Vol.2013-DPS-155 No.31
Vol.2013-MBL-66 No.31
2013/5/24

要求頻度の変化に対応する車々間通信による適応的位置依存情報配信手法の提案

中村 暢宏[1]　新美 雄也[1]　石原 進[1]

概要：運転者支援のために，車々間通信を用いて事故や渋滞などの位置に依存した情報（位置依存情報，写真等）を車両間で共有する場合を考える．ドライバーが事故発生を示唆する光景を目にしたり渋滞に巻き込まれたときに，特定の位置に関する情報に対してドライバーが問い合わせを行うことを想定すると，特定の領域を走行する複数の車両から同じ場所に対する要求が連続的に発生することが予想される．本論文では，車両が生成した位置依存情報を，ビーコンとともに拡散される要求に応じて情報発生位置と要求元間の地域内で配信し続けることで，連続して発生する要求に対して確実かつ短時間で応答を提供する方法を提案する．シミュレーションにより，本手法を用いることで，地域を限定しないで情報を配信する方式に対して同等の配信成功率を達成する一方で，情報配信トラフィックを少なくできることを確かめた．

キーワード：車々間アドホックネットワーク，位置依存情報，情報配信，適応的情報配信範囲

Data dissemination scheme for location dependent information for time-varying occurence frequency of demands in vehicular ad hoc networks

Nakamura Nobuhiro[1]　Niimi Yuya[1]　Ishihara Susumu[1]

Abstract: In this paper, we deal a topic on sharing location dependent data such as picture of traffic accident and congestion for assisting car drivers using vehicular ad hoc networks. Assuming that drivers request location dependent information when they face a scene indicating an accident or they are caught in congestion, multiple requests will be sent from the same area to a location temporarily. In this paper, we propose, Live VANET CDN, a scheme for providing location dependent information to vehicles that generate such requests according to request messages that are distributed with beacons. Simulation results show that the proposed scheme improves the success ratio of such data requests with small traffic compared with a data dissemination scheme that does not limit data dissemination area.

Keywords: vehicular ad hoc network, location dependent data, information dissemination, adaptive data dissemination area

1. はじめに

車両間で動的に無線マルチホップネットワークを構築する車々間アドホックネットワーク（Vehicular Ad hoc NETwork: VANET）では，既存の固定通信インフラを用いることなく車両間で通信を行うため，カバー領域の制限がなく柔軟にネットワークを構築することが可能である．特に，運転支援のための近隣の車両の位置情報や道路周辺の情報の配信など，局所的かつ短時間に消費されるデータの交換においては，VANET を用いることでインフラ側の通信・計算資源の使用を低減できるので，VANET の利用が効果的と考えられる．

筆者らはこの VANET を用いて事故や渋滞等の位置に依存した情報（位置依存情報，例えば車載カメラによる撮影

[1] 静岡大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Shizuoka University

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan

Vol.2013-DPS-155 No.31
Vol.2013-MBL-66 No.31
2013/5/24

写真，動画）を車両間で共有し，運転者支援を行うシステムの開発を進めている [1]．具体的には，ドライバーが興味のある位置を音声ないしは手動操作でシステムに伝えると，システムはその位置で車両が撮影した写真を VANET 経由で入手し，ドライバーに提供するものを想定している．

運転者の望む領域の情報を取得する方法としては，特定の位置に向け要求メッセージを送信し，要求に合致する情報を保持する車両から応答を受けるプル型データアクセス（例えば [1]）が考えられる．しかしながら VANET では，ネットワークを構成している車両の移動や障害物の影響により，トポロジが頻繁に変化するため車両間の接続性は保証されない．そのため要求・応答メッセージが配送途中で失われ，車両が情報を取得できなくなる可能性がある．また，ある要求に対して応答が可能な車両が複数存在した場合，それぞれの車両が返送することで同じデータの転送が複数行われることになる．同様の要求が多数発生した場合には，それぞれの要求に対し複数の応答が行われることになるので，応答によるトラフィックが増加し，通信資源を浪費することになる．

