

## VANETにおける車両密度を考慮した 少数固定ノード併用型位置依存情報複製配布手法の検討

岡本 惇一郎<sup>†1</sup> 石原 進<sup>†2</sup>

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。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、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) を提案している。SOLA-FX では、既存のネットワークに接続されていない少数の固定ノードを交差点に設置し、車両が生成した位置依存情報の複製の保持及び配布、要求応答メッセージの転送を行う。本稿では、SOLA-FX における情報へのアクセス性能向上に必要な固定ノード数と効果的な配置場所に関して検討を行い、固定ノードの情報生成地域周辺の交差点への設置の有効性を確かめた。また、固定ノードによる複製配布で、隣接車両数や複製の配布間隔を制限することで、アクセス成功率を大きく低下させることなく大幅に複製配布トラフィックを削減できることを確認した。

### Replica Distribution scheme for Location Dependent Data in Vehicular Ad Hoc Networks using a small number of fixed nodes

JUNICHIRO OKAMOTO<sup>†1</sup> and SUSUMU ISHIHARA<sup>†2</sup>

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 replicas. We have proposed a System for Sharing Objects with Location information on Ad hoc Network Fixed Node eXtention (SOLA-FX). SOLA-FX utilizes small number of fixed nodes that do not have the connectivity with infrastructure network. They are placed at intersections so that they support storing, distributing location de-

pendent data generated by vehicles, and forwarding request / reply messages. In this paper, we investigate the effect of SOLA-FX. From this results, we obtained the minimum number of fixed nodes and the most effective layout to improve the accessibility to the replica, and confirmed it is effective to place fixed nodes at intersections where data items are generated frequently. We also confirmed that making each fixed node cancel replica distribution according to the number of neighbors and the time interval from the previous replica distribution reduces traffic without decreasing of the accessibility.

#### 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: VANET）が注目されている。VANET 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、VANET 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が位置依存情報の複製を持つように、複製を配布する。

<sup>†1</sup> 静岡大学

Graduate School of Engineering, Shizuoka University

<sup>†2</sup> 静岡大学

Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

一般的に、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困難である。そこで、筆者らは文献 1) で、少数の固定ノードを路側に設置し、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) を提案している。文献 1) では、いくつかの固定ノードの配置パターンについてシミュレーションによって評価を行い、位置依存情報へのアクセス性能が向上する固定ノードの設置場所、複製配布動作を明らかにした。また、固定ノードの複製配布に伴う冗長なトラフィックの増加を削減する手法の効果を検証し、少数の固定ノードの導入でトラフィックを削減できることを確認した。しかし、固定ノード設置位置に関する検討では、要求メッセージや位置依存情報が生成される場所に基づいて、5 つの固定ノード配置パターンのみを用いており、最も効率のよい固定ノードの設置数及び配置先を導出するに至っていなかった。そこで、本稿では、位置依存情報へのアクセス成功率向上のための固定ノードの必要最小台数とその設置パターンを得るために詳細な評価を行った。また、固定ノードによる複製配布に伴うトラフィックの増加を抑制するための複製配布トラフィック削減手法について、新たな評価指標を導入し効率のよい複製配布を実現する条件を明らかにした。

以下、2 章では VANET 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評価結果を示す。6 章でまとめを述べる。

## 2. 関連研究

これまでに車両間で高い信頼で情報共有を行うための研究が多く行われてきた。筆者らが提案した SOLA-FX と同様に、路側に設置された固定ノードを利用した情報共有手法も提案されている。

Lee らは、センタレスプローブ型の環境において、車両が収集したプローブ情報を、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、車両密度に応じてネットワーク領域を直交座標上に分割し、分割した領域にそれぞれ Infostation を設置する。領域内を走行する車両は、収集した位置依存情報を Infostation へ向けて送信する。また、車両は興味のある位置依存情報を取得するために、その地域に設置された Infostation へ問い合わせを行う。低車両密度下においては、車両による情報の収集が困難になるため Infostation を多く設置する必要がある、それに伴うコストが増加してしまう。本稿で提案

する SOLA-FX では、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、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。

また、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 4)。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、道路構造を考慮し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 の想定環境、筆者らが提案した SOLA-FX の設計と、この手法のベースとなる RD 方式<sup>6)</sup>の概要について述べる。

