケットを転送する。これにより、第一経路が大幅に迂回した経路であっても、第二経路が到達遅延の低い経路を選択する場合があるので、転送遅延を低減できる可能性がある。さらに、転送経路の分散を行うことで、ネットワークの局所的な輻輳を低減できる。提案手法では、経路分岐時に経路毎に必要な数のパケットを複製し、転送を行うことで高信頼な通信を実現する。

3.2 第二経路の計算

RDV のルーティングメトリックを用いて、単純に二番目に交通量が多い経路を第二経路として選択した場合、パケットループの発生と経路の分岐ができない問題が発生する。そこで上記の問題を解決するために、第二経路の選択条件を以下のように設定する。

①第一経路のキャリーと等しい経路

②第一経路の 1 ホップ前ノードと異なる経路

第二経路が第一経路とのキャリーが等しくない場合、同じ宛先に対して 1 キャリーの位置にある 2 つのノードが、お互いを中継ノードとして選択してしまい、ノード間でパケットのループが発生してしまう。これは、あるノードが第二経路を迂回した経路の様子を図 1 と表 1、表 2 を用いて説明する。 N_3 が持つ経路表を表 1 に N_8 が持つ経路表を表 2 に示す。表 1 表 2 に示す経路表の上段を第一経路、下段を第二経路とする。 N_3 が宛先 N_{11} にパケットを転送する場合、経路表から中継ノードである N_6 と N_8 にパケットを送信する(図 1 に示す実線)。次にこのパケットを受信した N_8 は、経路表から中継ノードである N_3 と N_{11} に送信する(図 1 に示す破線)。この場合、 N_3 と N_8 間でパケットのル

ープが発生する。この問題を解決するために①の条件を設定することで、 N_8 が迂回した第二経路を選択しないようにする。

第二経路が第一経路と 1 ホップ前ノードが同じ場合、同一の道路を用いた経路を選択し、経路分岐ができない場合がある。この様子を図 2 と表 3、表 4 を用いて説明する。 N_3 が持つ経路表を表 3 に示す。 N_3 が宛先 N_{11} にパケットを転送する場合、経路表から N_5 (図 2 の実線)と N_4 (図 2 の破線)にパケットを送信する。

このように、経路分岐ができない場合がある。この問題を解決するために②の選択条件を設定する。これにより、表 4 のような 1 ホップ前ノードが異なる第二経路を選択することで、経路を分岐したパケット転送を行うことができる。

上記の理由から①、②両方の条件を満たす経路を第二経路として経路表に追加する。

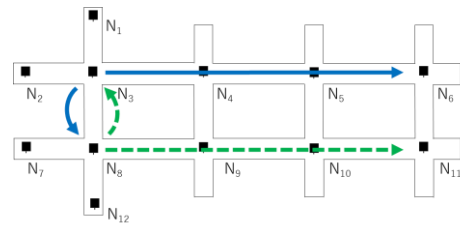


図 1 : パケットループが発生する一例(1)

表 1 : N_3 が持つ経路表

宛先	中継ノード	距離 (キャリー)	1ホップ前ノード
N_{11}	N_6	2	N_2
N_{11}	N_8	2	N_1
⋮	⋮	⋮	⋮

表 2 : N_8 が持つ経路表

宛先	中継ノード	距離 (キャリー)	1ホップ前ノード
N_{11}	N_{11}	1	N_7
N_{11}	N_3	3	N_{12}
⋮	⋮	⋮	⋮

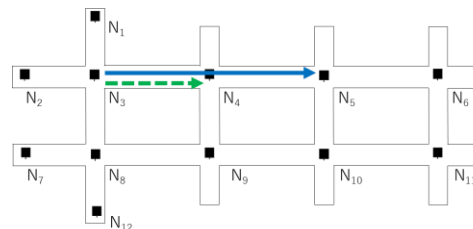


図 2 : 経路分岐ができない一例

表 3 : N_3 が持つ経路表

宛先	中継ノード	距離 (キャリー)	1ホップ前ノード
N_{11}	N_5	3	N_2
N_{11}	N_4	3	N_2
⋮	⋮	⋮	⋮

表 4: 条件②設定下の N_3 が持つ経路表

宛先	中継ノード	距離 (キャリア)	1ホップ前 ノード
N_{11}	N_5	3	N_2
N_{11}	N_6	3	N_1
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

