

# 都市環境でのVANETにおける 地図情報を利用した中継制御手法の検討

小原 啓志<sup>1,a)</sup> 赤松 諒介<sup>2,b)</sup> 原 紘一郎<sup>2,c)</sup> 岡本 卓也<sup>2,d)</sup> 重野 寛<sup>2,e)</sup>

**概要:** 自動車アドホックネットワーク (VANET) における情報散布の最も基本的な手法としてフラッディングが挙げられる。しかし、フラッディングではパケットを受信した全ての車両が中継を行うため、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。したがって、不要な中継を抑制する中継制御手法が必要不可欠になる。さらに、都市環境においては建物が多数存在しており、通信範囲内であっても電波伝播障害でパケットが届かない可能性があるため、建物を考慮した中継制御手法が必要になる。道路 ID を用いた中継制御手法では、交差点付近での中継を優先させることでこの問題を解決している。しかし、この手法では全ての交差点付近において中継を優先させているため、中継が冗長になる可能性がある。本稿では地図情報を利用した中継制御手法を提案する。地図情報を利用することで中継させる道路を最小限にし、交差点付近での冗長な中継の削減が可能になる。これらの提案をシミュレーションを用いて性能評価を行い、有効性を示す。

**キーワード:** VANET, 中継制御手法, 地図情報

## Road Network Adaptive Protocol for Directional Broadcast

KEIJI OBARA<sup>1,a)</sup> RYOSUKE AKAMATSU<sup>2,b)</sup> KOICHIRO HARA<sup>2,c)</sup> TAKUYA OKAMOTO<sup>2,d)</sup>  
HIROSHI SHIGENO<sup>2,e)</sup>

**Abstract:** In Vehicular Ad-hoc Network, flooding is the simplest protocol for the data dissemination. Since flooding raises the broadcast storm problem because of redundant retransmissions, the efficient data dissemination protocol is very important. Moreover, we must consider the influence of buildings in an urban environment. The road-based protocols make the vehicles located around intersections retransmit to avoid the influence of buildings. However, the existing road-based protocols can induce redundant retransmission due to redundant treatment for intersections. This paper proposes an efficient road-based data dissemination protocol employing digital map data. With digital map data, the proposed protocol minimizes retransmissions around intersections and reduce redundant retransmissions. The proposed method is evaluated through the simulations and the results show the expected results in the number of retransmissions and the reachability of packets in an urban scenario.

**Keywords:** VANET, data dissemination protocol, digital map data

<sup>1</sup> 慶應義塾大学理工学部  
Faculty of Science and Technology, Keio University  
<sup>2</sup> 慶應義塾大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Science and Technology, Keio University  
a) obara@mos.ics.keio.ac.jp  
b) akamatsu@mos.ics.keio.ac.jp  
c) hara@mos.ics.keio.ac.jp  
d) okamoto@mos.ics.keio.ac.jp  
e) shigeno@mos.ics.keio.ac.jp

## 1. はじめに

近年、自動車アドホックネットワーク (VANET) に関する研究が盛んに行われ、ITS アプリケーションへの適用が期待されている。VANET のアプリケーションの 1 つとして情報散布がある。情報散布は中継を利用して情報提供車両の周辺の全ての車両に対して情報を提供するアプリケー

ションである。情報散布を実現する最も基本的なプロトコルはフラッディングであるが、冗長な中継が多数発生し、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 [1]。したがって、中継制御を用いて冗長な中継を抑える必要がある。また、都市環境においては建物によって電波が遮られるシャドウイングも考慮しなくてはならない [2]。

中継制御手法はビーコンと呼ばれる制御パケットを用いるか否かで大別される。ビーコンを用いた中継制御手法では周辺の車両を把握可能であるため、送信車両はどの車両に中継させるのかを適切に判断できる。ビーコンを用いた中継制御手法の中で都市環境に適した手法の 1 つとして、道路情報を利用した中継制御手法 ERD [3] がある。本手法は道路の位置情報と GPS で得られた自車両の位置情報から自車両のいる道路を把握し、その情報をビーコンで送信することで、シャドウイングの影響を最も受けやすい交差点周辺であるかを判断し、中継制御方法を変化させる。これによりシャドウイングを考慮しつつ中継制御を行うことが可能である。

しかし、この手法では道路間のつながり、道路網構造を考慮していないため、全ての交差点付近においてシャドウイングを考慮した中継制御を行う。全ての交差点付近で中継させなくても全ての道路に対して情報を提供できるため、一部の道路についてはシャドウイングを考慮せず、中継数の削減を優先した中継制御を行うことができる。したがって、全ての交差点付近においてシャドウイングを考慮した中継制御を行うのは冗長となる可能性がある。