### 3.1 想定環境

本研究では、これまでの SOLA<sup>6)7)8)</sup>と同様に以下の環境を想定している。

- VANET 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、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、

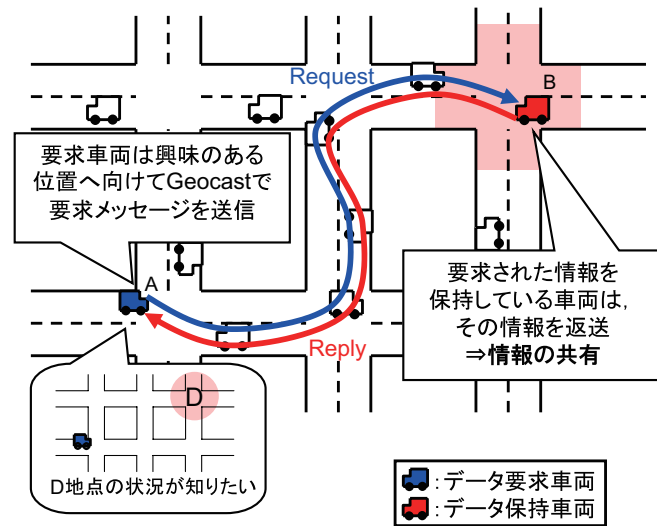


図1 車両間アドホックネットワーク上での位置依存情報共有システム: SOLA

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 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: A)は、情報発生位置(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: B)が応答を返すことで情報の共有を行う。

### 3.2 RD 方式

筆者らの提案した SOLA-FX のベースとなる Road-aware Direction-based replica distribution scheme (RD 方式)<sup>6)</sup> の複製配布動作の概要を述べる。

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。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

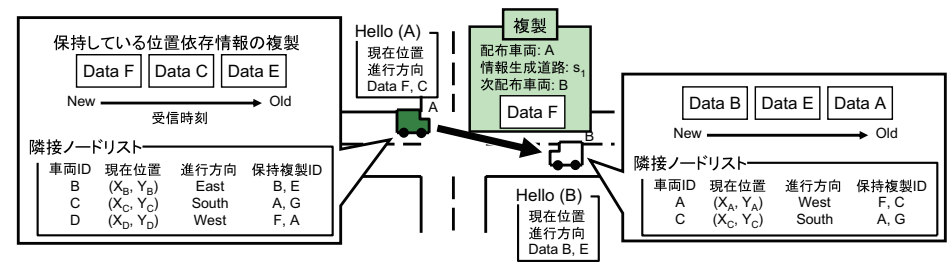


図2 RD 方式: 各車両の保持する情報

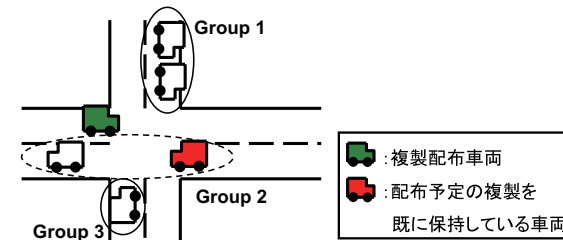


図3 RD 方式: 進行方向に基づいたグループ化

持していることを前提とする(図2)。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、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。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、複製配布時に複製配布範囲外である場合、複製配布を行わない。また、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。

### 3.3 SOLA-FX の設計

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複製配布車両が交差点に到着したとき、必ずしも複製を受信する車両がいるとは限らない。そのため、十分な複製を配布できず、位置依存情報に対するアクセス性能が低下してしまう。

この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 SOLA-FX を文献 1) で提案した。

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

なお、固定ノードは車両と同様に、十分な記憶容量と電源を持つものとする。通信可能距離は車両の場合と同じであり、固定ノード間での直接通信は出来ない程度に固定ノードは互いに十分に離れた位置に配置されるものとする。通信可能距離も車両と同様である。また、固定ノードはインターネットなどのネットワークインフラと接続していないと仮定する。

### 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、一度のブロードキャストで多くの車両へ複製を配布するために、信号待ちなどにより車両密度が高くなるのが期待される交差点で複製の配布を行う。固定ノードによる複製の送受信においても同様の考え方が可能であるとし、これらの設置場所を交差点に限定する。

