

車両間アドホックネットワークにおける 固定ノード併用による効果的な 位置依存情報複製配布手法の提案

岡本 惇一朗^{†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を他端末に配布する複製配布が有効である。本論文では、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、交差点に設置した少数の固定ノードと車両により複製配布を行う System for Sharing Objects with Location information on Ad hoc network Fixed node eXtention (SOLA-FX) を提案する。SOLA-FX では、低車両密度下において、固定ノードが複製の保持及び配布を行うことで、情報を生成位置周辺に留める。様々な固定ノードの設置パターンを用いたシミュレーションにより、固定ノードの複製配布動作及び設置場所の評価を行った。固定ノードを情報生成位置周辺に設置することで、少ないノード数で情報に対するアクセス成功率を向上させることを確認した。また、複製配布車両が交差点で複製を配布するときにそこに存在する車両数が少ない場合にのみその交差点にいる固定ノードが以後他の車両にその複製を再配布させることで、低車両密度の車両間ネットワークで少ないトラフィックでアクセス成功率を向上できることを確かめた。

A Fixed-Node Assisted Replica Distribution scheme for Location-dependent Information on VANETs

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

In vehicular ad hoc networks (VANETs), 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 the replicas of such data. However, if the density of the vehicles is low, it is difficult to distribute enough number of the replicas. In this paper, we propose System for Sharing Objects with Location information on Ad hoc network Fixed node eXtention (SOLA-FX). SOLA-FX utilizes small number

of fixed nodes at intersections so that they support storing, distributing and forward request / reply messages. We conducted simulations to find suitable positions of the limited number of fixed nodes and replica distribution operation between vehicles and fixed nodes. The results show that arranging fixed nodes in area close to the source area of popular data items and making each fixed nodes broadcast a replica if it receives the replica in condition where there are small number of vehicles around it is effective to improve the accessibility to such replicas with small replica distribution overhead.

1. はじめに

交通事故や渋滞といった特定位置に関連した情報（位置依存情報）の配布の手段として、車両間アドホックネットワーク（Vehicular Ad hoc NETWORKs: VANETs）が注目されている。VANETs では、車両のみで通信を行うため、ネットワークインフラに依存しないという特徴がある。また、位置依存情報のやり取りであれば、ローカルな通信で処理が完了するため、特定のサーバなどを用意し、管理する必要がない。そのため、既存の固定通信インフラの設置、管理にかかるコストを削減でき、低コストで情報の交換が可能となる。

筆者らは、固定のデータサーバのないアドホックネットワーク上で、車両が位置依存情報を収集、共有する位置依存情報共有アプリケーション SOLA (System for Sharing Objects with Location information on Ad Hoc network) について検討を行っている。SOLA では、固定インフラによって情報を保持する代わりに、移動する車両間の適切なやり取りによって、位置依存情報がその位置周辺に現在存在する車両によって保持されることを想定する。要求者は Geocast によって興味のある位置へ問い合わせを送信し、宛先となった位置周辺に存在する車両がその要求を受け取ると、その位置周辺の情報を返送する。しかし、VANETs では、ネットワークを構成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ため、車両間の接続性が保証されない。そのため、このような環境において車両間で情報を共有することを想定した場合、他車両が保持する情報に常にアクセスできるとは限らない。SOLA では、情報発生位置周辺に存在する車両、ならびに Geocast によるそれらへの要求送信経路上の車両が情報発生位置に関連する情報の複製を持つように、複製を配布

^{†1} 静岡大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Shizuoka University

^{†2} 静岡大学創造科学技術大学院

Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

する。

SOLA では、車両が少ない状況においては、情報の複製を他の車両に配布することができず、その情報に対するアクセス成功率が低下してしまう。そこで、本論文では、少数の固定ノードを路側に設置することで、低車両密度下における位置依存情報に対するアクセス性能を向上させる位置依存情報複製配布手法 SOLA-FX (SOLA Fixed nodes eXtention) を提案する。SOLA-FX では、固定ノードが受信した複製を保持することで、複製の一時的な配置先としての役割を担う。また、保持している複製を車両へ配布することで、低車両密度下における複製配布機会を増加させる。

以下、2 章では VANETs における情報共有及び固定ノードを利用した情報収集に関する関連研究について述べる。3 章では、少数の固定ノードを用いた複製配布手法 SOLA-FX について述べ、4、5 章ではシミュレーションモデルと結果を示す。6 章でまとめを述べる。

2. 関連研究

VANETs 上で固定ノードを併用した情報共有を行う手法として、CAS と SADV が提案されている。

Lee らは、センタレスプロブ型の環境¹⁾において、車両が収集したプロブ情報を、固定ノード (Infostation) へ転送し、Infostation へアクセスすることで情報を共有する手法 Content-Addressed Storage (CAS) を提案している²⁾。同手法では、予め車両密度に応じて配置した固定ノードに情報を集めることで情報共有を行う。車両は収集した情報を Infostation へ送信し、Infostation へ問い合わせを行うことで情報を取得する。車両密度が疎となる環境においては情報の収集が困難となるが、これを解決するためには、領域を細かく分割して、Infostation の設置数を増やす必要がある。本論文で提案する SOLA-FX は固定ノードの利用は、移動ノードに対する補助的なものであり、全面的に固定ノードに依存する CAS とは異なる。