本稿では、地図情報を利用し、交差点付近で中継させる道路を特定することで交差点付近での冗長な中継の制御を行う RAD (Road Network Adaptive for Directional Broadcast Protocol) を提案する。本手法では地図情報から道路をノード、道路間のつながりをエッジとした道路網グラフを作成し、連結支配集合 (Connected Dominating Set : CDS) を算出する。CDS はノード集合の 1 種で、CDS に含まれるノードは連結しており、全ノードは CDS に含まれるノードと隣接する性質を持っている。CDS に選ばれた道路では、交差点付近で中継させてシャドウイングの影響を小さくすることを優先する。一方 CDS に選ばれていない道路では、交差点付近で中継させず、中継数の削減を優先する。このように道路単位で中継制御方法を変化させることにより、全ての道路にいる車両に対して情報を提供しつつ交差点付近での中継を必要最低限に抑えることが可能になる。以下、2 章で情報散布における既存の中継制御手法ならびに問題点を明らかにする。3 章で道路網グラフを利用した中継制御手法を提案する。4 章でシミュレーションにより、提案手法と既存手法を比較し、パケット到着率、平均中継数の観点からその有効性を確認する。最後に 5 章で結論と今後の検討課題を述べる。

## 2. VANET による情報散布

### 2.1 中継制御の意義

情報散布は中継を利用して情報提供車両の周辺の全ての車両に対して情報を提供するアプリケーションである。情報散布を実現可能である最も代表的な手法としてフラッディングがある。フラッディングは初めて受け取ったパケットは中継を行い、既に受け取ったパケットは破棄するプロトコルである。しかし、フラッディングではパケットを受信した全ての車両が中継を行ってしまうため、車両密度が高い場合において冗長な中継が発生し、通信帯域の圧迫やパケット衝突を引き起こす可能性がある。そのため中継制御を用いて中継車両を限定し、冗長な中継を削減する必要がある。

### 2.2 中継制御手法

中継制御手法は、ビーコンを用いるか否かで大きく大別される。ビーコンを用いない中継制御手法は、受信したパケットに含まれる情報を利用して自律的に中継判断を行う。ビーコンを用いない中継制御手法の代表的な手法として送信車両からの距離に基づいた待機時間の設定とオーバーヒアにより中継制御を行う DDT (Distance Defer Time) [4][5] がある。送信車両から遠い受信車両の待機時間を短くし、中継を優先することで 1 ホップの通信距離が長くなり、少ない中継回数で情報を散布することが可能である。ビーコンによる帯域圧迫は発生しないが、周辺車両を把握できないため、シャドウイングの影響からパケットを受け取れない車両が発生する可能性がある。よって本稿においてはビーコンを用いることを想定する。

ビーコンを用いた中継制御手法では各車両が定期的にビーコンを送信し、周辺車両を把握した後に中継制御を行う。送信車両がビーコンで得られた情報に基づいて中継車両を選択し、中継車両の ID を付加したパケットを送ることで中継制御を行うことが多い。ビーコンを用いた中継制御手法はさらにトポロジベースの中継制御手法、角度ベースの中継制御手法、道路ベースの中継制御手法に分かれる。トポロジベースの中継制御手法では、ビーコンに周辺車両の ID を入れることでトポロジを把握し、中継車両を選択する手法 [6][7] である。しかし、高いモビリティによるネットワークの参加・離脱やシャドウイングの影響を大きく受けるため、トポロジベースの中継制御手法は不適である [8]。角度ベースの中継制御手法では、ビーコンから周辺車両の位置、速度を把握し、送信車両の速度に対する角度から中継車両を選択する手法 [9][10] である。シャドウイングを考慮しつつ中継制御を行うことができるが、三叉路やカーブなどの複雑な道路では適切に中継車両を選択できず、通信経路が途絶えてしまう可能性がある。道路ベー

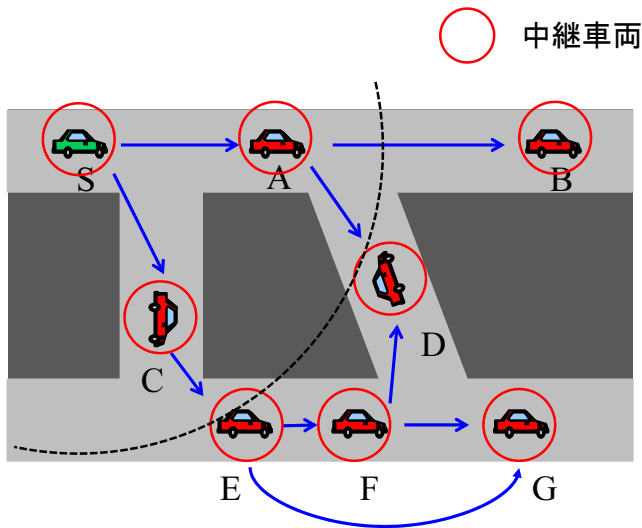


図 1 道路ベースの既存手法の問題点

スの中継制御手法では、道路の位置情報と GPS で得られた車両の位置情報から周辺車両のいる道路を把握した後に中継車両を決定する手法 [3] である。角度ベースの中継制御で発生した中継車両の誤判断が起らず、複雑な道路に対しても適切に中継制御を行うことが可能である。

