

VANET における高車両密度地域への トラフィック誘導を行う 位置依存情報配信手法 APAM の性能評価

岡本 惇一郎^{†1} 石原 進^{†2}

端末の移動などにより端末間の通信接続性が保証されないアドホックネットワークにおいて、各端末が他端末の保持するデータに対するアクセス性能を向上させる手法として、生成した情報の複製配布が有効である。筆者らは、車両間アドホックネットワークにおける位置依存情報の複製配布手法として、複製を車両密度の高い幹線道路へ誘導し、誘導先の幹線道路上の車両に複製の保持と配布を行わせる高車両密度地域誘導型複製配布手法 Assigning Populated Area as Message storage area (APAM) を提案している。APAM では、要求及び応答メッセージを車両密度の高い経路に沿って配送することで、幹線道路に配置された複製と要求メッセージとを遭遇させる。これまでに、APAM を用いることで位置依存情報に対する要求の到達率を向上させ、要求の配送遅延を抑制することを確認したが、要求を受信した車両が情報要求車両に対して送信する応答に関する評価を行っていなかった。本稿では、応答を含めた問い合わせ全体に対する APAM の効果を検証し、シミュレーション結果から、APAM を用いることで低遅延で情報に対するアクセス性能を向上させることを明らかにした。また、情報発生位置周辺の広い範囲に複製を配布するよりも、幹線道路に複製を配置する方が、少ない複製配布トラフィックで、高いアクセス性能を実現することを明らかにした。

Evaluation of Data Dissemination Scheme for Location-Dependent Data in VANET by Guiding Data Traffic to High Vehicle Density Areas

JUNICHIRO OKAMOTO^{†1} and SUSUMU ISHIHARA^{†2}

In vehicular ad hoc networks (VANET), due the mobility of vehicles, it is difficult for nodes to access data on other nodes reliably. In order to improve the accessibility from vehicles to data generated at other vehicles, it is useful to distribute replicas of such data. We have proposed a Assigning Populated

Area as Message storage area (APAM) method, in which replicas of a location-dependent data item are distributed around the birthplace of the data and on the main streets where the vehicle density is high, and each vehicle sends a message along a route where vehicle density is high so that the request message can encounter vehicles which have the requested data. Though we have investigated that the reachability of request messages is improved by using APAM, we have not evaluated the impact of the APAM on the whole query operation including the reachability of reply messages. In this paper, from simulation results, we present that the success rate of queries to the location-dependent data is improved by distributing the replicas on the main streets and sending message along the route where there are many vehicles. We also present that the accessibility is improved with small replica distribution traffic by distributing replicas on the main streets compared to distributing replicas on wide area around the birthplace of the data.

1. はじめに

車々間アドホックネットワーク (Vehicular Ad hoc NETWORKs: VANET) では、渋滞情報などのある位置に関連する情報 (位置依存情報) を固定のインフラを用いず車々間で共有するため、サービスの利用範囲による制限が小さく、通信インフラの設置や管理の必要がないため低コストでサービスを提供することができる。筆者らは、ドライバーが興味のある位置の交通状況や道路状態などの情報に対し、その位置に対して問い合わせを行い、対象の情報を得るカーナビゲーションシステムの実現を目標として、固定のデータサーバを用いない VANET において車両が位置依存情報を生成・収集・共有する位置依存情報共有システム SOLA (System for Sharing Objects with Location information on Ad hoc network) の開発を行っている。SOLA では、位置依存情報の生成位置周辺を走行する車両がその情報を保持することを想定する。その位置依存情報を必要とする車両は、特定の領域内を走行する車両を宛先として geocast により問い合わせメッセージ (図 1: 車両 A) を送り、その要求に合致する情報を保持する車両 (図 1: 車両 B) から応答を受信することで情報を取得する。車両の移動によりネットワークトポロジが頻繁に変化する VANET では、情報を特定の位置に留めるために、情報を生成した車両が情報の複製を他の複数の車両に配布すること

^{†1} 静岡大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Shizuoka University

^{†2} 静岡大学創造科学大学院

Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

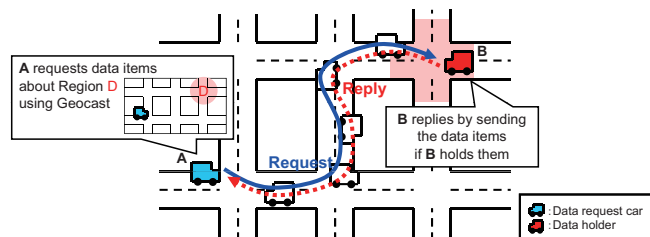


図 1 車両間アドホックネットワーク上での位置依存情報共有システム：SOLA

が有効である．一般に，車両密度の低い地域では車々間で情報を交換する機会が少ないため，位置依存情報の複製を効率的に配布することは困難である．さらに，低車両密度下では，情報に対する要求及び応答メッセージを中継する車両の候補が少なくなるためこれらのメッセージが配送の途中で損失してしまう．

