

車両間ブロードキャストのための ボロノイ領域を利用した道路網構造の複雑度分析

柳田 諒^{1,a)} 小原 啓志^{1,b)} 小川 紘基^{1,c)} 重野 寛^{1,d)}

概要: 車両間アドホックネットワーク (VANET) において周辺車両への情報散布はブロードキャストといい、その最も単純なプロトコルはフラッディングである。フラッディングではすべての車両がパケットを中継するため、通信帯域の圧迫やパケット衝突といった問題が発生する。従って、過剰な中継を抑制するブロードキャストプロトコルが必要である。現在様々なブロードキャストプロトコルが開発されており、フラッディングに比べて冗長な中継を削減した情報拡散が可能である。しかし、パケットの到達率やオーバーヘッドはブロードキャストに使用するプロトコルだけでなく道路網構造にも左右される。そのため、道路網構造の電波伝播特性を分析することが必要である。本稿では、道路網構造における交差点の分布に着目して、その複雑度を算出する手法を提案する。また、算出された複雑度を反映させたブロードキャストプロトコルの性能をシミュレーションを用いて評価することで、複雑度の有用性を示す。

An Analysis of Roadmap Using Voronoi Area for Vehicular Broadcast

YANAGIDA RYO^{1,a)} OBARA KEIJI^{1,b)} OGAWA KOKI^{1,c)} SHIGENO HIROSHI^{1,d)}

Abstract: In Vehicular Ad-hoc Network, A method of data dissemination is Broadcast, and its simplest protocol is flooding. Flooding causes broadcast storm problems, because all vehicles relay received packets. Since, broadcast protocol that control redundant relay are necessary. Today, many broadcast protocols are developed and they can disseminate data with lower redundant relay than flooding. But, the packet reception rate and its overhead depend on not only the broadcast protocol, but also the structure of roadmap. Since, It is necessary to research the radio-wave propagation character of each roadmap. In this paper, we propose the method of analysis the roadmap complexity by deviation of intersection distribution. And, show its utility by measurement of the broadcast protocol with the complexity calculated by propose.

Keywords: VANET, Broadcast, Complexity, Voronoi Diagram

1. はじめに

近年、高度交通システム (Intelligent Transportation Systems: ITS) の研究が盛んに行なわれている。これは情報技術を用いて自動車社会をより安全で便利にする技術のことである [1-3]。その中でも車両同士によって形成されるアドホックネットワークは車両間アドホックネットワーク

(Vehicular Ad-Hoc Networks: VANET) と呼ばれ、様々なアプリケーションへの適用が期待されている。

この VANET における周辺車両への情報拡散手法をブロードキャストといい、これは車両が受信パケットの中継を行なうことで周辺車両に情報を拡散する手法である。このブロードキャストにおける最も単純なプロトコルはフラッディングであり、これは情報を受信したすべての車両が中継を行なうプロトコルである。そのため冗長な中継が行なわれ、帯域圧迫やブロードキャストストームといった問題が生じる [4]。そこで、ブロードキャストの冗長な中継を抑制するプロトコルが考案された。それらのブロードキャストプロトコルでは、情報拡散に関する複数のパラメータを

¹ 慶應義塾大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Keio University
a) yanagida@mos.ics.keio.ac.jp
b) obara@mos.ics.keio.ac.jp
c) ogawa@mos.ics.keio.ac.jp
d) shigeno@mos.ics.keio.ac.jp

変化させることで、中継の制御を細かく設定することができる。

しかし、適切なパラメータセットの設定により冗長な中継を抑制することが可能となる一方で、中継の過剰な抑制は広範囲への情報拡散に必要な中継までも抑制する可能性がある。そのためこの情報拡散と中継制御のバランスをとることが重要となる。この情報拡散と中継制御の適切なバランスは、特定の値ではなく、情報拡散が行なわれる道路地図によっても異なると考えられる。それは道路地図の電波伝播特性がその道路網構造によって大きく変化するためである。したがって道路網構造を分析し、それに合わせてパラメータを設定する必要ある。

この道路網構造分析に関する既存手法では、道路セグメント密度と交差点密度に基づいて道路網構造の複雑度を3つのグループに分類している。それぞれの分類において、異なるブロードキャストプロトコルとそのパラメータを使用することで、道路環境に合わせたブロードキャストが可能となる。しかし、「道路セグメント密度」と「交差点密度」が等しい道路網構造でも、電波伝播特性が異なる場合があり、適切なパラメータ設定ができない可能性がある。そのため、道路網構造分析の新しい要素を定義する必要がある。