### 2.3 道路ベースの中継制御手法

道路ベースの中継制御手法の 1 つである ERD [3] は道路セグメントを用いて中継制御を行う。道路セグメントとは任意の 2 つの交差点間の道路区間と定義する。各車両は道路セグメントと交差点の位置情報をデータベースとして保持しており、GPS から位置、速度を取得可能であることを前提としている。ビーコンには車両 ID、自車両のいる道路セグメント ID、位置が含まれている。送信車両はビーコンで得られた情報から周辺車両を前方車両、後方車両に分け、場合分けによって中継車両を選択する。前方車両（後方車両）の道路セグメント ID と一致する場合、送信車両の前方（後方）は交差点付近ではなく、建物によるシャドウイングは発生しないと考えられる。したがって、送信車両から最も遠い車両の中継車両として選択し、中継数の削減を優先する。前方車両（後方車両）の道路セグメント ID と一致しない場合、送信車両の前方（後方）は交差点付近であり、建物によるシャドウイングが発生する可能性があると考えられる。したがって、送信車両の走行方向との角度差が最も小さい車両を各道路セグメントで 1 台ずつ中継車両として選択し、建物によるシャドウイングの影響を最小限にすることを優先する。このように ERD では周辺車両のいる道路セグメント ID を用いてシャドウイングが起こるかどうかを判断した後に中継制御を行うことで、シャドウイングを回避しつつ中継数を削減することができている。

### 2.4 問題点

ERD では交差点付近でないときに中継数の削減を優先し、交差点付近ではシャドウイングを回避することを優先した。2 つの中継制御を用いることで建物のシャドウイングを考慮しつつ冗長な中継を削減できている。しかし、交差点密度が大きい都市環境においては交差点間距離が短くなるため、交差点付近での中継車両選択を行う頻度が高くなる。各道路セグメントに対して複数の通信経路が発生するため、全ての交差点で中継させなくても全ての車両への情報提供が可能である。一部の道路セグメントにおいては交差点付近で中継させる必要はないため、ERD では交差点付近の中継が冗長になる可能性がある。交差点付近で冗長な中継が発生する例を図 1 に示す。情報元車両 S から車両 A-G にパケットを提供することを想定する。青い矢印は通信方向、黒い点線は情報元車両の通信範囲を表す。通信範囲が道路セグメント長と比べて長い場合、全ての車両がシャドウイングを考慮した中継を行わなくてはならない。情報元車両 S は車両 A, C を中継車両として選択し、それぞれの車両 ID をパケットに付加して送信する。同様に車両 A は車両 B, D, 車両 C は車両 E, 車両 E は車両 F, G を中継車両として選択し、中継を行う。このとき、車両 D は車両 A, F の両方からパケットを受信している。車両 A, F のいずれかが中継すれば十分であり、冗長な中継となっている。これは車両 D のいる道路セグメントに対して、2 つの通信経路が存在しているために発生する。したがって、ERD では交差点密度が大きい場合において交差点付近で冗長な中継が発生する可能性がある。

## 3. RAD (Road Network Adaptive Protocol for Directional Broadcast)

本稿では、地図情報から得られた道路網グラフとビーコンを利用して中継制御を行う RAD (Road Network Adaptive Protocol for Directional Broadcast) を提案する。

### 3.1 概要

提案手法では、道路網グラフの連結支配集合 (Connected Dominating Set : CDS) を用いて各道路セグメントを、交差点付近で中継を行わせる道路セグメント、交差点付近で中継を行わせない道路セグメントに分ける。CDS に選ばれた道路セグメントを CDS 道路セグメント、CDS に選ばれなかった道路セグメントを非 CDS 道路セグメントと定義する。CDS 道路セグメントでは建物によるシャドウイングの回避を優先し、他の道路セグメントにいる車両に確実に中継させるようにする。一方、非 CDS 道路セグメントでは中継車両数の削減を優先する。このようにすることで、全ての道路セグメントにパケットが届くようにしつつ、交差点での冗長な中継を抑えることが可能である。

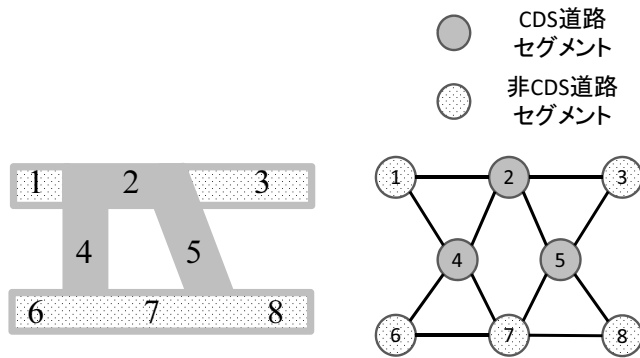


図 2 道路セグメントの分類

### 3.2 既存手法の問題に対するアプローチ

既存手法では、全ての交差点付近で中継を行っているために冗長な中継が発生した。これは全ての道路セグメント上で同じ中継制御を行っていることが原因であると考えられる。この問題点を解決するために「道路セグメントの分類」を行って交差点付近で中継させる道路セグメントを限定した後に、「道路セグメントに応じた中継制御」を行うことを考えた。しかし、交差点付近で中継を行わせる道路セグメントを限定するとき、全ての道路セグメントに対する通信経路を確保しなければならない。そこで、道路セグメントをノードとした道路網グラフを作成し、道路網グラフのCDSを算出を行って道路セグメントを分類することを考えた。CDSはノード集合の1種で、CDSに含まれるノードは連結しており、全ノードはCDSに含まれるノードと隣接する性質を持っている。したがって、CDSを交差点付近で中継を行わせる道路セグメントとすることで全ての道路セグメントに対する通信経路を確保しつつ、交差点付近の冗長な中継を削減できる。

