

情報散布に影響を与える複数の道路要素を考慮した RSU配置手法

五味 和良^{1,a)} 岡部 友介^{1,b)} 重野 寛^{1,c)}

受付日 2017年5月8日, 採録日 2017年11月7日

概要: 高度交通システム (ITS) では, 道路上に基地局として設置してある路側通信設備 (RSU) が通信に参加する路車間通信は車車間通信の弱い接続性を改善することが期待されている. しかし, RSU は多く配置しすぎると道路上のパケット衝突が発生してしまうため効率的な配置が必要になる. 現在, 交通量に着目して RSU を配置するという手法が多く提案されているが, 建物による電波遮蔽が発生する環境において, 必ずしも交通量のみが優れた RSU 配置の指標にならないことが考えられる. 本論文では, 情報散布に影響を与える道路要素を考慮した RSU 配置法を提案する. この方法は, 道路要素を考慮した RSU 配置優先度の計算と RSU 配置優先度の更新の 2 つの動作からなる. シミュレーションの結果, 本手法の通信性能は他の RSU 配置手法と同等かそれ以上であるため, 本提案は情報中継を考慮したシナリオにおいて特に有効であるという結果が得られた.

キーワード: 高度交通システム, 路車間通信, RSU 配置

RSU Placement Method Considering Some Road Elements Effecting Information Dissemination

KAZUYOSHI GOMI^{1,a)} YUSUKE OKABE^{1,b)} HIROSHI SHIGENO^{1,c)}

Received: May 8, 2017, Accepted: November 7, 2017

Abstract: In Intelligent Transportation System (ITS), communication with RoadSide Unit (RSU) is expected that weak connectivity of vehicle-to-vehicle communication can be improved since the power average of RSU is large. However, packet collision happens if too many RSUs placed. Therefore, it is necessary to effectively place minimum RSUs. Many opportunities to communicate with vehicles are at intersections with a lot of traffic volume. However, it is necessary to consider not only the traffic volume but also a connection relation of the road network because buildings prevent radio waves. In this thesis, we propose an RSU placement method considering road elements that affect radio wave spreading. This method consists of two actions: calculation of RSU placement priority with considering road elements affecting radio wave spreading and operation of updating RSU placement priority. As a result of simulation, our proposal is particularly effective in a scenario considering information relay because the communication performance of this method was higher than or equivalent to that of other RSU placements.

Keywords: intelligent transportation systems (ITS), vehicle-to-infrastructure, RSU placement

1. はじめに

近年, 交通安全と交通効率を向上させる高度交通システム (ITS: Intelligent Transportation Systems) の分野において, 車両どうしが直接通信を行う車車間通信や車両と道路上に設置されているインフラ設備の間で通信を行う路車間通信の研究が行われてきた. 車両に通信を行える車載

¹ 慶應義塾大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Keio University,
Yokohama, Kanagawa 223–8522, Japan

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

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

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

機が設置してあれば、アドホック通信が可能であるため、低コストで車車間通信が可能である。また、車両からなるアドホックネットワークは、VANET (Vehicular Ad-hoc NETWORKs) と呼ばれ、この VANET を利用した様々なアプリケーションが ITS の分野で研究されている。

ITS における VANET を含む車車間通信では、市街地のビルによって電波伝搬が遮断され車両が高速で移動するため車車間通信の接続が切れてしまう恐れがある。そのため、場合によっては通信の接続性が弱くなり車車間で十分な通信ができなくなるという問題が生じる。一方、路車間通信は道路上の基地局を介した通信を行うことにより車車間通信の問題点でもあった接続性の不安定さを改善できると期待されている。路車間通信の例として、路側通信設備 (RSU: RoadSide Unit) に最も近い車両のみが通信可能な電子料金収受システム (ETC: Electronic Toll Collection System) [1] と光車両検出器 [2] は現在実用化されているが、将来的には車両と RSU が情報を中継することにより、より堅牢な自動車ネットワークが形成され RSU とのネットワークを介して遠方の車両と通信することが可能になると考えられる。

RSU を配備し維持するためにはコストがかかるため、限られたコストの中で有効な RSU の設置を行うために交通量や道路構造を基に情報散布に適した交差点を選択し RSU を設置する必要がある。現在、RSU を配置するために、車両と RSU との間の通信量を増大させる目的で車両の交通量に基づいて RSU を配置するための方法が多く提案されている。具体的には、交通量の多い交差点に RSU を優先的に配置するというものである。しかし、優れた RSU 配置を実現するには RSU の配置を交通量以外の要素も考慮して行う必要がある。情報を中継して拡散することを前提とすると、RSU を効果的に配備するためには必ずしも交通量だけではなく、道路網の接続関係なども通信に影響を及ぼすと考えられる。

本論文では、RSU から送信された情報を周辺車両が中継を行うことにより広範囲に伝搬させることを目的として複数の道路要素を考慮した RSU 配置手法を提案する。本提案では、情報散布に影響を与える道路要素を考慮した RSU 配置優先度の算出と RSU 配置優先度の更新の 2 つの動作を行う。これら 2 つの動作により、交通量のみを考慮した RSU 配置手法よりも有効な RSU 配置が可能になると考えられる。本提案の評価は RSU による電波拡散への影響をシミュレーションを用いて行った。シミュレーションではパケット中継を行った場合と行わなかった場合の 2 つのシナリオについて評価を行った。評価には 3 つの異なる道路地図を用い、それぞれの道路地図において本提案と既存手法の比較を行った。

