

VANETにおける要求の地理的分布情報に基づいた 位置依存情報配信手法

山田 暁裕¹ 石原 進²

概要: 車の運転者にとって、自身の目的地までの経路となり得る道路における渋滞や事故等の状況を知ることが、経路選択を行う上で有用である。筆者らは、運転者が興味のある位置をカーナビ等に入力すると、車両がVANETを介して、その位置の画像を取得し、運転者に提供するシステムの実現を目指している。このシステムで、画像を要求する車両が要求メッセージを送信し、画像を保持する車両が要求メッセージを受信する度に画像を配信した場合、地理的に近い位置に同時に複数回類似の画像が配信されてしまう恐れがある。車両が要求の地理的分布を把握し、要求の発生位置の自身の現在位置に基づいて画像を配信することで、効率的に画像を配信できる可能性がある。本稿では車両が要求の地理的分布情報(Dmap)に基づいて効率的な経路でLDIを配信する手法を提案する。この手法では、Dmapに基づいてLDIを配信するのに適切な位置にいる車両が必要の大きなLDIを優先的に配信する。シミュレーションの結果、提案手法では、需要の大きいLDIに関しては車両がLDIを要求した後0秒において100%近い受信成功率を達成したが、需要の小さいLDIに関しては0%付近の低い受信成功率となった。

1. はじめに

車の運転者にとって、自身の目的地までの経路候補点における事故や渋滞等の交通状況を視覚的に知ることは、最適な経路選択を行う上で有用である。筆者らは、運転者が指定した任意の位置の車載カメラ画像を車両が車々間アドホックネットワーク(Vehicular Ad-hoc NETWORK: VANET)を介して取得し、カーナビに表示するリアルタイム画像カーナビシステム(図1)[1]の実現を目指している。このシステムでは、VANETのみを用いて画像を配信することを想定している。

筆者らは、車両がLDIへの要求の地理的分布情報(Demand map: Dmap)を保持し、Dmapと自身の現在位置に基づいて要求の発生地域に効率的な経路でpush型でLDIを配信するDemand mapベースデータ配信手法[2,3]を提案した。要求の発生地域にpush型でLDIを配信することで、LDIを要求した車両に低遅延でLDIを配信することが期待できる。筆者らは[4]で、Dmapの一部をLDIの配信に関わる車両間でのみ交換することで、Dmapを車両間で効率的に共有するための手法を提案し、その評価を行った。Demand mapベースデータ配信手法は、車両間におけるDmapの共有手法とDmapを用いたLDIの配信手法

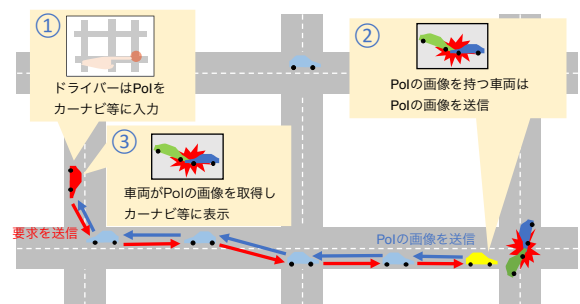


図1 リアルタイム画像カーナビシステム

から構成される。Dmapの共有手法の提案、評価を行ったが、Dmapを用いたLDIの配信手法の提案に関しては未だ行っていない。本稿では、Dmapを用いたLDIの配信手法を提案する。提案手法では、LDIの生成位置からLDIの要求発生位置までのより短い経路を含む領域内でのみ、車両が必要の大きいLDIを配信することで、冗長な配信を抑制し、LDIを低遅延で多くの要求車両に届けることを狙う。

以下、2章では本研究に関連した研究を述べる。3章ではDmapの概要を述べた後にDmapに基づいたLDIの配信手法を提案し、評価する。4章にて本稿をまとめる。

2. 関連研究

Demand mapベースデータ配信手法では、LDIにLDIの生成位置を付加してLDIを送信する。そして、LDIはDmapとLDIの生成位置に基づいて要求車両まで配信され

¹ 静岡大学大学院総合科学技術研究科工学専攻

² 静岡大学大学院工学領域

る。この考えは、ノードが送信する情報に名前を付け、この名前に基づいて情報配信する Named Data Networking (NDN) [5] のコンセプトに類似している。NDN では、情報を要求するノードは interest と呼ばれる要求メッセージを送信し、情報を保持するノードは interest を受信すると、interest の逆の配信経路で情報を配信する。NDN では、情報を interest の配信の経路上にキャッシュすることで、ノードが過去に配信された情報を要求した場合に、すばやく情報を受信することができる。

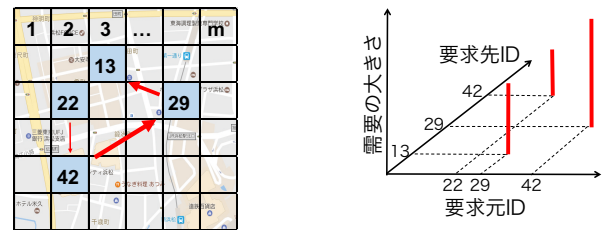
Grassi らは、VANET を適用した NDN における interest の送信手法である Navigo を提案している [6]。Navigo では、車両は interest を情報の存在位置までの最短経路に基づいて転送する。この手法では、interest を interest で要求されている情報を持つ車両が多く存在する場所に届けることを目指している。