### 3.3 道路セグメントの分類

本手法では、道路網グラフを用いてCDS道路セグメントを決定する。これはあらかじめセンタが行っており、各車両はセンタからCDS道路セグメントの情報を取得することを想定している。センタはまず地図情報から道路網グラフを作成する。道路網グラフは道路セグメントをノード、道路セグメント間のつながりをエッジとしたグラフとする。次にセンタはCDSを算出する。CDSは以下の性質を満たしたノード集合である [11]。

- 連結支配集合に含まれている全てのノードは連結。
- 連結支配集合に含まれていないノードは連結支配集合に含まれているノードと隣接している。

CDSのノードに該当する道路セグメントをCDS道路セグメントとすることで、以下のような性質が得られる。

- 任意の2つのCDS道路セグメントはCDS道路セグメントを経由して渡ることができる
- 全ての非CDS道路セグメントはいずれかのCDS道路セグメントと交差点で接続されている

したがってCDS道路セグメントが他の道路セグメントへ中継させることで、全ての道路セグメントに対して情報を提供することが可能である。図2を用いて道路セグメントの分類についてまとめる。センタは地図情報をもとに道路セグメントをノードとした道路網グラフを作成する。ノードに振られた番号は道路セグメントIDである。次にセンタは道路網グラフのCDSを求め、道路セグメントを分類する。図2ではCDS道路セグメントは2, 4, 5, 非CDS道路セグメントは1, 3, 6, 7, 8となっている。CDS道路セグメント2, 4, 5は非CDS道路セグメントを経由することなく双方向に通信することができ、非CDS道路セグメント1, 3, 6, 7, 8はCDS道路セグメントのいずれかと隣接している。したがって、CDS道路セグメント2, 4, 5を経由すれば1から8までの全ての道路セグメントに対してパケットを提供することができる。

### 3.4 道路セグメントに応じた中継制御

各車両はセンタから受け取ったCDS道路セグメント情報をもとに中継制御を行う。中継制御を行うために、各車両は周辺車両の情報をまとめた隣接リストを作成し、送信車両は隣接リストを利用して中継車両を選択する。

#### 3.4.1 隣接リストの作成

隣接リストを作成するために各車両は定期的にビーコンを送信する。ビーコンには以下の情報が格納される。

- ID: 送信車両のID
- Road ID: 送信車両のいる道路セグメントID
- Position: 送信車両の位置

ビーコンを受け取った車両は以下の情報が入った隣接リストの作成または更新を行う。

- ID: 相手の車両ID
- Road ID: 相手の道路セグメントID
- R\_Position: 相手の車両の相対位置ベクトル
- Distance: 送信車両との距離
- TimeStamp: 生成時刻

また、生成時刻からビーコン間隔だけ経過したデータはリストから削除する。

#### 3.4.2 中継車両選択

送信車両は隣接リストの中から中継車両を選択し、中継車両のIDを付加したパケットを送信する。図3に中継車両選択のアルゴリズムを示す。まず送信車両は交差点にどうかを調べる。もし交差点にいれば、送信車両から最も遠い車両を各道路セグメントで1台ずつ選択し、パケット送信を行う。交差点においてはシャドウイングの影響を考慮する必要はなく、次の中継をできるだけ交差点に近い車両で行わせる。もし送信車両が交差点にいない場合、周辺車両を前方車両、後方車両に分ける。角度の閾値を $\alpha$ 、送信車両の速度を $V$ として、以下の式(1)を満たす周辺車両は前方車両とし、満たさない車両は後方車両とする。

