

VANETにおける道路網構造に基づいた 経路算出によるソースルーティング手法

原 紘一郎^{1,a)} 赤松 諒介^{1,b)} 小原 啓志^{2,c)} 重野 寛^{2,d)}

概要: ITS スポットサービスでは、各車両の走行情報を基地局を介して収集し、収集した情報を道路交通情報に変換して各車両に提供している。このサービスに車車間通信を適用することで車両は通信範囲外の基地局にまで走行情報が伝搬でき、基地局はより多くの車両から走行情報を収集できる。しかし、従来の車車間通信の研究では実環境の複雑な道路網構造や車両分布の偏りを考慮していないため、車両が存在しないエリアで情報が中継されず損失してしまう。本稿では、道路網構造を利用した経路算出と情報損失時の経路修復によるソースルーティング手法 SRS を提案する。SRS では、道路網構造の利用により実環境に合わせた通信経路を算出し、情報損失時の経路修復により情報伝播が困難なエリアを回避した通信経路を算出する。SRS をシミュレーションにより評価し、到着率、総パケット数の観点から有用性を示す。

1. はじめに

道路交通情報をリアルタイムに車両へ配信するサービスとして、ITS スポットサービス [1] がある。各車両が持つ走行情報を道路に設置された ITS スポットが収集し、道路交通情報に編集して道路交通情報として各車両に配信することでドライバーが直近の交通状況を把握できる。

ITS スポットサービスでは路車間通信のみを利用しているが、車車間通信も利用することでより広範囲の情報を収集できるようになる。車車間や路車間通信を用いて基地局に情報を届けることを、情報を伝搬すると定義する。広範囲から収集できる一方で、パケット衝突や帯域圧迫によるパケット損失が発生しうるため、確実に情報を基地局へ伝搬できる手法が必要となる。

車車間通信による情報伝搬では、通信経路を算出せずに情報を伝搬する手法が数多く提案されている。最も単純な方法に、情報を受信した全ての車両が中継を行うものがあるが、その場合膨大な通信量となる。そのため、従来では中継する車両を制御する手法 [2-8] が数多く提案されている。

従来の研究では、情報を受信した車両が送信車両との距

離を計算し、中継するかどうか判断する手法 [2, 3, 7, 8] がある。この手法では、送信車両から遠い車両のみが中継を行うため、通信量を抑制できる。また、基地局に近い車両のみが中継するように制御する手法 [9, 10] がある。これにより、情報が基地局とは逆方向に伝搬されることがなく、更に通信量を抑制できる。

しかし、実世界の複雑な道路環境においては、道路網構造や車両分布の偏りの影響で情報の伝搬が遮断されるエリアが存在する。行き止まりや迂回が必要な道路では、基地局から遠い車両も中継を行う必要があるが、基地局に近い車両のみが中継しているため伝搬の遮断が発生する。また、道路が存在していてもそこに車両がない場合は、同様にして伝搬の遮断が発生する。

本稿では、道路網構造に基づいた経路決定によるソースルーティング手法 SRS を提案する。SRS では、道路網構造に基づいて通信経路を算出することで行き止まりや迂回が必要な道路を回避した情報の伝搬が行える。また、車両が存在しない道路を検知して通信経路の修復を行うことで車両が存在しない道路を回避した情報の伝搬が行える。SRS をシミュレーションにより評価し、到着率、総パケット数の観点から有用性を示す。

以下、2章で車車間通信の既存研究について説明する。3章で道路網構造に基づいたソースルーティング手法を提案し、4章でシミュレーションにより提案手法を評価する。最後に5章で結論を述べる。

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 慶應義塾大学理工学部
Faculty of Science and Technology, Keio University

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

b) akamatsu@mos.ics.keio.ac.jp

c) obara@mos.ics.keio.ac.jp

d) shigeno@mos.ics.keio.ac.jp

2. 車車間通信の既存研究

本稿では、各車両がひとつの基地局へ情報を送信する想定のため、ユニキャストプロトコルをベースとする。車車間通信においては、車両の移動性の高さから、通信経路を算出しないユニキャストプロトコルが必要であると考えられている [11–13]。なぜなら、ネットワークポロジが頻繁に変わってしまい、たとえ通信経路を算出してもその経路が維持されない危険性が高いためである。かといって、通信経路を算出せずに単純に情報を伝搬した場合、全ての車両が情報を中継してしまい、冗長な中継が発生する。そのため、中継を行う車両を制限する中継制御手法 [2–8] が研究されている。中継制御手法はパケットの到着率を維持しながら通信量の削減を目指す手法である。中継制御手法には送信者ベースと受信者ベースの手法が存在する。