Ahmed らは、VANET を適用した NDN における情報配信手法である CODIE を提案している [7]。CODIE では、車両は要求車両が interest を送信してからのホップ数を interest に付加する。情報を送信する車両は、interest に付加されたホップ数を基に情報の最大ホップ数を決めて情報を送信する。

Demand map ベースデータ配信手法では、車両は Dmap から得られる要求の地理的分布に基づいて、LDI を要求車両に配信する。Demand map ベースデータ配信手法では、単に特定の宛先ではなく、同様の LDI に対して要求の多い複数地域への配信経路をマージすることで、効率的に LDI の配信を行うことを狙っている。一方で、特定の宛先の地点や領域に情報配信する手法が提案されている。Greedy forwarding では、情報を送信する車両は、自身の無線通信範囲内に存在する車両 (隣接車両) の内、情報の最終的な送信先の地域に地理的に近い車両を次に情報を送信する車両として選択し、宛先に届けるべき情報を送信する。そして情報が最終的な送信先の地域に到達するまで、これを繰り返す。

さらに、Hanshi らは、情報を送信する車両が、自身の隣接車両の各車両と自身を結ぶ線分を求め、全隣接車両に関してその線分と、情報を送信する車両と情報の最終的な送信先を結ぶ線分からなる角の角度を計算し、この角が小さくなる隣接車両を次に情報を送信する車両に選ぶ Compass Routing (CR) と greedy forwarding を併用した手法を提案している [8]。しかしながら、これらの方法を用いた場合、情報の送信先の方に隣接車両が一台も存在しない場合、情報の配信が途中で途切れてしまう。

一方で、情報の送信先の方に隣接車両が一台も存在しない場合に情報の配信が途中で途切れてしまうという問題に対処するため、Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR) [9] が提案されている。GPSR では、車両は基本的には greedy forwarding を用いて情報を送信するが、情報の



(a) Dmap における領域分割 (b) Dmap における需要の大きさの表現
 図 2 Demand map (Dmap)

送信先の方に車両が一台も存在しない場合には、迂回路を探索し、迂回路を経由して情報を配信する。しかしながら、この手法では、迂回路を経由して情報を配信する方法や、情報を送信する車両の通信範囲内に車両が存在しない場合に車両が情報を保持したまま移動して通信範囲内に車両が現れたタイミングで情報を送信する carry-and-forward を用いることで遅延が大きくなってしまう。

さらに、道路網に基づいて配信経路を決定する方法が提案されている。ここで、ある 1 つの交差点とその交差点に隣接する 1 つの交差点に挟まれた道路を道路セグメントと定義する。Togou らは、道路網の構造と各道路セグメントにおける遅延の情報を基に、各交差点から任意の交差点までの遅延が最小になるような経路を各交差点に位置する車両が決定し、車両がその経路にしたがって情報を配信する SCRП を提案している [10]。

SCRП では、全体の道路網や各道路セグメントにおける遅延や通信の接続性に基づいて経路を決定することで、carry-and-forward の発生回数を減らし、特に車両密度が低い場合において、遅延を小さくすることができる。しかしながら、この手法では、ブリッジノードが情報配信の経路を求める時や、情報を送信する車両が最終的な送信先位置までの経路を問い合わせる時などに、車両によって多くのパケットが送信されるため、GPSR などと比較して通信トラフィックが大きくなってしまう。

また、Zhao らは、情報を送信する車両が交差点を通過する時に、その交差点から出ている各道路セグメントを経由して情報が送信された場合における最終的な送信先位置までの全経路の遅延を予測し、遅延が小さい道路セグメントを優先的に次の送信先の道路セグメントとして選択する VADD を提案している [11]。

3. Demand map を用いた位置依存情報 (LDI) の配信手法

3.1 Demand map (Dmap)

Dmap は、LDI に対する需要の地理的分布を表した情報である。車両は、Dmap を作成するにあたって、地域を格子状に分割し、各正方形の小領域に固有の ID を付与する (図 2 (a))。車両はこの領域単位で LDI を生成し、LDI は最終的な送信先をこの領域単位で指定されて送信される。

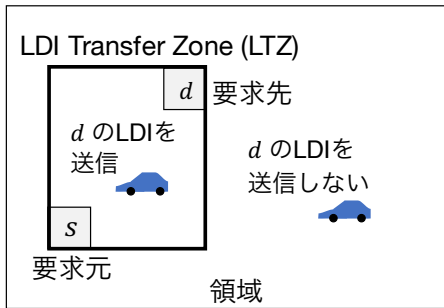


図 3 LDI Transfer Zone (LTZ)

Dmap で表される要求の分布もこの領域単位で表される。

ここで、LDI を要求する車両 (要求車両) が要求時点で存在している領域を要求元領域、要求された LDI が生成される領域を要求先領域と定義する。例えば、図 2 (a) において、領域 29 を走行する車両が領域 13 で生成される LDI を要求した場合、領域 29 が要求元領域であり、領域 13 が要求先領域である。Dmap は、要求元領域と要求先領域の組ごとに要求の数を管理する。例えば、図 2 (a) で矢印の始点を要求元領域、終点を要求先領域とし、図 2 (a) のような要求が発生している場合、Dmap では、図 2 (b) のように要求元領域と要求先領域の組ごとの需要の大きさを表す。