Ding らは、交差点に固定ノードを設置し、それらの中継することで低車両密度下におけるパケット転送遅延の増大を抑制するルーティングプロトコル Static-node assisted Adaptive data Distribution protocol in VANETs (SADV) を提案している³⁾。SADV は、ネットワーク領域内の全ての交差点に固定ノードを設置する。固定ノードは転送されてきたデータをバッファし、そのデータの転送遅延が最小となる経路へ転送するようルーティングを行う。この手法では、固定ノードを領域内の全ての交差点に設置するため、一部の交差点に設置された少数の固定ノードを用いる本研究とは異なる。

本研究と同様に、VANETs における位置依存情報の複製配布手法が研究されている。Maihofler らは、一定期間ある特定の領域内に存在する全ての端末にパケットを送信する Abiding Geocast を提案している⁴⁾。Abiding Geocast では情報生成端末によって設定された期間、領域に対して繰り返し情報の配送が行われる。この手法では、一定期間特定領域に対し繰り返し情報の複製が配布される点で本研究と同じアプローチを取っているが、複製配布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、Xu らは、遭遇した車両と保持する情報を交換することで、特定領域内に情報を留める手法を提案している⁵⁾。同手法では、情報発生からの経過時間が短く、情報発生位置からの距離が短い情報ほど優先的に保持する。提案手法 SOLA-FX では、交差点で複製配布を行うのに対し、この手法では車両と遭遇する度に複製配布を行うため、本研究とは異なる。

3. SOLA-FX

本章では、SOLA-FX について説明する前に、想定環境、ベースとする RD 方式の概要を説明し、その後 SOLA-FX の設計について述べる。

3.1 想定環境

本研究ではこれまでの SOLA と同様に、以下の環境を想定している。

- VANETs を構成している各車両は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。
- 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。
- 位置依存情報は、その発生位置に関連付けられた情報である。
- 各車両は、利用したい情報を保持していない場合には、その情報の発生位置へ向けて Geocast⁶⁾ により要求メッセージを送信する。
- 要求メッセージを受信したノードは、指定された位置依存情報を応答として返送する。
- 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 Forward⁷⁾ に従ったメッセージ転送処理を行う。
- 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。

SOLA では、位置依存情報の複製が適切な複製配布処理によって、その発生位置周辺に存在するノードによって保持されていると見なす。情報要求者 (図 1: ノード A) は、情報

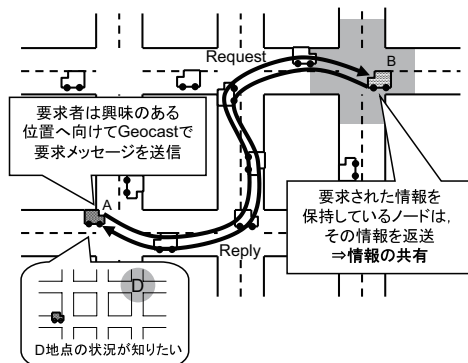


図 1 車両間アドホックネットワーク上での位置依存情報共有システム: SOLA

発生位置 (図 1: D 地点) へ向けて Geocast により要求メッセージを送信し、要求された情報 (の複製) を保持するノード (図 1: ノード B) が応答を返すことで情報の共有を行う。筆者らは、この SOLA を用いたアプリケーションとして、ドライバーが、タッチスクリーンなどで地図上の興味のある地点を指定して、その位置の交通情報や、周辺の店舗情報などの問い合わせを行うなどのサービスを想定している。

3.2 RD 方式

本節では、筆者らの提案手法 SOLA-FX のベースとなる Road-aware Direction-based replica distribution scheme (RD 方式)⁸⁾ の複製配布動作の概要と問題点について述べる。RD 方式は、道路構造と車両密度の偏りを考慮し、車両が交差点で複製を配布することで、少ない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。

3.2.1 RD 方式の動作概要

RD 方式では、車両同士で定期的に Hello メッセージを交換し、各車両は隣接車両リストならびに隣接車両の保持する位置依存情報の ID リストを作成、保持していることを前提とする (図 2)。RD 方式における複製配布は、信号待ちなどにより車両密度の増加が期待される交差点で行われる。情報生成車両あるいは複製を受信し再配布を行うよう指定された車両 (次配布車両) は、情報が生成された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。具体的には、交差点到達時点での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 3)。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

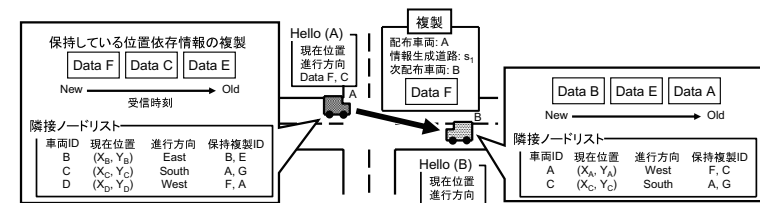


図 2 RD 方式: 各車両の保持する情報

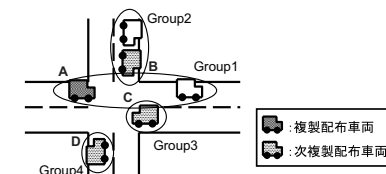


図 3 RD 方式: 進行方向に基づいたグループ化

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複製を配布する。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。