以上の問題に対し，筆者らは文献 1)2) で，位置依存情報の複製を，車両が多く存在する幹線道路上の車両に配置することで，車両密度の低い地域で生成された位置依存情報に対するアクセス性能を向上させる高端末密度地域誘導型複製配布手法 APAM (Assigning Populated Area as Message storage area) を提案している．文献 1)2) では，シミュレーション評価の結果，情報生成位置周辺にのみ複製を配布する従来手法に比べ，APAM を用いることで複製を保持している車両への要求の到達率を向上させることができることを明らかにした．また，各車両が要求メッセージを車両密度の高い経路に沿って配送するように制御することで，要求到達率を向上させ，要求の配送遅延を削減できることを確認している．しかしながら，これらの評価では，該当する情報を保持する車両に要求メッセージが到達したか否かの評価しかしておらず，応答を含めた問い合わせ全体の成功率に関する評価が行われていなかった．そこで，本稿では，応答を含めた問い合わせ全体の評価を行う．また，これまでの評価では，複製の配置先のパターン数が少ない中で評価を行っており，効果的な複製配置パターンに関する検討は不十分であった．本稿では，より多くの配置パターンによる比較に基づいて，情報生成位置周辺，幹線道路及び情報生成位置から幹線道路に至る経路上に複製を配置することで，少ないトラフィック負荷で高い問い合わせ成功率を実現できることを示す．

以下，2 章で VANET における情報共有に関する関連研究について述べた後，3 章で，高車両密度地域へ複製を誘導する複製配布手法 APAM について説明する．4 章ではシミュレーションモデルと結果について示し，APAM を用いることで低遅延で高い問い合わせ性能を

実現できることを示す．最後に，5 章でまとめを述べる．

2. 関連研究

本研究と同様に，VANET における位置依存情報の複製配布手法が多く研究されている．Maihofer らは，情報生成端末によって設定された期間，ある特定の領域内に存在する全ての端末に繰り返しパケットを送信する Abiding Geocast を提案している³⁾．Abiding Geocast では，移動端末が Geocast 送信サーバとなりデータ配信をする手法，近隣端末間での情報交換により特定の領域にデータを配信する手法を用いることにより，特定領域に情報を送信し続ける．この手法では，一定期間特定領域に対し繰り返し情報を配布する点で本研究と同じアプローチを取っているが，情報配信時に道路構造を考慮していない点で本研究と異なる．

また，メッセージのルーティングに関して，既存の Geographical Forward を用いた手法のように，単に宛先となる位置まで最短経路でメッセージを配送するのではなく，車両密度や移動傾向を考慮してより低遅延で高い信頼性のメッセージ配送を行うための研究がなされている．Zhao らは，Carry and Forward⁴⁾ の使用を前提とした Greedy Forward に基づくパケット配送方式 Vehicle-Assisted Data Delivery (VADD) を提案している⁵⁾．VADD では，統計上の車両密度情報を元に，パケット配送遅延が最小となる経路を推定し，その経路に沿って Carry and Forward によりパケットを配送する．パケット配送遅延は車両密度と平均的な車両の移動方向に基づいて算出され，ダイクストラ法を用いて各道路セグメント単位で宛先までのパケット配送遅延が最も短くなる経路を計算する．パケット中継車両は，交差点において，パケット配送遅延が最小となる経路上に存在する車両の中から宛先位置に最も近い隣接車両を次ホップとして選択する．また，文献 6) では，リアルタイムの交通流情報を利用して，道路構造に基づいたパケットの配送経路を構築するルーティング方式 Road-Based using Vehicular Traffic (RBVT) が提案されている．RBVT では，ネットワークトポロジを構築するために，パケット送信車両は定期的に Connectivity Packet (CP) をネットワーク内の車両にユニキャストで送信し，宛先となる車両との間の全ての道路セグメントを CP 内に記録する．パケット送信車両が自身が送信した CP を受信すると，CP を基に宛先車両までの最小経路を計算し，その経路に沿ってパケットを送信する．提案手法 APAM では，パケットの転送に車両密度に基づいて決定したパケット配送コストが最小となる経路を用いる点でこれらの手法と同じであるが，その経路を複製の配置先として使用し，複製へのアクセス遅延の減少，アクセス成功率向上を目指しているという点でこれらの手法とは異なる．