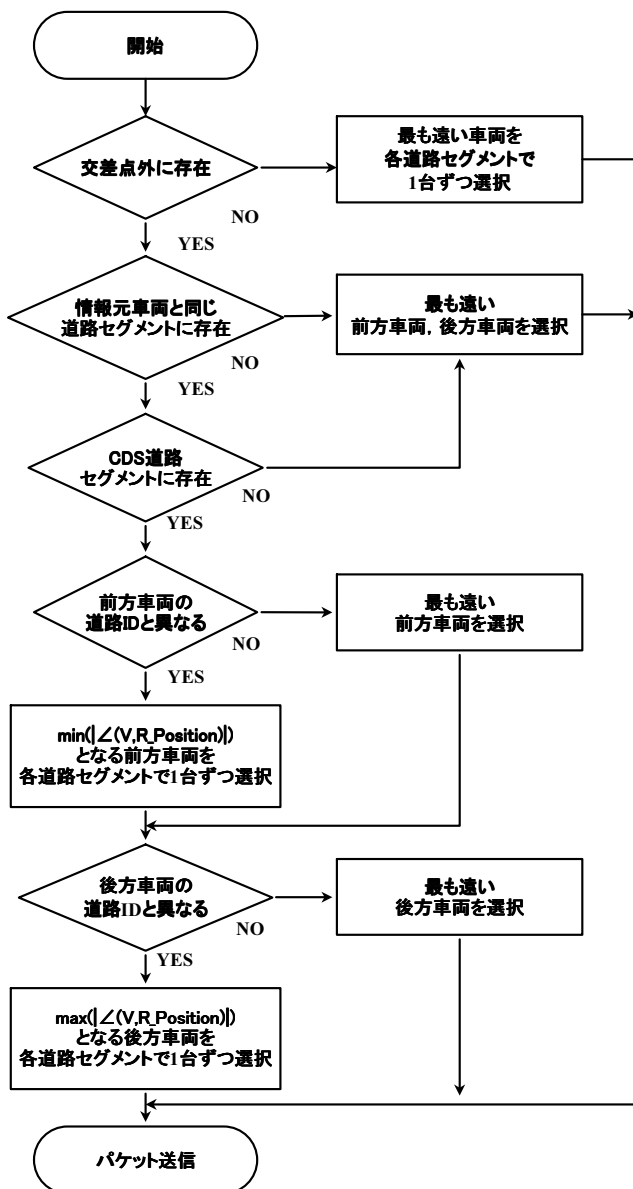


図 3 中継車両選択

$$|\angle(V, R\_Position)| < \alpha \quad (1)$$

次に送信車両のいる道路セグメントをチェックする。もし、非 CDS 道路セグメントであり、情報元車両の道路セグメントと異なれば、送信車両から最も遠い車両を前方車両、後方車両からそれぞれ 1 台ずつ選択し、パケットを送信する。これはシャドウイングを考慮せず、中継数の削減を優先した選択方法である。また、情報元車両の道路セグメントを例外としたのは、情報元車両の道路セグメントが非 CDS 道路セグメントの場合に対処するためである。CDS 道路セグメントの場合、周辺車両の道路セグメント ID が自車両の道路セグメント ID と一致するか調べる。もし一致していれば、交差点付近ではないと判断し、送信車両から最も遠い車両中継車両とする。そうでなければ交差点付近と判断し、送信車両の速度と相対位置ベクトルの角度差が最も小さい車両を各道路セグメントで 1 台ずつ中継

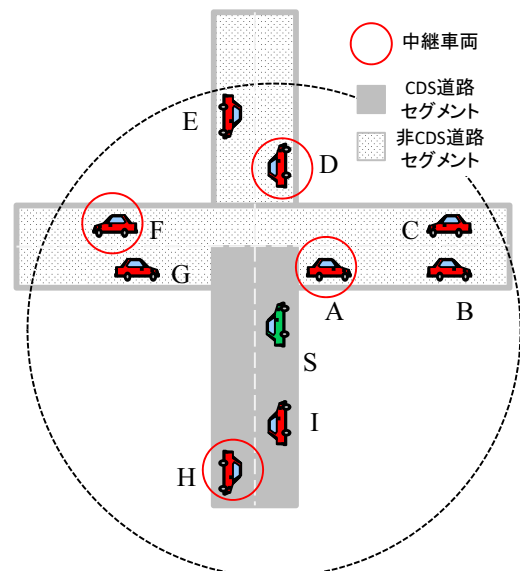


図 4 CDS 道路セグメント上の中継車両選択

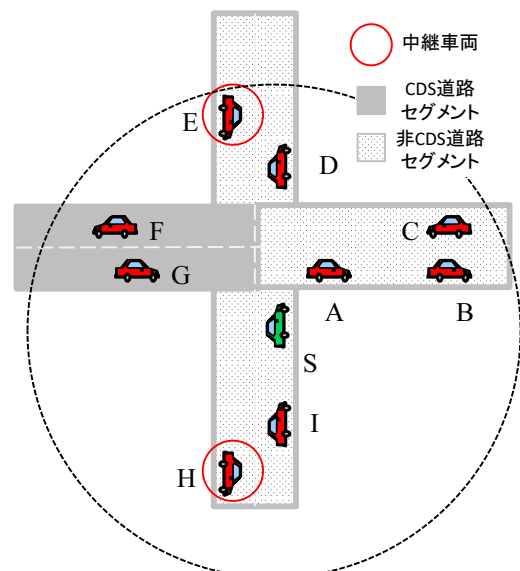


図 5 非 CDS 道路セグメント上の中継車両選択 (情報元車両を除く)

車両とする。これはシャドウイングの影響を最小限にするためである。これらの動作を前方車両、後方車両で行い、パケットを送信する。

図 4 に送信車両が CDS 道路セグメントにいるときのの中継車両選択の動作例を示す。黒い点線を送信車両 S の通信範囲とし、図の上方向を送信車両 S の走行方向とする。前方においては交差点付近と判断し、送信車両の速度と相対位置ベクトルの角度差が最も小さい車両 A, D, F を中継車両とする。後方については交差点付近でないと判断し、送信車両から最も遠い車両 H を選択する。次に図 5 に情報元車両でない送信車両が非 CDS 道路セグメントにいるときのの中継車両選択の動作例を示す。送信車両が情報元車両の場合、図 4 と同じになる。非 CDS 道路セグメントでは、送信車両から最も遠い前方車両 E、送信車両から最も遠い後方車両 H を中継車両として選択する。左右の道路セグメン