情報を生成した車両が単純なプッシュ型のデータ配信を行えば，類似した要求に対して個別に応答を返さないことになり，上記のような冗長なデータ配信を防ぐことができる．ただしこの場合，データの配信範囲をどのように設定するかが問題となる．配信範囲を一律に広くすれば，より多くの要求者に対して情報提供を可能であるが，求められていない情報を広く配信することは通信資源の浪費となり，他の必要な通信を阻害することになる．このため，VANET 上の情報配信システムに関する提案の多くでは，配信する情報の集約によって配信トラフィックの増加を抑える方法を用いている [2][3][4][5]．しかしながら，これらの方式では，平均等で集約が容易な数値データを扱っており，画像データ等の配信への応用は困難である．一方，配信範囲を一律に狭くすると，情報発生源の位置に近づかない限り，車両は情報を入手することができないので，位置依存情報の提供によってドライバーの運転を支援するという目的を達することが難しくなる．

ドライバーが事故発生を示唆する光景を目にしたり渋滞に巻き込まれたときに，特定の位置に関する情報に対してドライバーが問い合わせを行うことを想定すると，特定の領域を走行する複数の車両から同じ場所に対する要求がある時間連続的に発生することが予想される．このような要求の地理的，時間的分布に応じて位置依存情報を配信できることが理想である．

そこで，本論文では，車両が生成した位置依存情報を，ビーコンとともに拡散される要求に応じて情報発生位置と要求元間の地域内で配信し続けることで，連続して発生する要求に対して確実かつ短時間で応答を提供する方法（Live VANET CDN）を提案する．また，シミュレーション評価により，本手法を用いることで，地域を限定しないで情報を配信する方式に対して同等の配信成功率を達成する一方で，情報配信トラフィックを少なくできることを示す．以下，2 章では提案する Live VANET CDN におけるデータ配信手法について説明する．3 章でシミュレーションにによる評価について述べ，4 章でまとめを述べる．

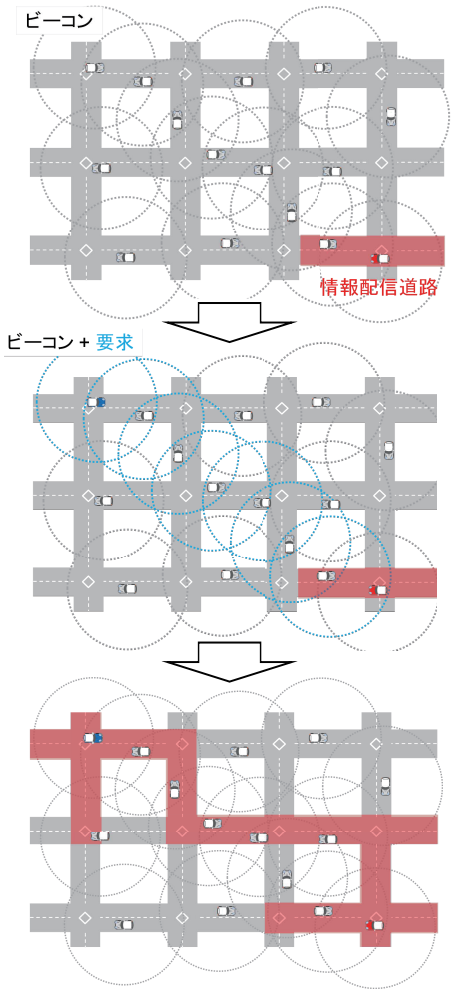


図 1　Live VANET CDN の概要

2. Live VANET CDN

2.1 Live VANET CDN の概要

Live VANET CDN の概要を図 1 に示す．Live VANET CDN は，定期的に送信されるビーコンによって要求を配信し，この要求に基づいて，位置依存情報の配信を行う領域を拡大することで，位置依存情報が要求する車両がいる近くで配信され続けるようにする手法である．本手法では，同じ地域から頻繁に同じ位置依存情報に対する要求が行われるときに，短時間かつ確実に要求者に位置依存情報を提供できることを目指している．

車両によって車載カメラ画像等の位置依存情報が生成されると，その情報はあらかじめ決められた範囲内で繰り返し送信され続け，その有効期限の間，情報が生成された道路周辺を走行する車両に保持される．位置依存情報を要求