本稿では交差点分布に基づいて道路地図の分析を行なう手法 ARC-DID (Analysis Roadmap Complexity by Deviation of Intersection Distribution) を提案する。本手法では電波伝播特性と交差点分布に相関があることに着目し、ポロノイ図を利用して交差点分布を分析する。この交差点分布をもとに、道路網構造の複雑度を算出する。この複雑度によって、道路網構造にあわせたブロードキャストが可能となる。2章ではVANETにおけるブロードキャストと複雑度の分析に関する既存手法とその問題点を述べ、3章では提案手法であるARC-DIDについて述べる。4章ではシミュレーションによる結果を示し、提案手法の有用性を評価する。最後に5章で結論と今後の検討課題を述べる。

2. 関連研究

VANETを用いた周辺車両への情報拡散手法にブロードキャストが挙げられる。ブロードキャストは、車両が受信パケットの中継を行なうことで周辺に情報を拡散する手法である[5]。ブロードキャストを実現するプロトコルのうち最も単純なものはフラッディングであり、これはすべての車両が受信パケットの中継を行なう。そのため冗長な中継が行なわれ、帯域圧迫やブロードキャストストームといった問題が生じる。そのため現在、ブロードキャストの冗長な中継を抑制する様々なプロトコルが考案されている。

ここでは、代表的な2つのブロードキャストプロトコルを挙げる。カウンタ型フラッディング[4]は、パケット受信数を利用した中継制御である。車両は、ブロードキャストされたパケットを受信してからランダム時間待機する。待ち

時間が切れた時点で、その間に受信した同一パケット数と、事前に設定されたカウンタ閾値とを比較する。このときカウンタ閾値の方が上回っていれば、中継を中止するという制御方法である。またこの動作とは別に、中継パケット回数が最大ホップ数に達しても中継を中止する。距離ベースフラッディング[6]はパケットの送受信車間距離を利用した中継制御である。ブロードキャストされたパケットを受信した車両は、パケットに記された情報送信車両の位置と自身の位置から、送受信車両間の距離を算出する。この距離が、事前に設定された距離(最小ブロードキャスト距離)よりも短ければ、中継を中止するという制御方法である。また、カウンタ型フラッディングと同様に、中継パケット回数が最大ホップ数に達したら中継を中止する。

VANETにおけるブロードキャストでは、フラッディングによる情報拡散とプロトコルによるの中継制御のバランスをとることが重要である。ブロードキャストプロトコルは、カウンタ閾値や最小ブロードキャスト距離をはじめとした、拡散性能に関する複数のパラメータに基づいて中継制御を行なうものであり、これらの値を変化させることで中継制御を詳細に設定することができる。例えばカウンタ型フラッディングにおいてカウンタ閾値や最大ホップ数を大きな値に設定すると、冗長な中継が発生し、それに伴い帯域圧迫といった問題が発生する。この問題は、カウンタ閾値や最大ホップ数を小さな値に設定することで防ぐことができる。しかし、これらの値を必要以上に小さくすると、広範囲への情報拡散に必要な中継までも制限されてしまい、受信率が十分に満たされないといった問題が生じる。

2.1 ブロードキャストと道路網構造

ブロードキャストにおける電波の伝播特性は、情報拡散を行なう道路地図によって異なると考えられる。VANETにおけるブロードキャストではフラッディングによる情報拡散とプロトコルによるの中継制御のバランスをとることが重要となるが、このバランスを常に満たす最適な値は一定ではなく、道路地図によって変化する。同じパラメータセットでブロードキャストを行ったとしても、あるエリアでは冗長な中継が行われる一方で、別のエリアでは拡散が十分に行われず、全車両のパケット受信率が十分に満たされないといった対立した問題が生じ得る。これはある地図において適切なパラメータセットが、ほかの地図で適切なパラメータセットであるとは限らないことを表している。具体的には、電波が広範囲に伝播しやすい単純な道路地図では、帯域圧迫やパケット衝突といった問題が発生し、対して電波が伝播しにくい複雑な道路地図では情報が広範囲に拡散せず、受信率が満足に上がらないといった問題が発生する。このことからブロードキャストにおける適切なパラメータセットの設定は、ブロードキャストを行う道路地図の電波伝播特性、すなわち「道路地図の複雑度」に合わせ