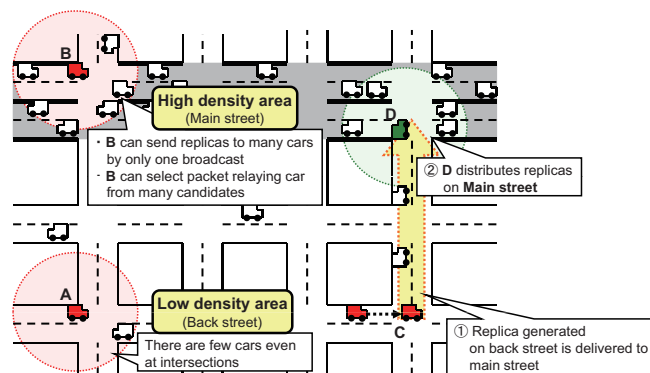


図 2 高末端密度地域誘導型複製配布手法

3. 高末端密度地域誘導型複製配布手法 APAM

本章では、文献 1)2) で提案した高末端密度地域誘導型複製配布手法 APAM の動作について述べる。

3.1 動作概要

APAM では、車両が生成した位置依存情報を車両密度の高い幹線道路まで転送し、幹線道路上で複製配布を行う。APAM は、位置依存情報の複製が情報発生位置周辺に存在する車両によって保持されていると見なし、各車両は興味のある位置を宛先として Geocast により問い合わせを行うものとして設計されている。車両密度の低い地域では、位置依存情報を生成した車両、並びにその複製配布の中継を行う複製配布車両が複製を配布しようと試みても、複製を受信する車両が存在しないことが多く、十分に複製配布が行われないため、情報を生成位置周辺に留めておくことが困難である。同様に、情報に対する要求及び応答メッセージの転送に関しても、それらの中継する車両が存在しなければメッセージのロスや配送遅延が増加する(図 2: 車両 A)。一方、車両の多い地域では一度のブロードキャストによる複製配布で多くの車両に複製を受信させることができるうえ、メッセージの中継車両の候補が多く存在するため、上記の問題は起きづらい(図 2: 車両 B)。そこで、APAM では、低車両密度地域で発生した情報においても高いアクセス性能を得るために、位置依存情報を生成した車両は情報を幹線道路へ転送し(図 2: 車両 C)、幹線道路上を走行する車両に複製を配布させる(図 2: 車両 D)。また、各車両は、各道路セグメントの車両密度に基づいてパケット配送コストを推定し、コストの合計が最小となる経路、すなわち車両密度がよ

り高い道路セグメントに沿って要求及び応答メッセージを配送する。これらの動作により、幹線道路に配置されている位置依存情報の複製と要求メッセージとを遭遇させる機会を増やす。

3.2 想定環境

APAM で想定している環境は以下の通りである。

- VANET を構成している各車両が信号などの交通ルールに従い道路上を移動する。
- 各車両は GPS などにより自身の現在位置を取得可能である。
- 各車両はデジタルマップを保持し、各道路セグメントにおける車両の平均密度情報が予め含まれているか、走行中の車両の情報交換によって得られた最新の情報が含まれているものとする。
- 固定のデータサーバは存在せず、各車両は他の車両がどのような情報を保持しているかわからない。
- 各車両は、現在位置周辺の領域に関する情報(位置依存情報)を生成する。生成した情報には発生時刻と位置、及び有効期限が与えられる。
- 各車両は興味のある地点を含む道路セグメントの中心座標を指定して要求を生成し、その中心座標に向けて Geocast で要求を送信する。
- 各車両は、要求及び応答メッセージを転送する際、転送可能な車両が存在しない場合、メッセージを保持したまま移動し、次に車両と遭遇した時点でメッセージを転送する Carry and Forward ベースのルーティングプロトコルを用いる。
- 各ノードには十分な記憶容量があり、車両間で交換する情報によって記憶領域が不足することはない。

3.3 複製配布動作

APAM の複製配布処理は、文献 7) で提案された Road-aware Direction-based replica distribution scheme (RD 方式) に従う。RD 方式は、道路構造と車両密度の偏りを考慮し、信号待ちなどによって車両密度が増加することが期待される交差点において、選択された少数の車両が複製を配布することで、少ない送信回数で多くの車両に複製を配布することを可能とする手法である。RD 方式では、車両同士で定期的に Hello メッセージを交換し、隣接車両の保持する位置依存情報の ID リストを含む隣接車両リストを作成、保持していることを前提とする(図 3)。情報生成車両、あるいは複製を受信して再配布を行うよう指定された車両(次配布車両)(図 4: 車両 A)は、情報生成位置周辺の交差点で複製配布を行う。このとき、異なる交差点で再度複製の配布が行われるようにするために、車両自身が交差点