車両は、Dmap を最新の状態に保ち、車両間で共有するために、定期的に Dmap の構成要素 (DMap Information: DMI) を送信する [4]。DMI を受信した車両は、自身の Dmap に受信した DMI をマージすることで自身の Dmap を更新する。

3.2 位置依存情報 (LDI) の送信の制御

本研究では、車両が LDI を任意の位置で生成し、LDI を保持する車両が Dmap から得られる要求の地理的分布に基づいて LDI を配信することを想定している。提案手法では、LDI を保持する車両は冗長な配信を抑えて低遅延で LDI を配信するための方針 (LDI の送信の方針) に従って、LDI の送信の制御を行う。LDI の送信の方針は、以下の 3 つである。

- 車両と要求元領域、要求先領域との位置関係
低遅延で LDI を配信するためには、LDI の生成元領域から要求元領域までできるだけ短い経路で LDI を配信することが望ましい。したがって、より短い経路で LDI を送信するために、図 3 に示される LDI の生成元領域と LDI の要求元領域を結ぶ線分からなる矩形領域 (LDI Transfer Zone: LTZ) 内に LDI の生成元領域から要求元領域までの最短経路が含まれる可能性が高いと考え、LDI が LTZ 内で送信されるようにする。また、最短経路から離れた場所に位置する車両が LDI を送信したとしても、LDI の生成元から要求車両に届

くまでの時間が大きくなってしまふことで、LDI が要求元領域に届く前に LDI の有効期限が切れてしまい、LDI が要求元領域に届かなかったり、遅延が大きくなったりしてしまう可能性が高く、冗長な配信となる。そのため、冗長な LDI の配信を抑えるために、LTZ の外に位置する車両は LDI を送信しないようにする。

- 隣接車両数
隣接した複数の車両は同様の LDI を受信することにより、互いに同様の LDI を保持している可能性が高い。そのため、車両密度が高い時に、全ての車両が LDI を送信すると同様の LDI が必要以上に送信されてしまい、冗長な LDI の配信となる。さらに、車両密度が高い時に全ての車両が LDI を送信すると、輻輳が起こりうる。一方で、車両密度が低い時には、LDI の送信を抑制すると LDI がどの車両にも送信されない可能性がある。
- 要求数
車両は要求数の多い LDI を優先的に送信する。

したがって、車両は車両密度が高い時には LDI の送信を抑制し、車両密度が低い時には、LDI を積極的に送信すべきである。本手法では、隣接車両数が多いほど車両周辺の車両密度が高いと考えられるため、車両は隣接車両数が多いほど LDI の送信を抑制し、隣接車両数が少ないほど LDI を積極的に送信する。

送信確率を導出する。車両 v における隣接車両数が N_v の時、領域 g で生成された LDI l を車両 v が送信する確率 p_l を次の式によって算出する。

$$p_l = \min \left\{ 1, \frac{\sum_{i \in B} D_i}{\sum_{i \in A} D_i} \cdot \alpha \right\} \cdot \min \left\{ 1, \frac{\beta}{N_v} \right\} \quad (1)$$

ただし、 $0 < \alpha, 1 < \beta$ とする。ここで、 B は全ての要求元・要求先の組の集合の内、LDI l の任意の要求元を s 、 s と g から構成される LTZ を $Z_{s,g}$ とし、車両 v の現在位置を x_v とした時に、 $x_v \in Z_{s,g}$ を満たす $\{s, g\}$ の組の集合である。 A は、任意の要求元と要求先をそれぞれ s 、 d とした時に、 $x_v \in Z_{s,d}$ を満たす $\{s, d\}$ の組の集合である。 D_i は、要求元・要求先の組 i における有効な要求の数である。有効期限が切れた LDI は送信されずに破棄される。

式 1 の左側の \min の $\{ \}$ 内の右側では、分母を全ての要求の内、要求元・要求先からなる LTZ が車両を含んでいる要求の数の合計とし、分子を LDI l に対する要求の内、要求元・要求先からなる LTZ が車両を含んでいる要求の数の合計とした。ある領域から LDI l への要求が発生していたとしても、 $x_v \in Z_{s,g}$ を満たす $\{s, g\}$ の組における要求数が 0 の場合は、分子は 0 となる。すなわち、式の左側

の \min は、 $x_v \in Z_{s,g}$ を満たす要求のみを考慮した場合における LDI l の相対的な人気度を示しており、この式はこの項によって、LTZ 内の車両のみが LDI を送信するということと要求数の多い LDI を優先的に送信するということを実現している。さらに、相対的な要求数に対して隣接車両数に反比例する値を掛け合わせることで隣接車両数が多い時には、LDI の送信を抑制し、隣接車両数が少ない時には積極的に LDI を送信するようにする。以上のようにすることで、車両は前述の 3 つの方針を考慮した LDI の送信を行う。

