

都市環境 VANET における 交差点を考慮した Geocast 手法の検討

赤松 諒介^{1,a)} 鈴木 理基^{1,b)} 岡本 卓也^{1,c)} 原 紘一郎^{1,d)} 重野 寛^{1,e)}

概要: 自動車アドホックネットワーク (VANET) における有用な情報散布手法として、指定した地理領域内の車両に情報を送信する Geocast がある。Geocast は各車両のブロードキャストによって実現されるため、中継制御を利用して不要なブロードキャストを抑制し、帯域圧迫やパケット衝突を回避することが重要である。中継制御手法の 1 つである位置に基づく手法は、高速道路環境において効果的であるが、都市環境では建物の影響を受けるため情報が伝搬しない場合がある。また、Geocast では宛先領域の内外で要件が異なるため、各領域に適した制御が必要となる。本稿では、特定の交差点上の車両に優先的な待機時間を割り当てることで、冗長なブロードキャストを抑制するとともに、宛先領域内の車両に対するパケット到着率を向上させる Geocast 手法を提案する。最後に、シミュレーションを用いて提案手法の特性を評価し、パケット到着率とパケット中継率の観点から既存手法と比較することで有効性を示す。

Geocast Protocol Considering Intersection for Urban VANET

RYOSUKE AKAMATSU^{1,a)} MASAKI SUZUKI^{1,b)} TAKUYA OKAMOTO^{1,c)} KOICHIRO HARA^{1,d)}
HIROSHI SHIGENO^{1,e)}

Abstract: In Vehicular Ad hoc NETWORK (VANET), geocast is useful to the data dissemination because it enables the dissemination to vehicles in a given geographical region. When dealing with geocast, unnecessary retransmissions must be suppressed with forwarding control method to avoid the broadcast storm problem. The position-based method which is a typical forwarding control method shows high performance in highway scenarios. However, in urban scenarios, the existing method doesn't work because buildings block the communication between two vehicles. Moreover, as the requirements differ inside or outside destination region, we need the method adapting to each regions in geocast. We propose a geocast protocol assigning vehicles at particular intersections with preferential delays. The proposed method enhances the packet arrival ratio inside the geocast region, while suppresses unnecessary broadcast outside the region. Simulation results show that the proposed method achieves high packet arrival ratio and broadcast suppression in urban scenario.

1. はじめに

近年、自動車アドホックネットワーク (Vehicular Ad hoc

NETWORKS; VANET) における情報散布手法の研究が盛んに行われており、ITS アプリケーションへの応用が期待されている。情報散布手法は一度に多くの車両に情報を送信することが求められるため、フラッディングのようなブロードキャストベースの手法が一般的である [1]。その中でも特に有用な手法が、特定の地理領域を宛先として情報を送信する Geocast [2], [3] である。Geocast は設定した地理領域内の車両に向けて情報を送信できるため、緊急

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) akamatsu@mos.ics.keio.ac.jp
b) masaki@mos.ics.keio.ac.jp
c) okamoto@mos.ics.keio.ac.jp
d) hara@mos.ics.keio.ac.jp
e) shigeno@mos.ics.keio.ac.jp

メッセージの散布や交通情報の散布、広告の配信など、情報散布アプリケーションに関連した研究が行われている。Geocast 手法の 1 つとして、宛先方向へのフラッディングを行う指向性フラッディングがある [4], [5]。指向性フラッディングでは、車両の位置情報や宛先の位置情報を利用し、送信車両より宛先領域に近い受信車両のみが中継を行うことで、フラッディングの範囲を制限している。

Geocast は各車両がブロードキャストによる中継を行うことで実現されるが、一般にブロードキャストを扱う手法では、通信トラフィックの増加による帯域圧迫や、同時ブロードキャストによるパケット衝突が問題となる [6]。この問題に対応するために、適切な一部の車両のみが中継を行うように制御する中継制御手法が数多く提案されている [7]。中継制御手法は、確率に基づく手法、位置に基づく手法、制御パケットを利用した手法の 3 つに大別される。その中でも、各車両や宛先領域の位置情報を利用するという Geocast の特徴から、位置に基づく手法がよく利用される。位置に基づく手法として、送信車両から最も遠い受信車両が優先的に中継する手法 [8], [9] が存在する。このような中継制御手法を利用することで、一部の車両の中継によって情報を伝搬させることができ、冗長なブロードキャストを抑制しながら情報散布を実現できる。

しかし、既存の中継制御手法は単純な道路環境を想定しているものが多いため、高速道路環境では高い性能を示すが、複雑な道路環境に適用すると情報がうまく伝搬しない場合がある。特に都市環境では、建物などの障害物を越えて情報を伝搬させることができないため、情報の伝搬方向が制限される [10]。したがって、既存の中継制御手法では適切な車両に中継させることができず、情報が伝搬しない問題が生じる。また、宛先領域の外では不要な中継を抑制することが重要であるのに対して、宛先領域内では確実に情報を伝搬させることが優先される。このように、Geocast では宛先領域の内外で求められる要素が異なるため、それぞれの要件に合わせた制御を行うことでより効率的な情報散布が実現できると考えられる。