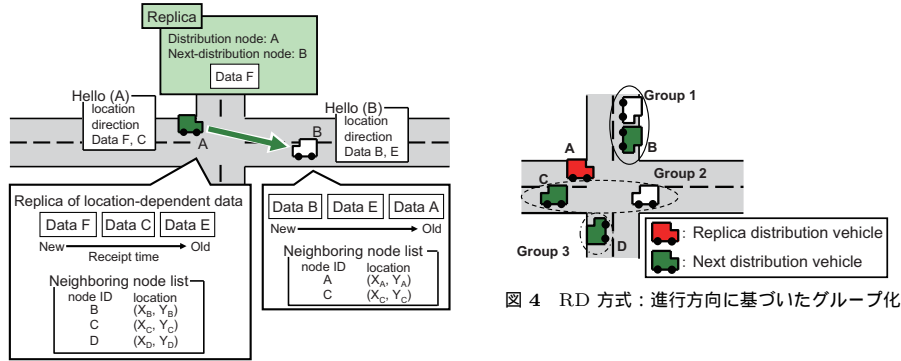


図 3 RD 方式：各車両の保持する情報

に到達したときに自身の隣接車両を進行方向に基づいてグループ化し、各グループにつき 1 台の車両を次配布車両として選択する（図 4: 車両 A, B, C, D）。その後、それらの車両 ID を付加した複製を 1 ホップブロードキャストで送信する。次配布車両として指定された車両は、それらが次に到達した交差点で受信した複製を配布する。また、位置依存情報をその生成位置周辺に留めるために、複製配布を行う範囲（複製配布範囲）を設定し、複製の配布を行う領域を制限する。次配布車両として指定された車両であっても、複製配布範囲の外側では交差点に到達しても複製配布を行わない。なお、複製を受信した全てのノードは、情報の有効期限が切れるまでその複製を保持する。

3.4 要求・応答メッセージ配送経路の決定方法

APAM では、宛先として指定された位置までのパケット配送遅延が最も小さくなる経路に沿って、要求・応答メッセージの配送を行う。各車両は保持するデジタルマップに記録されている各道路セグメントの平均車両台数に基づいて、各道路セグメントのパケット配送コストを推定する。具体的には、各道路セグメントのパケット配送コストを次の単調減少関数を用いて算出する：

$$c(r) = \frac{1}{\text{Average number of vehicles}} \quad (1)$$

ここで、 $c(r)$ は道路セグメント r のパケット配送コストを表す。このコストに基づいてダイクストラ法を用いて宛先までの経路の内、パケット配送コストの合計 $C(R(r_s, r_d))$ が最小となる経路（パケット配送経路） $R_{\min}(r_s, r_d)$ を求める。

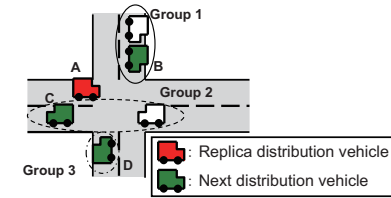


図 4 RD 方式：進行方向に基づいたグループ化

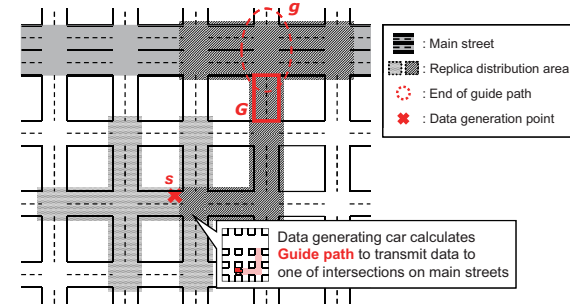


図 5 情報生成位置に対する複製配布範囲の決定方法

$$C(R(r_s, r_d)) = \sum_{r \in R(r_s, r_d)} c(r) \quad (2)$$

$$R_{\min}(r_s, r_d) = \underset{R \in R(r_s, r_d)}{\operatorname{argmin}} C(R) \quad (3)$$

ここで、 r_s はメッセージが生成された道路セグメント、 r_d はメッセージの宛先を含む道路セグメントを意味する。 $R(r_m, r_n)$ は r_m から r_n までのある経路を意味し、 $R(r_s, r_d)$ は、 r_s から r_d までの経路の集合である。

パケットは、Carry and Forward⁴⁾ ベースのルーティング方式に従って配送される。パケットを生成した車両は、Hello メッセージの交換によって得た自身の隣接車両リストに登録されている車両の中から、パケット配送経路上に存在し、自身より宛先位置に近く、かつ自身から最も離れている車両を次に転送を行う車両（次ホップ）として選択する。

3.5 複製配布範囲の決定方法

APAM では、RD 方式における複製配布範囲を変化させ、位置依存情報の複製を幹線道路へ転送し、幹線道路並びにその幹線道路に至る経路上に複製を配置する。ここで、幹線道路をパケット配送コストが閾値以下である連続する道路セグメントの集合と定義する。また、各道路セグメントが幹線道路か否かは各車両が保持するデジタルマップ内に記録されているものとする。

車両が位置依存情報を生成すると、次の範囲を位置依存情報の複製配布範囲とする。

- (1) 位置依存情報生成位置周辺
- (2) 情報生成位置から幹線道路までの経路の内、パケット配送コストが最小となる経路
- (3) 幹線道路

(2) では、情報生成位置から幹線道路までの経路の内、パケット配送コストが最小となる経路 R_{opt} を複製配布範囲とする。

$$G = \underset{r \in M'}{\operatorname{argmin}} C(R(r_b, r)) \quad (4)$$

$$R_{opt} = R_{\min}(r_b, G) \quad (5)$$

ここで、 M' は幹線道路 M に隣接する道路セグメントの集合を意味する。また、 G は情報生成位置 r_b から幹線道路までの経路の内、パケット配送コストの合計が最小となるような幹線道路に隣接する道路セグメントを意味する。