3.3 位置依存情報 (LDI) の送信を制御するタイミング

新しい情報ほど現在における正確な交通情報を示しており、運転者にとって有益である。したがって、車両は新たな LDI を生成したタイミングで LDI を送信するべきであり、また、LDI を受信した車両は LDI を転送するべきである。さらに、新しい要求が発生した場合、その要求を反映した上で LDI を送信するべきである。したがって、提案手法では、車両は以下の 3 つのタイミングで、その時点で送信する LDI の候補となる LDI に関して送信確率を計算し、その送信確率にしたがって LDI を送信する。

- LDI を生成した時

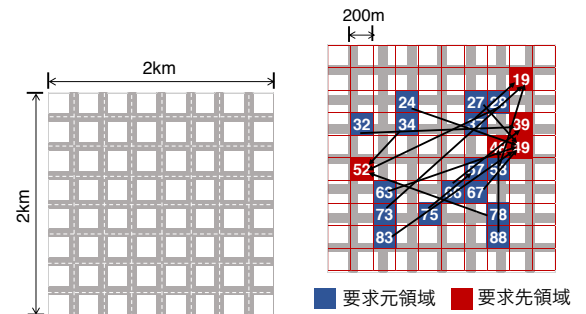
より新しい LDI が必要とされるため、車両は新しい LDI を生成した時にその LDI を送信する。生成した LDI には、LDI の生成時刻、LDI の有効期限、LDI の生成元の領域 ID を付加する。また、この時に送信する LDI の候補となる LDI は新たに生成された LDI のみであり、この車両が保持している他の LDI は送信しない。

- LDI を受信した時

車両は LDI を受信した時、受信した LDI を要求元の車両に届けるために転送する。この時、受信した LDI の有効期限が切れている場合は、この LDI を破棄する。ここで、LDI を受信して LDI を転送した場合、これが繰り返されることによってブロードキャストストーム問題が起こりうる。そこで、車両は LDI を受信した際に、即座に LDI を転送するのではなく、ランダム時間待機してから受信した LDI の送信確率を計算し、この LDI を転送する。またこの時においても、この時に車両が受信した LDI 以外の LDI は送信しない。

- 自身の Dmap 中の少なくとも 1 組の要求元・要求先の組において要求数が増加した時

時間とともに要求数は変化するため、他車両から Dmap の構成要素 (DMI) を受信し、自身の Dmap にその DMI を反映させることで自身の Dmap が更新されることがある。ある車両が要求を新たに行ったことによって、その車両が送信した DMI を受信した車両における Dmap が更新され、DMI の受信元の車両の Dmap



(a) シミュレーション領域 (b) Dmap における領域分割
図 4 シミュレーション領域と Dmap における領域分割

において要求数が増加する要求元・要求先の組が存在する場合がある。

車両が要求数が増加した組の要求先領域で生成された LDI を保持している場合、前回その LDI の送信確率を計算した時よりも、LDI への需要が大きくなっており、その LDI の送信確率が高くなっている可能性がある。そのため、車両は自身の Dmap 中の少なくとも 1 組の要求元・要求先の組において要求数が増加した場合に、要求数が増加した組の要求先領域で生成された LDI を保持しているならば、その LDI の送信確率を計算し、送信する。

この時、互いに近くの位置にいる複数の車両において同時に同様の LDI への要求数が増加した場合に、近くの位置で同様の LDI が短い間隔で送信されてしまう恐れがある。これを避けるために、将来的には短い間隔で同様の LDI が送信されることを防ぐための方法が必要である。

3.4 シミュレーション評価

3.4.1 シミュレーションシナリオ

Space-Time Engineering 社が提供するネットワークシミュレータ Scenargie [12] を用いてシミュレーションを行った。本シミュレーションでは、DMI の送信手法 [4] を除いた、Dmap を用いた LDI の配信手法のみの評価を行うために、各車両は DMI の送信を行わずに正確に要求分布を反映した Dmap を車両間で共有しているものとした。

シミュレーションを行うにあたって、本章にて提案した手法を Scenargie で扱えるように実装した。具体的には、各車両が正確に実際の要求分布を反映した Dmap を共有し、3.3 節で述べた LDI の送信制御のタイミングで Dmap に基づいて送信確率を計算し、送信確率にしたがって LDI を送信するようにした。

車両が移動する道路として、片側一車線の道路 14 本を 2km 四方のシミュレーション領域内に設置した (図 4 (a))。また、全ての交差点に信号機が設置されているものとした。全ての車両はこの道路上を交通流シミュレータ SUMO [13] によって生成された移動ログに従って移動する。Dmap を

表 1 シミュレーション中に生成された要求の要求元領域 ID と要求先領域 ID の組

要求元領域	要求先領域	要求元領域	要求先領域
27	49	67	49
63	49	24	49
83	49	34	52
78	52	28	52
73	19	58	19
37	19	32	39
66	39	88	48
75	57		

作成するにあたってシミュレーション領域を 200m 四方の小さな 100 個の領域に分割し、各領域に ID を付与した (図 4 (b)) .

ある要求元領域を走行する車両からある要求先領域の LDI に対して頻繁に要求が生成されるという要求発生モデルを想定している . 車両は、図 4 (b) の赤色で示される領域 (要求元領域) 内に位置している時に、一定間隔 (=1 秒間隔) でその領域に対応する青色で示される領域 (要求先領域) で生成される LDI に対して要求を生成する .