2.1 送信車両ベースの中継制御手法

送信車両ベースの中継制御手法とは、中継車両を送信車両が決定する手法である。送信車両はビーコンなどにより近隣の車両を把握し、その中から中継車両を決定する。その後、中継車両の ID をパケットに含めて送信し、受信車両はパケット内の ID と自身の ID を比較して中継の判断をする。典型的な手法 [4–6] では、ホップ数を削減するために送信車両から一番遠い車両を中継車両に選択する。この手法により、基地局までの通信経路を算出せずに情報を伝搬できる。しかし、ビーコンによるパケットの増加から、パケット衝突や帯域の圧迫が考えられる。また、車両の高い移動性からビーコンの車両情報と実際の車両状況が異なる可能性がある。これらの問題に対し、送信車両が中継車両を選択するのではなく、受信車両自身が中継するかどうかを判断する受信車両ベースの手法が提案されている。

2.2 受信車両ベースの中継制御手法

受信車両ベースの中継制御手法とは、パケットを受信した車両が、自身の情報とパケットの情報から中継の判断をする手法である。送信車両は走行情報とともに自身の位置情報などをパケットに付加して送る。パケットを受信した車両はパケットに含まれている送信車両の位置情報や、自身の位置情報から、自身の中継を判断する。典型的な手法 [7,8] では、送信車両からの距離で中継を判断している。この手法により、送信車両から一定距離以上離れた車両のみ中継を行う。しかし、一定距離以上に車両が存在しない場合は中継が行われず、また車両が複数いる場合は複数車両が中継を行ってしまうため、有効ではない。

この手法に対し、送信車両からの距離に反比例して中継の待ち時間を設定する、Distance Defer Time (DDT) を利用した手法 [2,3] がある。受信車両のうち、送信車両から

最も遠い車両が最も短い中継待ち時間を設定する。これにより、最も遠い車両が優先的に中継を行える。そして、各車両は他車両の中継をオーバーヒアした場合は中継を行わず、パケットを破棄する。この手法により、送信車両から最も遠い車両のみが中継を行える。この手法では中継する車両を一台にできるうえにビーコンも必要としないため、非常に通信量を抑制できている手法であると考えられる。

また、受信車両ベースの中継制御手法では Directional Flooding (DF) を利用した手法も提案されている。DF とは、情報の伝搬方向を限定することにより、基地局から遠ざかる情報の伝搬を防ぐ手法である。典型的な手法 [9,10] では、車両と基地局との直線距離で遠ざかっているか判断している。受信車両が送信車両よりも基地局に近い場合はパケットを中継する。これにより基地局から遠ざかる方向の情報の伝搬を抑制できている。

2.3 問題点

前節で説明した DDT と DF を組み合わせて利用することで、送信車両から一番遠い車両が中継を行うことに加え、基地局へ向かう方向へ情報が伝搬できるため、通信量を抑制しながら確実に情報を基地局へ伝搬できると考えられている。しかし、上記の手法を実環境の複雑な道路で用いると、道路網構造や車両トポロジの影響で情報の伝搬が困難なエリアが存在する。道路網構造の影響により、行き止まりの道路や、迂回して情報を伝搬する必要のある道路において、情報の伝搬が困難になる。DF の特性上、基地局に近づく方向にのみ情報を伝搬しているため、迂回する方向へは情報が伝搬されない。このような問題を道路トポロジ問題とする。図 1 に交通流の一例を示す。車両 A が自身の走行情報の伝搬を行う。車両 A の通信は車両 B には届くため、車両 B から車両 C, F, I, H と中継することで基地局まで伝搬可能になる。しかし、DF の特性上、基地局から遠ざかる方向への伝搬は行われないうえに、車両 B は情報を中継しない。よって情報の伝搬は途切れてしまい、基地局が情報を取得できなくなる。

また、車両トポロジの影響により、道路が存在していても車両がないエリアが存在する。このようなエリアをトラフィックホールと呼ぶ。トラフィックホールではパケットは中継されず、かつ基地局に近づく方向にのみ情報を伝搬しているため、迂回する方向へは伝搬されない。このような問題をトラフィックホール問題と呼ぶ。以上のように、車両が存在せず迂回が必要なエリアにおいて、情報の伝搬が困難である。図 1 に交通流の一例を示す。車両 F が自身の走行情報の伝搬を行い、交差点 N_6 から N_8 の間には車両が存在せず、トラフィックホールが発生している状況である。車両 I が中継を行い、車両 I からのパケットを車両 H が中継すれば基地局まで伝搬可能になる。しかし、