3.3 経路分岐時のパケット複製

パケットを高確率で宛先まで転送するために、分岐する経路の各中継ノードに必要な数のパケットの複製を行う。あるノード N_s で宛先 N_d としたパケットが発生し、宛先まで c キャリアの距離である。第一経路の中継ノードまでの到達確率が p_1 、第二経路の中継ノードまでの到達確率が p_2 であったとする。3.2 節の第二経路の選択条件より、分岐する経路のキャリア c は等しい。予め宛先まで達成したいパケットの平均到達確率を D_{prob} とおく。二つの経路を用いて D_{prob} を達成するために、各経路に要求する到達確率 D'_{prob} を求める。 D'_{prob} は以下の式(4)で求める。

$$D'_{prob} = 1 - \sqrt{1 - D_{prob}} \quad (4)$$

次にこの水準を満たすために必要な 1 キャリア毎の到達確率 C_{prob} を求める。 C_{prob} は以下の式(5)で求める。

$$(C_{prob})^c = D'_{prob} \quad (5)$$

最後に、パケットの複製数を求める。第一経路の中継ノードに送信するパケットの複製数 n_1 を求める計算式は以下の式(6)、第二経路の中継ノードに送信するパケットの複製数 n_2 を求める計算式は以下の式(7)に示す。 n_1, n_2 は以下の式を満たす最小の自然数である。

$$n_1 \geq \frac{\log(1 - C_{prob})}{\log(1 - p_1)} \quad (6)$$

$$n_2 \geq \frac{\log(1 - C_{prob})}{\log(1 - p_2)} \quad (7)$$

パケットを受信したノードは、パケットの宛先への経路を 2 つ保持していた場合、分岐する経路の各中継ノードに対して送信するパケットの複製数を上記の計算式を用いて求める。計算結果に従い複製を行い、中継ノードへの転送を繰り返すことで、パケットの平均到達確率を保証する。

3.4 パケットの転送

ノードは隣接するノードの数だけの送信キューを持つ。これは 1 キャリアの距離にある中継ノードに対してパケットを送信する際に、中継ノードに対して最も到達確率の高い 1 ホップ前ノードを通過して来た車両を用いてパケットを転送する目的があり、1 ホップ前ノードごとに送信キューを持たせることで処理を効率化する。

3.2 節までに説明した動作により、各ノードは経路表を作成した。ある時刻にあるノードでパケットが発生したとする。この時、ノードはパケットの宛先を自身の保持する経路表の宛先から検索し、一致したレコードの中継ノードの

アドレス、ホップ数をパケットの中継ノードアドレスフィールドと、TTL フィールドに書き込む。次に、2.4 節で説明した動作により、パケットの複製を行う。このノードがパケットの宛先に対応するエントリを二つ保持していた場合、各エントリのレコードを上記の様に書き込んだ 2 つのパケットを作成する。3.3 節で説明した動作により、各パケットの複製を行う。複製したパケットは、Statistic メッセージと 1-Carry メッセージから計算した情報から、中継ノードまでの到達確率が最も高い 1 ホップ前ノードを特定し、対応する送信キューに全てをエンキューする。