表 1 に車両がシミュレーション中に生成した要求の要求元領域と要求先領域の組を示す . 車両は、表 1 で示される要求元領域内に存在し、かつその要求元領域に対応する要求先領域の方角に向かって進行している時にのみ要求先領域の LDI に対して要求を生成する . 例えば、領域 27 を走行している車両は、自身が東方向または南方向に進行している時にのみ領域 49 の LDI を要求する .

本シミュレーションでは、車両は車々間通信のみを用いて、他車両に情報を送信する . 各車両は、定期的に自身の位置等を含むビーコンをブロードキャストする . ただし、車両は DMI を送信しない . そのため、3.3 節にて述べた LDI を送信するタイミングの内、3 つ目のタイミングにおいて、本来は車両は他車両から DMI を受信したことによって要求数の増加を確認するが、その代わりに本シミュレーションでは、車両は定期的に Dmap における要求数を確認することにより要求数の増加の有無を確認するものとした .

乱数の seed 値を変えて 10 回シミュレーションを行った . 表 2 にシミュレーションパラメータを示す . 式 1 では、シミュレーションの結果に応じて α を柔軟に変更することができるようにしたが、式 1 の左側の $\min\{\}$ の右項は、車両を LTZ に含む要求元・要求先の全ての組における、送信確率を計算する対象となっている LDI の相対的な人気度であり、単純な相対的な人気度は $\alpha = 1$ の場合によって示される . したがって、本シミュレーションでは $\alpha = 1$ とする .

また、車両の移動速度や移動の方向の変化などを考慮しない場合、LDI を送信した車両の全ての通信範囲内に位置する車両 (隣接車両) は LDI を受信することができる . したがって、ある車両の隣接車両とある車両自身を含めた車

表 2 シミュレーションパラメータ

パラメータ	値
車両流入台数 [/h.lane]	300
ビーコンの送信間隔 [秒]	1
送信電力 [dBm]	10
要求の生成間隔 [秒]	1
要求の有効期限 [秒]	60
LDI の有効期限 [秒]	60
シミュレーション時間 [秒]	700
試行回数 [回]	10
通信規格	IEEE802.11p
電波伝搬モデル	ITU-R P.1411
アプリケーション層での最大ペイロードサイズ [bytes]	1000
α	1
β	7

両群の内、1 台のみが LDI を送信すれば十分である . 以上の考えに基づくと、基本的には $\beta = 1$ とすることが妥当であると考えられる . しかしながら、車両の分布や車両の速度の変化などが一様でないことを考慮すると、 $\beta = 1$ とした場合に、どの車両からも LDI が送信されなかったり、LDI の中継が途中で途絶えてしまったりする恐れがある .

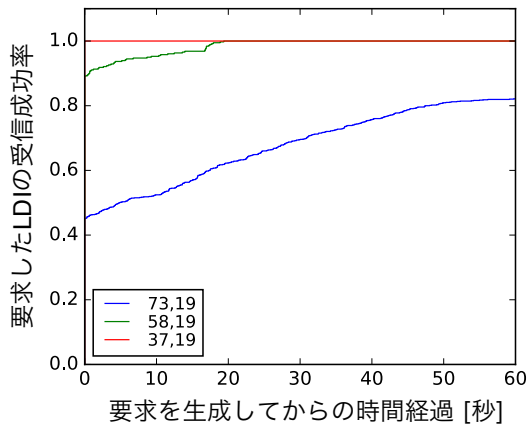
そこで、適切な β を見つけるために事前に β を最大 20 まで変化させてシミュレーションを行った . この事前シミュレーションでは、 $\beta = 1$ から $\beta = 7$ までは、受信成功率の改善が受信成功率 1 付近で見られたが、7 を超えると LDI の受信成功率 1 付近で改善される要求はなく、改善されたとしても受信成功率の低いまま少し改善されるというものが多かった . そのため、 β を 7 より大きくしても意味のある改善は見られないと考えられるため、 $\beta = 7$ とした .

3.4.2 評価指標

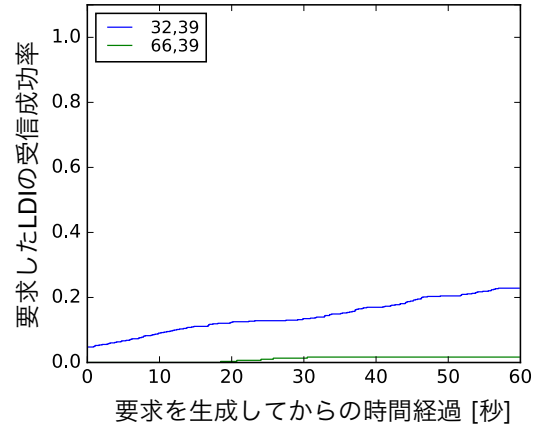
評価指標は、要求元と要求先の組ごとにおける、各要求が生成されてからの時間経過に伴う、LDI の受信成功率とした . 受信成功率を各要求元・要求先の組ごとに、各組における生成された全要求数に占める満たされた (LDI を要求した車両が要求の有効時間以内にその LDI を受信した) 要求の数の割合で表す . そして、要求が生成されてからの受信成功率の時間変化を見ることで、どの程度の遅延で LDI をどの程度受信することができたかを調べる .