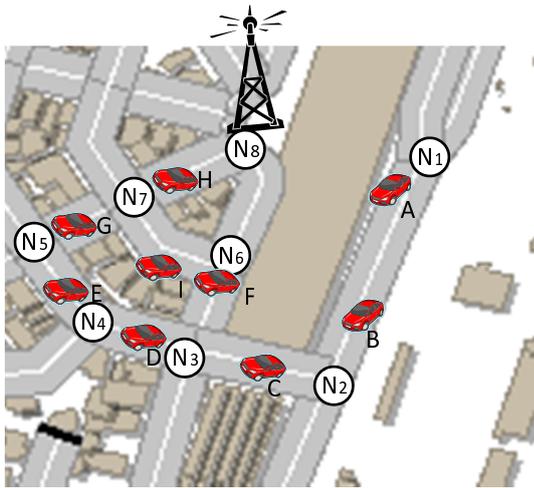


図 1 交通流の一例

DF の特性上、基地局から遠ざかる方向の中継は行わないため車両 I は情報を中継しない。よって基地局が情報を取得できなくなる。

3. 提案手法

3.1 道路トポロジ問題に対するアプローチ

道路トポロジ問題に対しては、基地局までの通信経路を算出することで道路トポロジ問題を回避した情報伝搬が可能になると考えられる。経路を算出する手法として、大きく車両ベースと道路ベースの通信経路算出が考えられる。

● 車両ベースの通信経路算出

車両ベースの通信経路算出とは、車両をノードとして基地局までの通信経路を算出することである。車両ベースの通信経路算出は従来、数多く研究されている。しかし、ノードのトポロジが頻繁に変化する環境では有効でない。

● 道路ベースの通信経路算出

道路ベースの通信経路算出とは、交差点をノードとして基地局までの通信経路を算出することである。交差点と道路のつながりを考慮し、基地局まで道路に沿った情報の伝搬を行えるような経路を算出する。車両ベースとは違い、ノードのトポロジがほとんど変化しないため、有効であると考えられる。

よって、通信経路を算出しやすい道路ベースの通信経路算出を用いて道路トポロジ問題を解決する。

3.2 トラフィックホール問題に対するアプローチ

トラフィックホール問題に対しては、車両がトラフィックホールを検知し、トラフィックホールを考慮した通信経路を算出することでトラフィックホール問題を解決できると考えられる。トラフィックホールを検知する方法として、

大きく事前検知と遭遇時検知が考えられる。

● 事前検知

事前検知とは、走行情報を伝搬する前に各車両がビーコンなどの制御通信を行うことでトラフィックホールを検知する手法である。各車両が近隣の車両分布を把握し、その偏りからトラフィックホールが発生しているか判断する。発生していたら、トラフィックホール情報を各車両に散布する。これにより、トラフィックホールの場所を各車両が把握できる。この手法においては、走行情報が低遅延で送れる利点があるが、制御通信による通信量の増加や、情報伝搬時とビーコン情報とのトポロジのずれが情報損失の原因になる。

● 遭遇時検知

遭遇時検知とは、情報伝搬する過程でトラフィックホールを検知する手法である。情報を中継した車両がオーバーヒアすることで検知ができる。中継車両により伝搬された情報が他車両に中継されなければトラフィックホールが発生していると判断する。これにより、トラフィックホールに遭遇するたびに検知が行える。この手法においては、トラフィックホールが多い環境では検知数が多くなってしまい遅延が発生する欠点があるが、通信量は抑えられ、情報伝搬時のトポロジ変化の影響を受けない。

本稿において想定しているアプリケーションでは遅延を許容しているため、遭遇時検知が有効であると考えられる。

3.3 SRS

本稿では、道路網構造に基づいた経路決定によるソースルーティング手法 SRS (Source routing protocol based on Road network Structure) を提案する。道路網構造に基づいて通信経路を算出することで行き止まりや迂回が必要な道路を回避した情報の伝搬が行える。また、車両が存在しない道路を検知して通信経路を修復することで、トラフィックホールを回避した通信経路を算出できる。

3.4 経路算出と中継判断

道路構造に基づいて通信経路を構築することで行き止まりや迂回が必要な道路からも情報の伝搬が可能になる。各車両は基地局までの最短距離の通信経路を、道路網構造を考慮して算出する。まず、各車両は地図情報から交差点と道路の接続関係を把握する。次に、基地局までの通信経路を算出する。この際、交差点をノード、道路をリンクとし、リンクコストは道路長とする。ダイクストラ法を利用し一番リンクコストの低い経路、すなわち最短距離の経路を算出する。経路は車両の現在地に最も近い交差点から基地局までの交差点 ID のリストで表される。この交差点 ID の

リストをパケットに付加し、伝搬する。このように経路構築を行うことで、行き止まりの道路や迂回が必要な道路においても情報を伝搬できる。

基地局までの通信経路が算出されたら、通信経路上を伝搬できるように中継する必要がある。そのため、中継は受信車両がパケットの経路情報をもとに判断する。経路情報にある交差点 ID のリストと自身の位置情報を比較し行うが、受信車両が交差点にいるかどうかで中継の判断方法が異なる。

- 交差点にいる場合

交差点にいる場合は、そのパケット内の経路情報を確認し、経路情報内の交差点 ID のリストに自身がいる交差点 ID が存在するか確認する。存在していた場合は中継待ち時間を設定し、存在していなかった場合は情報を破棄する。