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan

Vol.2013-DPS-155 No.31
Vol.2013-MBL-66 No.31
2013/5/24

する車両は，要求する位置に関する識別子（以下，本稿では道路セグメントの ID）をキーとした要求メッセージを生成し，各車両が定期的に送信するビーコンに付加して送信する．ビーコンに含まれた要求メッセージを受信した車両は，この要求を自身が次に送信するビーコンに付加して送信する．こうして道路上に拡散された要求が，目的とする位置依存情報を保持する車両に到達すると，要求の発生位置の周辺ならびにその位置と情報発生位置を結ぶ経路に沿ってデータの配信領域を拡張する．以後，その要求および位置依存情報の有効期限の間，拡張された配信領域内で情報配信を繰り返すことで，同じ地域から発せられる位置依存情報への要求に対して短時間かつ確実に答えることができるようにする．

2.2 Live VANET CDN の設計

以下，Live VANET CDN の詳細について述べる．本手法は，要求の配信，領域内での情報配信，情報配信領域の拡張の 3 つからなる．

2.2.1 想定環境

- 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 及びデジタル道路地図により自身の現在位置と走行中の道路に関する情報を取得可能である．
- 各道路のセグメントには識別可能な ID が与えられている．
- 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分からない．
- 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．
- 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．
- 各車両は自身の位置情報などを載せたビーコンパケットを定期的に配信する．
- 各車両はビーコンにより得られた情報を基に隣接車両リストを作成，保持しているものとする．
- 位置依存情報が生成位置から離れた位置から定期的に情報の要求が発生する．

2.2.2 要求の配信

ある位置に関する情報を欲する車両は，要求メッセージを生成する．この要求メッセージには，自身の車両 ID，走行中の道路の ID と要求先の道路 ID，要求の生成時刻とその有効時間が記載されているものとする．要求メッセージを生成後，定期的に発するビーコンに要求メッセージを付加し，配信する．要求メッセージが付加されたビーコンを受信した車両は，それ以降配信するビーコンにその要求メッセージを付加し配信する．要求はその生成から有効時間が経過するまでビーコンに付加され続け，図 **2** に示すように道路網内に拡散していく．複数の要求メッセージが存

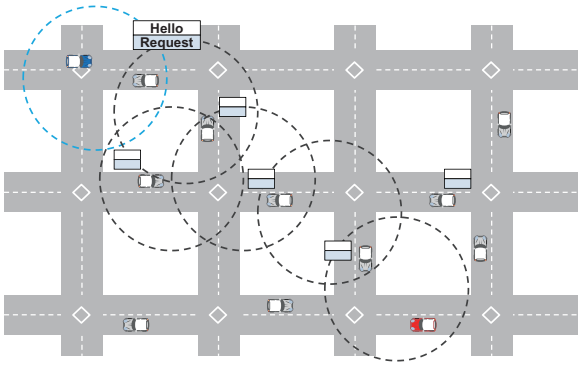


図 **2** 要求メッセージの配信

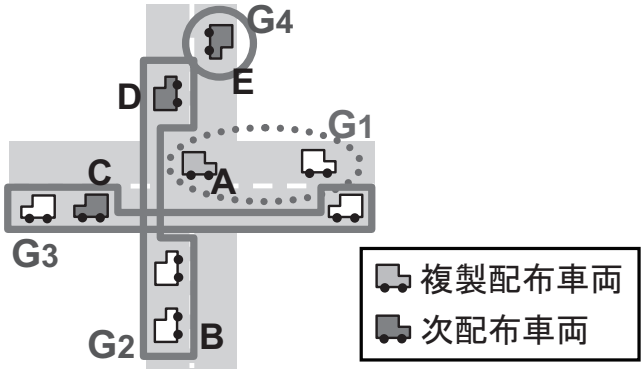


図 **3** RD 方式における進行方向に基づいたグループ化

在する場合には，ビーコンに複数の要求メッセージが付加され配信される．同じ道路で生成され，同じ位置を宛先とする要求メッセージが存在する場合には，最新のものだけが付加される．有効時間が経過すると要求は破棄される．

2.2.3 領域内での情報配信

要求領域で情報配信を行えるようにするには，要求領域の道路上を走行する車両によって，保持され続ける状況をつくる，あるいは他の位置にいる車両から絶えずその領域内の車両に向けて情報が送り続けられる必要がある．こうした技法は Abiding geocast と呼ばれ，様々な方法があるが [6]，本研究では，筆者らによる RD 方式 [7] によって，特定領域中を走行中の車両が情報を保持し続ける状況を維持するものとした．なお，同様の目的を達成する技法であれば，RD 方式以外の方法も利用可能である．