そこで本稿では、特定の交差点内の車両が優先的に中継を行う UGAD (Urban Geocast based on Adaptive Delay) を提案する。UGAD では、交差点内の車両を優先し短い待機時間を割り当てることで、交差点で中継が行われる機会を増加させ、宛先領域内の車両に対するパケット到着率を向上させる。また、宛先領域外において交差点内の車両を優先する範囲を制限することで、全体のパケット中継数を抑制する。最後に、シミュレーションを用いて既存手法と比較し、提案手法の特性を評価する。受信車両数とパケット中継率の観点から、提案手法が情報散布手法として有効であることを示す。

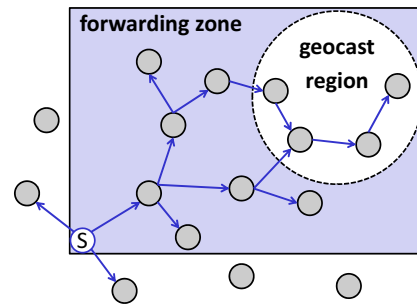


図 1 指向性フラッディングによる情報散布

2. VANET における Geocast

2.1 Geocast 手法

Geocast は、任意の地理領域を宛先に指定してメッセージを送信する手法であり、宛先領域内に存在する不特定多数の車両がメッセージの配送対象となる。Geocast の代表的な手法として、各車両や宛先の位置情報を用いて特定方向へのフラッディングを行う指向性フラッディングがある [4], [5]。この手法では、図 1 のように、メッセージの宛先領域である geocast region と、宛先までの中継を行う領域である forwarding zone を設定する。この forwarding zone 内に存在する車両のみがパケット中継を行うことで、フラッディングの範囲を制限している。しかし、forwarding zone 内ではすべての車両が中継を行うことになるため、通常のフラッディングと同様に帯域圧迫やパケット衝突が問題となる。そこで、以下に述べる中継制御を利用し冗長なブロードキャストを抑制する必要がある。

2.2 中継制御手法

中継制御手法を用いることで、一部の車両による中継のみで情報散布が可能になり、冗長なブロードキャストを抑制することができる。中継制御手法は、確率に基づく手法、位置に基づく手法、制御パケットを利用した手法の 3 つに分類できる [7]。確率に基づく手法は、中継を行うか否かを一定の確率によって決定する手法である。また、確率に基づく手法の 1 つとして、ランダムバックオフを利用した手法も存在する [7]。この手法は、各車両が受信時にランダムな時間だけ待機し、その間に他の車両が中継を行った場合は中継を中止するというものである。位置に基づく手法は、送信車両や受信車両の位置関係から中継を実行するかどうか決定するものである。例として、送信車両から遠い車両が優先的に中継を行う手法 [8], [9] がある。そして、制御パケットを利用した手法は、各車両が制御パケットとして自車両位置や速度の情報を含んだビーコンを周期的に送信し、周囲車両の存在や位置を認識した上で、どの車両に中継させるか選択する手法である。この手法は、送信車両側が次の中継車両を選択、指定できる点が特徴である。

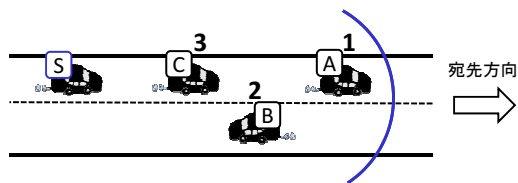


図 2 DDT を利用した中継制御手法の例

確率に基づく手法はパケットを中継する車両が確率に依存するのに対して、位置に基づく中継制御手法は送信車両から遠い車両が必ず先に中継する。したがって、1-hop の通信で伝搬する距離が長くなり、より少ない中継回数で情報を伝搬させることが可能である。また、ビーコンを利用した場合、周期的なブロードキャストによって通信トラフィックが増加するため帯域の圧迫が生じる。加えて、車両のモビリティが大きくトポロジが激しく変化するため、ビーコンから得た情報と現在の情報との間にずれが生じ、正確な中継車両選択が行えない可能性がある。一方、位置に基づく手法はビーコンを必要とせず、パケットを受信した時点で各車両が自律的に判断するため、トポロジの変化による影響を受けにくいと考えられる。そこで、本稿では位置に基づく中継制御手法に焦点を当てる。