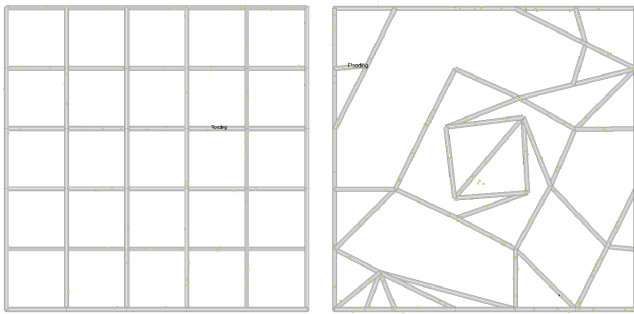


図 1 道路地図 A(左)と道路地図 B(右)

て行う必要があるということが考えられる。

2.2 複雑度分析に関する既存研究とその問題点

道路地図の電波伝播特性である「複雑度」に関する既存研究として、道路環境を考慮したブロードキャスト手法 PAWDS が存在する [7]。この手法では道路地図を「単純な道路地図」「標準的な道路地図」「複雑な道路地図」の3段階に分類し、それぞれの複雑度に応じたブロードキャストプロトコルとパラメータセットを設定している。PAWDSではこの複雑度の分類を道路地図の「道路セグメント密度」「交差点密度」をもとに行っており、具体的にはこれらの値が高ければ高いほど「複雑な道路網構造」として分析する。この分類により、道路網構造の電波伝播特性に合わせたブロードキャストを行なうことができる。しかし、「道路セグメント密度」と「交差点密度」による複雑度分析では、分析が困難な道路網構造が存在する。図1の左の地図は1km四方、道路間隔が200mの格子状道路である。これを道路地図Aとする。また右の地図も1km四方の道路網構造であるが、こちらは道路地図Aとは違い、入り組んだ構造をしている。これを道路地図Bとする。これらの道路地図A、Bにおいて、表2のパラメータで車両台数200台のブロードキャストのシミュレーションを行ったところ、受信車両数/全車両数で表される受信率がそれぞれ95%、32%と大きな差が出た。この差は地図A、Bの道路網構造の違いにより生じた、電波伝播特性の差異によるものである。しかし道路地図A、Bはともに1km²あたりの道路セグメント数が60個、交差点数が32個である。つまり道路地図A、Bは、既存研究によって電波伝播特性の差異を分析するが困難な道路地図である。既存研究における道路網構造の複雑度分析をより多くの地図に対応させるためには、複雑度分析の要素を「道路セグメント密度」と「交差点密度」の他に利用することで実現できると考えられる。

3. 提案手法: ARC-DID

本稿では、交差点分布の偏りに基づく道路網構造の複雑度分析手法 ARC-DID(Analysis Roadmap Complexity by Deviation of Intersection Distribution) を提案する。本提

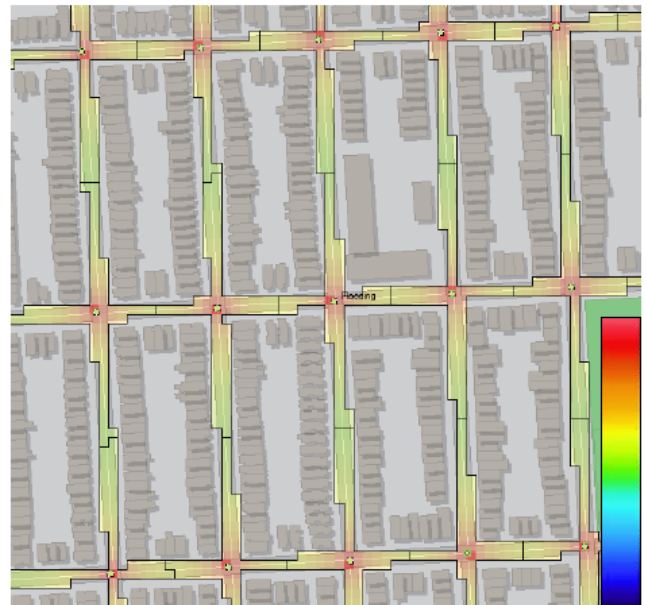


図 2 サンフランシスコにおける電波伝播の様子

案では、道路地図の複雑度を「地図上の交差点分布のばらつき」に基づいて分析し、その複雑度を算出する。複雑度算出には交差点を母点とするボロノイ領域を利用し、これに正規化、範囲指定を施すことで0から1の間で定量的に複雑度が算出される。

