

VANETにおける位置依存情報に対する 需要の地理的分布のビーコニングによる共有の効果

新美 雄也¹ 石原 進¹

概要: 車両間で事故や渋滞などの道路交通情報の共有を行い、ドライバーに対して遠隔地の情報を提供し運転を支援するための技術開発が進められている。筆者らはドライバーが興味を持つ地点の現在の情報をVANETを用い伝達することでドライバーへ提供するシステムの開発を行っている。本稿では、ドライバーが要求した位置に依存する情報（位置依存情報、例として車載カメラによる撮影画像）を通信トラフィックを抑制しつつ配信するために、車両が定期的に発信するビーコンを利用し情報の需要に対する地理的な分布（Demand map）を配信し、車両間で位置依存情報に対する需要の地理的な分布を共有することで、各車両が必要に応じて配信情報を決定できることを目指す手法、Demand map ベースデータ配信手法について論じる。本手法において、Demand map の表現及び低トラフィックでの共有のために Soft-state sketch と呼ばれるデータ構造を用いる方法を検討し、この設計における需要分布の共有の効果を確認する。シミュレーションの結果、各車両が実際に発生した要求を反映した Demand map を生成、共有できることを確かめた。また、車両密度や需要の有効期限といった条件によって、Demand map が反映する需要の分布の振る舞いに違いがあることを確かめた。

キーワード: VANET, 情報配信, DTN, ビーコニング, Soft-state sketch, 位置依存情報

1. はじめに

近年、車両間の無線通信によって無線マルチホップネットワークを動的に構築する車々間アドホックネットワーク（Vehicular Ad hoc NETwork: VANET）を利用し、車両間で情報共有を行う事で運転の安全性・快適性を向上させるための運転支援システムの研究開発が進められている。車両間で交通情報の共有を行うことで、ドライバーは遠隔地に関する情報を取得することが可能となり、動的な経路選択などの運転支援に役立てることができる。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、例として車載カメラで撮影した動画データ）を車両間で共有し、運転支援に役立てるシステムの開発を行っている [1]。このシステムでは、ドライバーが興味のある位置（POI: Point of Interest）を音声あるいは手動の操作でシステムに伝え、システムは指定された位置で撮影された画像をVANETを通して入手し、ドライバーへ提示する。本システムは指定した位置で撮影された画像を目視で確認することで、ドライバーがその位置の現在の状況を確認することが可能となり、より快適な運転を可能とす

ることを目指している。

モバイルアドホックネットワークにおける情報配信手法では、その情報を求めるノードが他の車両に対し要求メッセージを発信し、要求された情報を保持する車両が応答返送することで、要求ノードが情報を取得するプル型情報通信がある [2]。しかしながらVANETでは、車両の移動によって車両間の接続性が保証されない問題がある。そのため要求・応答が配送経路上で失われ、情報伝達が行えない可能性がある。更に、事故などの事象によって突発的に渋滞が発生した状況のように、複数車両が同じ場所に関する情報を求め、その位置を指定した要求が多数発生した場合、それらの要求メッセージに対し複数の車両から類似の情報が応答としてネットワーク上で伝送されることとなる。その結果、類似の応答が重複して配布されることによって伝送トラフィックが増加し、通信資源の浪費を引き起こす。

プル型情報通信に対して、既に提案されているVANETによる情報共有システムの多くでは、道路情報を観測した車両がその情報を配信範囲を指定した上で散布することで情報共有を行うプッシュ型情報通信を用いている [3]。この方法では、生成した情報の中で、どの車両も必要としないような需要が低く配信の必要が無い情報も送信してしまうことで余分なトラフィックが発生し、通信資源の

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

浪費を引き起こす問題がある。これに対して多くの既存手法では、配信する情報の中で類似のものを集約しデータサイズを抑えることで、配信トラフィック量を削減している [4][5][6][7]。しかしながらこれらの方式では、個々のデータが集約が容易な数値情報を対象としており、本研究で想定するような車載カメラによる撮影画像に対して応用することは難しい。