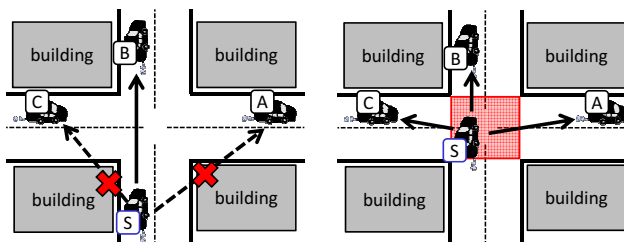
2.3 位置に基づく中継制御手法

位置に基づく中継制御手法の 1 つに、Distance Defer Time (DDT) を利用した手法がある [8]。DDT は、受信車両が送信車両からの距離に反比例した時間だけ待機する方式である。送信車両 j からパケットを受信した車両 i の待機時間 T_{DDT-i} は、以下の式 (1) で求められる。

$$T_{DDT-i} = T_{max} \cdot \left(\frac{R - d_{ij}}{R} \right) \quad (1)$$

T_{max} は受信車両 i の最大待機時間であり、 d_{ij} は i, j 間の距離、 R は通信範囲である。式 (1) より、送信車両から最も遠い車両の待機時間が最も短くなり、優先的に中継が行われる。他車両の中継をオーバーヒアした場合、自身が中継する必要はないと判断し、中継は行わない。

DDT を利用した手法の例を図 2 に示す。図 2 は、送信車両 S がブロードキャストを行っている例である。車両 A, B, C は送信車両 S からパケットを受信すると、自身の待機時間を計算しバックオフを行う。この例では、送信車両 S から最も遠い受信車両 A の待機時間が最も短くなるため、車両 A が先にパケットを中継する。他の受信車両 B, C はバックオフ中に車両 A のブロードキャストをオーバーヒアし、自身の中継をキャンセルする。このように、DDT を利用した手法では、送信車両から遠い車両が先に中継を行うため、1-hop の伝搬距離を長くすることができる。同様の手法として、送信車両と受信車両間を地理的に分割し、送信車両から遠いブロックから順にタイムスロットを割り当てていく Slotted 1-Persistence [9], DOT [11] がある。



(a) 交差点外 (b) 交差点内

図 3 都市環境におけるブロードキャスト

2.4 都市環境における問題点

都市環境モデルは高速道路のような直線道路モデルとは異なり、車両の存在する領域が 2 次元の広がりをもつ。さらに、交差点の存在や、ビルなどの建物による影響を考慮する必要がある。建物が存在する場合、建物によって車車間の通信が遮られ、通信範囲内であっても情報が伝搬しない [10]。図 3 はその例であり、車両 S が通信範囲内の車両 A, B, C に情報をブロードキャストした場合を考える。東西に走る道路を x 軸方向、南北に走る道路を y 軸方向とする。図 3(a) において、 y 軸方向に動く車両 B は、同軸上の車両 S までの見通しがあるためパケットを受信可能であるが、 x 軸方向に動く車両 A, C は、建物によって電波が遮蔽されるため受信が不可能となる。このように、交差点外でのブロードキャストは伝搬方向が同軸方向のみに制限される。一方で、図 3(b) のように交差点でブロードキャストを行った場合、情報を x 軸方向と y 軸方向の二方向へ伝搬させることができる。したがって、都市環境下での情報伝搬には交差点での中継が不可欠であるが、前節で挙げた既存手法は交差点を考慮していないため、都市環境に適用した場合にパケット到着率が低下するという問題点がある。

2.5 宛先領域内外での要件

Geocast では宛先領域の内外で要件が異なる。宛先領域外の車両は情報の宛先車両ではないため、領域内まで情報を中継しつつ、冗長な中継を抑制することが求められる。一方、宛先領域内ではすべての車両が情報の配送対象であり、より多くの車両に情報を伝搬させることが優先される。したがって、宛先領域の内外で適する制御は異なるが、既存の中継制御ではそれらを考慮していない。例えば、中継距離の長い DDT は中継回数を抑制できるため宛先領域外において適しているが、領域内では交差点で中継する機会が減少し、パケット到着率が低下するため適していない。宛先領域の内外で適応的に制御することで、より効率的な情報散布が可能になると考えられる。

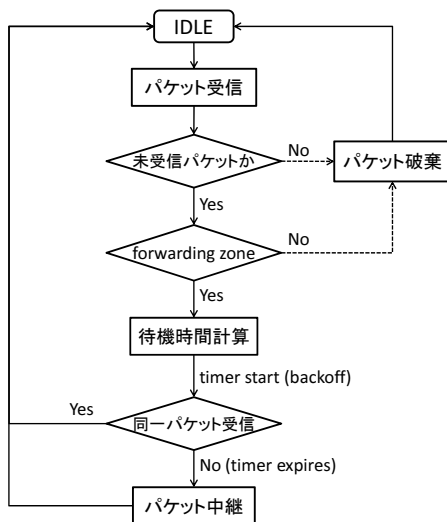


図 4 フローチャート

3. UGAD (Urban Geocast based on Adaptive Delay)

本稿では、交差点情報を利用し、特定の交差点上の車両が優先的に中継を行う UGAD (Urban Geocast based on Adaptive Delay) を提案する。都市環境における建物の影響を考慮し、交差点での中継機会を増加させるために、交差点内の車両に対して短い待機時間を割り当てる。この制御により、交差点内の車両が優先的に中継を行うことが可能になり、パケット到着率を向上させることができる。また、宛先領域の内外における要件を考慮し、一部の適切な交差点にのみ優先的な待機時間を与えることで、パケット到着率を維持しつつ中継数を抑制する。