3.1 アプローチ

本節では、複雑度の算出に交差点分布のばらつきを利用した理由について述べる。図2はサンフランシスコ、図3はローマの道路地図であり、それぞれ交差点にノードを固定してブロードキャストのシミュレーションを行なった際の電波伝播の様子を示している。交差点分布に偏りがなく、規則正しく並んでいるサンフランシスコでは広範囲に電波が伝播しているのに対して、交差点分布に偏りのあるローマでは電波が広範囲に伝播していないことが分かる。このことから、同じパラメータセットでも交差点分布が規則正しければ広範囲に電波が伝播し、対して交差点分布に偏りがあれば広範囲に電波が伝播していないことが分かる。つまり交差点分布の偏りと電波伝播特性には相関があると考えられる。本提案ではこの相関に着目し、複雑度の分析を交差点分布のばらつきに基づいて行なう。

3.2 ボロノイ図による交差点分布の分析

本提案では道路網構造の複雑度分析を交差点分布のばらつきによって行なう。本提案ではこの交差点分布のばらつきの定量的な分析を、ボロノイ図を用いて行なう。ボロノイ図とは、ある平面状の任意の位置に配置された複数の点(母点)に対して、平面上の他の点かどの母点に近いかによって領域分けした図のことである。領域分けを行うことをボロノイ分割といい、分割されたそれぞれの領域をボロノイ領

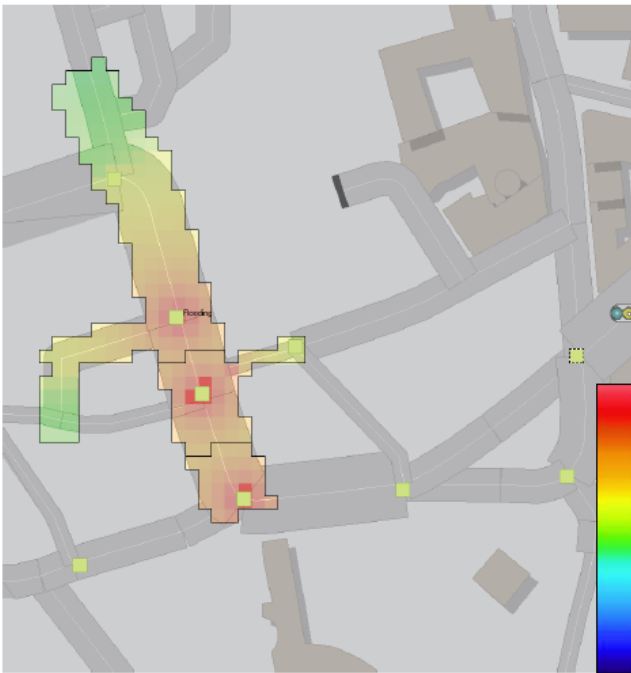


図 3 ローマにおける電波伝播の様子

域という。ボロノイ領域には「隣り合うボロノイ領域との共通の辺はそれぞれの母点の垂直二等分線である」といった特徴がある。そのため、母点同士が密集していればその部分のボロノイ領域の各々の面積は小さくなり、逆に母点同士が離れて、広く散在していれば、ボロノイ領域の各々の面積は大きくなる。つまりボロノイ分割は、それぞれの母点カバーするエリアを視覚化し、母点の領土分けを行なうことであると考えられる。ゆえに、生成された各々のボロノイ領域の面積を分析することで、母点のばらつきを分析することができる。

このボロノイ領域の面積を分析することで、交差点分布の偏りを定量的に示すことができる。本提案ではボロノイ分割の基となる母点として交差点を利用する。図 4 に、交差点を母点とするボロノイ図の描画の様子を示す。交差点を母点としたボロノイ分割により、各交差点の占める地図上のエリアを領土分けすることができる。その結果、すべてのボロノイ領域を分析することで、交差点分布の偏りを定量的に算出することができる。具体的には、交差点が等間隔に規則正しく配置されている道路網構造ほど、その配置の密度に関わらず全ボロノイ領域の面積の差が小さくなり、結果としてボロノイ領域の面積のばらつきは小さくなる。対して交差点分布にばらつきがある道路網構造ほど、全ボロノイ領域の面積の差が大きくなり、結果としてボロノイ領域の面積のばらつきは大きくなる。したがって、生成されたボロノイ領域の面積のばらつきを分析することで、交差点分布のばらつきを定量的に分析することができる。