文献 1) では、固定ノードの配置先として以下の地域について検討を行い、固定ノードが複製の保持配布、及び要求応答メッセージの効果について評価を行った。

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

### 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ブ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。一方、固定ノードに関しては、配布した複製を受信した固定ノードが、その複製を保持するのみか、あるいはその後車両に対して複製をブロードキャストするかを固定ノード配布フラグによって指定する。複製配布車両は、以下で説明する 3 つの方式それぞれで決められた条件に従って、固定ノード配布フラグを有効にする。

**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  $T_r$  以下のときに固定ノード配布フラグを有効にし、それ以外の場合は固定ノード配布フラグを無効にして複製を配布する。固定ノード配布フラグの有効、無効に関わらず、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、固定ノード配布フラグが有効にされた状態で受信した複製をブ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。

**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

一般に交差点から延びる各方向へ進行する車両の台数には偏りがある。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 方式では次の処理を行う。複製配布車両は、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。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 を含んだリストのことである。車両による複製配布時に特定方向に移動する隣接車両が存在しない場合、その方向は配布方向リストには含まれない。固定ノードは、新しく車両と遭遇したとき、固定ノード配布フラグが有効にされた複製において、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、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。

**Always:** 送信した全ての複製を固定ノードに配布させる

固定ノードが設置された交差点に到着した全ての車両は、固定ノード配布フラグを有効にした上で複製を配布する。複製を受信した固定ノードは、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、自身の隣接ノードリスト内の全ての車両を次配布車両として指定し、複製を配布する。

### 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場合、固定ノードは複製配布を行わない。

**台数制限法:** 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。これにより複製配布回数を抑制し、かつ多くの車両に複製を受信させる。

時間制限法：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。これにより、固定ノードが短時間に複製配布を繰り返すことによって、固定ノードの通信可能範囲内の車両が同じ複製を受信することを避ける。

#### 4. シミュレーションモデル

本稿では、文献 1) と同様のシミュレーションモデルを用いて SOLA-FX を評価した。以下で、シミュレーションモデルについて述べる。

JiST/SWANS シミュレータ 9) 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。シミュレーション領域として 3000[m] × 3000[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 4）。領域内には、車両密度が高い幹線道路を設置する（図 4: 太線）。幹線道路は片側二車線、それ以外の一般道路は片側一車線である。領域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 5）。

##### 4.1 車両移動モデル

車両の移動軌跡は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 60[km/h] で移動する。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。

##### 4.2 データ生成モデル

各車両は図 4 の情報生成道路を走行しているとき、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。なお、今回の評価では複製配布の効果を検証するため、車両の流入台数に関わらずシミュレーションを

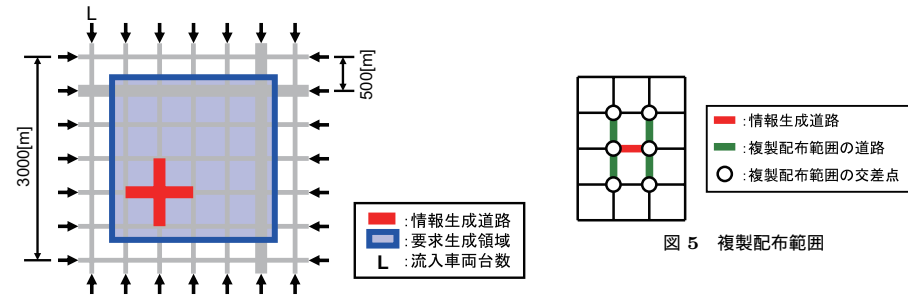


図 4 シミュレーション領域

	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

通して発生する情報の数が 40 程度になるようにした。

##### 4.3 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、図 4 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、平均 200[s] のランダムな間隔で生成される。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。

##### 4.4 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、交差点内の車両を優先した 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ものとした。

要求メッセージを生成した車両（図 6: A）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、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 6: 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 6: C）、宛先位置により近い車両（図 6: D）が他に存在しても、交差点にいる車両（図 6: E）