(3) の幹線道路上の複製配布範囲は以下のように定められる。 g を G が接続する幹線道路上の交差点とする。この交差点 g に隣接する幹線道路上の前後 1 セグメントを複製配布範囲とする。

なお、車両が位置依存情報を幹線道路上で生成した場合、情報生成位置から幹線道路までの距離は 0 であるため、情報生成位置周辺にのみ複製を配布する。

4. シミュレーション評価

JiST/SWANS シミュレータを用いて、高末端密度地域誘導型複製配布手法 APAM を評価した。文献 2) では、幹線道路へ複製を配置し、要求を車両密度の高い経路に沿って配送することで、情報に対する要求の到達率を向上させることを確認した。しかし、該当する情報を保持する車両に要求が到達したか否かの評価しかしておらず、応答を含めた問い合わせ全体に関する評価が行われてなかった。本章では、高末端密度地域誘導型複製配布手法 APAM の有効性を示すために、要求及び応答を含めた問い合わせ全体の評価を行い、要求・応答それぞれについて、複製配布動作及び複製配布範囲、メッセージ配送経路の決定方法の効果について検討を行う。その後、複製を幹線道路へ配置することの効果을明らかにするために、複製配布範囲の問い合わせ成功率と複製配布トラフィックへの影響について検討する。

4.1 シミュレーションモデル

シミュレーション領域として 3000m 四方の 2 次元平面上に、東西南北方向に道路を 500m 間隔にそれぞれ 7 本、計 14 本を含むマップを用いた。マップ内を走行する車両は無線 LAN IEEE802.11b により通信を行う。通信帯域幅を 11Mbps に固定し、通信可能半径を 200m とした。各車両は Hello メッセージを 1s 間隔でブロードキャストする。Hello メッセージのサイズは、UDP、IP ヘッダを含めて 100bytes とした。また、Hello メッセージの TTL を 1s とし、期限が切れると隣接車両リストから要素が削除されるものとした。

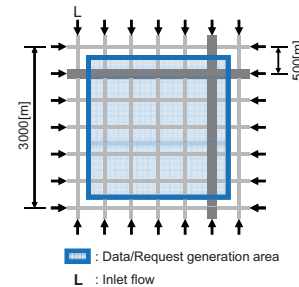


図 6 シミュレーション領域

表 1 交差点における車両の分岐率

走行道路	交差道路	直進 [%]	右 (左) 折 [%]
一般道路	幹線道路	20	40
幹線道路	一般道路	90	5
一般道路	一般道路	70	15
幹線道路	幹線道路		

4.1.1 車両移動モデル

車両の移動軌跡を交通流シミュレータ NETSIM を用いて作成した。各車両はシミュレーション領域の端にある 28 個の道路端点から流入し、領域内を最高速度 60km/h で走行する。領域内の車両密度に偏りを生じさせるために、車両が集中する道路 (幹線道路) とそれ以外の道路 (一般道路) を設置した。幹線道路と一般道路はそれぞれ、片側 2 車線、片側 1 車線とした。各交差点には、青 26s、黄 3s、赤 31s の 60s 周期で切り替わる信号機が設置されている。車両は表 1 の分岐率に従って移動する。

4.1.2 データ生成モデル

各車両は現在走行中の道路セグメントに対応する位置依存情報を生成する。生成される情報は、生成時刻と生成された道路 ID を含み、そのサイズは UDP、IP ヘッダを含めて 1000bytes、有効期間を 300s とし、1 回のシミュレーション試行で 20 個程度生成した。

4.1.3 要求生成モデル

位置依存情報に対する要求メッセージは、要求生成領域内を走行する各車両によって平均 200s の指数乱数で得られる間隔で生成されるものとした。このとき、情報要求先の道路 ID はシミュレーション領域内の全道路からランダムに選択される。生成される要求メッセージは、情報要求先道路 ID を含み、そのサイズは UDP、IP ヘッダを含めて 128bytes、TTL を 120s とした。

4.1.4 応答生成モデル

要求を受信した車両は、要求された位置依存情報を保持している場合、要求が生成された位置を宛先とした応答メッセージを生成する。生成される応答メッセージは、要求生成位置と情報要求車両 ID を含み、そのサイズは UDP、IP ヘッダを含めて 1000bytes、有効期間は該当する位置依存情報の有効期間と同じものとする。