これらプル・プッシュ型通信それぞれの問題に対応するため、筆者らはプル・プッシュのハイブリッド型配信方法を提唱している [1]。この手法では、各車両が受信した要求メッセージをもとに、要求発生位置から POI に対する要求の強さを表す対応図 (Demand map, 以下 Dmap) を生成し、車両間で共有する。この Dmap に基づいて位置依存情報の配信を行う [9][10][11]。車両はある POI に関する位置依存情報を生成すると、Dmap に基づいて自身が持つ位置依存情報を送信すべきかを判定し、その結果に従って周辺車両に配信する。その後、その情報を受信した車両も同様に、Dmap に従ってデータの有効期限に達するまで、プッシュ型で情報の配信を繰り返す。

Dmap には、要求元・要求先位置と、要求の強さを示す情報が含まれる。車両はこの Dmap の情報をビーコニングによって周辺車両に配信する。ある要求を生成・受信したり、他の車両が配信したビーコンを受信した車両は、その情報を自身が持つ Dmap に対してマージ処理することで、Dmap の更新を行う。位置依存情報に対する需要は、時間の経過に従って変化するため、Dmap もこの変化に対応する必要がある。仮に Dmap の管理を、車両が生成、送受信を行う要求メッセージの数で表現とした場合、Dmap の更新や時間経過に従う処理は個々の要求メッセージの示す要求先/元位置 ID、要求の生成時刻に基づいて行う必要があるが、車両台数が多い、及び要求の発生頻度が高い場合、コストが大きくなる。Dmap の更新処理や時間経過処理を単純な計算で行うため、Lochert らが提案する VANET の位置依存情報集約手法のひとつである Soft-state sketch [7] を利用する。Soft-state sketch によって、要求先/元の組に対する要求の件数は数列で表現され、マージ処理や時間経過に従う処理はこの数列への簡易な操作によって実現される。

本論文では、上記の Demand map ベースデータ配信手法に関し、車両間のビーコニングによる Dmap の共有の効果をシミュレーションにて確認する。各車両は、ある位置に対する情報要求を生成し、その要求を Dmap に反映する。また車両間で Dmap の情報を交換し、Dmap の更新を行う。この状況において車両密度や要求の有効期限を変化させ、車両が持つ Dmap が実際に生成された要求を分布を反映し、かつ Dmap が車両間で共有できていることを確認する。

以下、2 章では無線アドホックネットワーク、及び VANET

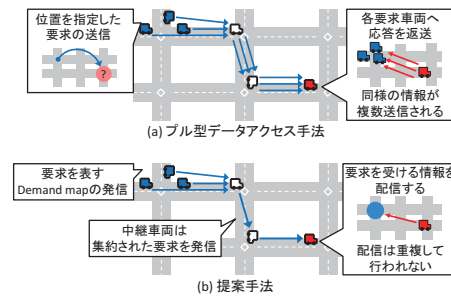


図 1 プル型データ配信手法と提案手法の比較

における情報配信に関する関連研究について述べる。3 章では提案手法である Demand map ベースデータ配信手法の概要を述べ、4 章で Dmap の共有に関する評価・議論を行う。

2. 関連研究

移動端末による情報共有では、限定的な接続機会と通信帯域の中で効率的に情報を得るために、配信の必要のない情報については送信を避け、より有用な情報を選んで配信を実行する必要がある。本章では無線アドホックネットワーク、及び VANET において配信情報の取捨選択を行っている手法について述べる。

Szczurek らの提案する手法では、VANET におけるプッシュ型配信で価値が高いと推測できる情報を配信する設計を行っている [13]。具体的には情報が受信車両にとって、新しくかつ利用価値が高いと言える確率を単純ベイジ学習と、情報生成からの経過時間、生成位置からの距離に基づいて計算している。その結果に基づき情報の価値に対する順位を求め、高い順位の情報を配信する。