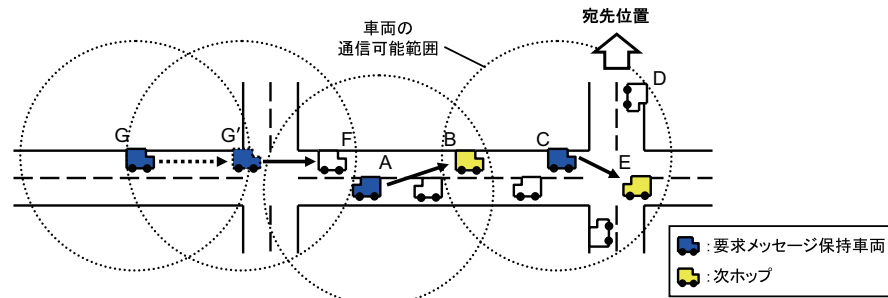


図 6 次ホップの選択

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。

上記の手順による転送中に、周辺に通信可能な車両が存在しない場合、メッセージ中継中の車両は要求メッセージの損失を防ぐため、次のように Carry and Forward を利用したメッセージ転送を行う。

- (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メッセージを保持する (Carry) (図 6: 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 6: 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する (図 6: 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。

## 5. シミュレーション結果と考察

本稿では、これまでに行った SOLA-FX の性能評価<sup>1)</sup> に加え、新たに以下の点についてさらに詳しく調査した。

- 位置依存情報に対するアクセス性能向上に必要な固定ノードの必要台数と最適な設置場所

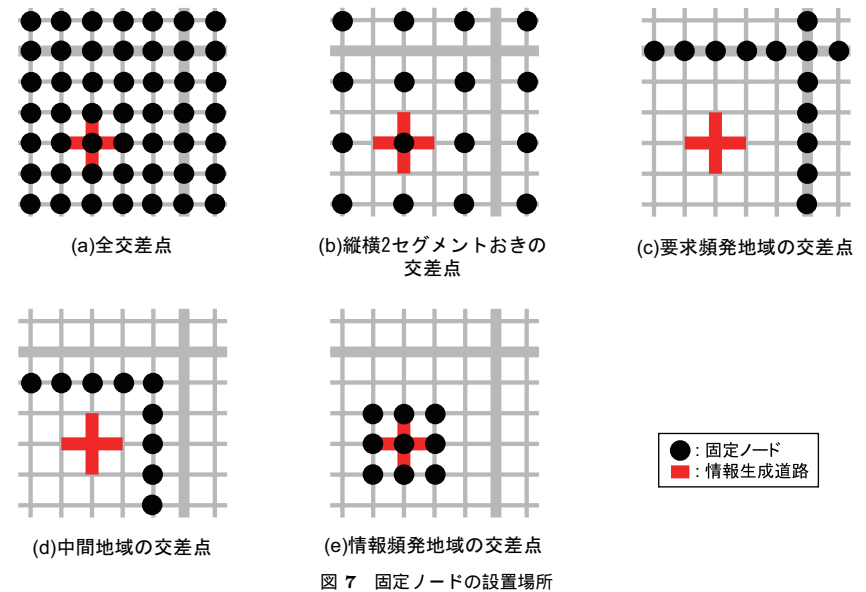


図 7 固定ノードの設置場所

- 各固定ノード複製配布トラフィック削減手法の最適パラメータ
- 今回の評価に用いた指標を以下に示す。

- 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
- 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。

### 5.1 固定ノードの設置場所の検証

要求到達率を向上させるための固定ノードの必要最小台数とその設置場所について調べた。この評価では、文献 1) での評価では、固定ノードの複製配布動作として、最も効果が高いとされた FewReceivers(3) を用いた。また、車両密度が低い場合を想定し、各道路端からの流入車両台数は 50 台/時とした。まず、領域内の 49 箇所全交差点に固定ノードを設置した。その後、この配置から固定ノードを 1 台取り除いた固定ノードが 48 台置かれたパター

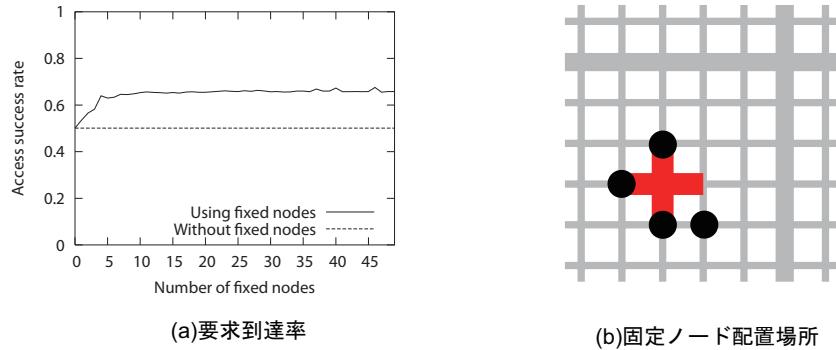


図 8 固定ノードの設置数と設置場所の関連性

ン全てについてシミュレーションを行い、要求到達率が最も高い配置を選択した。以下同様に、前ステップでの最良の配置から固定ノードを1台ずつ取り除き、そのときの最良の固定ノード配置を求める処理を全ての固定ノードが取り除かれるまで行った。