4.1.5 メッセージの配送

要求と応答メッセージは、3.4 節で述べた方法に従って決められた配送経路に沿って、Carry and Forward ベースのルーティング方式に従って転送される。ただし、要求メッセージを受信した車両は、その要求に該当する情報を保持している場合、それ以上の転送を行わない。また、応答メッセージは要求元の車両に到達するとそこで転送を終える。Carry and Forward によるメッセージ配送は、以下のように行われるものとした。要求・応答メッセージを生成した車両は、Hello メッセージの交換によって得た自身の隣接ノードリストに登録されている車両の中から、パケット配送コストの合計が最小となる経路上に存在し、自身より宛先位置に近く、かつ通信範囲内で自身から最も遠く離れる車両を次に転送を行う車両（次ホップ）として選択する。このとき、自身が交差点外にあり、隣接車両の中に交差点にいる車両が存在する場合、宛先位置に近い車両が他に存在しても、交差点にいる車両を次ホップとする。メッセージを受信した車両は、自身が次ホップとして指定されていれば、隣接車両リストを基に次ホップを選択し、メッセージをブロードキャストする。

メッセージの転送中に、周辺に通信可能な車両が存在しない場合、要求メッセージの損失を防ぐために、次のようにパケット転送を行う。

- (1) 通信可能範囲内にメッセージを転送可能な車両が存在しない場合、転送可能な車両が Hello メッセージにより検出されるまでパケットを保持する（Carry）。
- (2) Carry 中にメッセージ及び Hello メッセージを受信したら、保持している隣接車両リストに登録されている全車両リストの中から次ホップを再選択する。
- (3) 隣接車両リストにメッセージを転送可能な車両が含まれる場合、Carry を終了し、メッセージにその車両の ID を付加しブロードキャストする。転送可能な車両が存在しない場合には、引き続き Carry を行う。

4.1.6 評価指標

以下の評価指標について評価を行った。

- 問い合わせ成功率：要求先の道路セグメントで情報が生成されていた場合における要求メッセージの生成数に対して、該当する情報保持車両からの応答が要求を生成した車両に到達した回数の割合。
- 要求到達率：要求先の道路セグメントで情報が生成されていた場合における、要求メッセージの生成数に対して、該当する情報の複製を保持している少なくとも 1 台の車両が要求メッセージを受信した回数の割合。なお、同じ要求に対して複数の複製保持車両が受信した場合も、受信回数は 1 回と見なす。

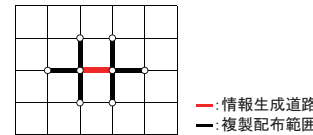


図 7 情報生成位置周辺への複製配布（狭）

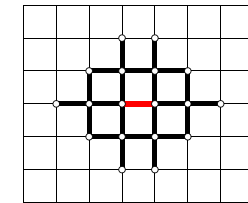


図 8 情報生成位置周辺への複製配布（広）

- 応答到達率：要求された情報を保持する車両が生成した応答メッセージ数に対する、該当する情報要求車両が応答メッセージを受信した回数の割合。
- 複製配布トラフィック：生成された位置依存情報 1 つあたりの複製ブロードキャスト回数。
- 要求配送遅延：要求メッセージが生成されてから該当する情報の複製を保持している車両へ到達するまでの配送遅延。

なお、シミュレーション上の時間 3600s の試行を 20 回行い、各指標についてその平均値を求めた。ただし、シミュレーション開始直後 600s は、定常状態へ遷移するまでの猶予期間とし、データの計測は行っていない。

4.2 シミュレーション結果と考察

本節では、APAM における要求及び応答を含めた問い合わせ全体の評価を行い、要求・応答それぞれについて複製配置先及びメッセージ配送経路決定方法の影響について評価する。次に、複製の配置先として幹線道路上に複製を配置することの効果を明らかにするために、複製配布範囲の問い合わせ成功率と発生する複製配布トラフィックへの影響を明らかにする。

幹線道路への複製配置の効果を示すために、複製の配置先として、以下の三つの複製配布範囲を比較する。

- 情報生成位置周辺 (a)：情報生成道路の両端の交差点と、その交差点から一つ先の交差点まで（図 7：AroundBirthplace (BP)）
- 情報生成位置周辺 (b)：情報生成道路の両端の交差点と、その交差点から二つ先の交差点まで（図 8：ExtendAroundBirthplace (EBP)）
- 幹線道路：情報生成道路からパケット配送コストの合計が最小となる幹線道路の交差点までの経路と、その交差点から幹線道路方向に一つ先の交差点まで（3.5 節の (2) と (3)）(MainStreet (MS))