3.1 前提および想定アプリケーション

本稿では、各車両が GPS によって正確な位置情報を得られること、交差点位置のデータベースを保持していることを前提とする。宛先領域は中心座標 (x, y) 、半径 r で表現される円状の領域であり、情報の発信元である車両は、これらの宛先情報をパケットに格納し送信する。送信パケットには、宛先情報、最大待機時間、最小待機時間、送信車両位置が含まれており、送信車両位置はパケットが中継される度に中継車両のものに更新される。また本稿では、情報の発信元である車両が任意の宛先領域内の車両を対象として情報を送信するようなアプリケーションを想定する。

3.2 受信車両の動作

受信車両の動作のフローチャートを図 4 に示す。パケットを受信した各車両は、必要に応じてバックオフを行った後、中継を行うか否か決定する。まず、受信したパケットが未受信のものである場合は、自身が forwarding zone 内であるか判定する。forwarding zone 内である場合、中継車両の候補となりバックオフを実行する。パケットがすで

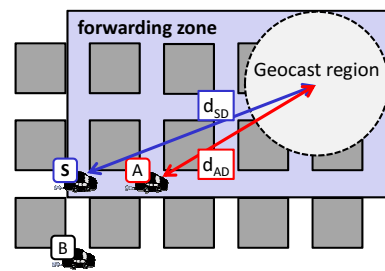


図 5 forwarding zone

に受信済みである場合や、forwarding zone 内に位置していない場合は、バックオフは行わずパケットも中継しない。本稿では、forwarding zone を送信車両より宛先領域に近づくような領域として定義する。受信パケットには宛先位置と送信車両位置が格納されているため、GPS から得られる自車両位置と照合することで、自身が forwarding zone 内に位置しているか判断できる。この例を図 5 に示す。車両 S からブロードキャストされたパケットを受信した車両 A、B のうち、車両 A は車両 S よりも宛先に対する距離が小さいため forwarding zone 内であると判断される。このとき、車両 A は中継車両の候補となりバックオフに移行するが、車両 B は forwarding zone 外であるため中継は行わない。

バックオフを実行する車両は、位置情報や交差点情報を用いて自律的に自身の待機時間を計算する。そして、計算した待機時間だけバックオフを実行する。バックオフの実行中に同一のパケットを受信した場合、他の車両が先に中継を行ったことがわかり、自身が中継する必要はないと判断できるため、バックオフを終了し中継も行わない。このバックオフとオーバーヒアの動作によって、冗長なブロードキャストの抑制が可能となる。

3.3 待機時間設定

ここでは、バックオフにおける待機時間の設定方法を述べる。都市環境下では交差点で中継を行うことが重要であり、交差点内の車両が優先して中継を行う必要があるため、交差点の内外で異なる待機時間を割り当てる。待機時間が短いほど他の車両が先に中継する可能性が低くなるため、パケットを中継する機会が増加し優先的に中継が行えると考えられる。パケットを受信した車両は交差点情報のデータベースと自車両位置を照合し、自身が交差点内に位置しているかどうか判断する。パケット受信時に交差点内に位置していれば最大待機時間の短い優先的な計算式が適用され、そうでなければ通常の待機時間が適用される。受信車両は、自車両の位置とパケットに格納されている送信車両の位置から送信車両までの距離を計算し、この距離に応じて自律的に待機時間を設定する。

送信車両 j からのパケットを受信した交差点内の車両 i の待機時間 T_i の計算式を式 (2) に示す。

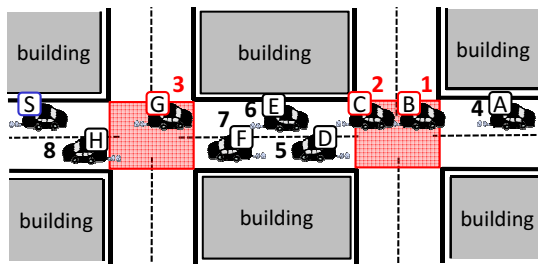


図 6 中継順序例

$$T_i = \begin{cases} T_{max_I} \cdot \left(\frac{R-d_{ij}}{R}\right) & (intersection) \\ T_{max_I} + T_{max_R} \cdot \left(\frac{R-d_{ij}}{R}\right) & (otherwise). \end{cases} \quad (2)$$