以下，RD 方式における情報配信方法について概要を示す．

RD 方式は，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ブロードキャストによってデータの送信を行うことで，一度で多くの車両に対してデータを配信する戦略を用いている．

情報生成車両，あるいはデータを受信し，再配信を行うよう指定された車両（次配信車両）は，最寄りの交差点に達したときデータの送信を行う．このとき，異なる交差点で再度データの送信が行われるようにするために，データの送信を行う車両は，自身の隣接車両リストに記載された

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan

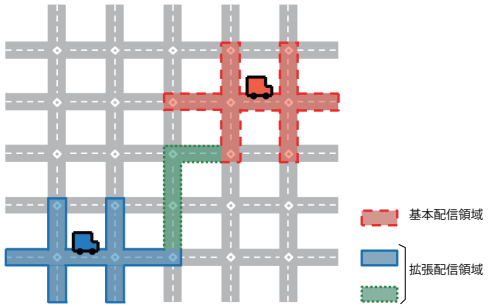


図 4　情報配信領域の拡張

各車両の進行方向に基づいて隣接車両をグループ分けし，各グループにつき 1 台の車両を次配信車両として選択する（図 **3**）．その後，それらの車両 ID を付加したデータを 1 ホップブロードキャストで送信する．

次配信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データを配信する．データ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データを保持する．

位置依存情報の配信は，あらかじめ決められた情報配信領域内でのみ行われる．この領域は情報が生成された道路の両端にある交差点から一定数先にある交差点までの道路セグメントとする．情報配信領域の情報はその領域に含まれる道路セグメントの ID のリストとして表され，位置依存情報に記録されている．

2.2.4　情報配信領域の拡張

Live VANET CDN では，位置依存情報の生成位置を基準として，要求の地理的分布に応じて情報配信領域を拡大する．RD 方式で情報配信範囲として設定されている位置依存情報生成位置周辺の領域（基本配信領域）を基本として，ビーコンに付加された要求メッセージを基に配信領域を拡張することで，要求者に近い位置で位置依存情報の配信を行うようにする．

配信領域の拡張は以下の流れで行われる．

(1) ビーコンに付加された要求メッセージを受け取った車両は，要求メッセージの宛先道路 ID を確認する．
(2) 自身の保持する位置依存情報の中に要求を満たすもの（要求の宛先道路 ID と位置依存情報の生成された道路 ID が同じもの）があるかを確認する．
(3) 該当する位置依存情報を保持していた場合，その位置依存情報に記載された配信領域を確認する．
(4) 配信領域の中に要求メッセージの生成道路 ID が含まれていなければ，以下の 2 つの領域からなる新たな情報配信領域（拡張配信領域）を含んだ拡張配信領域情報を生成する．

接続領域　位置依存情報が生成された道路と要求が生成された道路を結ぶ最短経路にあたる道路セグメントからなる領域．

要求領域　要求が生成された道路の両端の交差点から一定数先にある交差点までの道路セグメントからなる領域．

拡張配信領域情報は，配信領域内の道路 ID と生成時刻，有効期間からなる．拡張配信領域情報を生成した車両は，位置依存情報にその情報を付加する．位置依存情報とともに拡張配信領域情報も配信され，位置依存情報を受信した車両は配信領域が拡張されたことを知る．

交差点で位置依存情報の配信を行う車両は，自身がその位置依存情報の基本配信領域内にいるかどうかとともに，拡張配信領域情報を確認する．その拡張配信領域情報の有効期限が過ぎていれば，拡張配信領域情報を位置依存情報から取り除く．

3.　シミュレーション評価

3.1　シミュレーションモデル

Space-Time Engineering 社のネットワークシミュレータ Scenargie[8] を用いて，Live-VANET CDN の基礎性能評価を行った．

3.1.1　シミュレーション領域

シミュレーション領域として二次元平面上に南北方向に 7 本，東西方向に 6 本の道路を 250m 間隔で配置したマップ（図 **5**）を用いた．マップ内には 127 個の道路セグメント，72 箇所の交差点が存在している．マップ内を走行する車両は無線 LAN IEEE 802.11p により通信を行う．通信可能半径を 100m とし，電波伝播モデルには ITU-R P.1411 を用いた．