2 章では既存の RSU 配置手法とその問題点について述べ、3 章で本論文における提案手法の仕組みについて述べ

る。4 章で提案手法の有効性の評価について述べ、5 章で結論を述べる。

2. 関連研究

2.1 車車間通信とその問題点

高度交通システム (ITS) では車両が様々な情報を交換することで交通効率の向上と安全性の向上が図られているため、通信を途切れさせないことが重要となる。継続的に情報を共有することにより、車両は渋滞が予想される道路を回避し、事故が発生した地域に入ることを回避することができる。車両はこの情報交換において通信技術を利用するが、その際車両どうしがインフラ設備を介さず直接通信を行う技術は VANET と呼ばれている。しかし、VANET は各車両が互いの通信可能範囲内に入っている状態であれば情報の中継を行うことができないという問題点が存在する。

ITS の分野においてこの VANET を用いた情報伝送プロトコルが提案されているが [3], [4], [5], その中で最も単純なものがフラッディングである。フラッディングでは送信車両からの情報を受け取った車両はすべて中継を行うため、情報を広範囲に伝搬させるうえでは最も早い手法といえる。しかし、フラッディングは大量の車両が情報の送信を行うことになるため帯域圧迫によって通信が困難になってしまうブロードキャストストームが発生する恐れがある。また、フラッディングでは各車両が互いに通信可能な範囲内にいない限り、車両はパケットを中継できない。また、VANET に用いられる通信規格の 1 つとして IEEE802.11p がありその周波数は 5.9 GHz を用いている。この通信規格による電波は直進性が高いため建物などによって電波をさえぎられてしまうと電波が目的の車両まで届かない可能性もある。そのため、車両の密度が小さい場合や建物が電波の伝播を妨げる場所に位置する場合には、車車間通信を用いて情報を伝播することは困難となる問題がある。

車車間通信では効果的な電波拡散を行えない問題が存在するため、その問題点を解決するために RSU が注目されている [6], [7], [8]。道路構造が単純な場合と複雑な場合の電波伝搬範囲を図 1 に例として示す。ここでは単純な道路

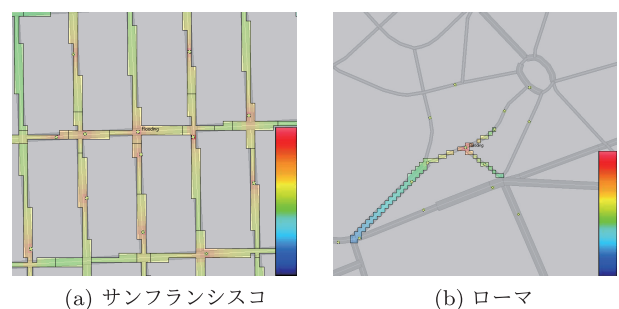


図 1 サンフランシスコとローマにおける電波拡散範囲 [6]
Fig. 1 Information dissemination in San Francisco and Rome.

構造のマップとしてサンフランシスコ、複雑な道路構造のマップとしてローマを用いたが、図の結果より単純な道路構造のマップでは広範囲に電波を拡散させることができているのに対し曲線が多く道路セグメントの長さも不均一なマップにおいては電波を広範囲に伝搬させることができていないことが分かる。

2.2 RSU による中継と既存の RSU 配置手法

RSU は、ITS における電気通信のインフラ設備であり、道路わきに設置され、車両に対して情報の送受信を行うものである。さらに、RSU が受信した情報はバックボーンネットワークを介してサーバによって処理され、RSU は、その情報を周囲の車両に送信する。現在、日本に設置されている RSU の利用例としては、ETC (Electronic Toll Collection System) [1], 光車両検出器 [2] などがあげられる。

RSU は車車間通信における接続性維持の問題を解決できると考えられている一方、車載通信機器が多くの車両に搭載されると通信量が爆発的に増加すると考えられる。その際にバックボーンネットワークを介して中央サーバと情報を交換する RSU が多数配備されていると、通信量が多いため遅延が発生したり、サーバがダウンしたりする可能性がある。したがって、以上のような問題を避けるために限られた数の RSU をより多くの車両と通信できるように効果的に配置する必要がある。

限られた RSU を効果的に利用するために RSU 配置の多くの方法が研究されている。Zheng ら [9] は広告を配信するために交通量に基づいて RSU を配置するアルゴリズムを提案している。この論文においては、各交差点について交通量の多い順に高い RSU 配置優先度を与えることによって、車両が情報を受信する機会が多い場所に RSU を配置している。Chi ら [10] の提案では、RSU が配備されている交差点の周りに追加の RSU を配備しないように制御している。これは RSU 優先度の高い交差点が 1 カ所に集中することを防止するためである。また、Brahim ら [11] は接続性に焦点を当て、通信ができるだけ長く続くように RSU を配置するアルゴリズムを提案しており、Patil ら [12] は交通信号の有無に基づいて RSU を配置する RSU 配置を提案している。文献 [13], [14], [15] では高速道路に対しての RSU 配置手法について述べており、Massobrio ら [16] は遺伝的アルゴリズムを用いて配置を行っている。

以上のように RSU の配置手法の提案は多くあるが、以上の論文では道路構造に対する電波拡散の影響について考慮されていないためより適切な RSU 配置手法とするためのさらなる向上の余地があると我々は考える。建物が道路の近くに建っており電波の透過が遮断される場合を考えると、道路区間の接続関係や道路の長さなどの道路要素によっても電波拡散の範囲が大きく変化すると考えられる。