T_{max_I} は交差点内の車両に適用される最大待機時間であり、 T_{max_R} は交差点外の車両に適用される最大待機時間である。また、 R は各車両の通信範囲を、 d_{ij} は送信車両 i と受信車両 j 間の距離を表している。車両が交差点内に位置する場合、中継の優先度が高いため、交差点外の車両より短い最大待機時間を割り当てる。式 (2) より、交差点内の車両の待機時間のとる範囲は 0 から T_{max_I} となる。一方、交差点外では 1-hop での伝搬距離を長くし不要なブロードキャストを抑制するために、通常の待機時間を適用する。ただし、式 (2) から計算される交差点外の車両の待機時間は、 T_{max_I} から $T_{max_I} + T_{max_R}$ の範囲をとり、交差点内の車両よりも待機時間が短くならないようにしている。

式 (2) を適用した場合の中継例を図 6 に示す。図 6 では、車両 S が送信車両であり、通信範囲内で見通しが得られる車両 $A - H$ に対してパケットをブロードキャストしている。また、図の右方向が宛先方向である。パケットを受信した車両 $A - H$ のうち、交差点に存在する車両 B, C, G に対して優先的な待機時間が割り当てられ、さらに送信車両からの距離を考慮して中継は B, C, G の順に行われる。その後、交差点外の車両 A, D, E, F, H の順にバックオフを終了するが、各車両は車両 B のブロードキャストをオーバーヒアするため中継は行わない。このように、UGAD では交差点上の車両の中で最も送信車両から遠い車両が優先的に中継を行うため、その他の車両のブロードキャストを抑制できる。

3.4 宛先領域の内外における制御

Geocast では宛先領域の内外で要求される要素が異なるため、適応的に制御を行う必要がある。交差点内の車両を優先することで、パケット到着率を向上させることが可能であるが、中継が必要以上に行われる可能性がある。宛先領域外では、1-hop の伝搬距離を長くし冗長な中継を抑制することが求められるため、交差点内の車両を優先する範囲を制限し、中継数の増加を抑える。それに対し、すべての車両にパケットを配送する必要がある宛先領域内では、すべての交差点を優先する。この例を図 7 に示す。 R_{dest} は宛先領域の半径である。図 7 で赤く示した領域のように、

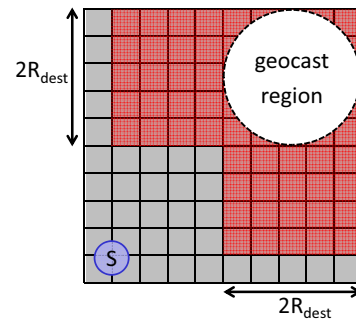


図 7 交差点内車両の優先範囲

宛先領域に対して直線的な経路をもつ領域では、交差点におけるブロードキャストが重要であると考えられるため交差点内の車両を優先した待機時間の設定を行う。加えて、宛先領域内でも同様に交差点でのブロードキャストが不可欠であるため、交差点内の車両を優先する。すなわち、この範囲内では式 (2) において交差点の内外で計算式が異なるが、この範囲外では全車両が同一の計算式となる。

このように、宛先領域より遠い地点では交差点での中継の重要性が低いと考えられるため、交差点を優先せずに伝搬距離を長くし、中継回数の増加を抑制する。交差点での中継を重視する範囲を定義することで、パケット到着率を維持しつつ中継回数を抑制することが可能になる。

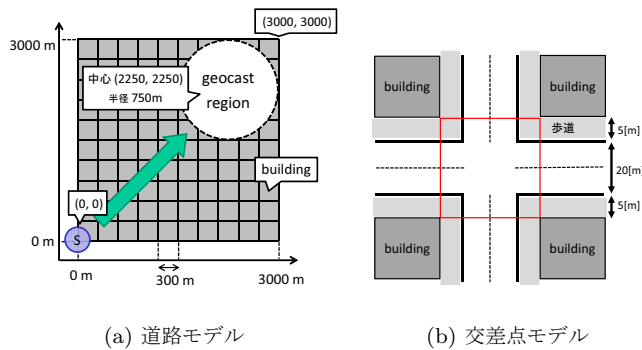
4. 提案手法の評価および考察

計算機シミュレーションにより提案手法の特性を評価する。また、提案手法を既存手法と比較し考察を行う。

4.1 シミュレーションモデル

シミュレーションでは、都市環境を想定し図 8(a) のような格子状の道路モデルを使用する。シミュレーション領域は $3000 \text{ m} \times 3000 \text{ m}$ で、東西と南北にそれぞれ 11 本の道路が通っており、各交差点間の距離は 300 m である。また、建物による影響をシミュレートするために、各道路に隣接するように建物を配置し、電波伝搬モデルに ITU-R P.1411 を利用する。図 8(b) に交差点のモデルを示す。ITU-R P.1411 では、車両を結んだ見通し線の中に建物がある場合、パケットが届かないモデルになっている。したがって、図 8(b) において赤枠で囲った範囲が上下左右に見通しを得られる領域であり、交差点内として扱う。