パケットを搭載した車両がノードに到達した時、車両は自身が持つ全てのパケットの TTL を 1 だけ減らし、到達したノードが中継ノードまたは宛先ノードであるパケットを全てそのノードに送信する。なお、到達したノードが中継ノードでも宛先ノードでもなく、TTL が 0 となった場合、パケットが正しく配送されなかったことを示すため、パケットは破棄される。ノードはパケットを受信すると自身が宛先ノードであるパケットを受信成功とし、自身が中継ノードであれば、前述と同様にパケットの処理を行い、送信キューにエンキューする。パケット転送をする車両の選択は、車両が持つ Hello メッセージから 1 ホップ目のノードを特定し、対応するキューにパケットがあれば車両に送信する。これらの動作により、発生したパケットを宛先に転送することができる。

4. 評価

4.1 評価手法

提案手法をシミュレーションにより評価をした。評価の目的は、提案手法の通信性能を RDV と SADV とで比較することである。評価内容は、3 つある。1 つ目は、提案手法が宛先へのパケットの平均到達確率を予め要求した値を達成できるかどうかです。2 つ目は、ネットワークに大きな負荷を発生させた際に、経路分岐により輻輳の低減ができていられるかどうかである。3 つ目は、交通事故を発生させた場合、どれだけの到達確率を達成できるかである。上記のそれぞれに対応する 3 つのシナリオを用意した。

シミュレーション環境として、C++言語のネットワークシミュレータを自作し、交通量の異なる道路交通網上で 3 つのルーティングプロトコルをシミュレートした。ネットワークは DTN(Delay Tolerant Networking)として動作するため、データリンク層と物理層は考慮しないとする。車両がノードに到達した際に、一定量のデータ交換が確実に行われると仮定する。ただし、制御メッセージの大きさはプロトコルにより定められており、最大でも数 kBytes 程度である。Open Street Map[7]から京都市の主要な道路地図を取得した。取得した地図を図 3 に示す。SUMO[8]を用いて車両の交通情報を生成し、シミュレーションに利用した。この道

路地図では、道路端 20 カ所、交差点 84 カ所存在し、そのすべての地点にノードを設置した。道路は全て三車線で、右左折専用レーンを設けている。交差点には信号機が設置され、青信号の時間の長さは、90 秒である。全ての道路端から、最高速度 50km/h に設定された車両を一定の時間間隔で発生させる。交差点では、車両は 90% の確率で直進し、5% の確率で右折または左折を行う。交差点で直進できない場合、50% の確率で右折または左折する。各車両は、128 個の packets を保持するバッファを有する。各ノードは、1 ホップ前ごとの送信キュー 1 つあたり 1280 個の packets バッファを有する。ノードと車両の通信範囲は 50m である。

シミュレーションで提案手法と RDV, SADV の比較評価を行った。SADV の実装では、各隣接するノード間の遅延を測定し、計算した最短経路を用いてシミュレートをした。SADV では、最短経路の長さに 4 ホップ加えた TTL を設定している。これにより、packets の複製によりオーバーヘッドが増加するが、最短パスよりも迂回する経路を利用できるため、packets の到達確率が向上する。提案手法と RDV では要求する packets の平均到達確率を 99%、ノードから車両に送信する 1-Carry メッセージを 10 個、Multi-Carry メッセージを 20 個、車両の Multi-Carry メッセージの搭載上限を 200 個、採用する 1 キャリーノードの閾値を 70% と設定した。

安定したルーティングテーブルを得るために 3600 秒の時間を取り、その後 1000 秒間 packets の生成を行う。1 つ目のシナリオでは、packets は交差点に設置されたノードにランダムで一定の時間間隔で 1000 個の packets を発生させた。2 つ目のシナリオでは、packets を 20000~90000 個発生させた。3 つ目のシナリオでは、packets の生成を開始してから 500 秒の時点で、図 3 に記す a, b, c, d 点間の道路への車両の進入を停止する。これは交通事故などによるネットワーク障害を想定している。車両は、駐車場や脇道に入るまたはそこから出てくることを考慮するシナリオを実装した。これは、2 つのノード間の道路で車両を確率的に選択し、それらに保持されているすべての packets と制御メッセージを削除（フラッシュ）する。各道路で車両が保持するデータのフラッシュする確率を 0%、1% でシミュレートを行った。道路端一カ所でも 1 分当たり 3~8 台の車両を生成した。上記のシミュレーション内容を各手法でそれぞれ 10 回繰り返した。