そのため、等しい交通量の交差点を比較しても電波拡散範囲は大きく異なる可能性がある。よって、交差点の交通量だけでは RSU 配置の指標として不十分であり、交通量に加えて情報散布に影響を与える道路要素を考慮する必要がある。

3. 提案手法

本論文では、情報散布に影響を与える複数の道路要素を考慮した RSU 配置手法を提案する。本提案における動作は RSU 配置優先度の計算、RSU 配置優先度の更新の 2 つからなる。RSU の配置優先度の計算では、交通量に限らず様々な道路要素を考慮して RSU の優先度を算出することにより、情報散布に適した交差点を優先度の高い交差点として判断する。RSU 配置優先度の更新動作は、すでに設置されている RSU の位置に基づいて周辺交差点の RSU 配置優先度を下げる動作である。これにより、RSU の冗長配置を抑制することができ、通信範囲の重複を防ぐことができる。これらの 2 つの動作により、本提案は道路要素による情報散布への影響を考慮しながら、冗長配置を抑制した効果的な RSU 配置を可能にする。

3.1 RSU 配置優先度の計算

まず、交差点における RSU 配置優先度の計算を行うためには情報散布に影響を与える道路要素を選出する必要がある。そのために、本論文ではまず道路網を構成している道路要素として 21 の要素を選出した。選定方法として、まず交通量やマップの中心からの距離を要素の 1 つとし、それ以外は主に道路セグメントの長さや接続角によって道路網は形成される。よって、我々は道路セグメントの長さや接続角、そしてそれを組み合わせた要素を考案し、それを道路要素として合計 21 種類選出した。その結果を表 1 に示す。

表 1 の中から電波拡散への影響が大きい道路要素を選択するために実際の道路地図を用いてそれぞれの要素の電波拡散との相関の調査を Correl 関数を用いて各交差点の交通量とその交差点における優先度 p_i の間の相関係数を測定することで行った。相関係数の測定はすべての道路要素に対して行ったが、ここではその結果の一部を図 2 に示す。使用した地図データは単純な道路構造としてマンハッタン、複雑な道路構造としてローマ、その中間としてベルリンの 3 つである。なお本論文では、相関が強いと判断する最小相関係数を 0.3 とした。図 2 では、道路要素のうち $traffic$, $n_Straight$, n_Inter4 はすべての道路地図において受信した車両数との相関があると判断できるため、これらの道路要素は優先度の計算に利用できると判断される。なお、 $traffic$ は交差点の交通量、 $n_Straight$ は交差点に接続している道路セグメントの数、 n_Inter4 は接続道路セグメントのうちもう一端が四叉路である道路セグメントの数

表 1 道路要素

Table 1 Road elements and description.

注目要素	要素名	説明
交通量	<i>traffic</i>	単位時間内に通った車両台数の平均
接続する道路セグメント数	<i>n_Seg</i>	接続道路セグメントの数
	<i>n_Inter4</i>	<i>n_Seg</i> のうち、もう一端が $n_Seg = 4$ である交差点を持つ道路セグメントの数
	<i>p_Inter4</i>	<i>n_Seg</i> に対する <i>n_Inter4</i> の割合
接続する道路セグメントの長さ	<i>ave_Len_Seg</i>	接続された全道路セグメントの長さの平均
	<i>total_Len_Seg</i>	接続された全道路セグメントの長さの合計
	<i>d_Seg</i>	接続された全道路セグメントの長さの標準偏差
道路セグメントの接続角度	<i>ABS90</i>	道路セグメントの各接続角と 90° との差の合計
	<i>ABS90+</i>	交差点の周り 360° をある接続角度を起点として、 90° ずつ分割し、その分割と各接続角の差の合計が最小となる分割における差の合計
	<i>ABS90 + _no_overlap</i>	<i>ABS90+</i> において任意の分割に対して、接続角の重複を許容しない場合の、分割と各接続角の差の合計
	<i>ABS180</i>	道路セグメントの接続角のうち最も 180° に近くなる道路セグメントのペア1つと 180° との差
	<i>ABS180_pair</i>	道路セグメントの接続角と 180° の差の合計が最小となる、重複のない道路セグメントのペアと 180° との差の合計
	<i>ABS180_pair_even</i>	<i>ABS180_pair</i> から3差路の場合を除いたもの
	<i>d_A</i>	接続角の標準偏差
各道路セグメントの角度	<i>n_u - deg10</i>	接続された道路セグメントのうち、角度が 10° 以下の道路セグメントの数
	<i>n_u - deg5</i>	接続された道路セグメントのうち、角度が 5° 以下の道路セグメントの数
	<i>n_Straight</i>	接続された道路セグメントのうち、直線の道路セグメントの数
	<i>p_u - deg10</i>	接続された道路セグメントのうち、角度が 10° 以下の道路セグメントの割合
	<i>p_u - deg5</i>	接続された道路セグメントのうち、角度が 5° 以下の道路セグメントの割合
	<i>p_straight</i>	接続された道路セグメントのうち、直線の道路セグメントの割合
地図の中心からの距離	<i>center</i>	地図の中心（抽出領域の対角線の交点）からの距離

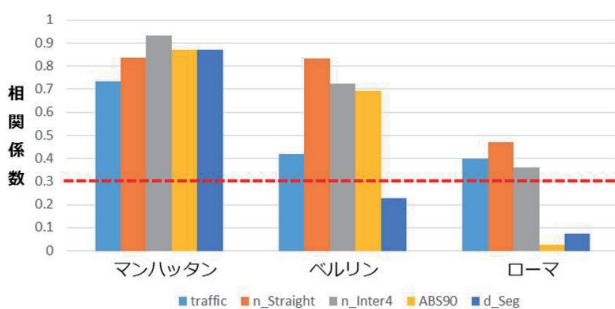


図 2 各道路地図における道路要素の相関係数の比較

Fig. 2 Correlation coefficient between number of packet received and traffic volume.