3.2.2 RD 方式における問題点

車両のみで複製配布を行う RD 方式では、低車両密度下においては位置依存情報に対するアクセス成功率が向上しないという問題がある。これは、複製配布車両が交差点に到着したとき、複製を受信する車両が少ない、あるいは存在しないと、十分な数の複製を配布できないためである。この結果、情報生成位置周辺に情報を留めておくことができず、問い合わせに対し応答が行うことができない。また、情報に対する要求及び応答メッセージの転送においても、十分な数の車両が存在しなければメッセージの中継が行えない。

3.3 SOLA-FX の設計

前節で述べた問題点を解決するために、情報の複製の一時的な配置先及び他ノードへの複製の配布を行うノードとして固定ノードを交差点に配置し、要求及び応答メッセージの到達率を向上させる方法を検討する。以降、SOLA で固定ノードを含むものを SOLA-FX と呼ぶ。本節では、以下の 2 つの観点から、SOLA-FX の設計について述べる。

- 固定ノードの設置場所
- 固定ノード及び車両の複製配布動作

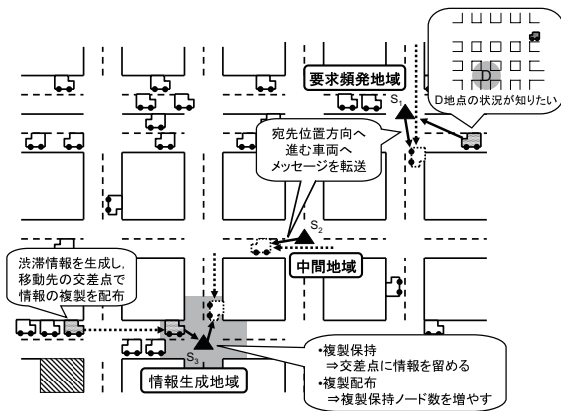


図 4 固定ノードの設置場所

3.3.1 固定ノードの設置場所

ノード間の通信接続性を保証するために、固定ノードを大量に配置することは、固定ノードの設置・整備コストの増大を招く。そのため、少数の固定ノードを適切な場所に配置することが重要である。RD方式では、交差点間の道路よりも、交差点のほうが一般に車両密度が高く、一度のプロードキャストで多くの車両へ複製配布が可能であることを期待し、複製配布車両は交差点で情報の複製を配布する。固定ノードによる複製の受信、送信によっても、同様の考え方が可能である。そこで、SOLA-FXでも固定ノードの設置場所を交差点に限定することにする。

固定ノードを配置する交差点の候補として以下の地域が考えられる。

- 要求メッセージが頻繁に生成される地域（要求頻発地域）
- 要求メッセージが頻繁に生成される地域と情報が頻繁に生成される地域の中継地点（中間地域）
- 情報が頻繁に生成される地域（情報生成地域）

例として、交通量が多い幹線道路が存在する地域を考える（図4）。遠方から幹線道路を走行してやってきた車両が、幹線道路から離れた施設を利用したとしたとき、そこまでの経路の交通情報を知りたいとし、同様の目的を持った車両が幹線道路上に複数存在するとする。多くの車両は幹線道路に沿って移動するため、目的地方向へ進む車両は少ない。そこで、要求頻発地域（図4: 固定ノード S_1 ）や中間地域（図4: 固定ノード S_2 ）に設置した固

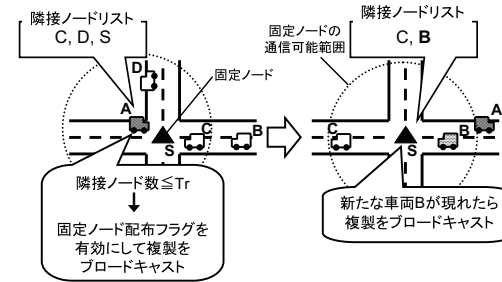


図 5 複製配布動作: FewReceivers(T_r)

定ノードを利用して要求及び応答メッセージの中継を行い、宛先へメッセージを確実に配送するようにする。また、経路上で発生した交通情報の複製を、情報発生地域に設置した固定ノード（図4: 固定ノード S_3 ）に保持させることで、情報をその位置に留める。これにより、情報発生地域に近づいた要求メッセージに対し確実に応答を返送する。

3.3.2 複製配布動作

RD方式と同じくSOLA-FXでも、次配布車両として指定された車両は、次の交差点に到達したとき、隣接ノード（固定ノード、車両）が存在すると、複製をプロードキャストする。このとき複製を受信したノードのうち、車両に関しては、RD方式に従って次配布車両が指定される。この情報はプロードキャストされる複製に付加される。固定ノードに関しては、この複製を受信した固定ノードが、単に複製を受信し複製を保持するだけなのか、それともその後ある条件を満たした時に複製をプロードキャストするかどうかを固定ノード配布フラグによって指定する。固定ノード配布フラグが有効になった複製を受信した固定ノードは、以下で説明する2つの方式それぞれで決められた条件にしたがって車両へ複製を配布する。