Schwartz らは、ナッシュ交渉を用い近隣車両にとって有用性が大きい情報を選択してブロードキャストする手法である FairAD を提案している [14]。有用性の評価基準としては情報生成からの経過時間、生成位置からの距離、車両の進行方向を用い、更にナッシュ交渉を応用し各車両が受信情報から得る利益に公平性を与えるようにしている。

これらの文献 [12][13][14] の共通点として、配信するデータが数値情報 (例えば利用可能な駐車場情報、渋滞情報) に限られているという想定がある。これは画像情報を扱う本研究との差異であるが、選択基準として情報の生成からの経過時間、生成位置を考慮する戦略は近い。

文献 [7] では、VANET における情報の集約を用いたプッシュ型データ配信における手法の一つである Soft-state sketch が提案されている。この提案では、駐車可能な駐車スペースの情報を車両間で共有することを目的として、Flajolet らが提案する FM sketch [8] を応用した駐車可能スペース数の確率的推測手法について述べている。本研究では、位置依存情報に対する需要の情報を車両間で共有するために、Demand map において各車両が生成する要求メッ

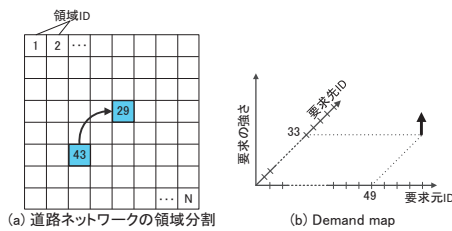


図 2 Demand map の概要

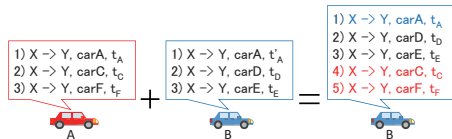


図 3 Dmap のマージ例

セージの頻度の集約に Soft-state sketch を用いている。

3. Demand map ベースデータ配信手法

車のドライバーへ、ドライバーが求める位置の情報を提示するため、VANET 環境下で車両が生成したデータに対し位置をキーとしてオンデマンドで問い合わせを行う場合を考える。要求・応答メッセージの伝送で情報を共有する単純なプル型データアクセス手法を用いれば、同様の要求が多数発生した場合にはそれに対する応答も要求毎に多数発生し、無線通信資源を浪費する問題がある(図 1(a))。扱う情報として車載カメラ撮影画像のようなデータサイズが大きいものを想定すると、上記の問題はより顕著なものとなる。この問題を回避するためには、各車両は個々の要求に対して個別に配信を行うのではなく、類似の要求が複数発生している際には要求の地理的・時間的な分布を考慮し、必要最低限の配信を行うことが理想である。

本章では、各車両が、受信した位置を指定した要求を集約することで要求メッセージの分布図を作成し、情報に対する需要を把握した上で配信する情報を選択する Demand map ベースデータ配信手法における Dmap の生成及び管理手法について述べる。

3.1 Demand map (Dmap)

Dmap の例を図 2 に示す。本手法では、道路ネットワークをあらかじめ格子状に区切り、 N 個の小さな領域に分割する(図 2(a))。各領域には ID が与えられ、車両はこの ID を識別可能である。Dmap は車両が位置する領域と、その周辺の数個の領域において、ある領域からある領域に対して発生している要求の強さを表現する。図 2(b) は、Dmap の例を示している。要求が発生している領域を要求元領域、要求が向けられている領域を要求先領域と表現する。この図では、具体的な例として要求元領域の ID が 49、要求先領域の ID を 33 として 5 台の車両が領域 33 の情報を求めていることを表している。