を表している。同じ注目要素に含まれる異なる道路要素がRSU優先度計算のために利用されている場合、同様の道路要素が重複してRSU配置優先度に影響を及ぼす可能性がある。したがって、相関係数が0.3を超えていてもRSU配置優先度の計算には同じ分類の相関係数が最も高い道路要素のみを使用する。また、図2から道路要素が同じであっ

ても道路地図によって相関係数の大きさが異なることが分かる。また、相関係数の大小関係も道路地図によって異なることが読み取れる。これらの事実から、3つの道路要素の重みの大小関係は道路地図に従って変化するため本論文では考慮しないこととする。

以上の結果をふまえて、交差点 i のRSU配置優先度 p_i の計算式を式(1)に示す。

$$p_i = w_1 \frac{1}{t_{max}} t_i + w_2 \frac{1}{s_{max}} s_i + w_3 \frac{1}{I_{max}} I_i \quad (1)$$

式(1)において、 t_i は交差点 i における *traffic*, s_i は *n_Straight*, I_i は *n_Inter4* を表している。 w_1 から w_3 は重みづけの係数であるが、本論文では3つの道路要素の重みを考慮しないためこれらの値はすべて $1/3$ とする。

図3, 図4, 図5の3つはそれぞれの都市に対して各交差点での受信車両数による優先度 p_i と交通量の変化を示している。このシミュレーションにおける受信車両とは、RSUから散布された情報を直接受信できた車両となる。こ

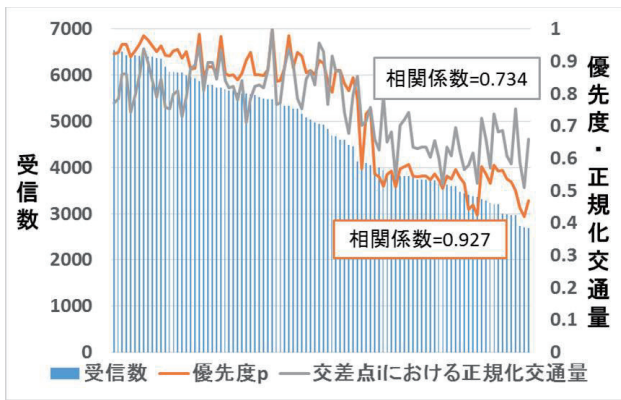


図 3 受信数に対する優先度と交通量の相関 (マンハッタン)
 Fig. 3 Correlation between reception number and traffic volume and priority (Manhattan).

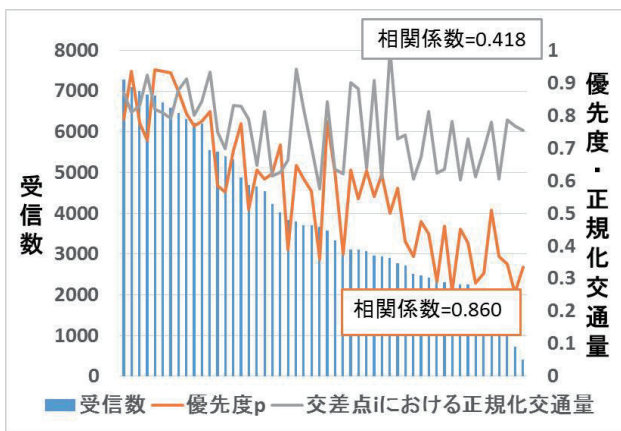


図 4 受信数に対する優先度と交通量の相関 (ベルリン)
 Fig. 4 Correlation between reception number and traffic volume and priority (Berlin).

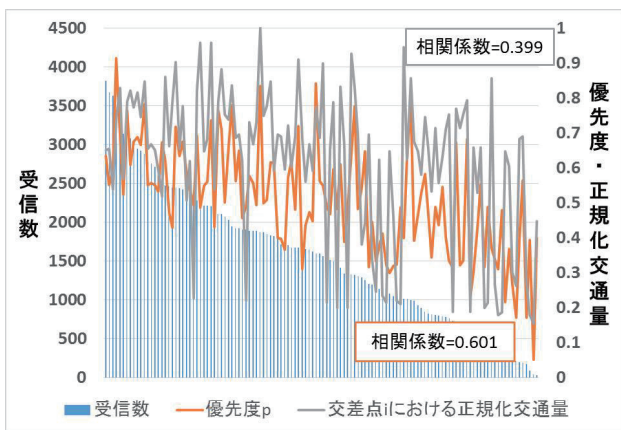


図 5 受信数に対する優先度と交通量の相関 (ローマ)
 Fig. 5 Correlation between reception number and traffic volume and priority (Rome).

これらの図において左の縦軸は受信車両数を表し、棒グラフで表されている。右の縦軸は、優先度 p_i と 0~1 との間で正規化された交通量を表している。これらのグラフより、すべての道路地図において優先度 p の相関係数が交通量との相関係数よりも高い値となっているため本提案が交通量

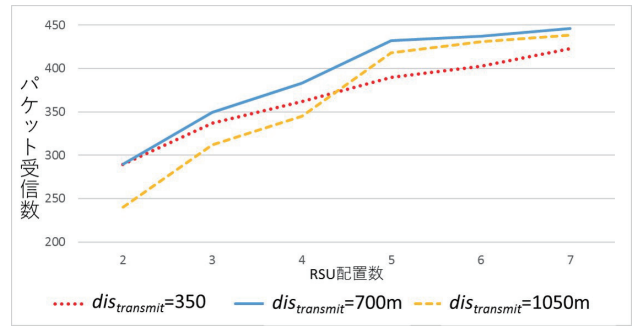


図 6 $dist_{transmit}$ の値の評価
 Fig. 6 Evaluation of $dist_{transmit}$.