FewReceivers(T_r): 複製受信ノードが少ない場合に固定ノードに複製を配布させる

固定ノードが設置された交差点に到着した複製配布車両（図5: ノードA）は、自身の隣接ノードリスト内のノード数が閾値 T_r 以下のとき、固定ノード配布フラグを有効にし、複製を配布する。隣接ノード数が T_r 以上である場合は、固定ノード配布フラグを無効とする。この複製を受信した固定ノードは複製を保持し続ける。固定ノードは、新たに交差点に進入してきた車両を Hello メッセージにより検出すると、その時点の自身の隣接ノードリスト内に含まれる全車両を次配布車両として指定し、複製をプロードキャストする。この方式では、低車両密度下において固定ノードによる複製配布が頻繁に行われる。一方、交差点付近

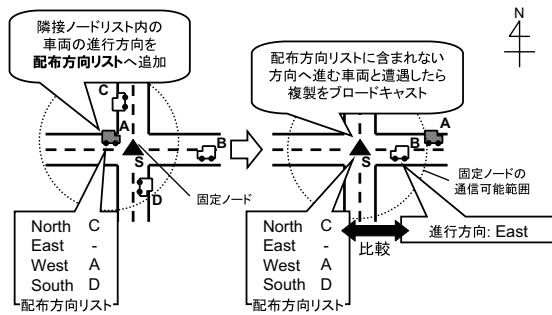


図 6 複製配布動作: OmniDist

の車両密度が高い場合、固定ノード配布フラグがセットされないので、固定ノードによる複製配布は行われない。

OmniDist: 注目交差点の全隣接交差点で複製配布が行われるように固定ノードに複製を配布させる

車両密度が低い場合、一般に交差点から延びる各方向への交差点には車両密度に偏りがある。例えば、幹線道路近辺の交差点では、幹線道路方向へ向かう交通量が多い。このような方向毎の交通量分布に関わらず、各方向に満遍なく複製を配布するために、OmniDist 方式では、車両による交差点での複製配布では、複製を送ることができなかった方向へ向かう車両に固定ノードが遭遇したときのみ、複製をブロードキャストする。具体的には、以下のような処理を行う。

複製配布車両 (図 6: ノード A) は、固定ノードが設置された交差点で複製を配布するとき、固定ノード配布フラグを有効にした複製に、配布方向リストを付加して配布する。それ以外の交差点では、固定ノード配布フラグを無効にする。配布方向リストとは、その交差点から延びる各方向での複製配布を予定する車両の ID を含んだリストである (図 6)。固定ノードは、新しく車両と遭遇したとき、その車両の進行方向が配布方向リストに含まれていない場合 (図 6: ノード B)、次配布車両としてその車両を指定して複製をブロードキャストする。

3.3.3 固定ノードによる複製配布トラフィックの削減

固定ノードが新たに車両と遭遇する度に複製配布を行うと、交差点付近に存在する車両数の増加に伴い、複製配布トラフィックが増大することが予想される。これを回避するために、固定ノードによる複製配布に条件を設ける。以下に示す二つの条件のいずれかを満たす

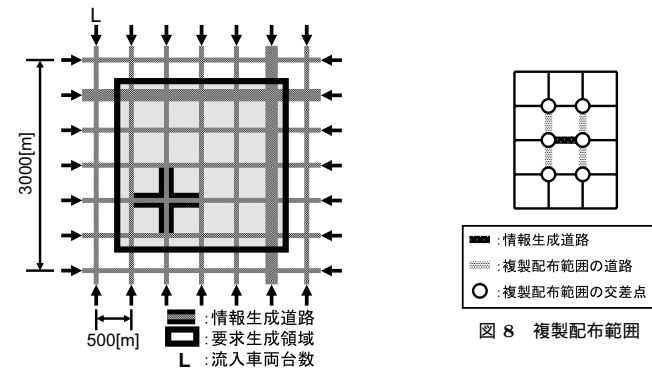


図 7 シミュレーション領域

場合、固定ノードは複製配布を行わない。

台数制限法: 隣接ノードリスト内の車両数が閾値 T_h 未満

一度の複製配布で一定数以上の車両に複製を受信させるために隣接車両数に閾値を設ける。固定ノードは、複製を配布するとき、自身の保持する隣接ノードリストを参照し、隣接ノード数が閾値 T_h 未満の場合、複製配布を行わない。

時間制限法: 前回の複製配布からの経過時間が閾値 T_p 未満

固定ノードが短期間に複製配布を繰り返し行くと、固定ノードの通信可能範囲内に存在する車両は同じ複製を受信してしまう。これを防ぐために、複製の配布間隔に閾値を設ける。固定ノードは、複製を配布するとき、最後にその複製を送信した時刻 (前回配布時刻) からの経過時間が閾値 T_p 未満である場合、複製配布を行わない。

4. シミュレーション評価

JiST/SWANS シミュレータを用いて、固定ノードの設置場所及び固定ノードの複製配布動作の比較を行った。

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 $3000\text{[m]} \times 3000\text{[m]}$ の 2 次元平面上に、東西南北方向に道路を 500[m] 間隔にそれぞれ 7 本、計 14 本を含むマップを用いた (図 7)。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 11[Mbps] に固定し、通信可能半径は 100[m] とした。各車両は Hello メッセージを 1[s] 間隔でブロードキャ