この Demand map ベースデータ配信手法を用いて情報に対する需要を把握することで、図 1(b) のように同じ情報の重複した伝送を回避し、無線通信資源の浪費を抑える効果を狙う。プル型データアクセス手法で問題とされていたのは、同じ位置を指定した複数の要求が発生した場合に、各要求に個別に応答することで、同様の情報が重複して配信されることによる無線通信資源の浪費であった。この問題に対し、提案手法では複数の要求を需要の分布図である Dmap にまとめ、Dmap を利用して配信する情報を決定する。

各車両がこの Dmap を共有するために、車両は定期的に発信するビーコンに Dmap を付加させる。ビーコンパケットには、ビーコン発信車両の ID、車両が位置する道路 ID、タイムスタンプ、Dmap 情報が含まれる。ビーコンを受信した車両は、ビーコンに含まれる Dmap の情報を自身の Dmap とマージすることで更新する。

ここで、Dmap においてある位置からある位置への要求を表現するための表現方法を考える。要求生成位置、要求先位置、要求生成車両、タイムスタンプを単純に各要求毎に保持し、この組をビーコンで配信とした場合、Dmap のマージ処理は図 3 のように両者が持つ情報の和集合をとる処理となる。車両 A からビーコンを受信した車両 B は、自身が把握していた情報に含まれない、新たに受け取った要求を付け加えることで更新を行っている。この様な方法を用いると、Dmap のデータ量は増加する一方となり、不適切である。

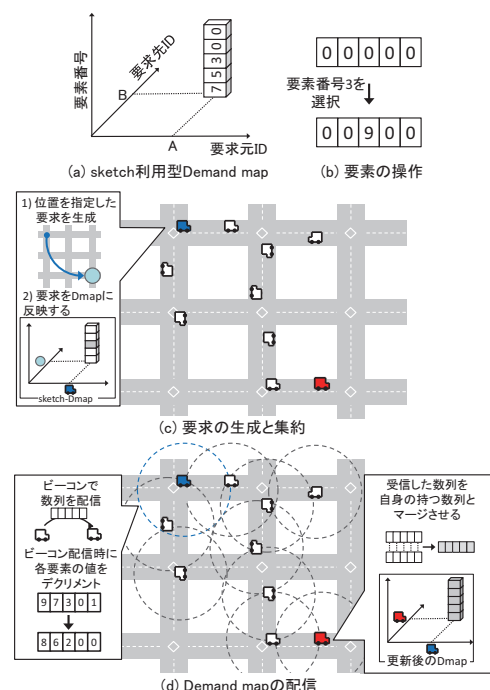


図 4 Demand map ベースデータ配信手法

3.2 Soft-state sketch による Dmap の表現

この Dmap の設計にかかる課題について、筆者らは VANET における位置依存情報集約手法のひとつである Soft-state sketch[7] を用いる手法を提案している。Soft-state sketch を応用した場合の本手法の動作を図 4 に示す。Dmap は、要求元位置と要求先位置の組の一つ一つに、Soft-state sketch における数列を設定する (図 4(a))。この数列の各要素には、 $[0, TTL_{max}]$ の整数が格納される。また、各要素の値は単位時間毎にデクリメントされる。要求が生成されたとき、その要求の生成元と要求先に対応する数列に対して、式 1 に示す確率関数 P_i によって得られる値 X に従って、その数列における要素番号 X 番目に TTL_{max} を格納する。

$$P_i = P(X = i), \quad (i = 0, 1, \dots, TTL_{max}) \quad (1)$$

図 4(b),(c) では、下から 3 番目の要素に対して TTL_{max} を 9 に設定した場合を表現している。

確率関数 P_i は、 i に対して単調減少である。ここで、要素番号 1 からの、非ゼロの要素からなるラン長を要求の強さの表現のために用いる。各車両はこの数列をビーコンに載せて発信することで、需要を他の車両に伝える。ビーコンを受信した車両は、含まれている数列を、同じ箇所の需要を示す自身の Dmap のうちの数列とマージする (図 4(d))。具体的には、両方の数列の各要素毎に大きい方の値を選択し、マージ後の数列の値とする。このようにすることで、Soft-state sketch を応用した設計では、前節で述べた需要毎に各要求を保持する単純な場合より、計算処理を小さくすることができる。