図 4 交差点を母点とするボロノイ図の描画

3.3 複雑度の算出

ARC-DID ではこのボロノイ領域の面積のばらつき、つまり面積の標準偏差を利用して道路網構造の複雑度を算出する。複雑度 C の算出は以下の式を用いて行なう。

$$C = \frac{D}{\sqrt{\bar{s}}} \quad (1)$$

この式における D は、生成された全ボロノイ領域の面積の標準偏差である。 \bar{s} は全ボロノイ領域の平均面積、 n は交差点数、すなわちボロノイ領域の数である。 D は交差点分布の偏りを示しており、交差点を母点とするボロノイ分割を行い、生成されたボロノイ領域の全面積の標準偏差を求めることで算出する。この D の値が大きければ、各々のボロノイ領域の面積にばらつきが大きく、交差点分布に偏りがあることが分かる。このとき、求めた標準偏差 D は、道路地図を切り取る縮尺によってスケールが異なる。ボロノイ図を生成する区画を広域にしてこの標準偏差を求めると、一つ一つのボロノイ領域の面積が小さくなり標準偏差 D が小さくなってしまいうため、適切な複雑度が求まらない。したがって、適切な標準偏差の算出を行なうために D に正規化を施す。正規化は、ボロノイ領域のスケールに基づいて行なうのが適切であるため、標準偏差 D をボロノイ領域の平均面積 \bar{s} で割る。また、この正規化された標準偏差は範囲が制限されておらず、 D の上昇に伴い際限なく上昇する。そのため交差点数 n の平方根、つまり \sqrt{n} で割ることで範囲制限が施され、その結果正規化された標準偏差 D が 0 から 1 の間で求まる。これが ARC-DID によって算出される道路網構造の複雑度 C である。

ここで、複雑度 C の算出式 (1) を使って実際に道路地図の複雑度を算出する。今回は単純な道路地図として基盤状の道路網構造をしているサンフランシスコ、標準的な道路網構造としてベルリン、複雑な道路網構造としてローマを



図 5 サンフランシスコ



図 7 ローマ



図 6 ベルリン

表 1 ARC-DID によって算出された 3 都市の複雑度 C

	サンフランシスコ	ベルリン	ローマ
n	64	54	267
\bar{S}	23429.18	23106.18	21975.86
D	8451.54	42820.93	162718.61
複雑度 C	0.045	0.252	0.453

それぞれ 1km 四方使用する。図 5, 6, 7 にそれぞれの道路地図を、表 1 に 3 つの道路地図の交差点数 n 、ポロノイ領域の平均面積 \bar{S} 、ポロノイ領域の面積の標準偏差 D 、そしてその値から提案手法によって導き出された複雑度 C を示す。

ARC-DID により、道路網構造の複雑度が定量的に算出されていることが分かる。

4. シミュレーションシナリオと評価

4.1 評価方法

ブロードキャストのシミュレーションを行い、その受信率と冗長さによって複雑度 C の評価を行なう。受信率は、全車両に対してパケットの受信に成功した車両台数の割合で表される。冗長性は、ソース車両から送信されたパケット数に対して中継されたパケット数で表される。この値が大きければ、冗長な伝送が行なわれたといえる。ブロードキャストにはカウンタ型フラディングを使用し、そのパラメータセットとして以下の 3 種類を用意する。

- ARC-DID パラメータセット

ブロードキャストを行なう各道路地図の複雑度 C を反映させたパラメータセット。最大ホップ数とカウンタ閾値をそれぞれ以下の式 (2)(3) に従って決定する。

$$\text{最大ホップ数} = 27C + 7 \quad (2)$$

$$\text{カウンタ閾値} = 32C + 5 \quad (3)$$

- Max パラメータセット

ブロードキャストを行なう道路地図の複雑度を考慮しないパラメータセット。最大ホップ数とカウンタ閾値はそれぞれ 34, 37 である。これは複雑度がとりえる最大の値 ($C=1$) である際に、式 (2)(3) において算出されるパラメータセット。

- ITS 評価標準パラメータセット [8]