	直進 (%)	右左折 (%)
一般道路 幹線道路	20	40
幹線道路上	90	5
一般道路 一般道路	70	15
幹線道路 幹線道路		

表 1 交差点における車両の分岐率

ストする。Hello メッセージのサイズは、UDP、IP ヘッダを含めて 100[bytes] とした。また、Hello メッセージの TTL を 1[s] 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。複製配布範囲は、情報生成道路の両端にある交差点までと、その交差点から情報生成道路に直行する方向にある 1 つ先の交差点までとした (図 8)。

4.2 移動モデル

車両の移動軌跡は交通流シミュレータ NETSIM⁹⁾ 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 60[km/h] で移動する。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: 図 7 内太線) とそれ以外の道路 (一般道) を設置した。幹線道路と一般道路の車線数をそれぞれ片側 2 車線、片側 1 車線とした。各交差点には、青 26[s]、黄 3[s]、赤 31[s] の 60[s] 周期で切り替わる信号機が設置され、車両は表 1 の分岐率に従って移動する。

4.3 データ生成モデル

各車両は図 7 の情報生成道路を走行しているとき、200[s] 周期で、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 1000[bytes]、TTL を 300[s] とした。

4.4 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、図 7 の要求生成領域内に含まれる交差点とその間の道路を走行中の各車両によって、200[s] 周期で生成される。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 128[bytes]、TTL を 120[s] とした。

4.5 要求メッセージの配送

要求メッセージのルーティングは、Greedy Forwarding と Carry and Forward を組み合わせた経路制御によって行われる。

要求メッセージを生成した車両 (図 9: ノード A) は、Hello メッセージの交換によって得

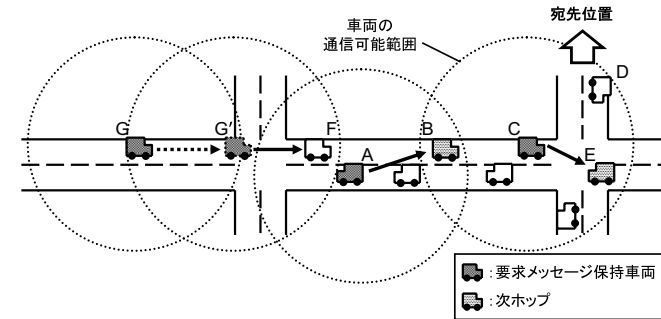


図 9 次ホップの選択

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、自身よりも宛先位置に近く、かつ宛先位置に最も近い車両を次に転送を行う車両 (次ホップ) として選択する (図 9: ノード B)。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 (図 9: ノード C)、宛先位置に近い車両 (図 9: ノード D) が他に存在しても、交差点にいる車両 (図 9: ノード E) を次ホップとする。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。一方、該当する情報を保持していない場合には、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、要求メッセージをブロードキャストする。

Greedy Forwarding による転送中に、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、次のような Carry and Forward を利用したパケット転送を行う。

- (1) 通信可能範囲内に要求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) (図 9: ノード G)。
- (2) Carry 中に要求メッセージ及び 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 (図 9: ノード G')。
- (3) 隣接車両リストに要求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、要求メッセージにその車両の ID を付加しブロードキャストを行う (図 9: ノード G', F)。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。

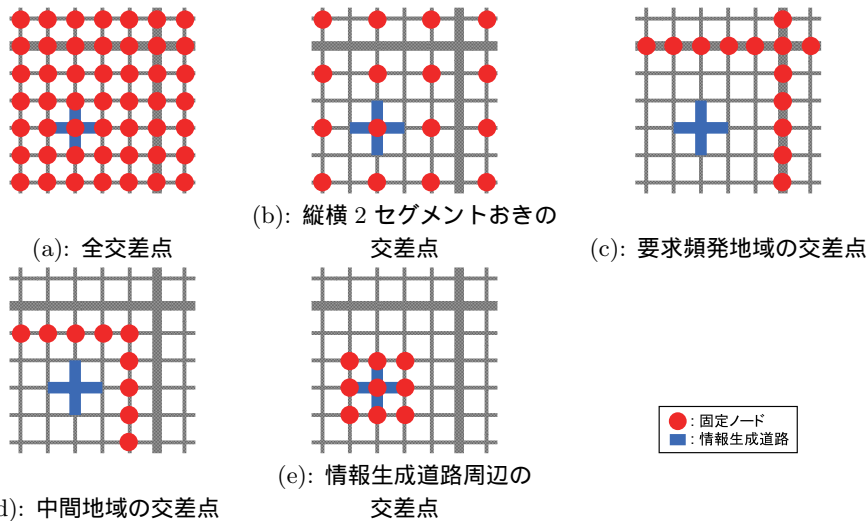


図 10 固定ノードの設置場所

4.6 固定ノードの配置場所

3.3.1 節で述べた固定ノードの配置場所に対応するように図 10 に示す 5 つのパターンを用意した。

4.7 評価指標

以下の評価指標について評価を行った。

- 要求到達率
 要求先の道路セグメントが情報生成道路になっている要求の数に対する、該当する情報の複製を保持している車両が要求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
 生成された情報 1 つあたりの複製ブロードキャスト回数

今回のシミュレーションでは、応答メッセージの到達率については評価をしていない。これは、移動する車両に対するパケット配送には、車両の移動先の位置の推定などの課題があり、それらを解決する検討については本論文では行っていないためである。