- 交差点にいない場合

交差点にいない場合は、自車両がいる道路の両端の交差点 ID を確認する。双方の交差点 ID と経路情報内の交差点 ID リストを比較し、連続して一致すれば中継待ち時間を設定し、一致しない場合は情報を破棄する。

中継待ち時間は送信車両から最も遠い車両が最も短くなるように設定される。このような中継を基地局まで繰り返すことにより経路情報に沿った情報伝搬が行える。

図 1 に交通流の一例を示す。車両 A が走行情報を伝搬する場合を考える。車両 A は情報を伝搬する前に、交差点をノードとした基地局までの経路を、ダイクストラ法を用いて算出する。この図においては、通信経路 N_1, N_2, N_3, N_6, N_8 が算出される。この経路情報をパケットに含め、伝搬する。そして車両 B が受信したら、車両 B はこの情報を中継するか判断する。車両 B は交差点外にいるため、両端の交差点が経路情報に連続的に含まれているかどうかで判断する。この図においては車両 B の両端の交差点は N_1 と N_2 であり、経路情報に連続的に含まれているため中継すると判断される。そして車両 B は車両 A との距離に基づいて中継待ち時間を設定する。そして、車両 B が中継したら車両 C が受信し、同様に中継するか判断する。そして車両 D, F が受信する。車両 F の両端の交差点は経路情報に連続的に含まれているが、車両 D の両端の交差点は N_3 と N_4 であり、 N_4 は経路情報に含まれないため中継を行わない。車両 F は中継を行うが、トラフィックホールに遭遇してしまい、情報の伝搬が途切れてしまう。よって、道路網構造に基づくことで迂回する通信経路を算出できているが、トラフィックホール問題を考慮した経路修復が必要になる。

3.5 経路修復

トラフィックホール問題の影響で情報の伝搬が途切れた際に、途切れた道路を除外して通信経路の修復を行うことで情報の伝搬を行えるようにする。

トラフィックホールは、オーバーヒアを利用することにより検知できる。パケットを中継した車両がその後他車両からパケットを受信できなければ、直近の道路でトラフィックホールが発生していると判断する。そして、その道路の ID をパケット内にある検知道路 ID リストに追加する。その後、パケット内の検知道路 ID リストにある道路リンクを除外して基地局までの通信経路を算出する。算出された通信経路をパケットに付加し、情報を伝搬する。これにより、車両トポロジの影響によるトラフィックホール問題を回避した情報伝搬が可能になり、情報を確実に基地局に届けられる。

図 1 に交通流の一例を示す。車両 A が走行情報を伝搬する場合を考える。車両 A は通信経路を算出する。この図においては、通信経路 N_1, N_2, N_3, N_6, N_8 が算出される。そして車両 F までは情報は伝搬されるが、車両 F 以降は中継する車両が一台もない。この場合、車両 F はオーバーヒアを利用し、自身が中継したパケットを一度もオーバーヒアしなかった場合はトラフィックホールが発生したと判断する。トラフィックホールは交差点 N_6 と N_8 の間で発生していると判断し、走行情報内にある検知道路 ID リストにトラフィックホールが発生した道路の ID を付加する。そして、その道路を除外して通信経路を算出する。車両 F は N_6 に近いので N_6 を始点とし、通信経路 N_3, N_4, N_5, N_7, N_8 が算出される。パケット内の経路情報を再計算された経路情報に更新し、車両 F は情報を伝搬する。このようにして、トラフィックホールを回避して情報を伝搬できる。

4. シミュレーション結果

本節ではシミュレーションにより、問題点の検証と SRS の評価を行う。

4.1 シミュレーション環境

シミュレーションでは交通流シミュレータ SUMO version 0.16.1 [14] と通信シミュレータ Scenargie version 1.6 [15] を用いる。SUMO を実行して車両の移動軌跡を出力させ、そのモビリティデータを Scenargie に適用してシミュレーションを行った。

主なシミュレーション条件を表 1 に示す。シミュレーションパラメータの詳細は都市環境を想定して設定しており、各車両の制限速度は 60km/h である。単純な道路モデルと複雑な道路モデルを利用しシミュレーションを行った。また、実環境に近づけるために、実環境の道路や建物のデータを利用した。道路は一般財団法人日本デジタル道

表 1 シミュレーションパラメータ

Communication	
Parameter Name	Value
Simulator	Scenargie 1.6
Simulation Time	120s
Packet Size	256 Bytes
Max Route Length	15 intersections
Max Traffic Hole Road Length	5 roads
Radio Communication Standard	802.11p
Transmission Power	20 dBm
Band Frequency	5.9 GHz
Bandwidth	10 MHz
Bit Rate	6.0 Mbps
Propagation Model	ITU-R_P.1411 [18]
Traffic	
Simulator	SUMO 0.16.0
Number of Traffic Lanes	2 (bi-directional)
Vehicle Velocity	0-60 km/h