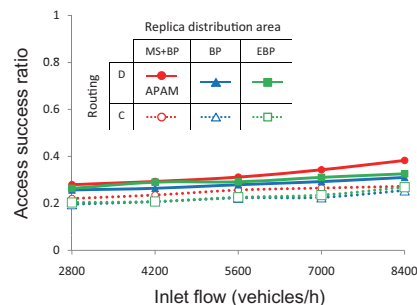


図 9 問い合わせ成功率

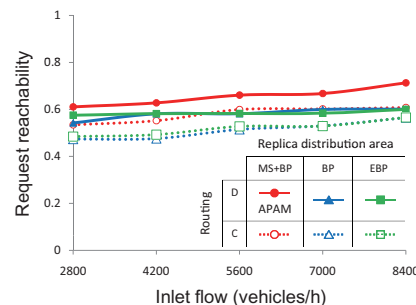


図 10 要求到達率

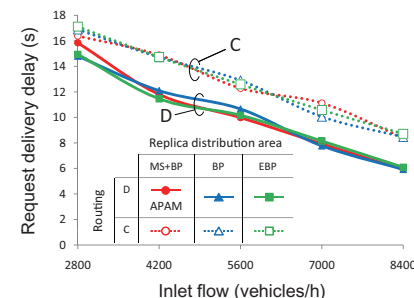


図 11 要求配送遅延

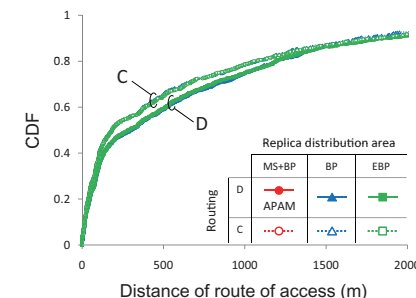


図 12 到達した要求の転送距離の分布

また、車両密度の高い経路に沿ってメッセージを配送することの効果を検証するために、以下の二つの経路制御手法を比較した。

- 密度ベースルーティング (Density (D)): 車両が要求/応答メッセージを生成したとき、宛先位置までの経路の内、3.4 節に示したパケット配送コストの合計が最小となる経路に沿ってメッセージを配送する
- 距離ベースルーティング (CityMapRange (C)): 車両は要求/応答メッセージを転送するとき、宛先位置までの経路の内、道路上の距離が最も短い経路に沿ってメッセージを配送する

以上の複製配布範囲及びメッセージ配送経路決定方法をそれぞれ組み合わせた 6 パターンについて比較を行った。なお、この内、複製配布範囲が MS+BP と経路制御手法 D の組み合わせが APAM に相当する。以下、このような手法の組み合わせを、略して MS+BP+D と書く。他の組み合わせに関しても同様である。

4.2.1 問い合わせ成功率

図 9 に各複製配布手法を用いた場合の問い合わせ成功率、図 10 に要求到達率を示す。図 9 を見ると、流入車両台数の増加に伴って提案手法 APAM が他の複製配布手法に比べ高い問い合わせ成功率を示している。また、図 10 より、APAM を用いることで流入車両台数が多い場合 (8400[vehicles/h])、他の複製配布手法比べ要求到達率が最大 11% 向上していることがわかる。

二つのメッセージ配送経路制御手法の要求配送への影響について検討する。まず、要求到達率 (図 10) について比較すると、密度ベースの経路制御を行った場合 (実線)、距離ベースの場合 (点線) よりも高い要求到達率を示している。特に APAM は車両密度の増加に伴

い、要求到達率が高くなる。これは、流入車両台数が増加することで幹線道路を走行する車両が多くなり、要求が幹線道路に沿って配送されることで幹線道路上に配置された複製に到達する機会が増加したためと考えられる。図 11 に要求配送遅延を示す。また、図 12 に到達した要求の転送距離の分布を CDF で示す。図 11 を見ると、流入車両台数の増加に伴い、密度ベース、距離ベースいずれの経路制御手法を用いた場合もメッセージ配送遅延が減少しているが、密度ベースを用いた場合には特に、配送遅延の抑制の度合いが大きい。また、図 12 を見ると、密度ベースを用いた場合、距離ベースに比べてより長い転送距離で送られるメッセージが多いことがわかる。これらの結果より、要求の配送経路を密度ベースで決定することで、距離ベースで配送経路を決定した場合よりも、転送距離が延びるものの要求配送遅延を抑制することができるという。

次に、応答に関して注目する。図 13 に応答到達率を示す。同図より、流入車両台数の増加に伴い、距離ベースに比べ密度ベースの経路制御を行うことで応答到達率が向上していることがわかる。情報要求車両、情報保持車両はどちらも移動しているため、要求が生成されてから情報保持車両に到達するまでに時間が経過すると、情報要求車両が要求生成位置から離れてしまう。密度ベースの経路制御を行うことで、要求配送遅延を抑制し、情報要求車両が遠く離れる前に応答を受信させることができたと考えられる。

4.2.2 複製の配置先に関する検討

APAM の問い合わせ成功率向上について、複製配布範囲を高車両密度地域とすることの効果について詳しく検討する。前節で示した要求到達率 (図 10) を見ると、メッセージ配送経路決定方法別に、幹線道路を複製の配置先とする MS+BP+D (APAM) 及び MS+BP+C がそれぞれ高い値を示した。図 8 に示されるように、情報生成位置周辺の広い領域を複製配布範