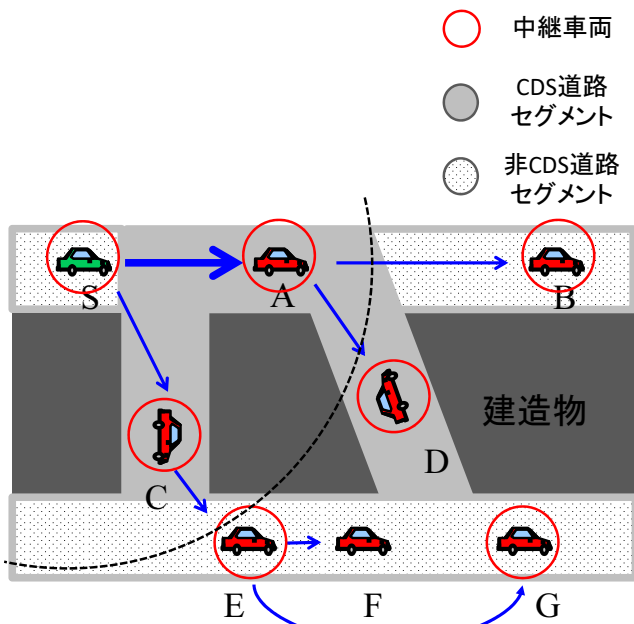


図 6 問題点の解決

トにはパケットが中継されないが、CDS の性質から CDS 道路セグメントに必ず隣接しているため、通信経路が途絶えることはない。最後に図 6 に既存手法で述べた問題点が提案手法によって解決されている様子を示す。情報元車両 S から車両 A-G にパケットを提供することを想定する。青い矢印は通信方向、黒い点線は情報元車両の通信範囲を表す。まず情報元車両 S は各道路セグメントで角度差が最も小さい車両 A, C を中継車両として選択し、パケットを送信する。情報元車両は非 CDS 道路セグメント上に存在するが、CDS 道路セグメント上に存在するときと同じ中継車両選択を行う。車両 C は車両 E を中継車両として選択する。車両 A は CDS 道路セグメント上にいるため、各道路セグメントで角度差が最も小さい車両 B, D を中継車両として選択する。車両 E は非 CDS 道路セグメント上にいるため、車両 E から最も遠い車両 G を中継車両として選択する。図 1 と比較してみると車両 D への通信は車両 A のみが行っており、車両 F の冗長な中継が削減出来ていることが分かる。このように、道路セグメントを分類し、中継制御方法を変化させることで交差点付近の冗長な中継を削減することができる。

#### 4. 提案手法の評価および考察

計算機シミュレーションを用いて既存手法と比較し、提案手法の有効性を評価する。

##### 4.1 シミュレーションモデル

図 7 に道路モデルを示す。シミュレーションでは、都市環境に近い格子状の道路モデルを用いた。シミュレーション領域は 1000[m] × 1000[m] で、各交差点間の距離は

表 1 シミュレーション条件

ネットワークシミュレータ	Scenargie 1.6
シミュレータ時間	120 s
道路モデル	片側 1 車線双方向
車両線密度	5 - 30 台/km
車両モビリティモデル	Random Way Point
通信方式	IEEE 802.11p
電波伝搬モデル	ITU-R P.1411
チャンネル周波数	5.9GHz
通信帯域幅	6Mbps
パケットサイズ	128byte
ビーコン送信周期	1.0 s
角度閾値 $\alpha$	90°

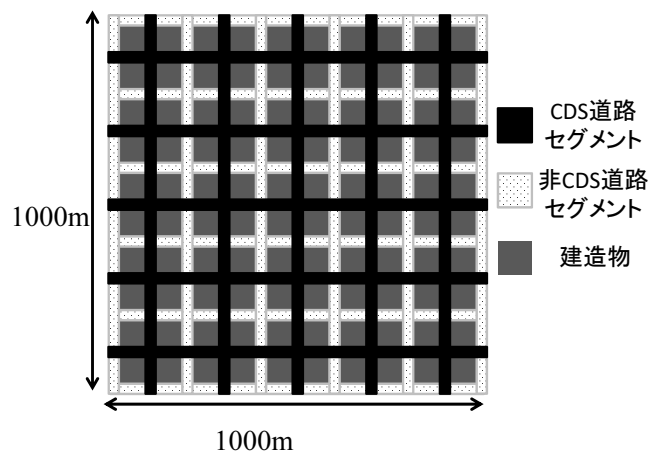


図 7 道路モデル

100[m] となっている。道路は片側 1 車線の双方向道路である。各格子の内側に建物が設置し、電波伝搬モデルはシャドウイングを考慮した ITU-RP.1411 [12] にしたがうものとした。シミュレーションでは 10 秒間隔で無作為に選ばれた 1 台がパケットを送信し、計 10 台の車両がパケットを送信した。車両のモビリティは道路上をランダムに動く Random-Way-Point を用いており、車両の流入・流出はなく、30-50[km/h] で移動する。

##### 4.2 シミュレーション条件

表 1 にシミュレーション条件を示す。ネットワークシミュレータには Scenargie1.6 [13] を使用し、通信規格は IEEE802.11p を用いた、車両線密度は 5-30[台/km] の間で変化させて評価を行う。比較対象はフラディングと ERD とし、以下の 2 つの項目について評価した。