路地図協会の全国デジタル道路地図研究用データ [16] を利用し、建物は国土地理院の基盤地図情報 [17] を利用した。図 2, 3 に道路モデルを示す。格子状道路が多く存在する単純な道路である銀座と複雑な道路である横浜(日吉)の道路や建物のデータを利用しシミュレーションを行った。

SUMO では各車両はランダムに出発地と目的地を設定し、目的地までの最短距離の経路を算出し、経路に従って走行する。各車両は他車両の行動を考慮し、加速や減速を行うものとした。

各車両は一定周期ごとに自身の情報を基地局へ送信する。シミュレーション時間のうち、定常状態ではない前後 10 秒は評価から除外して測定した。以上の環境でシミュレーションを五回行い、その平均値を算出した。

SRS の有用性を評価するため、比較対象は DDT と DF を組み合わせた手法 (DDT+DF) とした。評価項目はパケット到着率と総パケット数、パケット到着率分布とした。パケット到着率とは、車両により生成された全情報のうち、基地局に伝搬された情報の割合を表す。また、総パケット数とは、一秒あたりにシミュレーション上で発生したパケットの数を表す。そして、パケット到着率分布とは、地理的に分割されたエリアごとの到着率を表す。

4.2 問題点の検証

単純な道路網構造と複雑な道路網構造で到着率や総パケット数を評価し、複雑な道路網構造において DDT+DF に問題があることを示す。

図 4 に銀座と横浜(日吉)における DDT+DF の到着率を示す。車両台数は 800 台で、各車両が 30 秒ごとに情報を生成する環境の下評価している。銀座での到着率はどの車両台数においても 90% 以上の到着率であり、単純な道路

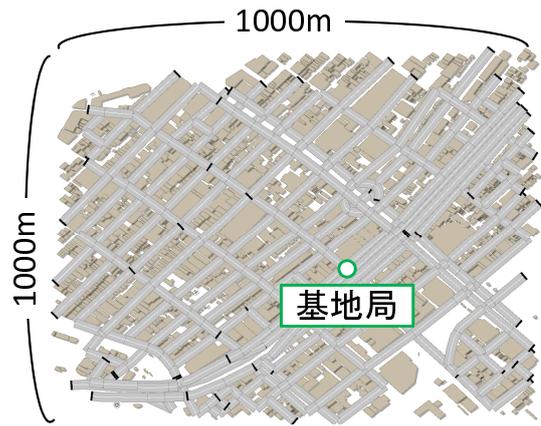


図 2 銀座の道路モデル

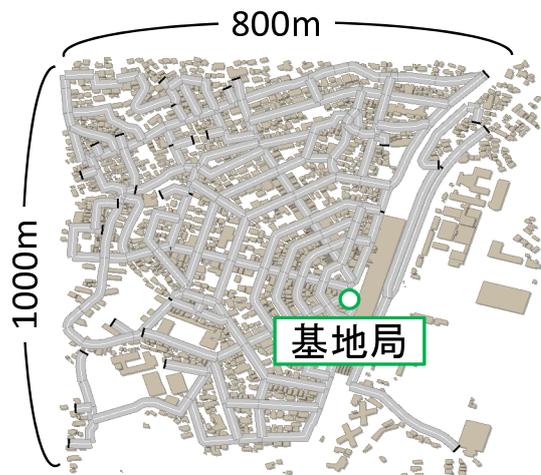


図 3 横浜(日吉)の道路モデル

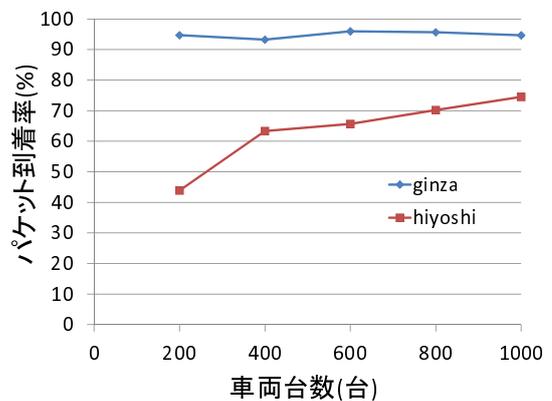


図 4 銀座と横浜(日吉)における DDT+DF のパケット到着率

網構造においては DDT+DF が有効であることが分かる。これは、銀座が単純な格子状道路であるためだと考えられる。格子状道路であれば行き止まりや迂回が必要なエリアは存在しないため、道路トポロジ問題が発生しない。また、規則的な道路網構造であるために、車両の偏りも発生しにくく、トラフィックホールが発生しにくいと考えられる。以上のことから高到着率であったと考えられる。それに対し横浜(日吉)での到着率はどの車両台数においても 80% 未満の到着率になり、DDT+DF は複雑な道路では有効で