情報の散布を行う宛先領域は半径 750 m で、 $(2250, 2250)$ の座標を中心地点とする。送信車両は $(0, 0)$ の座標地点から 10 秒間走行した後、宛先領域に向けてパケットを送信する。車両のモビリティには Random-Way-Point を用いており、車両の流入や流出はなく、シミュレーション開始時から道路上をランダムに設定範囲内の速度で移動する。



(a) 道路モデル (b) 交差点モデル

図 8 シミュレーションモデル

Communication	
Simulator	Scenargie 1.6 [12]
Packet size	1000 Bytes
PHY layer	802.11p
Modulation scheme	OFDM (QPSK 1/2)
Transmission power	20 dBm
Band frequency	5.9 GHz
Bandwidth	10 MHz
Bit rate	6.0 Mbps
Propagation model	
ITU-R.P.1411	
Traffic	
Mobility Model	Random Way Point
Size of vehicles (W, L, H)	2.5, 12, 3.8
Road length	3000 m × 3000 m
Density of Vehicles	10 to 50 vehicles/km
Number of lanes	2 lanes (One way)
Expected speed	40 to 60 km/h
Application	
T_{max_I} (at an intersection)	0.1 s
T_{max_R} (on a road)	1.0 s
Initial position of sender	(0, 0)
Center of destination	(2250, 2250)
Radius of destination	750 m

4.2 シミュレーション条件

主なシミュレーション条件を表 1 に示す。ネットワークシミュレータには Scenargie1.6 [12] を使用し、通信帯域や帯域幅、送信出力等のパラメータは ITS 通信シミュレーション評価シナリオ [13] の値を用いる。また、交差点内の車両に適用する待機時間の最大値 T_{max_I} を 0.1 s、交差点外の車両に適用する待機時間の最大値 T_{max_R} を 1.0 s とした。以上の条件下で、車両密度を 10 - 50 vehicles/km の間で変化させ、評価および考察を行う。

4.3 比較対象および評価項目

以下に示す比較対象を用いて、各評価指標の観点から提案手法を評価する。

- DF (Directed Flooding)

指向性フラッディングにおいて、中継制御を行わず forwarding zone 内のすべての車両がパケットを中継するモデルである。ただし、ブロードキャストの非同期化のためランダムバックオフを行う。
- DF+RB (Directed Flooding with Random Backoff)

ランダムバックオフとオーバーヒアによる中継制御を利用した指向性フラッディングである。
- DF+DDT (Directed Flooding with Distance Defer Time)

送信者からの距離を考慮したバックオフ (DDT) による中継制御を利用した指向性フラッディングである。

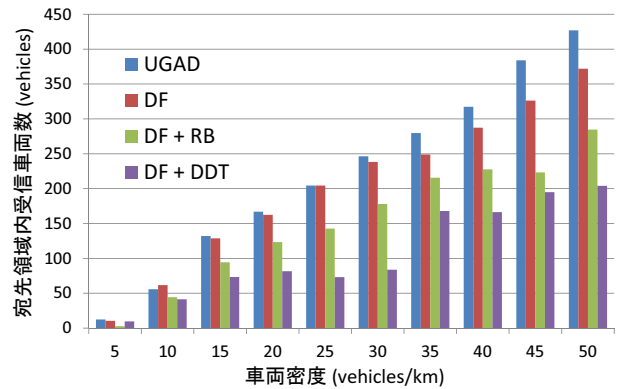


図 9 宛先領域内受信車両数

以下では、指標として宛先領域内受信車両数、パケット中継率、交差点中継率、パケット受信率を評価する。宛先領域内受信車両数は、設定した宛先領域内でパケットを受信した車両の合計数であり、この値が大きいほどアプリケーションにおけるパケット到着率が高いことを意味する。パケット中継率は、パケットを中継した車両の、全車両に対する割合である。パケット中継率が低いほどパケットを中継した車両が少なく、通信トラフィックも小さくなる。交差点中継率はすべての中継に対する交差点上で行われた中継の割合であり、パケット受信率は宛先の内外に関係なくパケットを受信した車両の割合を示している。

4.4 シミュレーション結果および考察

以下にシミュレーション結果を示し考察を行う。

(a) 宛先領域内受信車両数

図 9 に宛先領域内受信車両数を示す。この図において、受信車両数が多いほど目的の車両に対するパケット到着率が高いことを意味する。提案手法である UGAD は、他の手法と比較して高い受信車両数を示しており、特に DF+RB や DF+DDT と比較すると密度に関わらず受信車両数が増加している。これは、既存の中継制御ではパケット中継を抑制したことでパケット到着率が低下してしまうのに対し、UGAD では交差点の車両に優先的に中継させることで、パケット中継を抑制しつつも高いパケット到着率を実現できるためである。