- 平均中継回数  
生成パケット 1 つあたりに中継を行った回数
- パケット到着率  
パケットを受信した車両の割合。

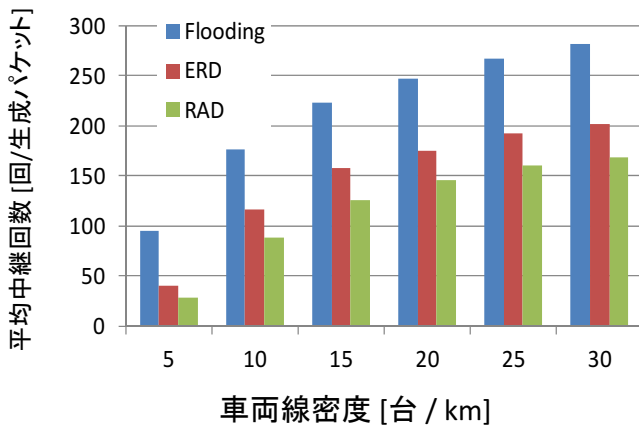


図 8 平均中継回数

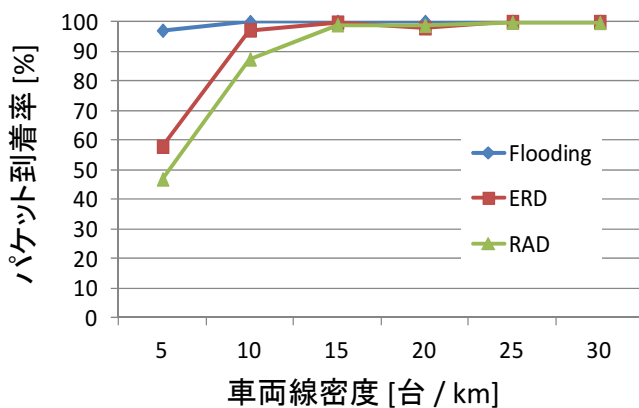


図 9 パケット到着率

### 4.3 シミュレーション結果および考察

#### 4.3.1 平均中継回数

図 8 に平均中継回数を示す。フラッディングではパケットを受け取った全ての車両が中継を行うため、中継回数が多くなり、帯域圧迫を引き起こす恐れがある。提案手法では、フラッディングと比べて大幅に中継回数を削減しており、ERD と比べて最大約 15 % 中継回数を削減している。これは、提案手法においてシャドウイングを考慮した中継制御を CDS 道路セグメントに限定することで交差点付近の冗長な中継を削減したためであると考えられる。

#### 4.3.2 パケット到着率

図 9 にパケット到着率を示す。車両線密度が 10 [台/km] 以下においては、提案手法は既存手法と比べてパケット到着率が低下している。提案手法は CDS 道路セグメントでは他の道路セグメントに確実に中継することが条件となっており、その条件を満たしていないことが原因と考えられる。車両線密度が 15 [台/km] 以上においては、上記の条件をみたしているため、既存手法と同等の到着率を取得していると考えられる。2 つの評価項目から、提案手法では 15 [台/km] 以上の高い車両線密度において、既存手法と同等のパケット到着率を維持しつつ中継回数を削減していることが分かる。

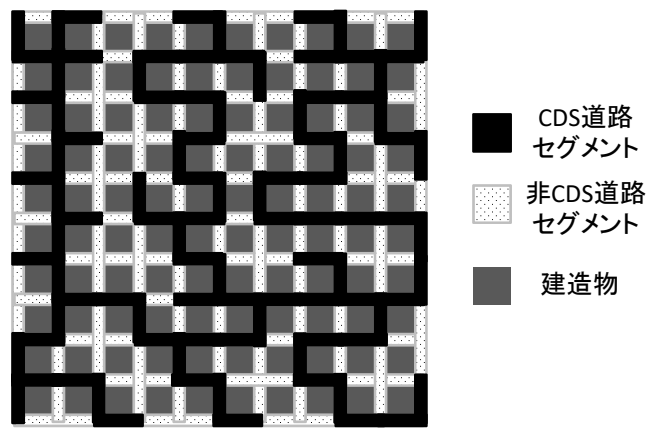


図 10 CDS 道路セグメントの再設定

### 4.4 CDS 道路セグメントの変化が与える性能の影響

図 7 では CDS 道路セグメントが直線で接続するように意図的に選択した。道路網グラフでは、エッジで結ばれた 2 つの道路セグメントがどのような角度で接続されているのか分からない。そのため、道路網グラフから実際に CDS を求めて CDS 道路セグメントを選択するとき、図 7 のように規則的になるとは限らない。よって規則的でないような CDS 道路セグメントの場合についても評価する必要がある。そこで、CDS 道路セグメントを図 10 に再設定し、シミュレーションを行った。その他のパラメータについては変化させなかった。図 11 に平均中継車両数、図 12 にパケット到着率を示す。2 つを評価項目を比べると CDS 道路セグメントの変化による影響が小さいことが分かる。したがって、道路網グラフを作成する際に、道路セグメントの接続角度を考慮する必要がないことが分かった。