ブロードキャストを行なう道路地図の複雑度を考慮しないパラメータセット。最大ホップ数とカウンタ閾値はそれぞれ 20, 3 である。

これらのパラメータセットを使用したカウンタ型フラディングの性能を比較することで、複雑度 C がブロードキャストに与える影響を分析、すなわち複雑度の評価を行

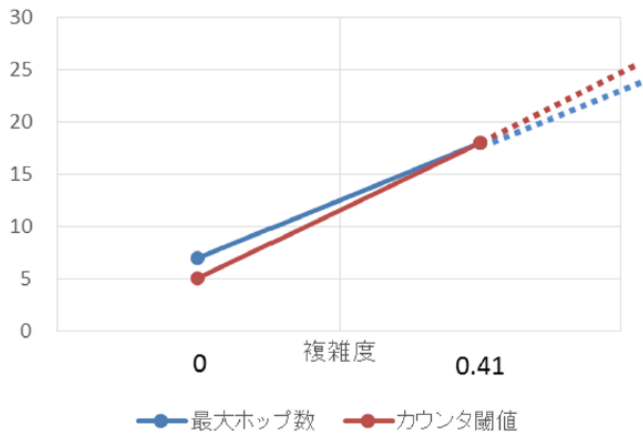


図 8 仮定した複雑度と「最大ホップ数」「カウンタ閾値」の関係

なう。以下、これら複雑度を反映させたパラメータセット、反映させていないパラメータセットのことを「比較対象」と呼ぶ。

次に、式(2)(3)がどのように算出されたかを述べる。事前に行われたシミュレーションの結果から、カウンタ型フラッディングにおける広範囲への情報拡散には「最大ホップ数」と「カウンタ閾値」の値が大きく影響していることを確認した。そのため、ブロードキャストにおける受信率が最大化するように、これら2つの値を設定した。複雑度Cの異なる2つの道路地図において、「最大ホップ数」と「カウンタ閾値」の2値を変化させたときの受信率の変化を記録した。その結果、複雑度0の地図では最大ホップ数が7、カウンタ閾値が5の時点で受信率が頭打ちになり、複雑度0.41の地図では最大ホップ数が18、カウンタ閾値が18の時点で受信率が頭打ちになった。これ以上2値を上昇させても受信率の上昇は見込めず、冗長度が増大する危険性があるため、これらを「特定の複雑度において受信率が最大化する2値」として記録した。最後に、複雑度Cと2値がそれぞれ一次関数の関係にあると仮定して、記録した「受信率が最大化する2値をもとにその関数を求めた。この様子を図8に示す。

今回はARC-DIDパラメータセットとして、上式に複雑度Cを代入して得られた2値を使用する。

4.2 シミュレーションシナリオ

シミュレーションシナリオは、3つの道路地図サンフランシスコ、ベルリン、ローマ(図5, 図6, 図7)の1km²の範囲において、1台の車両が毎秒1回、パケットを散布しながら走行することを想定する。残りの499台の車両はカウンタ型フラッディングの動作に従ってパケットを中継する。このカウンタ型フラッディングにおけるパラメータセットは、先ほどの表3に従って比較対象ごとに変化させる。電波伝播モデルは、建物による電波遮断を考慮したITU-R

表 2 シミュレーションシナリオのパラメータ

シミュレータ	Scenargie 1.8 [9]
モビリティモデル	Random Way Point
シミュレーション時間	120s
車両台数	500台 [10]
シミュレーション領域	1km × 1km
ソース車両	1台
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
無線伝送速度	6Mbps
ランダム待ち時間	100ms~500ms
電波伝搬モデル	ITU-R P.1411 [11]
パケットサイズ	128B
通信規格	IEEE 802.11p
送信電力	20dBm
車両速度	15km/h~30km/h [12]

表 3 各都市における、比較多少のパラメータセット

パラメータセット	パラメータ	サンフランシスコ	ベルリン	ローマ
ARC-DID	最大ホップ数	8	14	19
	カウンタ閾値	6	13	19
ITS 評価標準	最大ホップ数	20		
	カウンタ閾値	3		
Max	最大ホップ数	34		
	カウンタ閾値	37		

P.1411 [11] を使用した。これにより、道路以外はすべて建物として電波伝播が計算される。また、車両台数と車両速度は国土交通省のデータを参考に、都市部における一般的な値に設定した。シミュレーションシナリオで使用される各パラメータを表2にまとめる。

また、ARC-DIDによってシミュレーションに使用する各道路地図の複雑度分析を行なうと、複雑度Cはそれぞれ、0.045, 0.252, 0.453であった。これらの複雑度Cを先ほどの式(2)(3)に代入し、ARC-DIDパラメータセットとして使用する「最大ホップ数」と「カウンタ閾値」を算出した。各パラメータセット毎に使用するパラメータを表3に示す。