なお、シミュレーション上の時間 3600[s] の試行を 10 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 600[s] 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。

4.8 比較対象

SOLA-FX における複製配布動作として 3.3.2 節で述べた固定ノード複製配布方式 FewReceivers(T_r)、OmniDist を用いた。

これらの比較手法として次の 3 つの手法を用いた。(i)NoStaticNode: 固定ノードを用いない。(ii)NoDistribution: 固定ノードが配置され、車両から送信された複製を保持するが、固定ノード側からの複製配布は行わない。(iii)Always: 固定ノードが配置され、受信した複製を全て保持する。また、新たに車両と遭遇する度に複製をブロードキャストする。

5. シミュレーション結果と考察

本章では、SOLA-FX における複製配布動作の評価結果を示す。以下に、固定ノードの設置場所、固定ノードの複製配布動作、そして固定ノードの複製配布トラフィック削減手法の効果の検証を行う。

5.1 固定ノードの設置場所の検証

図 11 に、車両のみで複製配布を行う NoStaticNodes と各設置場所における SOLA-FX の要求到達率を示す。ただし、ここでは 3.3.3 節で述べた固定ノードによる複製配布トラフィック削減手法を用いていない。

固定ノードを (a) 全交差点、(e) 情報生成道路周辺の交差点に設置した場合、車両のみによる複製配布を行う NoStaticNodes に比べ、複製配布方式 FewReceivers(3)、Always が交通量が少ないときに要求到達率が向上した。これらの配置場所の共通点は、固定ノードを情報生成道路周辺に設置していることである。情報生成道路周辺の 9 箇所全ての交差点に固定ノードを設置した場合(図 11(e))、シミュレーション領域内の 49 箇所全ての交差点に設置した場合(図 11(a)) に比べ、固定ノード数は大幅に少ないが、要求到達率は同程度向上している。一方、(c) 要求頻発地域の交差点と、(d) 中間地域の交差点に固定ノードを設置した場合、固定ノードを利用した手法はいずれも NoStaticNode の要求到達率とほぼ変わらない値を示した。幹線道路上では、車両が多く存在しているため、固定ノードを設置せずとも、宛先方向へ進む車両へ要求メッセージを転送することが可能であったと思われる。

これらの結果から、固定ノードの情報生成領域周辺への設置の有効性が確かめられた。

5.2 固定ノードの複製配布動作の検証

次に、固定ノードの導入に伴う要求到達率の向上の度合いと、複製配布トラフィックの増加量について検討する。複製配布トラフィックの増加量に対して、要求到達率の増加の度合