## 5. おわりに

本稿では、地図情報から得られた道路網グラフを利用することで、交差点付近の中継を優先する道路セグメントと優先しない道路セグメントに分類し、分類に基づいて中継制御を行う RAD を提案した。CDS を利用して分類することで、全ての道路セグメントに対して通信経路を確保しつつ、交差点付近の中継を削減することができる。シミュレーションにより、RAD は既存手法と比べて中継回数を最大約 15 % 削減することを確認した。パケット到着率は低車両線密度において既存手法と比べて低下したものの、15 [台/km] 以上の高車両線密度においては既存手法と同等のパケット到着率を取得することを確認した。以上の結果から、RAD は高車両線密度においてパケット到着率を維持しつつ、冗長な中継を削減できることが分かった。したがって、提案手法 RAD は高車両密度の都市環境における中継制御手法として有効であることを示した。今後、交通量などによるノードの重み付けをして CDS を算出し、重み付けが与える影響について検討を進める予定である。

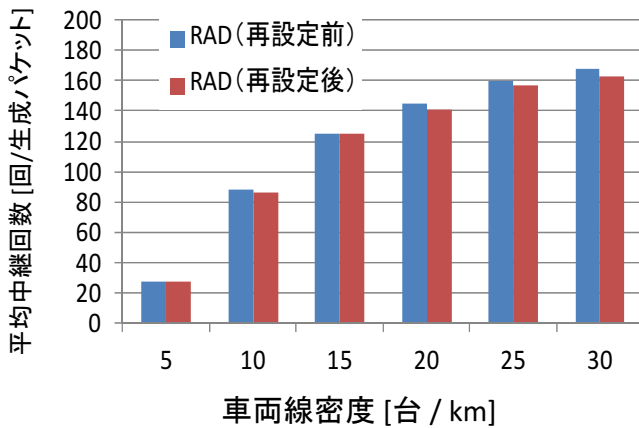


図 11 CDS 道路セグメントによる平均中継回数の変化

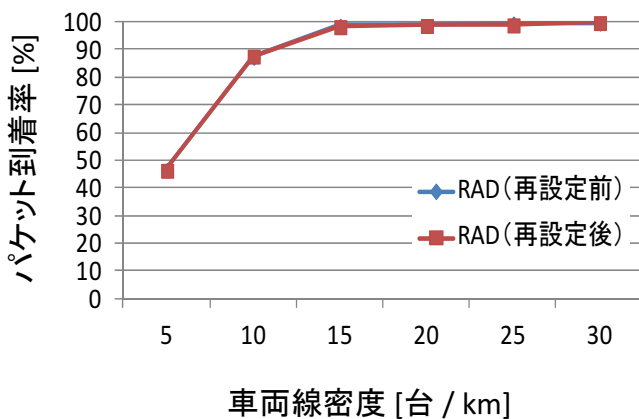


図 12 CDS 道路セグメントによるパケット到着率の変化

## 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。

## 参考文献

- [1] 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 (2002).
- [2] Hosseini Tabatabaei, S., Fleury, M., Qadri, N. and Ghanbari, M.: Improving Propagation Modeling in Urban Environments for Vehicular Ad Hoc Networks, *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, Vol. 12, No. 3, pp. 705–716 (2011).
- [3] Tung, L.-C. and Gerla, M.: An efficient road-based directional broadcast protocol for urban VANETs, *Vehicular Networking Conference (VNC), 2010 IEEE*, pp. 9–16 (2010).
- [4] 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, *Vehicular Technology Conference, 2000. IEEE-VTS Fall VTC 2000. 52nd*, pp. 2685–2692 vol.6 (2000).
- [5] Bachir, A. and Benslimane, A.: A multicast protocol in ad hoc networks inter-vehicle geocast, *Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Spring. The 57th IEEE Semiannual*, pp. 2456–2460 vol.4 (2003).
- [6] Jacquet, P., Muhlethaler, P., Clausen, T., Laouiti, A., Qayyum, A. and Viennot, L.: Optimized link state routing protocol for ad hoc networks, *Multi Topic Conference, 2001. IEEE INMIC 2001. Technology for the 21st Century. Proceedings. IEEE International*, pp. 62–68 (2001).

- [7] Qayyum, A., Viennot, L. and Laouiti, A.: Multipoint relaying for flooding broadcast messages in mobile wireless networks, *System Sciences, 2002. HICSS. Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference on*, pp. 3866–3875 (2002).
- [8] Honda, T., Ikeda, M., Spaho, E., Hiyama, M. and Barolli, L.: Effect of Buildings in VANETs Communication: Performance of OLSR Protocol for Video Streaming Application, *Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA), 2013 Eighth International Conference on*, pp. 323–327 (2013).
- [9] Sun, M.-T., chi Feng, W., Lai, T.-H., Yamada, K., Okada, H. and Fujimura, K.: GPS-based message broadcasting for inter-vehicle communication, *Parallel Processing, 2000. Proceedings. 2000 International Conference on*, pp. 279–286 (2000).
- [10] Lai, P., Wang, X., Lu, N. and Liu, F.: A reliable broadcast routing scheme based on mobility prediction for VANET, *Intelligent Vehicles Symposium, 2009 IEEE*, pp. 1083–1087 (2009).
- [11] Wu, Y. and Li, Y.: Construction Algorithms for K-connected M-dominating Sets in Wireless Sensor Networks, *Proceedings of the 9th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, pp. 83–90 (2008).
- [12] ITU(国際電気通信連合) : Recommendation P.1411, <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.1411/en> (2013).
- [13] SPACE-TIME ENGINEERING: Scenargie, <http://www.spacetime-eng.com/jp/index.html> (2013).