4.2 評価結果

図 4 の(a), (b) では、車両が保持するデータのフラッシュ率 0%、1% の各値について、車両密度の変化による packets の到達確率と転送遅延を比較している。車両データのフラッシュ率が 1% の場合、SADV は packets の到達確率が低下している。これは、すべての経路上の packets が一定の確率で消失するためである。提案手法は、RDV と同様に予め要求している packets の平均到達確率を達成した。

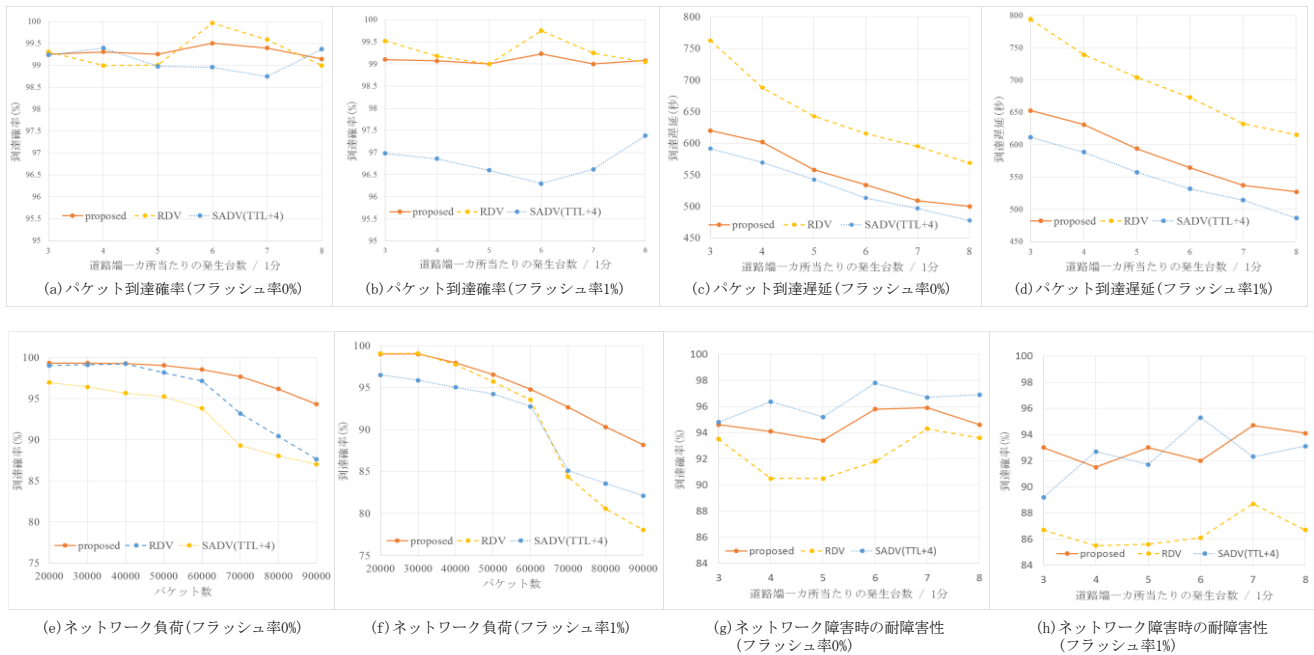


図 3：京都市の主要な道路地図

図 4(c), (d) では、packets の到達遅延を示す。車両の密度が増加するにつれて到達遅延は減少しているが、RDV はどの車両密度でも SADV より大きな値をとる。これは、RDV が宛先への最短遅延の経路を選択していないことが原因である。提案手法では、選択する第二経路が第一経路より到達遅延が低い経路を選択しているため、RDV より到達遅延を大きく低減している。