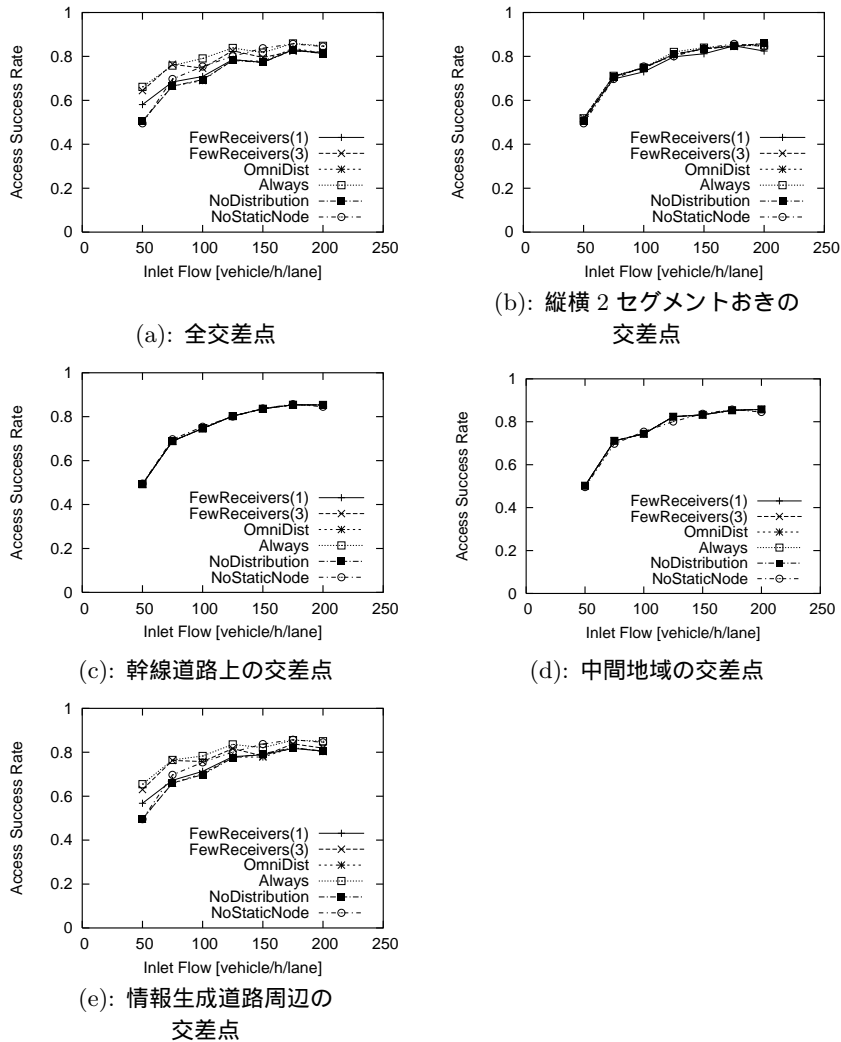


図 11 要求到達率

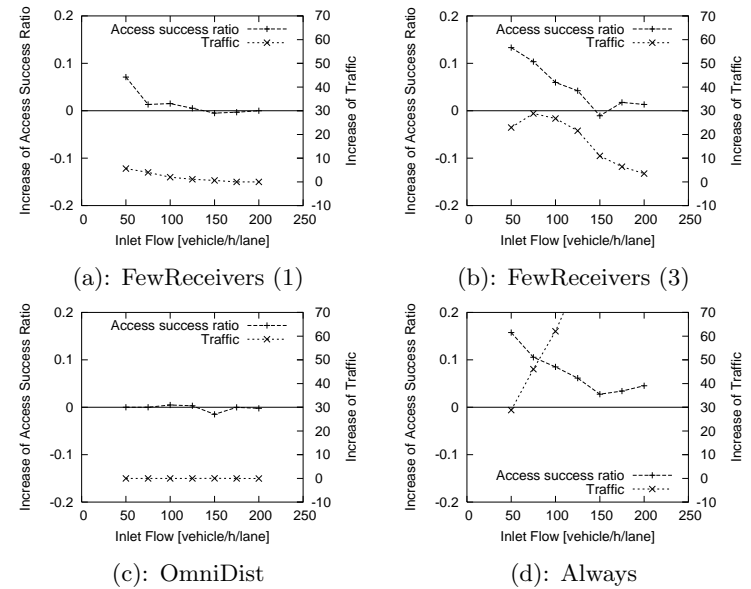


図 12 固定ノードによる複製配布方法の違いの影響 (固定ノード設置場所: 情報生成道路周辺の交差点)

いが大きいことが理想である。ここでは、要求到達率の増加の度合いを示す指標として、各方式における要求到達率から NoDistribution のときの要求到達率を減じた値 (要求到達率増加量) を用いた。

図 12 に、情報生成道路周辺に固定ノードを設置した場合における要求到達率増加量と複製配布トラフィックの増加量を示す。同図より、固定ノードによる複製配布方式 FewReceivers(1), FewReceivers(3) 及び Always の場合に、交通量が少ないときに要求到達率増加量が増加していることが読み取れる。また、複製配布トラフィックの増加量に注目すると、Always では交通量の増加に伴って複製配布トラフィックが増加しているが、FewReceivers(1), FewReceivers(3) では、交通量が多くなるにつれ複製配布トラフィックの増加量は減少している。複製配布方式 FewReceivers(3) では、交差点周辺に存在する車両数が少ないため、固定ノード配布フラグが有効になる条件を満たしやすく、固定ノードによる複製配布が頻繁に行われている。一方で、車両数が増加すると固定ノードによる複製配布が行われず、固定ノードによる複製配布トラフィックが減少している。

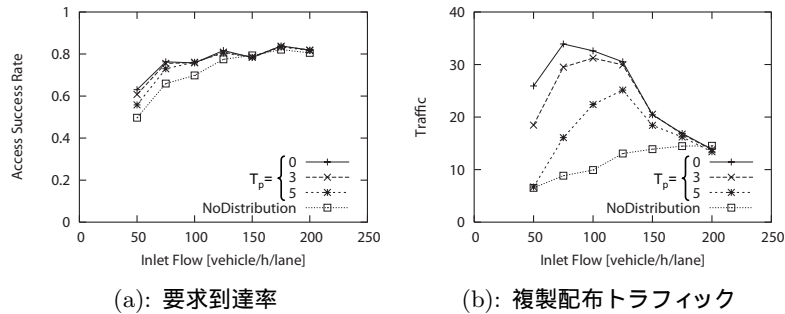


図 13 固定ノード複製配布トラフィック削減手法の効果: 台数制限法

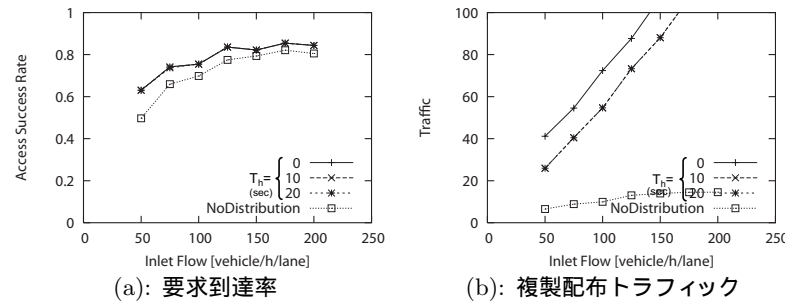


図 14 固定ノード複製配布削減手法の効果: 時間制限法

5.3 固定ノード複製配布トラフィック削減手法の効果

3.3.3 節で述べた固定ノードによる複製配布トラフィック削減手法の効果を検証する。ここでの評価では、固定ノードを情報生成位置周辺の交差点に設置した場合の結果を示している。

台数制限法

図 13 に、固定ノードが複製を配布するために満たすべき隣接ノード数の閾値 T_h を変化させた場合の要求到達率及び複製配布トラフィックを示す。この図では、複製配布動作としては全て fewReceivers (3) を用いた場合の結果を示している。