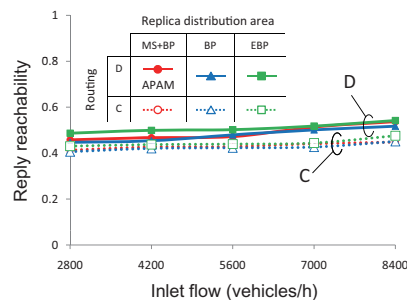


図 13 応答到達率

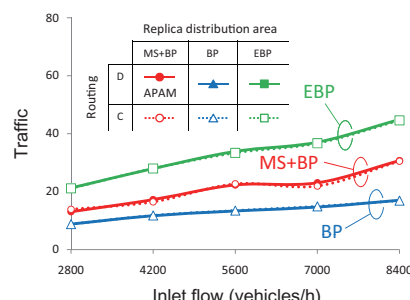


図 14 複製配布トラフィック

図とする EBP+D, EBP+C に比べ、幹線道路へ複製を配布する APAM 及び MS+BP+C の方が高い要求到達率を達成しており、幹線道路への複製配布が効果的であるといえる。図 14 に、シミュレーション時間内に複製配布範囲内で配布された複製の複製配布トラフィックを示す。複製配布範囲の違いによる複製配布トラフィックへの影響を比較すると、情報生成位置周辺の広い範囲に複製を配布する EBP+D 及び EBP+C が最も多く複製を配布しており、続いて、幹線道路を複製配布範囲とする MS+BP+D (APAM) 及び MS+BP+C、情報生成位置周辺の狭い範囲に複製を配布する BP+D 及び BP+C という結果になった。複製配布範囲 MS+BP 及び EBP は、BP の複製配布範囲を拡大しているために BP に比べ複製配布トラフィックが増加している。MS+BP, EBP を比較すると、EBP の方が流入車両台数の増加に伴うトラフィックの増加量が多い。このことから、情報生成位置周辺の広範囲に複製を配布するよりも、幹線道路へ複製を誘導し、幹線道路上で複製を配布の方が複製配布トラフィックを抑制できていることがわかる。先の要求到達率と併せて評価すると、幹線道路へ複製を転送・配布することで、情報生成位置周辺にのみ配布する従来手法に比べ、少ないトラフィック負荷で要求到達率を向上させることができるといえる。

5. ま と め

本稿では、文献 1)2) で提案した位置依存情報の複製を車両密度の高い幹線道路へ誘導し、幹線道路上の車両に複製を配置する高端末密度地域誘導型複製配布手法 APAM の詳細な評価を行った。これまでに、情報生成位置に加え幹線道路上で複製を配布し、複製配布機会を増加させることで情報に対する要求の到達率が向上することを確認していたが、本稿では、要求及び応答を含めた問い合わせ全体に関する評価を行い、APAM を用いることで問い合

わせ成功率を向上させることができることを示した。また、少ないトラフィックで高い問い合わせ成功率を実現する効率的な複製配布先について検討した。評価の結果、情報生成位置周辺、幹線道路及び情報生成位置から幹線道路に至る経路上で複製を配布することで、情報生成位置周辺の広範囲に複製を配布する場合に比べ、約半分の複製配布トラフィックの増加で最大 11% 要求到達率が向上することを確認した。

今回の評価では、APAM を用いることで問い合わせ成功率、特に要求到達率を向上させることを確認した。今後の課題として、応答到達率の向上のために、要求生成時刻からの経過時間と移動方向、全体的な車両の移動傾向などから情報要求車両の移動を推測し、情報要求車両が存在し得る領域に応答を配布するといった、移動する宛先に向けたルーティング手法の考案が考えられる。また、APAM では車両密度の高い道路セグメントの集合を幹線道路とし、その地理的配置が既知であるものとした。しかし、現実的には時間帯によって交通量は変化し、車両密度の高い道路の配置が変化する。したがって、静的な幹線道路の基準がない場合においても提案手法が機能するための工夫が必要である。

参 考 文 献

- 1) 岡本惇一郎, 石原進: VANET における高車両密度地域へのトラフィック誘導を行う位置依存情報配布手法の検討, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2010) シンポジウム論文集, Vol. 2010, No. 1, pp.16-24 (2010).
- 2) Okamoto, J. and Ishihara, S.: Distributing Location-Dependent Data in VANETs by Guiding Data Traffic to High Vehicle Density Areas, Proceeding of the 2nd IEEE Vehicular Networking Conference (VNC 2010), pp. 189-196 (2010).
- 3) Maihofer, C. et al.: Abiding geocast: Time-stable geocast for ad hoc networks, Proceeding of the 2nd ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET '05), pp.20-29 (2005).
- 4) Zhao, W. et al.: Message Ferrying: Proactive Routing in Highly-partitioned Wireless Ad Hoc Networks, Proceeding of 9th IEEE Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems, pp. 308-314 (2003).
- 5) Zhao, J. et al.: VADD: Vehicule-Assisted Data Delivery in Vehicular Ad Hoc Networks, IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. 57, No. 3, pp. 1910-1922 (2008).
- 6) Nzouonta, J. et al.: VANET Routing on City Roads using Real-Time Vehicular Traffic Information, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.58, No.7, pp.3609-3626 (2009).
- 7) 山中麻理子, 石原進: VANET における Geocast による要求を想定した位置依存情報の複製配布手法, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.1, pp.303-307 (2009).