図 8(a) に、固定ノードの各設置数の最良の要求到達率を示す。この結果から、今回の我々のシナリオでは要求到達率を向上させるために4台以上の固定ノードを設置すればよいということが分かる。このときの固定ノードの設置場所を図 8(b) に示す。これより、情報発生源となる各道路の複製配布範囲が重なる道路セグメントに接する交差点に固定ノードを配置すればよいと言える。

### 5.2 固定ノードの複製配布動作の検証

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いが大きいことが理想である。そこで、複製配布トラフィックに対する要求到達率の増加の度合いを表す以下の二つの指標を新たに導入する。

$$\begin{cases} \text{要求到達度増加量} = \text{要求到達率} - \text{NoDistribution における要求到達率} \\ \text{トラフィック増加量} = \text{トラフィック} - \text{NoDistribution におけるトラフィック} \end{cases}$$

ここで、NoDistribution とは、設置された固定ノードは複製の保持のみを行い、車両に対し複製配布を行わない場合を指す。

ここでは、固定ノードを情報頻発地域の9つの交差点(図 7(e))に設置し、固定ノードが FewReceivers(1), FewReceivers(3), OmniDist, そして Always に従って複製を配布した

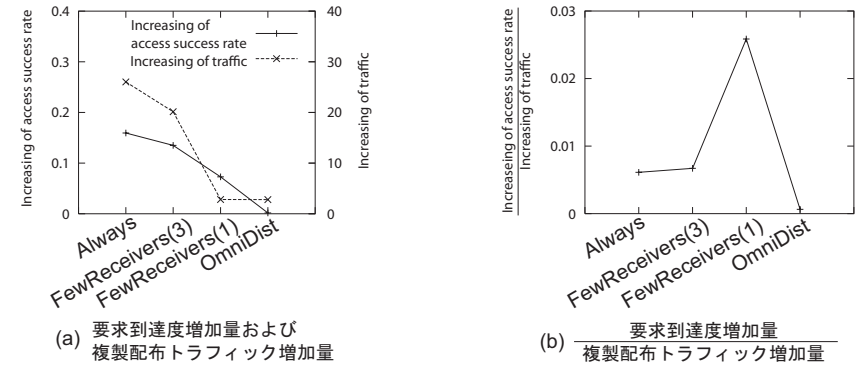


図 9 固定ノード複製配布動作の検証

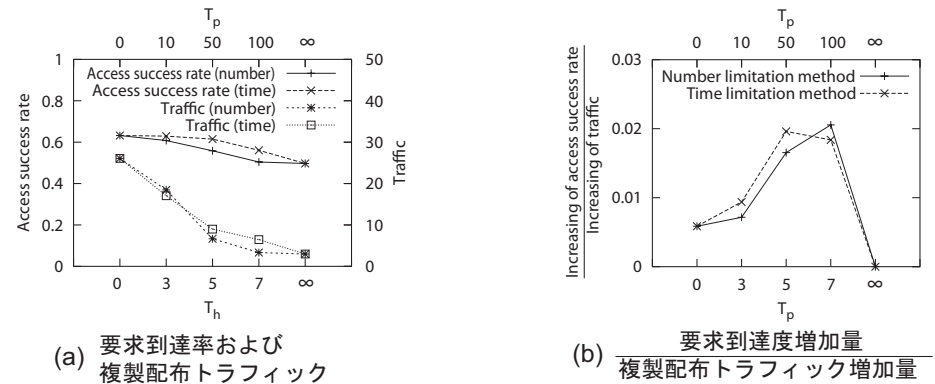


図 10 固定ノード複製配布トラフィック削減手法の検証

場合について議論する。図 9(a) 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度増加量と複製配布トラフィック増加量を示す。同図より、低車両密度下において FewReceivers(1), FewReceivers(3) 及び Always の場合に、要求到達度増加量が増加していることが分かる。また、図 9(b) に要求到達度増加量を複製配布トラフィック増加量で割った値を示す。これより、FewReceivers(1) が最も高い値を示し、より少ないトラフィックで要求メッセージの到達率を向上していることが分かる。