3.4.3 シミュレーション結果

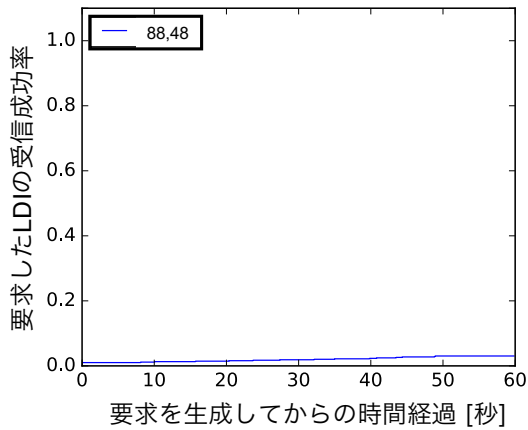
要求ごとの受信成功率の時間変化を要求先領域ごとに複数のグラフに分けて図 5 に示す . ここで、図 5 では一つのシナリオにおける結果を確認しやすくするために、要求先領域ごとにグラフを (a)-(f) に分けて掲載している . グラフの各線は、各要求元領域と要求先領域の組 (要求元領域、要求先領域) を表している . 横軸は、要求が生成されてから経過した時間 [秒] を表している . 縦軸は、横軸で示された時間経過後における累積の受信成功率 (各要求の全要求数に占める、要求が生成されてから横軸で示された時間以



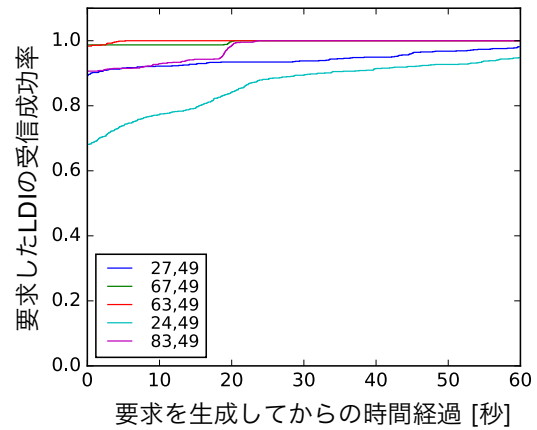
(a) 要求先領域が領域 19 である要求



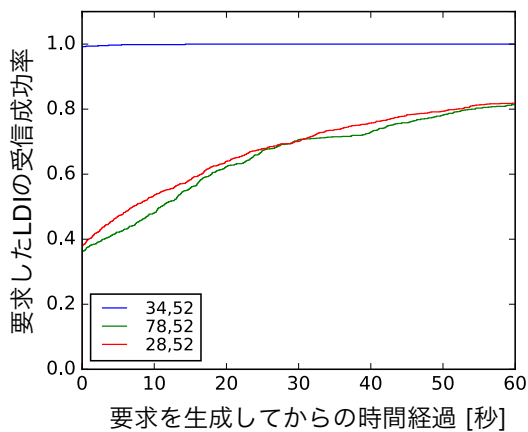
(b) 要求先領域が領域 39 である要求



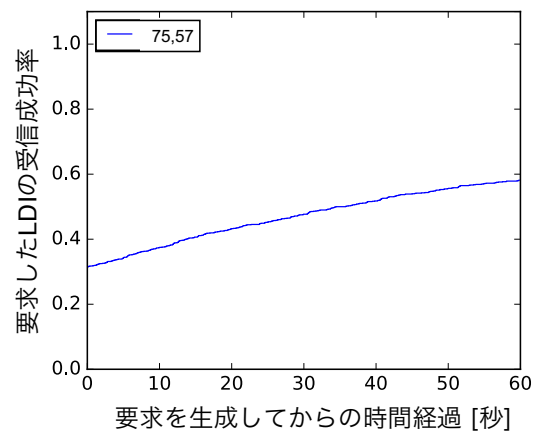
(c) 要求先領域が領域 48 である要求



(d) 要求先領域が領域 49 である要求



(e) 要求先領域が領域 52 である要求



(f) 要求先領域が領域 57 である要求

図 5 要求ごとの受信成功率の時間変化

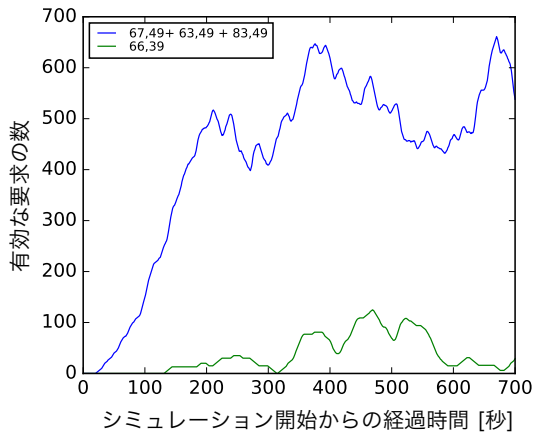


図 6 各要求先ごとの有効な要求数の時間変化

内に満たされた要求の数の割合)である。グラフの横軸の小さな値で縦軸が高い値を示すほど、多くの要求が短時間で満たされたことを示しているため、良い結果を示していることになる。逆に、グラフの横軸の大きな値で縦軸が低い値を示すほど、長時間経過しても多くの要求が満たされていないことを示しているため、良くない結果を示していることになる。