DF はすべての車両が中継を行うため、一部の車両のみが中継を行う UGAD よりもパケットは伝搬しやすいと考えられるが、UGAD は車両密度が低い 5 - 25 vehicles/km において DF と同程度の値を達成できている。さらに、30 - 50 vehicles/km のように車両密度が高い場合では、密度が高くなるにつれてより高い受信車両数を示している。この要因として、DF では車両密度が高くなるほどパケット衝突が頻繁に発生するようになり、パケットがうまく伝搬しない可能性が高くなることが考えられる。一方、UGAD は中継制御を行うことで、車両密度が高い場合でもパケット衝突や帯域圧迫を回避できることがわかる。

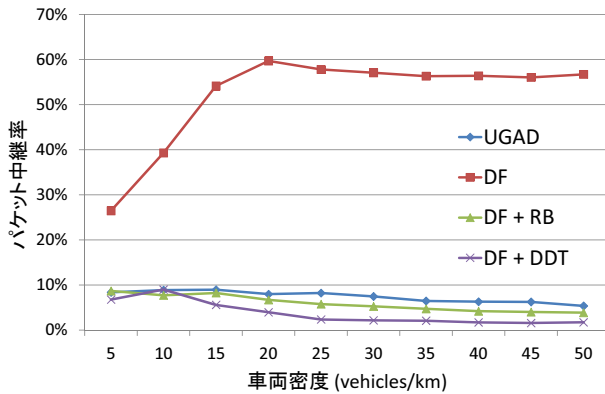


図 10 パケット中継率

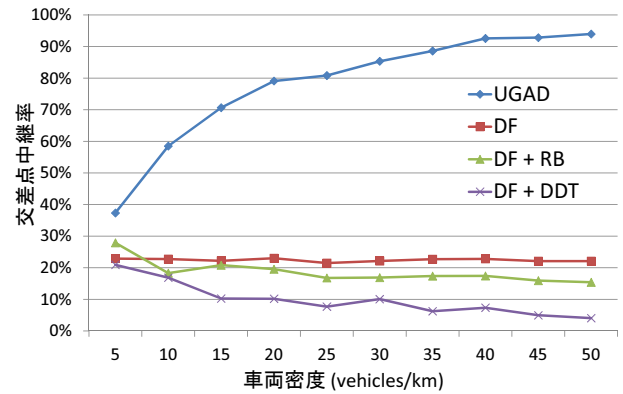


図 11 交差点中継率

(b) パケット中継率

図 10 に全体のパケット中継率を示す。パケット中継率が低いほどパケット中継回数が少なく、帯域圧迫やパケット衝突が生じにくいことを意味する。UGAD は 20 - 50 vehicles/km において、車両密度の増加とともに中継率が緩やかに低下している。これは、ある程度車両密度が高くなると、車両数が増加しても中継車両数は増加しにくくなるためである。DF は 25 - 50 vehicles/km において約 57% のパケット中継率であるのに対し、UGAD は 10% 以下であり大幅にパケット中継率を抑制できている。図 9 の結果を考慮すると、UGAD は DF よりブロードキャストを抑制しつつ、高いパケット到着率を達成していることがわかる。また、DF+RB および DF+DDT と比較すると、UGAD のパケット中継率が高くなっている。これは図 9 からわかるように、UGAD ではより多くの車両がパケットを受信した結果として中継回数が増加したことが要因である。したがって、UGAD は他の手法と比較して受信車両数に対するパケット中継率が低くなる。

(c) 交差点中継率

図 11 に交差点中継率を示す。交差点中継率は、全体で行われた中継のうち、どの程度交差点内で中継されているかを示す指標である。UGAD は他の手法と比較して交差点中継率が高くなっており、交差点を優先した中継制御が行えていることがわかる。UGAD は 5 vehicles/km において交差点中継率は 38% で、車両密度が増加するに伴い交差点中継率も増加し、5 vehicles/km では 93% と高い値を示している。車両密度が低い状況では、交差点に車両が存在しない場合があるため交差点の中継率は低いが、車両密度が増加すると各交差点内に車両が存在する可能性が高くなり、交差点を中心とした中継を行うことができるようになるため、高密度時ほど交差点での中継機会が増加している。一方、DF および DF+RB は交差点を考慮していないため交差点中継率は車両密度によらずほぼ一定である。また、DF+DDT は車両が増加すると中継距離が長くなり交差点での中継機会が失われるため、車両密度の増加とともに交

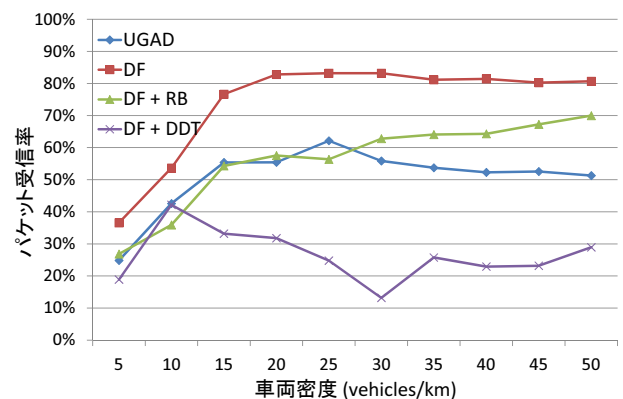


図 12 パケット受信率

差中継率が低下している。以上のことから、UGAD は交差点を中心とした中継を行っている結果として、パケット中継を抑制しつつ多くの車両にパケットを伝搬できていると考えられる。