### 5.3 固定ノード複製配布トラフィック削減手法の効果

提案した固定ノード複製配布トラフィック削減手法の効果について評価する。ここでは、流入車両台数が50台、固定ノードを情報頻発地域の交差点に設置し、固定ノードは複製配布動作 FewReceivers(3) に従い複製を配布する場合を考える。

図10(a)に、固定ノード複製配布トラフィック削減手法を用いた場合の要求到達率と複製配布トラフィックを示す。両手法における閾値  $T_h$ ,  $T_p$  が0の場合、トラフィック削減手法を用いない SOLA-FX の結果を意味し、また、閾値が無限大の場合は固定ノードが複製配布を行わないときの結果を意味する。同図より、台数制限法、時間制限法を用いることで複製配布トラフィックを削減ができることが分かる。流入車両台数が50台のとき、固定ノードが複製を配布するときの平均隣接車両台数はおよそ3台である。そのため、 $T_h$  を3台以上としたときトラフィックを大きく減少させていることがグラフから見て取れる。

図10(b)に、要求到達率増加量を複製配布トラフィック増加量で割った値を示す。同図より、 $T_h$  が7台のとき最も高い値を示し、効率的に複製を配布していると読み取れる。また、同図から時間制限法についても複製配布間隔  $T_p$  を適切に設定することでトラフィックを削減できていることがわかる。 $T_p$  を50[s]に設定したとき、要求到達率を大きく低下させず、大幅に複製配布トラフィックを削減している。

台数制限法、時間制限法の間に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を行うことができると考えられる。

## 6. ま と め

本稿では、筆者らが文献1)で提案した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 の詳細な評価を行った。地図上の一箇所から情報が発生するシナリオにおいて、位置依存情報へのアクセス性能向上のための固定ノード必要最小台数とその設置場所をシミュレーションにより求め、情報が生成される地域へ固定ノードを設置することの有効性を確認した。固定ノードによる複製配布時の隣接車両数とその複製の配布間隔に基づいた制御により、要求性効率を大きく下げることなく固定ノードによる複製配布トラフィックを削減できることを確かめた。

今回のシミュレーションでは、車両及び固定ノードの記憶領域を無限と仮定して評価を行ったが、各ノードのストレージや交差点での帯域に制限がある場合、配布する複製に優先度を設ける必要がある。位置依存情報は、生成された位置に関連付けられた情報でありその

位置周辺に存在することで意味を成す。情報の複製を配布するとき、情報の生成位置周辺の交差点での複製配布機会を増加させるため、生成位置からの距離の関数に従って複製の配布を決定することで、効率的に複製配布が行えと期待される。また、今回の評価では情報発生位置が一点集中している場合のみを扱ったが、一般には情報発生頻度が高い位置に複数存在するはずである。今後より一般的な場合において評価を行う予定である。

## 参 考 文 献

- 1) 岡本 惇一郎, 石原 進: 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, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2009) シンポジウム論文集, Vol.2009, No.1, pp.739-748 (2009).
- 2) Lee, U. et al.: 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. et al.: 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. et al.: 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. et al.: Opportunistic Resource Exchange in Inter-Vehicle Ad-Hoc Networks, Proceeding of IEEE International Conference on Mobile Data Management, pp.4-12 (2004).
- 6) 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).
- 7) G. Tsuchida, S. Ishihara: Replica arrangement for Location Dependent Data in Consideration of Network Partition in Ad Hoc Networks, International Journal of Communication Networks and Distributed Systems (IJCNDS), Vol.2, No.4, pp.401-423 (2009).
- 8) 村井 翔悟, 石原 進: VANET における移動する宛先に向けたマルチパスルーティング, 電子情報通信学会技術報告, Vol.108, No.458, pp.303-307 (2009).
- 9) Jist - Java in Simulation Time / SWANS - Scalable Wireless Ad hoc Network Simulator: <http://jist.ece.cornell.edu/index.html>.