3.1.2　車両移動モデル

車両の移動軌跡は交通流シミュレータ SUMO[9] 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 26 個の道路端点から流入し，領域内を最高時速 50[km/h] で走行する．各交差点には信号機が設置されており，青 31[s]，黄 3[s]，赤 26[s] の周期で状態が移行し，各車両は信号に従い移動する．全ての道路が片側 1 車線の道路であり，他の車両を追い越すことは無い．各車両は直進率 70% 右左折率それぞれ 15% で走行経路を選択し道路網内を移動する．

3.1.3　位置依存情報の生成

予め 1 つ設定した道路セグメント上を走行する車両が位置依存情報を生成する．各車両は 2[s] に 1 度，自身の走行する道路を確認し，図 6 中の情報生成道路を走行していた場合に位置依存情報を生成する．今回のシミュレーションでは，各試行で一度だけ位置依存情報が生成されるものとした．本手法の設計では生成される情報は，生成された道路の ID と生成時刻，有効時間を含む．今回のシミュレーションでは，シミュレーション中に有効時間切れが起きないよう，有効時間には十分大きな値を設定した．また，本研究では位置依存情報は画像等を含むデータサイズの大きなものを想定しているが，本シミュレーションでは，1 つのパケットとして位置依存情報が送信できるよう小さなデー

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan

タサイズ（UDP，IP ヘッダを含んで 172byte）とした．

位置依存情報には，配信領域の拡張が行われたときに，拡張領域を表すデータが付加される．このデータには拡張領域となる道路の ID とこの情報の生成時刻，有効期限が含まれ，サイズは 32[byte] である．本シミュレーションでは有効期限は十分長く設定され，生成された拡張領域情報が期限切れを起こすことはないものとした．

3.1.4 要求の生成

各車両は 2[s] に 1 度，自身の走行する道路を確認し，図 6 中の要求生成道路を走行していた場合に要求を生成する．その際に他の車両が要求メッセージを生成してから 10[s] 経過していなければ，要求生成道路を走行中であっても要求メッセージが生成されないものとした．要求メッセージには，要求生成道路の ID，宛先道路の ID，生成時刻，有効期限が含まれる．データサイズは 40[byte] のデータとした．本シミュレーションで宛先となる道路はすべて図 5 中の情報生成道路とし，要求メッセージの有効時間を 120[s] とした．

各車両はビーコンを送信する際に要求メッセージを保持しているかを確認し，保持していた場合，0.1[s] 間隔で送信するビーコンに要求メッセージを付加し送信する．車両はビーコンを受信すると，ビーコンに含まれる要求メッセージをその有効期間の間保持する．車両が複数の要求メッセージを保持していた場合，全ての要求メッセージをビーコンパケットに付加し，1 つのパケットとして送信する．要求メッセージ部分を除くとビーコンのサイズは UDP，IP ヘッダを含めて 116[byte] である．ビーコンの有効期間は 0.2[s] とし，0.2[s] 経過した時点で隣接車両リストからビーコン送信者のエントリが削除される．

3.1.5 情報配信領域の設定

基本配信領域，拡張配信領域について，それぞれ以下の様に設定した．

基本配信領域　大きさの異なる 2 つの基本配信領域を設定しシミュレーションを行った．図 5(a) では，情報生成道路の両端の交差点から 1 つ先の交差点までを基本配信領域としている（領域半径=1 セグメント）．同図 (b) では，情報生成道路の両端の交差点から 2 つ先の交差点まで（領域半径=2 セグメント）を基本配信領域と設定した．

拡張配信領域　車両は要求を含むビーコンを受信した際，自身が保持する位置依存情報の配信領域に要求生成道路が含まれていなければ，図 5(a)(b) に示すように要求生成道路両端の交差点から 1 つ先（領域半径=1）ないしは，2 つ先（領域半径=2）までを拡張配信領域として設定する．

3.2 評価指標

以下の評価指標について評価を行った．

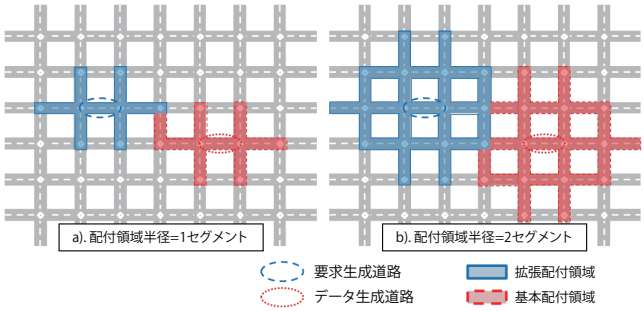


図 5　シミュレーション領域

情報取得時間　要求を生成した車両が要求を生成してから，情報を取得するまでに要した時間を情報取得時間．要求を生成した際に既に求める情報を保持していた場合，0 とする．