のみを基に優先度を計算する手法よりも適切であることが分かる。

3.2 RSU 配置優先度の更新

RSU を効果的に配置し、パケット衝突のリスクを抑制するためには RSU 配置優先度を各交差点ごとに計算するだけでなく近くの交差点どうしの優先度関係を基に RSU 優先度を修正する必要がある。その理由は、単純に優先度の高い順に RSU を配置してしまうと RSU が部分的に集中してしまい、その付近の車両は同じ情報を複数の RSU から受信するという冗長な情報伝達を引き起こす可能性があるためその部分のパケット負荷が増大してしまう恐れがあるからである。そのために、本論文では配置された RSU の通信範囲内にある交差点の優先度を下げることにより冗長な RSU 配置を防ぐ手法を用いる。

交差点 i における修正後の RSU 配置優先度 p_{i_new} を式 (2) で表す。

$$p_{i_new} = \min \left(p_i \times \frac{dis_{RSU}}{dis_{transmit}}, p_i \right) \quad (2)$$

ここで dis_{RSU} は交差点 i とその最も近くに配置された RSU との間の距離を表し、 $dis_{transmit}$ は優先順位の減衰が始まる距離の閾値を表している。 $dis_{transmit}$ の値は文献 [17] に準拠してシミュレーションを行うことで導き出し、その結果を図 6 に示す。シミュレーションにおいて 1 ホップにおける電波の到達可能範囲は 350 m であるため、3 ホップだと最大 1,050 m まで電波を到達させることができる。シミュレーションにおいて 350 m, 700 m, 1,050 m のうちのどの値を $dis_{transmit}$ にすれば最適な RSU 配置優先度更新が行えるか判断する。

シミュレーション結果を見ると、 $dis_{transmit}$ の値を 700 にしたときが最もパケット受信数が増えるという結果が得られた。よって、本提案における $dis_{transmit}$ の値は 700 とする。

4. シミュレーション評価

4.1 シミュレーションシナリオと評価対象

本提案の有効性を評価するために本論文では 2 種類のシ

表 2 各手法の比較

Table 2 Comparison of each method.

比較要素	既存 A	既存 B	提案
利用情報	交通量	交通量	交通量 + 2 要素
配置アップデート	なし	あり	あり

ナリオを用いてシミュレーションを行った。

● シナリオ 1

500 台の車両はすべてパケットを中継することはできず、RSU の前を移動する車両のみパケットを受信することができる。シミュレーション時間は 600 秒で各 RSU は 1 秒おきに情報の送信を行う。RSU の数は 1 台から 10 台まで変化させた。

● シナリオ 2

500 台の車両はすべてパケットを中継することができ、RSU の通信可能範囲、または中継車両の通信可能範囲内にある車両はパケットの受信ができる。パケットは 3 ホップまで中継することができる。シミュレーション時間は 130 秒であり各 RSU はシミュレーション開始 120 秒後に 1 度だけ情報の送信を行う。RSU の数は 1 台から 20 台まで変化させた。

以上が今回のシミュレーションシナリオとなる。シナリオ 1 では情報の送信が行えるのは RSU だけであるため RSU 配置の効率を評価でき、シナリオ 2 では車両が中継を行うため冗長な配置を抑制することの有効性を評価できる。次に、シミュレーションにおける本提案の比較対象について説明する。本論文では既存手法として 2 つの RSU 配置手法を用いる。この 2 つを既存手法 A、既存手法 B とする。以下、それぞれの手法について説明する。

● 既存手法 A [9]

RSU 配置を交通量のみを基に行う手法。交通量の多い交差点から順に RSU を配置し、冗長な RSU 配置に対する防止は行っていない。以下、「既存 A」と表記する。

● 既存手法 B [10]

RSU 配置を交通量のみを基に行うが、冗長な RSU 配置を避けるために配置された RSU から一定の距離内にある RSU の優先度を 0 に設定する。なお、ここでは 1 ホップの送信可能範囲である 350 m となる。以下、「既存 B」と表記する。

以上の既存手法と本論文における提案手法それぞれの特徴を表 2 にまとめる。

次に、シミュレーションにおける評価指標について説明する。本論文では RSU 配置手法の優劣を 3 つの手法について比較するうえで、RSU の設置数に対するマップ上の車両のパケット受信率を評価指標とする。本論文では優れた RSU 配置手法の定義をより少ない RSU で多くの車両がパケットを受信できることとしているため、少ない RSU 設

表 3 評価パラメータ

Table 3 Evaluation parameters.