図 5 を見ると、同様の要求先領域を持つ要求元領域・要求先領域の組からなる LTZ に自身の LTZ 全てが含まれている要求元領域・要求先領域の組において、特に短時間で受信成功率が高くなっている。同様の要求先領域を持つ要求元領域・要求先領域の組からなる LTZ に自身の LTZ 全てが含まれている要求元・要求先の組では、送信確率の式 1 の左側の min の {} 内の右項の分子の値は、自身の要求数と自身を含む LTZ を持つ要求元・要求先の組における要求数の合計となるため、この分子の値が大きくなる。したがって、その LTZ 内の全範囲において、この要求先領域の LDI が高い送信確率を得ることになったため、短時間で高い受信成功率を達成したと考えられる。

例えば、(要求元領域, 要求先領域) の組が (67, 49) の LTZ は (63, 49) と (83, 49) の LTZ 内に含まれているため、式 1 において、(67, 49) からなる LTZ 内の車両における領域 49 で生成された LDI に対する要求数は (67, 49) の要求数と (63, 49) の要求数と (83, 49) の要求数の合計となる。したがって、(67, 49) の LTZ 内においては、49 の LDI が積極的に送信される。領域 49 の LDI を要求する他の要求の組においても短時間で高い受信率を達成したのは、LDI の生成元から LDI の要求元までの経路の大部分で積極的に LDI が送信されたためだと考えられる。

さらに、図 5 において 0 秒付近で高い受信成功率を達成している要求があるが、0 秒付近で受信成功率が高くなっているということは、多くの車両が要求する時点で既に自身が要求する LDI を保持していることを表している。これは、LDI の生成地点と LDI の要求地点の関係に基づいて、

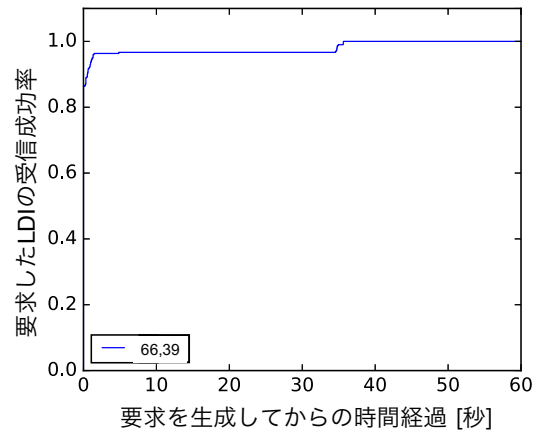


図 7 要求元領域 66, 要求先領域 39 の要求のみを発生させた場合の受信成功率

LDI への要求が多く発生する地域に積極的に、その地域で要求される LDI を配信することで、要求が多く発生する地域において将来的に LDI を要求する車両に対しても LDI を配信できたためだと考えられる。

一方で、前述のような LDI への高い要求数を示している要求の LTZ 内 (先ほどの例では (67, 49) の LTZ 内) に LDI の生成元領域が存在する要求に関しては、低い受信成功率を示している。これは、LDI の生成元領域において、LDI の送信が抑制されたために、生成元領域の外に LDI が転送されにくくなったためだと考えられる。

ここで、図 6 に、(67, 49) の要求数と (67, 49) の LTZ を含む LTZ を持つ (63, 49) と (83, 49) の要求数を足した数の時間変化と (66, 39) の要求数の時間変化を示す。(66,39) では、LTZ 内の大部分を要求先領域を 49 とする要求元・要求先の組からなる LTZ が占めている。しかし、要求先領域が 39 で、かつ (66, 39) の LTZ 全てを含んでいる LTZ を持つ要求元・要求先の組はない。図 6 を見ると、二つの要求数の違いは顕著であり、そのため領域 49 の LDI の送信機会が多くなった一方で、領域 39 の LDI の送信機会が少なくなったということが分かる。

図 7 に、領域 66 を走行する車両が領域 39 の LDI を要求し、それ以外の要求は発生しないシナリオにおける要求元領域 66・要求先領域 39 の要求における受信成功率の時間変化を示す。図 7 を見ると、他の要求が発生しない場合ではこの要求における受信成功率が高くなっている。そのため、図 5(b) で要求元領域 66・要求先領域 39 の要求における受信成功率が低くなっている要因として、前述のように相対的な要求数が低いことが大きな要因になっていることが確認できる。したがって、要求数の大きな差による送信機会の著しい偏りを解消することが全体の要求における受信成功率を向上するために必要である。

以上の結果をまとめると、同様の要求先領域を持つ要求元・要求先の組からなる LTZ に自身の LTZ 全てが含まれ

ている要求元・要求先の組においては、LDIの送信機会が多くなるために短時間で高い受信成功率を達成することが分かる。一方で、このような要求元・要求先の組のLTZ内にLDIの生成元領域が含まれる要求は、生成元領域においてLDIの送信機会が少なくなるために低い受信成功率となることが分かる。送信機会の著しい偏りや送信されるべき地点でLDIが送信されていないことが一部の要求で受信成功率が著しく低くなることの原因であると考えられる。これを改善するためには、生成元領域の外にある程度の数のLDIが転送されるようにすることや、あるLDIへの要求の数の合計が他のLDIへの要求の数の合計より著しく少ない時でもLDIの送信を抑制すぎないようにすることが必要であると考えられる。