情報取得成功率　要求を生成した車両が要求を生成してから，要求の TTL 切れまでに位置依存情報を取得できた割合．要求を生成した際既に求める情報を保持していた場合は，要求が成功したとして扱い情報取得成功率を計算する．

配信トラフィック　生成された位置依存情報のブロードキャスト回数

3.3 シミュレーション結果と考察

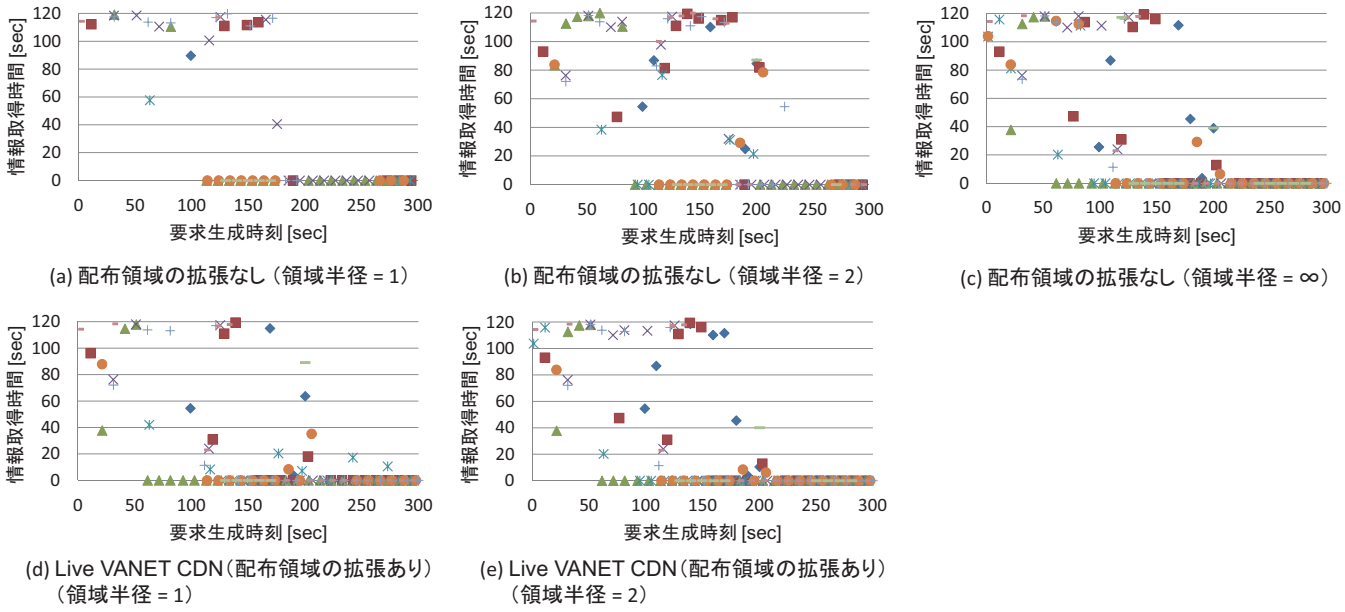
3.3.1 情報取得成功率と配信トラフィック

図 **6** および図 **7** にそれぞれ車両密度が高い場合（各道路端での車両流入量が 120[台/h]）と低い場合（60[台/h]）の要求発生時刻と情報取得時間の関係を示す．ここでは 9 回のシミュレーション試行において発生した一連の要求に対して，成功した要求のみについて要求発生時刻と情報取得時間をプロットしている．情報取得時間が 0 になっているものは，要求生成時点で位置依存情報を受信済であることを意味する．各図では，提案手法（Live VANET CDN）と提案手法から配信領域の拡大の部分を除いたものを比較している．また，情報配信領域が狭い場合（半径 1 セグメント）と広い場合（2 セグメント）および，道路全体に情報配信を行う場合を示している．