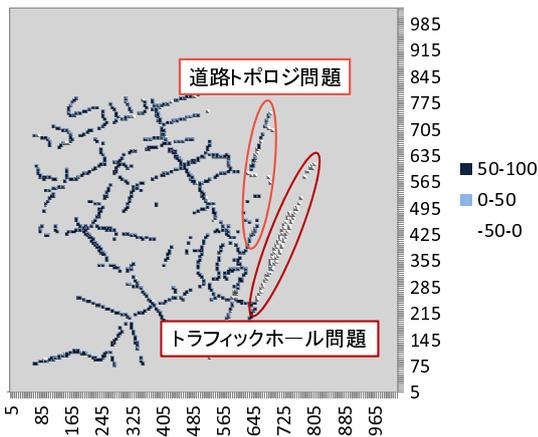


図 5 横浜 (日吉) における DDT+DF のパケット到着率の分布

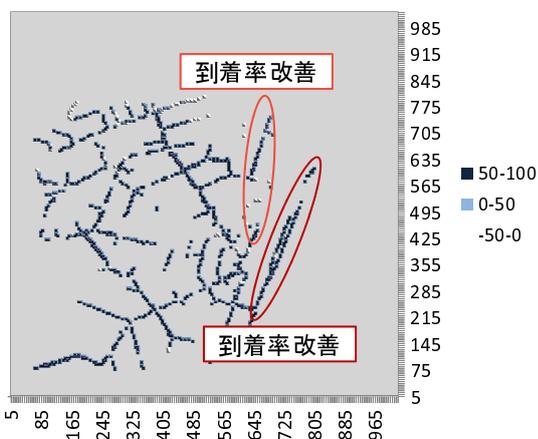


図 6 横浜 (日吉) における SRS (経路修復あり) のパケット到着率分布

ないことが分かる。よって、複雑な道路においては、何らかの影響で到着率が低下していることが分かる。

図 5 に横浜 (日吉) における DDT+DF のパケット到着率分布を示す。それぞれの点は各エリアの到着率を示しており、色が濃いほど、そのエリアから伝搬された情報の到着率が高く、色が薄いほど到着率が低い。図 3 と照らし合わせながら評価の分析を行う。楕円のエリアにおいて、白い点が複数確認され、到着率が低下していることが分かる。一方の楕円部ではトラフィックホール問題により到着率が低下している。これは、楕円の方が、道路があるにもかかわらず車両がほとんどいないためだと考えられる。また、もう一方の楕円部では道路トポロジ問題により到着率が低下している。基地局と楕円部との間に建物があり、建物に伝搬が遮断されたためだと考えられる。基地局に伝搬するには迂回する必要があるが、DF の特性上、基地局に近い車両のみが中継を行うため、濃い色の楕円部からの情報は中継されない。よって、複雑な道路においてトラフィックホール問題や道路トポロジ問題が発生していることが観測された。

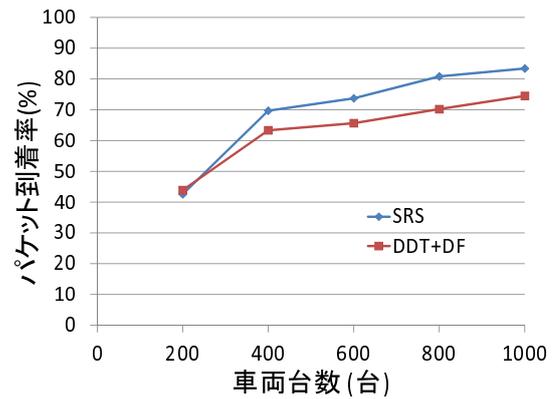


図 7 横浜 (日吉) における車両台数を変化させたときのパケット到着率の比較評価

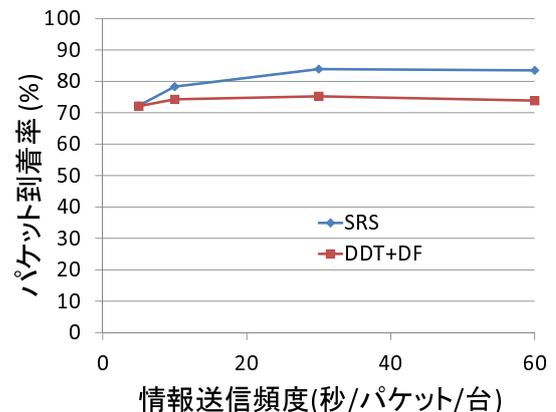


図 8 横浜 (日吉) における通信負荷を変化させたときのパケット到着率の比較評価

4.3 到着率

図 6 に横浜 (日吉) における SRS のパケット到着率分布を示す。図 5 と比較すると、双方の楕円のエリアにおいて到着率が向上していることが分かる。よって、道路トポロジ問題とトラフィックホール問題が解決できていることが分かる。