同一パラメータ	
シミュレータ	Scenargie2.0 [19]
車両数	500
車両の速度	15~30 km/h [20]
電波伝搬モデル	ITU-R.P.1411 [18]
周波数	5.9 GHz
帯域幅	10 MHz
通信規格	IEEE 802.11p
モビリティモデル	Random Way Point
シナリオ 1 におけるパラメータ	
シミュレーション時間	600 s
RSU 設置数 (N)	1~10
パケット送信量	600
最大中継数	1
伝送電力	20 dBm
シナリオ 2 におけるパラメータ	
シミュレーション時間	130 s
RSU 設置数 (N)	1~20
パケット送信量	1
最大中継数	3
伝送電力	20 dBm

置数でより多くのパケット受信率を得られた手法が優れた手法となる。

最後に、今回のシミュレーションにおける各種パラメータを表 3 に示す。評価では、シミュレータに Scenargie2.0 [19] を用いた。今回行ったシミュレーションにおいては、道路以外の部分には車両の高さより高い建物が建っており、車両および RSU はその建物を透過して通信を行うことはできないという前提で行った。電波伝搬モデルには ITR-R.P.1411 [18] を用いており、このモデルを用いることにより建物による電波遮蔽や反射を考慮した通信を行うことができる。また、車両のモビリティはすべてランダムで行ったため、実際の車両の動きとは差異が生じる。

4.2 シミュレーションマップ

今回提案手法の評価を行うために 3 つのシミュレーションマップを用意した。使用したマップはサンフランシスコ、クラクフ、上海であり、OSM [21] を用いてそれぞれ 1,500 m × 1,500 m の範囲で抽出した。道路要素の選定において利用したマンハッタン、ベルリン、ローマの 3 つのマップを利用しない理由は、本提案に用いている道路要素はその 3 つのマップにおいて相関が高く、電波伝搬に大きく影響を与える要素であるため、選定した道路要素が別のマップでも有効であることを評価するために道路要素の選定のシミュレーションと別のマップを利用した。図 7 にそれぞれのマップと配置した RSU を示す。

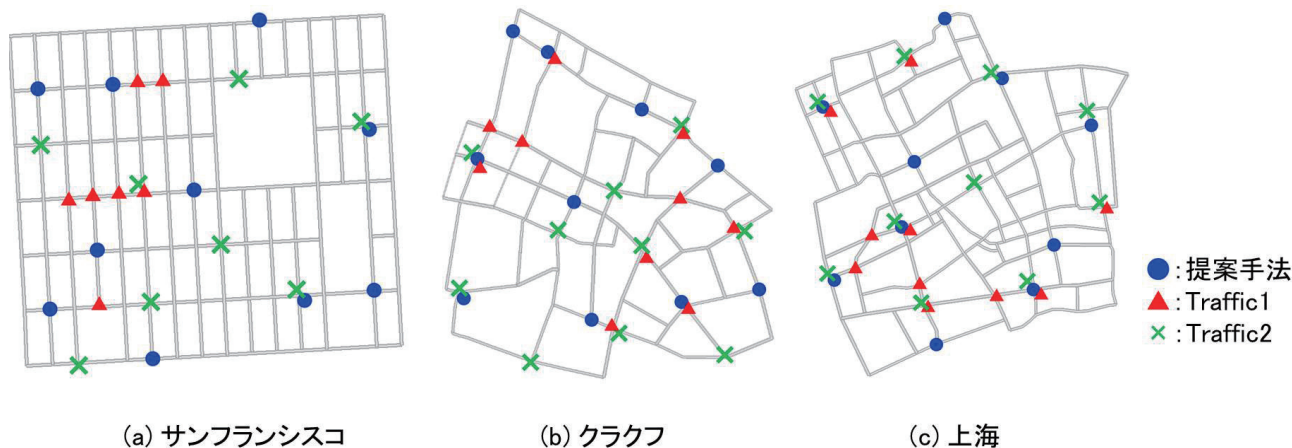


図 7 シミュレーションマップ
Fig. 7 Evaluation maps.

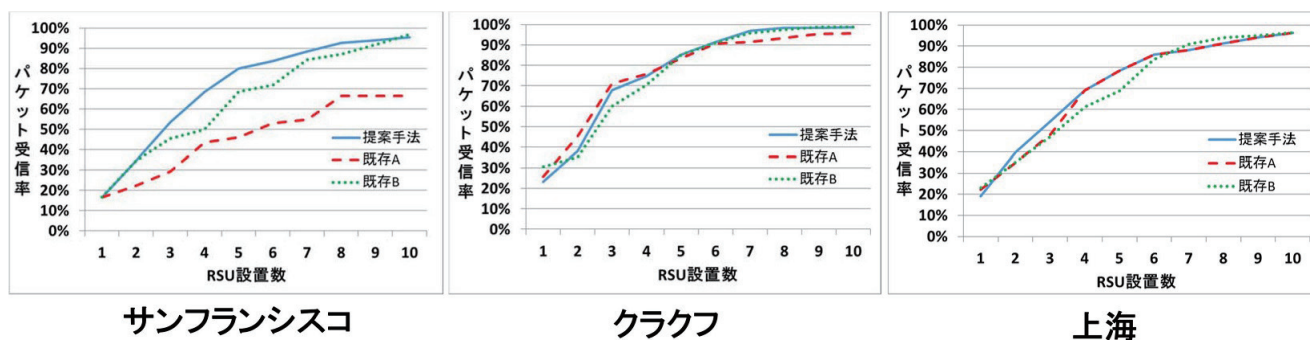


図 8 シミュレーション結果 (シナリオ 1)
Fig. 8 Simulation results (Scenario 1).