図 6 および図 7 より，どの場合においても，時間の経過によって情報取得時間はほぼ 0 になっていくことがわかる．これは，情報の配信を繰り返すことで広い範囲の車両が発生した位置依存情報を保持することになり，多くの車両が要求生成時にはすでに情報を保持している状態にあることを意味している．車両密度が高く，配信領域が広いほど早く情報取得時間は 0 になる．また，提案手法を用いると，要求生成時刻がより早い段階で，情報取得時間が 0 に達していることが多く，その度合いは道路全体に情報配信を行う場合とほぼ同じである．つまり，提案手法では，道路全体に情報配信を行う場合に較べてより少ないトラフィックで，速やかに情報を要求している車両に情報を与えること

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan

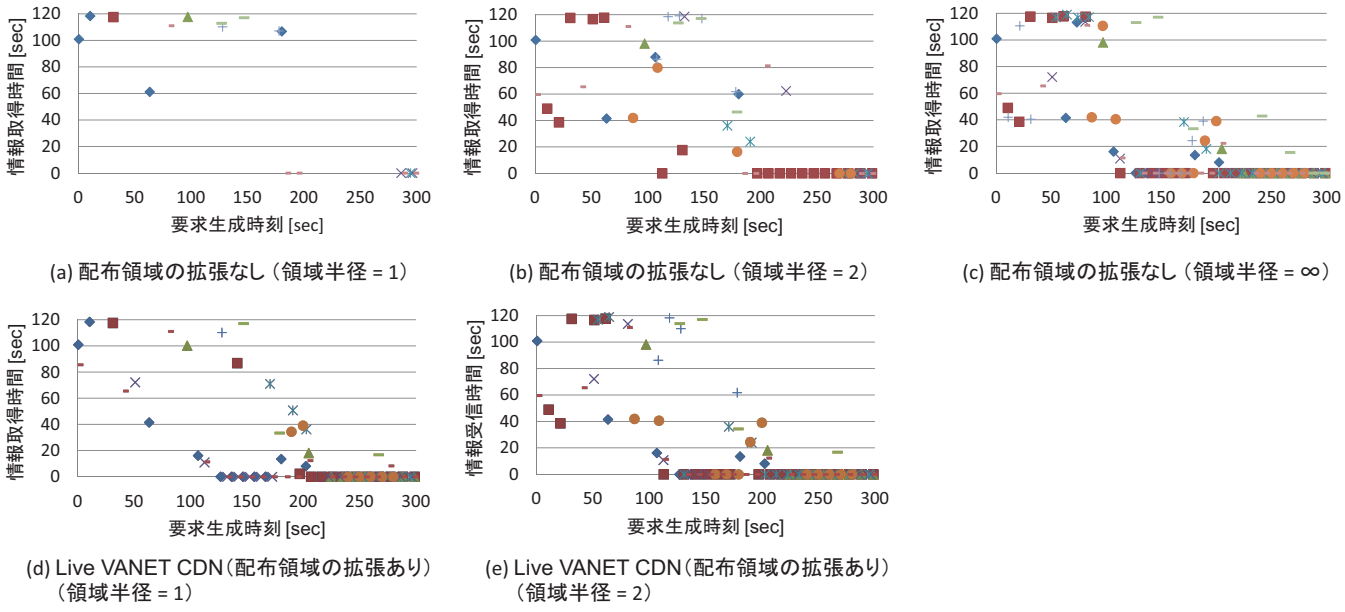
Vol.2013-DPS-155 No.31
Vol.2013-MBL-66 No.31
2013/5/24



(a) 配布領域の拡張なし（領域半径 = 1）　(b) 配布領域の拡張なし（領域半径 = 2）　(c) 配布領域の拡張なし（領域半径 = ∞）

(d) Live VANET CDN（配布領域の拡張あり）（領域半径 = 1）　(e) Live VANET CDN（配布領域の拡張あり）（領域半径 = 2）

図 6　要求発生時刻と情報取得時間の関係（車両密度: 高）



(a) 配布領域の拡張なし（領域半径 = 1）　(b) 配布領域の拡張なし（領域半径 = 2）　(c) 配布領域の拡張なし（領域半径 = ∞）

(d) Live VANET CDN（配布領域の拡張あり）（領域半径 = 1）　(e) Live VANET CDN（配布領域の拡張あり）（領域半径 = 2）

図 7　要求発生時刻と情報取得時間の関係（車両密度: 低）

表 1　情報取得成功率と配信トラフィック

領域半径	方式	車両流入量 高 (120[台/h]) 平均要求成功率	車両流入量 高 (120[台/h]) 平均配信トラフィック	車両流入量 低 (60[台/h]) 平均要求成功率	車両流入量 低 (60[台/h]) 平均配信トラフィック
1	領域拡張無し	29%	101	10%	39
1	Live VANET CDN	59%	146	47%	62
2	領域拡張無し	44%	201	27%	75
2	Live VANET CDN	71%	302	61%	124
∞	領域拡張無し	73%	493	65%	220