4.3 評価: 受信率

各都市における、比較対象ごとの受信率を図9に示す。単純な地図であるサンフランシスコではどのパラメータセットにおいても受信率は100%であった。標準的な道路地図であるベルリンでは高い順にARC-DIDパラメータセット、Maxパラメータセット、次いでITS標準パラメータセットとなり、ARC-DIDパラメータセットが比較対象と比べて最も高くなった。ARC-DIDパラメータセットと比べて、最大ホップ数、カウンタ閾値が高いMaxパラメータセットの方が受信率が低いのは、過剰な伝送によりパケット衝突が発生したためと推測できる。その根拠として、次に示す冗長度はMaxパラメータセットが最も高い。複雑な道路地図

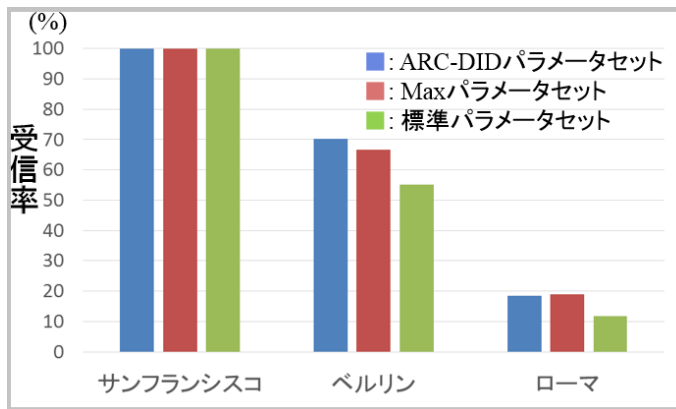


図 9 受信率

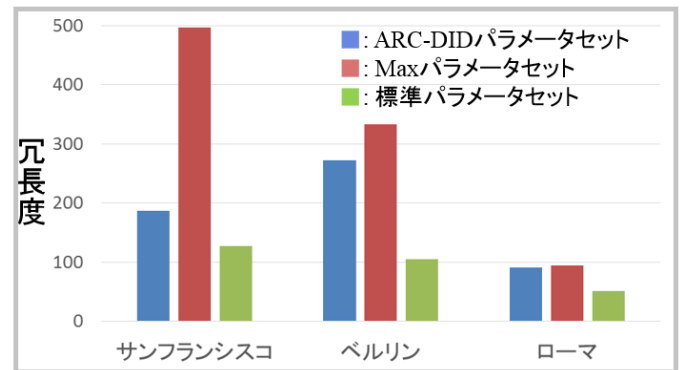


図 10 冗長度

であるローマにおいては、ARC-DID パラメータセットと Max パラメータセットが同等の受信率になった。これは、ローマのような複雑な道路地図になると、最大ホップ数とカウンタ閾値の設定だけでは受信率を改善することができないことを表していると考えられる。ただし ARC-DID パラメータセットと Max パラメータセットは、最大ホップ数とカウンタ閾値がより低い ITS 評価標準パラメータセットよりは受信率が高いため、複雑度が高い道路地図において、最大ホップ数とカウンタ閾値は受信率改善の余地が全くないとは言いきれないことが分かる。

4.4 評価: 冗長度

各都市における、比較対象ごとの冗長度を図 10 に示す。サンフランシスコにおいては冗長度が高い順に Max パラメータセット、ARC-DID パラメータセット、ITS 評価標準パラメータセットとなった。サンフランシスコにおいて、どの比較対象も受信率が 100%であるため、複雑度が低い道路地図においては ITS 評価標準パラメータが最も性能が優れているといえる。ベルリンにおいても冗長度が高い順に Max パラメータセット、ARC-DID パラメータセット、ITS 評価標準パラメータセットとなった。ARC-DID パラメータセットは、Max パラメータセットと比べて受信率が高く、冗長度が低かったため、道路地図の複雑度に適応したブロードキャストが行なわれていることが示されている。ITS 評価標準パラメータセットと冗長度を比較すると、ARC-DID パラメータセットの方が高かった。しかし、これは受信率の改善のために上昇した冗長度である。そのため、より多くの車両に情報を拡散するには ARC-DID パラメータセットが有効である。また複雑度が高いローマにおいては、冗長度は ARC-DID パラメータと Max パラメータが同等で、ITS 評価標準パラメータが最も低いという結果になった。こちらも、ベルリンと同様に、受信率の改善のために上昇した冗長度であるため、より多くの車両に情報を拡散するには ARC-DID パラメータセット、Max パラメータセットが有効であることが分かる。