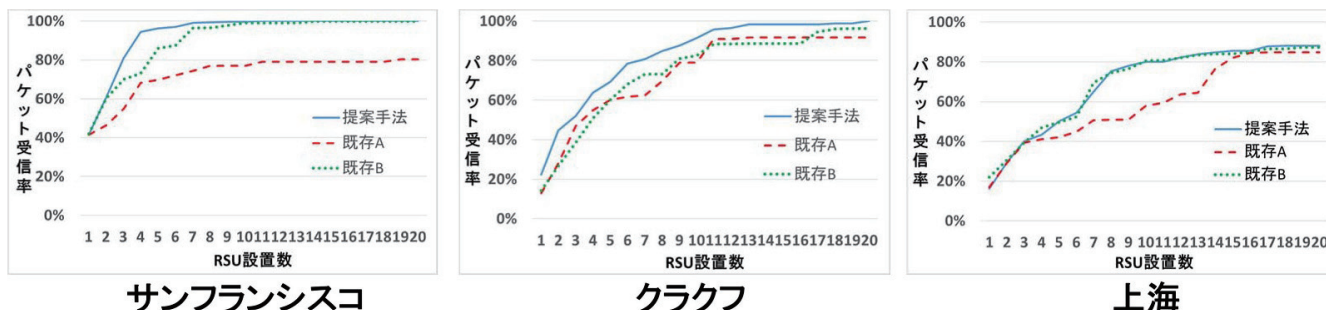


図 9 シミュレーション結果 (シナリオ 2)
Fig. 9 Simulation results (Scenario 2).

4.3 シミュレーション結果

それぞれのシナリオにおけるシミュレーション結果を図 8, 図 9 に示す. 図におけるグラフは横軸を RSU 設置数, 縦軸をパケット受信車両数となっている. 本論文における優れた RSU 配置手法とは少ない設置数でより高いパケット受信率を得ることができる手法となっているため, グラフにおいては RSU 設置数に対する各手法におけるパケット受信率を比較していく. 少ない設置数において他の手法より高いパケット受信率を得られている手法がすぐれた配置手法であるといえる.

車両による情報の中継が行われないシナリオ 1 において, 図 8 より提案手法は既存 A, 既存 B と比べて受信率が

高くなっているかほぼ同等といえることが読み取れる. 特に, 単純な道路構造であるサンフランシスコについては提案手法の効果が大きく現れている. まず, サンフランシスコのグラフを見てみると, 既存 A が最も低い値であり, 既存 B は提案手法より平均的にやや低い値となっていることが読み取れる. サンフランシスコの道路地図はグリッド状となっており, 提案手法において考慮した $n_Straight$ や n_Inter4 がどの交差点においてもほぼ変わらない. そのためこの地図については交通量が優先度計算に関わることになるため, 今回の結果は RSU 配置優先度の更新作業によって差が生じたといえる. また, 同じ更新作業を行っている既存 B においては情報を受信する機会は RSU からの

距離に依存するにもかかわらずRSUからの距離を無視して通信範囲内のRSUの優先度をすべて0にしてしまっているため提案手法よりも低い値となったと考えられる。クラクフや上海のような複雑な道路構造の地図については、RSU設置数が少ない段階では既存A、Bよりも低い値となった。これは、シナリオ1において情報の受信をできるのがRSUの近くを通った車両だけなので交通量が多い交差点にRSUを設置したほうが受信量が多くなるからである。しかし、設置数が6を超えるとRSU配置の更新動作の効果が大きく現れるため、結果として提案手法が既存手法と比べて同等な性能となったといえる。

車両が情報の中継を行うシナリオ2においては、図9より、サンフランシスコやクラクフにおいては提案手法が最も優れた性能であり、上海では既存Bと同等の性能であることが分かる。まず、サンフランシスコについてはシナリオ1で述べたようにグリッド状の地図であるため道路要素として関わってくるのは交通量のみであるといえる。したがって、RSU設置数が1のときはすべて同じ受信率となる。しかし、RSUの数が増えるとRSU配置の更新を行わなければ冗長な通信を行ってしまうため、更新動作を行っていない既存Aは最も低い受信率のまま収束する。また、既存Bについても更新動作の際にRSUからの距離を考慮していないことによりRSUが少ないときには提案手法よりも低い受信率となったため、提案手法は最も有効であるといえる。次に、クラクフの結果を見てみると全体を通して提案手法が最も高い受信率となっていることが分かる。既存Aと既存Bの値はあまり差がないため、クラクフのような標準的な複雑度の地図ではRSU配置の更新動作はあまり関わってこないといえる。そのため、交通量だけでなく道路網の構造を考慮した本提案が最も高い性能となったと結論づけられる。最後に、上海の結果を見てみると、既存Aが最も低い値となり、提案手法と既存Bがほぼ同じ値となっていることが分かる。つまり、複雑な道路構造の地図においてはRSU配置優先度の更新が重要となるが優先度の低下に距離を考慮してもあまり効果が現れないといえる。

以上のことから、本提案は総合的に既存手法に対して同等以上の性能を発揮しており、特に車両が中継を行うシナリオ2においては配置のアップデートにより冗長なRSU配置を抑制することでパケット受信率の改善に大きく貢献しているという結論が得られる。

5. おわりに

本論文では、情報散布に影響を与える複数の道路要素を考慮したRSU配置手法を提案した。本提案は情報散布に影響を与える複数の道路要素を考慮したRSU配置優先度の計算と配置されたRSUの通信範囲内のRSUの優先度更新の2つの動作からなる。優先度の計算は交通量、接続

道路セグメント数、その中でもう一端が四叉路になっているものの数を基に行い、優先度の更新は設置したRSUの通信範囲内にある別のRSUをその間の距離を基に優先度を下げる処理を行った。シミュレーション評価の結果、本提案は車両が情報の中継する場合において既存手法に対する有効性が大きく現れ、すべてのマップにおいて既存手法と比較して同等以上の結果を得ることができたため、総合的に本提案が既存手法の改善に貢献しているという結論が得られる。また、今回は式(1)において道路要素に対する重みづけをすべて統一して計算を行っているが、その重みをマップの道路構造によって適切に変化させることを今後の課題としており、マップの道路構造に対して適した重みづけを行うことで今回の結果よりもより提案手法の有効性が現れると見込める。