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan

ができる．表 **1** に前出の各条件における平均要求成功率と平均配信トラフィックを示す．

表 1 および図 6，図 7 より以下のことがわかる．車両の流入量が少ない場合，配信成功率は低くなる．また，情報取得が成功する場合においても，より長い情報取得時間を要する．これは，通行する車両がより少ないために，RD 方式によるデータ配信先の候補が少なくなり，データの配信頻度が減少するためである．一方，流入量が多いほどデータの配信頻度が上がり，配信成功率は高くなる．この結果，情報取得時間も短くなる．

情報配信範囲が狭い場合，データが他の車両に渡される前にデータ保持ノードが基本配信エリアの外に出てしまいやすくなる．この結果配信成功率は低くなる．一方，基本配信領域を広くすると，前述の問題は起きにくくなり，特に要求を発生後に移動する車両に対する情報配信の成功率を高める効果がある．

前述のように，情報配信領域内で配信し続けられるデータの量は，流入する車両トラフィックが大きくなるほど大きくなる．このことより，車両流入量に応じてデータ配信エリアの広さを動的に変更する方法が望ましいと考えられる．

4. まとめ

本論文では，VANET において位置的に近い場所から連続して発生する一連の位置依存要求に対して，より少ないトラフィックで確実に位置依存情報を配信する手法を (Live VANET CDN) を提案した．提案手法では，各車両は要求をビーコンとともに配信し，要求に応じて各車両が生成した位置依存情報の配信範囲を調整する．シミュレーションにより，提案手法を用いることによって，単純に広い配信範囲を用いる場合に較べ，より少ないトラフィックでより早く確実に位置依存情報への要求を満たすことができることを確かめた．本論文で示した評価は，情報発生源が一つでかつ一回だけ情報が発生し，要求は一箇所のみから発生するシナリオに基づいていた．今後，複数の情報発生源がある場合，複数の場所から様々な場所に対して要求が発生する場合など，より一般的なシナリオに基づいて評価を行う予定である．

謝辞　本研究は，科学研究費補助金基盤研究 (B)「リアルタイム画像カーナビのための効率的車々間データ配信技術（課題番号 23300024)」の助成によるものである．

参考文献

[1] Okamoto, J. and Ishihara, S.: Distributing location-dependent data in VANETs by guiding data traffic to high vehicle density areas, Proc. IEEE Vehicular Networking Conference (VNC 2010), pp.189–196 (2010).
[2] Wischhof, L. Ebner, A., Rohling, H. , Lott, M., and Halfmann, R.: Adaptive broadcast for travel and traffic information distribution based on inter-vehicle communication, Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.6–11 (2003).
[3] Nadeem, T., Dashtinezhad, S., Liao, C., and Iftode, L.: TrafficView: traffic data dissemination using car-to-car communication, ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, Vol.8, No.3, pp.6–19 (2004).
[4] Ibrahim, K., and Weigle, M.C.: Optimizing CASCADE data aggregation for VANETs, 5th IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems (MASS 2008), pp.724–729 (2008).
[5] Lochert, C., Scheuermann, B., and Mauve, M.: Probabilistic aggregation for data dissemination in VANETs, Proc. the fourth ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks (VANET 2007), pp.1–8 (2007).
[6] Maihöfer, C., Leinmüller, T., and Schoch. E.: Abiding geocast: time-stable geocast for ad hoc networks. Proc. 2nd ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks (VANET '05), pp.20–29 (2005).
[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.31–41 (2009).
[8] Space-Time Engineering, http://www.spacetime-eng.com/ (2013 年 4 月 15 日確認)
[9] SUMO: Simulation of Urban MObility, http://sumo.sourceforge.net/ (2013 年 4 月 15 日確認)

ⓒ 2013 Information Processing Society of Japan