4. 結論

本論文では、車のドライバーに指定された任意の位置で撮影された画像を車々間通信を用いて車に配信し、ドライバーに提供するリアルタイム画像カーナビシステムの実現に向けて、要求された位置依存情報(LDI)を要求車両に低遅延で届けることを目指した手法であるDemand mapベースデータ配信手法におけるDmapを用いたLDIの配信手法の提案と評価を行った。

Dmapを用いたLDIの配信手法では、車両はLDIの生成元から要求元までのより短い経路を含む可能性の高い領域(LTZ)内でのみLDIを配信する。このようにすることで、LDIの生成元からLDIの要求元までの最短経路から離れた車両によるLDIの配信を抑制し、LDIの冗長な配信を抑制すると同時に、LDIの生成元からLDIの要求元までのより短い経路でLDIを配信し、LDIを低遅延で要求元まで配信するようにする。さらに、車両密度が高い時に冗長なLDIの配信と輻輳を避けるために、隣接車両数が多いほどLDIの配信を抑制するようにした。

Dmapを用いたLDIの配信手法の性能を評価するために、車両がDmapに基づいてLDIを車々間通信のみを用いて送信するシミュレーションを行った。シミュレーションの結果、比較的要求数の多いLDIに関しては低遅延で高い受信成功率を達成していることが分かった。これは、要求数の多いLDIがLTZ内で頻りに送信されたためであり、Dmapを用いてLDIをpush型で要求の多い地域に配信することで低遅延でLDIを配信できたと考えられる。

一方で、要求数が他のLDIと比較して著しく少ないLDIに関しては、受信成功率が著しく低くなった。これは、特にLDIの生成元領域においてLDIの送信が抑制されたためであると考えられ、要求数が他のLDIと比較して著しく少ないLDIの送信機会が著しく減少することを防ぐことが課題として挙げられる。改善策としては、LDIの生成元領域ではLDIの送信確率を高くすることや要求数が比較的少ないLDIに対してもある程度の送信確率を保證することが考

えられる。

謝辞 本研究は、科学研究費補助金課題番号15H02689の助成による。

参考文献

- [1] 伊藤亮輔, 石原進: 車載カメラ撮影映像提供システムにおける位置指定要求に対する映像選択方法, 情報処理学会論文誌, Vol. 58, No. 1, pp. 79–88 (2017).
- [2] Ishihara, S. and Nakamura, N. and Niimi, Y.: Demand-based Location Dependent Data Dissemination in VANETs, Proceedings of the 19th annual international conference on mobile computing & networking, ACM, pp. 219–222 (2013).
- [3] 新美 雄也, 石原 進: VANETにおける位置依存情報に対する需要の地理的分布のピーコニングによる共有の効果, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015-ITS-60, No. 6, pp. 1–8 (2015).
- [4] Yamada, A. and Ishihara, S.: Data Exchange Strategies for Aggregating Geographical Distribution of Demands for Location-Dependent Information Using Soft-State Sketches in VANETs, Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, Vol. 2, No. 6, pp. 175–185 (2017).
- [5] Zhang, L., Afanasyev, A., Burke, J., Jacobson, V., Crowley, P., Papadopoulos, C., Wang, L., Zhang, B. et al.: Named data networking, ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 44, No. 3, pp. 66–73 (2014).
- [6] Grassi, G., Pesavento, D., Pau, G., Zhang, L. and Fdida, S.: Navigo: Interest forwarding by geolocations in vehicular Named Data Networking, World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), 2015 IEEE 16th International Symposium on a, IEEE, pp. 1–10 (2015).
- [7] Ahmed, S. H., Bouk, S. H., Yaqub, M. A., Kim, D., Song, H. and Lloret, J.: CODIE: Controlled data and interest evaluation in vehicular named data networks, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 65, No. 6, pp. 3954–3963 (2016).
- [8] Hanshi, S. M., Kadhum, M. M. and Wan, T.-C.: Density-aware directional forwarding strategy for vehicular ad hoc networks, Communications (MICC), 2015 IEEE 12th Malaysia International Conference on, IEEE, pp. 139–144 (2015).
- [9] Karp, B. and Kung, H.-T.: GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks, Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking, ACM, pp. 243–254 (2000).
- [10] Togou, M. A., Hafid, A. and Khoukhi, L.: SCRIP: stable CDS-based routing protocol for urban vehicular ad hoc networks, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 17, No. 5, pp. 1298–1307 (2016).
- [11] Zhao, J. and Cao, G.: VADD: Vehicle-assisted data delivery in vehicular ad hoc networks, IEEE transactions on vehicular technology, Vol. 57, No. 3, pp. 1910–1922 (2008).
- [12] Space-Time Engineering, 入手先 (<https://www.spacetime-eng.com/jp/>) (参照 2018–01–04)
- [13] SUMO, 入手先 (<http://sumo.dlr.de/index.html>) (参照 2018–01–10)