図 7 に車両密度を変化させたときの横浜 (日吉) における到着率の変化を示す。各車両が 30 秒ごとに情報を生成する環境の下評価している。SRS は高車両密度において DDT+DF と比較し最大約 10% 改善していることが分かる。低車両密度においても DDT+DF と同様の到着率であるため、どの車両密度においても SRS が有効であることが分かる。双方の手法で車両台数が増えるほど到着率が向上している。これは、車両密度が増えることによりコネクティビティが上がり、情報が中継されやすくなるためである。また、車両台数が多いと渋滞が発生しやすく、車両の速度が下がるために車両トポロジの変化が少なくなるためである。

図 8 に通信負荷を変化させたときの横浜 (日吉) における到着率の変化を示す。車両台数は 1000 台の環境の下評価している。SRS は DDT+DF と比較し、低通信負荷のときに最大約 10% 改善していることが分かる。高通信負荷

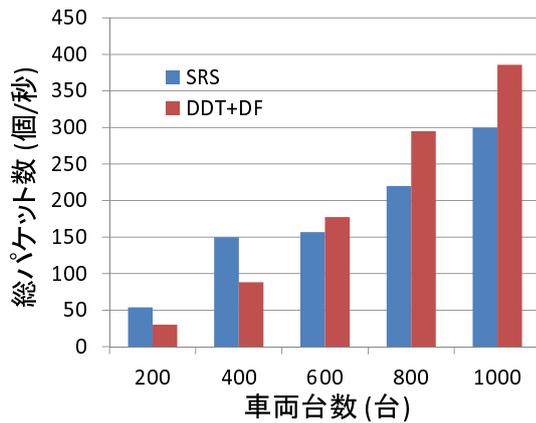


図 9 横浜 (日吉) における車両台数を変化させたときの総パケット数の比較評価

においても DDT+DF と同様の到着率であるため、どの通信付加においても SRS が有効であることが分かる。双方の手法とも 30 秒以上では到着率は変化しない。よって 30 秒以上では通信量による弊害を受けないと考えられる。30 秒以下では到着率が低下している。これは、通信量が増えたために帯域の圧迫やパケット衝突が原因だと考えられる。

4.4 総パケット数

図 9 に車両密度を変化させたときの総パケット数の変化を示す。各車両が 30 秒ごとに情報を生成する環境の下評価している。SRS は高車両密度下において DDT+DF より少ない通信量であることが分かる。これは、車両のコネクティビティが上がることで提案の経路修復の回数が減り、その影響で通信量が抑えられたと考えられる。低車両密度下においては SRS の総パケット数が多くなっているが、総パケット数の絶対値が小さいためにパケット衝突や帯域の圧迫が発生する可能性は低いと考えられる。双方の手法で車両台数が増加する通信量が増加している。これは、情報の生成数が車両台数に依存しているためだと考えられる。また、車両のコネクティビティが上がることで情報が中継される回数が増加したためだと考えられる。

図 10 に通信負荷を変化させたときの総パケット数の変化を示す。車両台数は 1000 台の環境の下評価している。SRS はどの通信負荷においても DDT+DF より少ない通信量であることが分かる。双方の評価とも通信負荷が小さいほど総パケット数は少ない。これは、1 台あたりの情報生成数が増えるためだと考えられる。

5. おわりに

本稿では、道路網構造に基づいた経路算出によるソースルーティング手法 SRS を提案した。各車両が道路網構造に基づいて基地局までの通信経路を算出することで、道路トポロジに沿った情報の伝搬を行える。また、車両トポロジの影響で情報の伝搬が困難な際に、通信経路を修復する

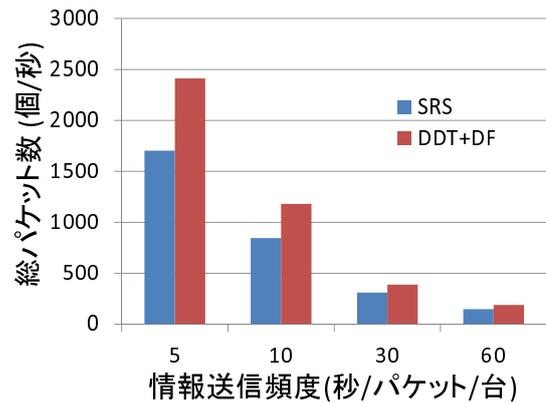


図 10 横浜 (日吉) における通信負荷を変化させたときの総パケット数の比較評価

ことで車両トポロジを考慮した情報の伝搬を行える。シミュレーションにより問題点の検証と提案手法の評価を行った。交通流シミュレータと通信シミュレータを用いてシミュレーションを構築し、より実環境に近いモデルで評価を行った。問題点の検証では、パケット到着率分布より道路トポロジや車両トポロジの影響で情報の損失が起きていることが観測された。パケット到着率の観点から、SRS は車両密度や通信負荷にかかわらず DDT+DF と同等以上の到着率を示し、SRS が有効な手法であることが示された。また、総パケット数の観点から、低車両密度下を除いて DDT+DF より低い通信量を示していた。よって、SRS は DDT+DF と比較して、少ない通信量で確実に情報を基地局へ伝搬できることを示し、SRS が有用な手法であることを示した。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 (B) 課題番号 25280032 (2013 年) の助成により行われました。また、一般財団法人 日本デジタル道路地図協会から全国デジタル道路地図研究用データをご提供頂きました。