5. おわりに

本稿では、交差点分布の偏りに基づいて道路網構造の複雑度を分析する ARC-DID を提案した。ARC-DID ではポロノイ領域を利用することで、交差点分布の偏りを定量的に算出することができる。ポロノイ領域を利用して算出された複雑度 C をカウンタ型フラッドングのパラメータに反映させてブロードキャストのシミュレーションをしたところ、複雑度を反映させた ARC-DID パラメータセットは比較対象と比較して、どの道路地図においても高い受信率となった。したがって、複雑度は道路地図にあわせたパラメータ設定を可能にした。特に標準的な複雑度であるベルリンにおいて優れた性能を発揮した。したがって、道路地図にあわせたブロードキャストパラメータを設定できる複雑度 C は有用であり、これを算出する ARC-DID が有用であることを確認した。

今回のシミュレーションから、単純な道路地図であるサンフランシスコではまだ冗長度の抑制に関して改善の余地があることを確認した。また、複雑な道路地図であるローマでは、広範囲への拡散に重要なパラメータとして今回仮定した「最大ホップ数」と「カウンタ閾値」だけでは受信率を改善することができないことを確認した。今後はこの複雑度 C の算出を、交差分布の偏りだけでなく、より多くの要素から行なうことを検討する。また、今回は複雑度 C の算出が提案であったため、複雑度の「ブロードキャストプロトコルへの反映」のための厳密な分析は行なわれていない。そのため、今後は複雑な地図においても受信率を改善できるようなパラメータを分析するとともに、複雑度 C を利用したブロードキャストプロトコルの開発も検討する予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 25280032 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] アリ・ウイドド, 長谷川孝明: ITS のための新しい車車間通信ネットワーク, 電子情報通信学会 SST-126, pp. 73-78 (March 1998).
- [2] 潔 水井, 孝明長谷川, 知孝永長, 晋 加藤, 定之津川, 裕真羽瀧, 英一村田, 常夫高橋, 清仁徳田, 哲夫堀松, 馨 関, 治樹藤井, 正雄中川: 車々間通信コンセプトモデルに関する一検討 (ITS 情報処理・一般), 電子情報通信学会技術研究報告. ITS, Vol. 102, No. 695, pp. 19-24 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110003171529/>) (2003).
- [3] 潔 水井, 孝明長谷川, 知孝永長, 晋 加藤, 定之津川, 裕真羽瀧, 英一村田, 常夫高橋, 清仁徳田, 哲夫堀松, 馨 関, 治樹藤井, 正雄中川: 車々間通信コンセプトモデルに関する一検討 (ITS 情報処理・一般), 情報処理学会研究報告. ITS, [高度交通システム], Vol. 2003, No. 25, pp. 19-24 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110006404026/>) (2003).
- [4] Tseng, Y.-C., Ni, S.-Y., Chen, Y.-S. and Sheu, J.-P.: The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network, *Wirel. Netw.*, Vol. 8, No. 2/3, pp. 153-167 (online), available from (<http://dx.doi.org/10.1023/A:1013763825347>) (2002).
- [5] Navas, J. C. and Imielinski, T.: Geographic Addressing and Routing, *Proceedings of the 3rd Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, MobiCom '97, New York, NY, USA, ACM, pp. 66-76 (online), available from (<http://doi.acm.org/10.1145/262116.262132>) (1997).
- [6] Slavik, M. and Mahgoub, I.: Spatial Distribution and Channel Quality Adaptive Protocol for Multihop Wireless Broadcast Routing in VANET, *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, Vol. 12, No. 4, pp. 722-734 (2013).
- [7] Fogue, M., Garrido, P., Martinez, F., Cano, J., Calafate, C. and Manzoni, P.: An Adaptive System Based on Roadmap Profiling to Enhance Warning Message Dissemination in VANETs, *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, Vol. 21, No. 3, pp. 883-895 (2013).
- [8] 財団法人日本自動車研究所: 平成 23 年度 ITS 通信シミュレーション評価シナリオ (Ver1.2), http://www.jari.or.jp/Portals/0/resource/pdf/H23_simyu/%EF%BC%88Ver1.2%EF%BC%8920131010.pdf (2011).
- [9] ITU(国際電気通信連合): Recommendation P.1411, <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.1411/en> (2013).
- [10] Owada, Y., Maeno, T., Kaneda, S., Hisanaga, R. and Takai, M.: Realistic ITS Simulation with Scenargie Simulator, *IPSSJ DICOMO*, pp. 233-234 (2008).
- [11] 国土交通省: 交通環境の比較, http://www.mlit.go.jp/jidosha/kensatoroku/shogaikoku/syo04_1.htm (2002).
- [12] 国土交通省: 三大都市の旅行速度の推移, <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/data/107.pdf> (2011).