図 4 の(e), (f)では、通信負荷による提案手法と RDV, SADV の性能を示す。車両が保持するデータのフラッシュ率 0%、1% の各値について、車両の生成台数を 4 台/分に設定し、発生させる packets の数の変化による比較をしている。提案手法と RDV は生成された packets がネットワーク容量を超えるまで、予め要求している到達確率を達成している。フラッシュ率が 1% の場合、ネットワークはフラッシュ率 0% よりも低い負荷で飽和する。これは、提案手法と RDV がより多くの packets の複製を行うことで、packets の平均到達確率を保証している。提案手法は、経路を分岐することにより、ネットワークの負荷分散を行っているため RDV より高いネットワーク容量を実現している。SADV は高確率で宛先に packets を到達するために、経路上の全ての基地局で packets を 2 つに複製し、2 つの経路の次ホップに送信を行うので、一定の値を超えると大幅に packets が損失する。

図 4 の(g), (d) では、ネットワーク障害による提案手法と RDV, SADV の耐障害性の性能を示す。車両が保持するデータのフラッシュ率 0%、1% の各値について、両密度の変化による packets の到達確率を比較している。RDV は封鎖されている道路を経路として選択している場合があり、packets の損失率が大きい。提案手法は、第一経路が道路封鎖されている経路であっても、道路封鎖されていない経路を第二経路として選択しているため、RDV よりも高い packets の到達確率を達成している。提案手法では、2 つの経路に対してそれぞれ必要な packets を複製し送信することで、予め要求する平均到達確率を保証している。しかし、道路封鎖されてない片方の経路のみでは、必要な数のパケ



図：4 シミュレーション評価

ット複製を行えないため、ある程度のパケットが宛先までの経路の途中で損失する。SADV では、経路上の全ての基地局で複製したパケットを、2 つの経路の次ホップへの送信を行うことで、道路封鎖された道路を迂回した経路を選択するため、ネットワーク障害の影響を受けても高い到達確率となっている。

5. まとめ

本稿では、複数の経路を利用できるように RDV の拡張を行い、通信品質と耐障害性を改善する手法を提案した。提案手法は、各基地局が、宛先の基地局に対して第一経路と、第二経路を計算し、両方の経路を利用してパケットの転送を行う。経路の分岐の際でも、提案する計算に基づいて必要な数のパケットを複製し送信することで、予め要求するパケットの平均到達確率を達成する。さらに、到達遅延の低減とネットワークの負荷分散を同時に実現することができた。そして、交通事故等による道路封鎖のようなネットワーク障害が発生した場合でも、RDV よりも高いパケット到達確率を実現した。

参考文献

[1] 津川定之: "高度道路交通システム概論," 日本ロボット学会誌, Vol. 17, NO.3, pp.312-320, (1999).
 [2] ITS サービス(DSRC), 入手先<http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/spot_dsrc/> (参照 2017-10-10).
 [3] VICS, 入手先<<http://www.vics.or.jp/know/about/center.html>> (参照 2017-10-10).
 [4] 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.J89-B No.6, pp.824-835 (2006).
 [5] Yong Ding, Li Xiao, "SADV: Static-Node-Assisted Adaptive Data Dissemination in Vehicular Networks," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 59, NO. 5, pp.2445-2455 (2010).
 [6] T.Yoshihiro, D. Araki, H. Sakaguchi, N. Shibata, "Reliable instance-

Vector Routing for Static-node-assisted Vehicular Networks," In Proc. MobiQuitous2016, (2016).
 [7] Open Street Map, <https://www.openstreetmap.org/>.
 [8] M. Behrisch, L. Bieker, J. Erdmann, and D. Krajzewicz, SUMO Simulation of Urban MObility: An Overview," In Proc. of SIMUL2011, pp.23-28, 2011.