参考文献

- [1] 国土交通省道路局: ITS スポット, http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/spot_ds/src/index.html (2014).
- [2] Bachir, A. and Benslimane, A.: A multicast protocol in ad hoc networks inter-vehicle geocast, *57th IEEE Semi-annual Vehicular Technology Conference (VTC 2003-Spring)*, Vol. 4, pp. 2456–2460 (2003).
- [3] Sun, M.-T., Chi Feng, W., Lai, T.-H., Yamada, K., Okada, H. and Fujimura, K.: GPS-based message broadcast for adaptive inter-vehicle communications, *52nd IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2000-Fall)*, Vol. 6, pp. 2685–2692 (2000).
- [4] Karp, B. and Kung, H. T.: GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks, *Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MobiCom '00*, New York, NY, USA, ACM, pp. 243–254 (online), DOI: 10.1145/345910.345953 (2000).
- [5] Lochert, C., Mauve, M., Fussler, H. and Hartenstein, H.: Geographic Routing in City Scenarios, *SIGMOBILE Mobile Computing and Communications*

- Review*, Vol. 9, No. 1, pp. 69–72 (online), DOI: 10.1145/1055959.1055970 (2005).
- [6] Tung, L.-C. and Gerla, M.: An efficient road-based directional broadcast protocol for urban VANETs, *2010 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, pp. 9–16 (online), DOI: 10.1109/VNC.2010.5698231 (2010).
- [7] Slavik, M. and Mahgoub, I.: Spatial Distribution and Channel Quality Adaptive Protocol for Multihop Wireless Broadcast Routing in VANET, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 12, No. 4, pp. 722–734 (online), DOI: 10.1109/TMC.2012.42 (2013).
- [8] Schwartz, R. S., Das, K., Scholten, H. and Havinga, P.: Exploiting Beacons for Scalable Broadcast Data Dissemination in VANETs, *Proceedings of the Ninth ACM International Workshop on Vehicular Inter-networking, Systems, and Applications, VANET '12*, New York, NY, USA, ACM, pp. 53–62 (online), DOI: 10.1145/2307888.2307899 (2012).
- [9] Le, A. N., Kum, D.-W., Lee, S.-H., Cho, Y.-Z. and Lee, I.-S.: Directional AODV Routing Protocol for Wireless Mesh Networks, *18th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pp. 1–5 (online), DOI: 10.1109/PIMRC.2007.4394647 (2007).
- [10] Chou, L.-D. and Yang, Y.-T.: Location-Based Directional Broadcast for Inter-Vehicle Communications, *72nd IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Fall)*, pp. 1–5 (online), DOI: 10.1109/VETEFCF.2010.5594431 (2010).
- [11] Spaho, E., Barolli, L., Mino, G., Xhafa, F. and Kolici, V.: VANET Simulators: A Survey on Mobility and Routing Protocols, *International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA)*, pp. 1–10 (online), DOI: 10.1109/BWCCA.2011.11 (2011).
- [12] Michoud, R., Orozco, A. and Llano, G.: Mobile ad-hoc routing protocols survey for the design of VANET applications, *IEEE Colombian on Intelligent Transportation Systems Symposium (CITSS)*, pp. 1–6 (online), DOI: 10.1109/CITSS.2012.6336684 (2012).
- [13] Trivedi, H., Veeraraghavan, P., Loke, S., Desai, A. and Singh, J.: Routing mechanisms and cross-layer design for Vehicular Ad Hoc Networks: A survey, *IEEE Symposium on Computers Informatics (ISCI)*, pp. 243–248 (online), DOI: 10.1109/ISCI.2011.5958921 (2011).
- [14] German Aerospace Center, Institute of Transportation Systems: SUMO - Simulation of Urban Mobility, <http://sumo-sim.org/> (2014).
- [15] Space-Time Engineering: Space-Time Engineering :labSimulator, <http://www.spacetime-eng.com/jp/labSimulator.html> (2014).
- [16] 一般財団法人日本デジタル道路地図協会 : デジタル道路地図, http://www.drm.jp/english/drm/e_index.html.
- [17] 国土地理院 : 基盤地図情報, <http://www.gsi.go.jp/kiban/>.
- [18] International Telecommunication Union: Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz (2007).