流入車両台数 50 台のときに注目すると、図 13(b) では、固定ノードが自身の隣接車両が 5 台以上のときに複製を配布するとき、NoDistribution と同程度までトラフィックが減少している。一方で、要求到達率は、図 13(a) で示すように、NoDistribution に比べ向上して

いる。しかし、流入車両台数が 75~175 台時には、複製配布トラフィック削減手法を用いていない場合に比べ、トラフィックは削減できてはいるものの、依然としてトラフィックは高い値を示しているため、車両流入台数に応じて閾値を設定する必要があると考えられる。

時間制限法

図 14 に、固定ノードが複製を配布するために満たすべき前回の複製配布からの経過時間の閾値 T_p を変化させた場合の要求到達率及び複製配布トラフィックを示す。ここでは、複製配布動作として Always を用いた場合の結果を示す。

図 14(a) より、時間制限法を用いた複製配布では、 T_p の値によらず要求到達率は NoDistribution に比べ向上しているのにも関わらず、図 14(b) で示されるように、 T_p を設定しない場合に比べ、複製配布トラフィックを削減することができた。これより、前回の複製配布からの経過時間に閾値を設定することが有効であることがわかる。この前回の複製配布からの経過時間に関しても、隣接ノード数に応じて T_p の値を増加させることで、複製配布トラフィックの急激な増加を抑制できると考えられる。

台数制限法、時間制限法ともに、固定ノードによる複製配布を制限しトラフィックを減少させるが、NoDistribution に比べ高い要求到達率を得ることができる。台数制限法では、車両密度が低いときにトラフィックを大きく削減し、時間制限法では、車両密度に関わらず一定のトラフィックの削減が見られた。両手法には依存関係はないので、これらの手法を併用することで、固定ノードによる複製配布が頻繁に行われる低車両密度下において、より効率的な複製配布が行うことができると考えられる。

6. ま と め

低車両密度の車両間アドホックネットワークにおける位置依存情報に対するアクセス性能を向上させるために、車両と交差点に設置された少数の固定ノードを利用した位置依存情報複製配布手法 SOLA-FX を提案し、少ないトラフィックの増加量、固定ノードでアクセス成功率を増加させるための固定ノードの配置方法、複製配布戦略について検討した。

複数の固定ノード配置方法、複製配布戦略を想定したシミュレーションにより、位置依存情報が頻繁に生成される地域へ固定ノードを設置することで、領域内の全交差点へ設置する場合と同程度の要求到達率が得られることを確認した。特に、前複製配布車両が RD 方式に従って指定した次配布車両が少ない場合のみ、固定ノードにより車両へ複製配布を行うことで、複製配布に伴うトラフィックを抑えつつ複製配布機会を増加できることを確かめた。また、固定ノードが、複製配布時に自身の隣接車両数、あるいは前回複製配布からの経

過時間を考慮して複製配布の実施の有無を制御することで、固定ノード利用に伴う複製配布トラフィックの増加を抑制できることを確認した。

今回の評価では、位置依存情報が限られた特定の位置のみから発生している場合のみを考慮したが、一般には、位置依存情報の発生は複数の極大点を持って道路上に分布している。今後、位置依存情報の発生頻度に対して一般的な分布を想定して提案方式の評価を行うほか、固定ノードの配置と複製配布戦略の改良を行う予定である。

参 考 文 献

- 1) (財)日本自動車研究所: センタレスプローブ情報システムの開発に関するフィージビリティスタディ報告書 (2007).
- 2) Lee, U., Magistretti, E., Zhou, B., Gerla, M., Bellavista, P. and Corradi, A.: Efficient Data Harvesting in Mobile Sensor Platforms, Proceeding of the 4th annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, pp.352–356 (2006).
- 3) Ding, Y., Wang, C. and Xiao, L.: A Static-Node Assisted Adaptive Routing Protocol in Vehicular networks, Proceeding of 4th ACM International workshop on Vehicular ad hoc networks, pp.59–68 (2007).
- 4) Maihofer, C., Leinmuller, T. and Schoch, E.: Abiding geocast: time-stable geocast for ad hoc networks, Proceeding of 2nd International Workshop on Vehicular ad hoc networks, pp.20–29 (2005).
- 5) Xu, B., Ouksel, A. and Wolfson, O.: Opportunistic Resource Exchange in Inter-Vehicle Ad-Hoc Networks, Proceeding of IEEE International Conference on Mobile Data Management, pp.4–12 (2004).
- 6) Ko, Y., B., and Vaidya, N., H.: Geocasting in Mobile Ad Hoc Networks Location Based Multicast Algorithms, IEEE Workshop on Mobile Computer Systems and Applications, pp.101–110 (1999).
- 7) Wu, J., Yang, S. and Dai, F.: Logarithmic Store-Carry-Forward Routing in Mobile Ad Hoc Networks, IEEE Transactions on, Parallel and Distributed Systems, Vol.18, No.6, pp.735–748 (2007).
- 8) 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.31–41 (2009).
- 9) Rathi, A., K. and Santiago, A., J.: Urban Network Traffic Simulation: TRAF-NETSIM Program, Transportation Engineering, Vol.116, No.6, pp.734–743 (1990).