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] Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: Trends in usage of ETC, available from (<http://www.mlit.go.jp/road/yuryo/riyou.pdf>) (2014).
- [2] Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: ETC2.0 (radio beacon 5.8 GHz), available from (<http://www.vics.or.jp/know/service/etc2.html>) (2015).
- [3] Bhuiyan, M.M. and Salim, S.M.: Density aware broadcasting scheme for VANET, *Proc. 17th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*, pp.467–471 (Oct. 2011).
- [4] Sou, S.-L. and Lee, Y.: SCB: Store-Carry-Broadcast Scheme for Message Dissemination in Sparse VANET, *Proc. 2012 IEEE 75th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, pp.1–5 (May 2012).
- [5] Kikuchi, R. and Sato, F.: Hybrid routing scheme according to Geo routing and DTN in VANET, *The 78th National Convention of IPSJ*, pp.189–190 (Mar. 2016).
- [6] Yanagida, R., Obara, K., Ogawa, K. and Shigeno, H.: An analysis of road maps based on voronoi diagram for vehicular broadcast, *Proc. 2015 10th International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA)*, pp.150–156 (Nov. 2015).
- [7] Fogue, M., Garrido, P., Martinez, F.J., Cano, J.C., Calafate, C.T. and Manzoni, P.: Pawds: A roadmap profile-driven adaptive system for alert dissemination in VANETs, *Proc. 2011 IEEE 10th International Symposium on Network Computing and Applications*, pp.1–8 (Aug. 2011).
- [8] Fogue, M., Garrido, P., Martinez, F.J., Cano, J.C., Calafate, C.T. and Manzoni, P.: An adaptive system based on roadmap profiling to enhance warning message dissemination in VANETs, *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol.21, No.3, pp.883–895 (2013).
- [9] Zhengm, H. and Wu, J.: Optimizing roadside advertisement dissemination in vehicular cyber-physical systems, *Proc. 2015 IEEE 35th International Conference on Distributed Computing Systems*, pp.41–50 (June 2015).
- [10] Chi, J., Jo, Y., Park, H. and Park, S.: Intersection-priority based optimal RSU allocation for VANET, *Proc.*

2013 5th International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), pp.350–355 (July 2013).

- [11] Brahim, M.B., Drira, W. and Filali, F.: Roadside units placement within city-scaled area in vehicular ad-hoc networks, *Proc. 2014 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE)*, pp.1010–1016 (Nov. 2014).
- [12] Patil, P. and Gokhale, A.: Voronoi-based placement of road-side units to improve dynamic resource management in vehicular ad hoc networks, *Proc. 2013 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*, pp.389–396 (May 2013).
- [13] Liya, X., Chuanhe, H., Peng, L. and Junyu, Z.: A randomized algorithm for roadside units placement in vehicular ad hoc network, *Proc. 2013 IEEE 9th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks*, pp.193–197 (Dec. 2013).
- [14] O’Driscoll, A. and Pesch, D.: Hybrid geo-routing in urban vehicular networks, *Proc. 2013 IEEE Vehicular Networking Conference*, pp.63–70 (Dec. 2013).
- [15] Wu, T.J., Liao, W. and Chang, C.J.: A cost-effective strategy for road-side unit placement in vehicular networks, *IEEE Trans. Commun.*, Vol.60, No.8, pp.2295–2303 (2012).
- [16] Massobrio, R., Bertinat, S., Nesmachnow, S., Toutouh, J. and Alba, E.: Smart placement of RSU for vehicular networks using multiobjective evolutionary algorithms, *Proc. 2015 Latin America Congress on Computational Intelligence (LA-CCI)*, pp.1–6 (Oct. 2015).
- [17] Japan Automobile Research Institute: ITS communication simulation evaluation scenario (ver. 1.2), available from http://www.jari.or.jp/Portals/0/resource/pdf/H23_simyu/%EF%BC%88-Ver1.2%EF%BC%8920131010.pdf (2012).
- [18] ITU-R P.1411-7: 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, International Telecommunication Union, Recommendation (2013).
- [19] Owada, Y., Maeno, T., Kaneda, S., Hisanaga, R. and Takai, M.: Realistic ITS Simulation with Scenargie Simulator, *Proc. IPSJ DICOMO*, pp.233–234 (2008).
- [20] Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: Travel speed of the three major cities, available from <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/data/107.pdf> (2010).
- [21] Mordechai, H. and Patrick, W.: OpenStreetMap: User-Generated Street Maps, *IEEE Pervasive Computing*, Vol.7, No.4, pp.12–18 (2008).



岡部 友介 (学生会員)

2017 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在、同大学大学院理工学研究科前期博士課程在籍中。ITS の研究に従事。



重野 寛 (正会員)

1990 年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。1997 年同大学大学院理工学研究科博士課程修了。現在、同大学理工学部教授。博士 (工学)。情報処理学会学論文誌編集委員、同高度交通システム研究会幹事等を歴任。現在、情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会主査、Secretary of IEEE ComSoc APB。ネットワーク・プロトコル、ITS 等の研究に従事。著書『情報学基礎第 2 版』(共立出版) 等。電子情報通信学会、IEEE、ACM 各会員。



五味 和良 (学生会員)

2016 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在、同大学大学院理工学研究科前期博士課程在籍中。ITS の研究に従事。