(d) パケット受信率

図 12 は各手法におけるパケット受信率である。パケット受信率は、宛先領域の内外にかかわらず、すべての車両を対象としたパケットの受信率である。DF は 20 vehicles/km 以降は約 80% のパケット受信率であるのに対し、UGAD は 60% 以下の受信率に留まっている。しかし、図 9 において、UGAD は宛先領域に対するパケット到着率が最も高いことがわかった。このことは、UGAD は宛先領域外において不要な中継を抑制できており、効率的な情報散布が行えていることを示している。UGAD は優先的待機時間を適用する交差点を制限しているため、車両が増加してもパケットの受信率は一定以上にはならない。DF+RB は車両が増加するにつれてパケットが伝搬しやすくなり、DF のようなパケット衝突も発生しにくいため受信率が増加している。それに対して、DF+DDT は車両が増加しても交差点での中継機会が増加しにくいためパケットが十分に伝搬せず、全体的に低いパケット受信率となる。

5. おわりに

本稿では、特定の交差点内の車両が優先的に中継できるように、交差点内の車両を優先した待機時間設定に基づく制御を行うUGADを提案した。シミュレーションにより、UGADが既存手法と比較して宛先領域内における受信車両数が向上することを確認した。そして、パケットを中継する車両の割合を全体の10%以下に抑制できることを確認した。また、UGADでは交差点内の車両が優先的に中継するため、交差点でのパケット中継率が向上しており、その結果としてパケット受信車両数が改善できることがわかった。またパケット中継率を10%以下に抑制できていること、宛先領域内受信車両数が向上しているにもかかわらず全体のパケット受信率が以下であることから、中継制御によって冗長なパケット中継率を抑制しつつ、より多くの宛先車両にパケットを伝搬できていることが確認できた。以上の結果から、提案手法UGADが都市環境における情報散布手法として有効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。

参考文献

- [1] Chen, W., Guha, R. K., Kwon, T. J., Lee, J. and Hsu, Y. Y.: A survey and challenges in routing and data dissemination in vehicular ad hoc networks, *IEEE ICVES 2008*, pp. 328–333 (2008).
- [2] Maihofer, C.: A Survey of Geocast Routing Protocols, *IEEE Comm. Surveys and Tutorials*, Vol. 6, No. 2, pp. 32–42 (2004).
- [3] Ghafoor, H. and Aziz, K.: Position-based and geocast routing protocols in VANETs, *Emerging Technologies (ICET), 2011 7th International Conference on*, pp. 1–5 (2011).
- [4] Ko, Y. B. and Vaidya, N. H.: Geocasting in Mobile Ad Hoc Networks: Location-Based Multicast Algorithms, *Proc. WMCSA'99*, pp. 101–110 (1999).
- [5] Ko, Y. B. and Vaidya, N. H.: Flooding-Based Geocasting Protocols for Mobile Ad Hoc Networks, *Mobile Networks and Applications*, Vol. 7, No. 6, pp. 471–480 (2002).
- [6] Ni, S., Tseng, Y., Chen, Y. and Sheu, J.: The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network, *Proc. MobiCom'99*, pp. 151–162 (1999).
- [7] Williams, B. and Camp, T.: Comparison of broadcasting techniques for mobile ad hoc networks, *MobiHoc '02*, pp. 194–205 (2002).
- [8] Bachir, A. and Benslimane, A.: A multicast protocol in ad hoc networks inter-vehicle geocast, *VTC 2003-Spring*, pp. 2456–2460 (2003).
- [9] Wisitpongphan, N., Tonguz, O. K., Parikh, J. S., Mudalige, P., Bai, F. and Sadekar, V.: Broadcast storm mitigation techniques in vehicular ad hoc networks, *IEEE Wireless Communications*, Vol. 14, No. 6, pp. 84–94 (2007).
- [10] Fleury, M., Qadri, N. 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).
- [11] Schwartz, R. S., Das, K., Scholten, H. and Havinga, P.: Exploiting beacons for scalable broadcast data dissemination in VANETs, *9th ACM International Workshop on Vehicular Inter-Networking, Systems, and Applications, VANET 2012*, ACM, pp. 53–62 (2012).
- [12] Ohwada, Y., Maeno, T., Kaneda, S., Hisanaga, R. and Takai, M.: Realistic ITS Simulation with Scenargie Simulator, *IPSSJ DICOMO*, pp. 233–234 (2008).
- [13] 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 (Ver 1.1), http://www.jari.jp/resource/pdf/O13_its/H23_simyu11.pdf (accessed 2013-05-21).