ある数列から実際に生成された要求の数を推定するには、下位の要素から上位に向けて、ゼロでない TTL が格納されている要素を走査する。ある数列で表される領域から領域に対しての N 回の要求発生があったとして、要素番号 1 から要素番号 i までの各 TTL が連続して非ゼロである確率 $P'(i, N)$ は、式 2 によって求められる。

$$P'(i, N) = \prod_{j=1}^i (1 - (1 - P_j)^N) \quad (2)$$

更に式 2 の条件に加え、要素番号 $i + 1$ がゼロである確率 $P''(i, N)$ は、式 3 によって求められる。

$$P''(i, N) = P'(i, N) - (1 - (1 - P_{i+1})^N) \quad (3)$$

また図 5 は、式 3 を各要素番号 i についてプロットしたものである。例としてこの図において、要素番号 3 に注目する。この場合のグラフの振る舞いをみると、処理回数がおよそ 9 回の時に最大値をとっていることがわかる。このことから、ある回数処理を行った数列において、要素番号 1 から 3 まで非ゼロの TTL が格納されていた場合、その数列に対する処理回数を推測することができる。

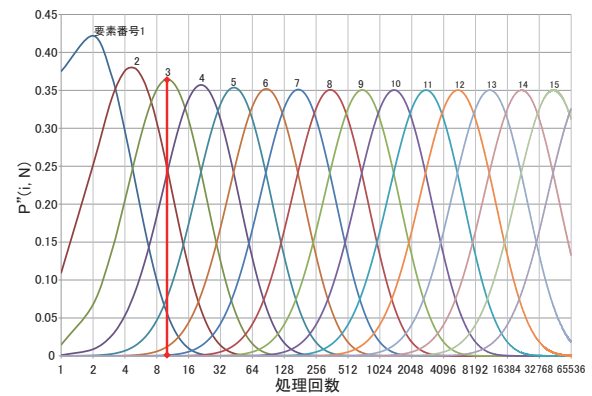


図 5 Soft-state sketch における要素数推定

4. シミュレーション評価

前章までに述べた Soft-state sketch を用いた Demand map について、簡易的なシミュレータによるシミュレーションを行い、各車両が持つ Dmap と実際の要求発生数を比べ、Dmap が実際に発生した要求の分布を反映することを確認する。

4.1 シミュレータ

シミュレーションには自作のシミュレータを用いた。VANET 上での利用を前提とする提案手法に対して評価を行うためには、交通流シミュレータによる道路上を走行する車両ノードの移動ログをもとに、ネットワークシミュレータにて通信シミュレーションを行うのが理想的であるが、本論文では基礎的な評価として、セルオートマトンにおける模擬的なシミュレーションを行った。

正方形格子セルを並べたシミュレーションエリア上に、複数台の車両ノードをランダムに配置した。車両ノードはタイムステップ毎に上下左右いずれかの隣接セルをランダムに選択し移動する。選択した移動先がシミュレーション領域の境界であった場合、その移動先とは反対の方向に移動する。各車両はタイムステップ毎に、次節に示す要求生成モデルに従い、要求を生成する。位置依存情報要求を生成した車両は、3.1 節にて述べたように、自身が持つ Dmap に対して要求を反映させる。各車両はタイムステップ毎に自身が持つ Dmap のうち、最も新しく更新された数列を同一のセルに位置する車両にブロードキャストする。ブロードキャストする数列数は、同一セルに位置する車両台数によって変化する。同一セルに位置する車両から数列を受信した車両は、3.1 節の通り、自身の Dmap へのマージ処理を行う。

4.2 シミュレーションシナリオ

以下に述べるシナリオにてシミュレーションを行った。シミュレーションのパラメータには表 1 に示す値を用いた。セル当たりで交換する総数列数は、同一セルに位置する

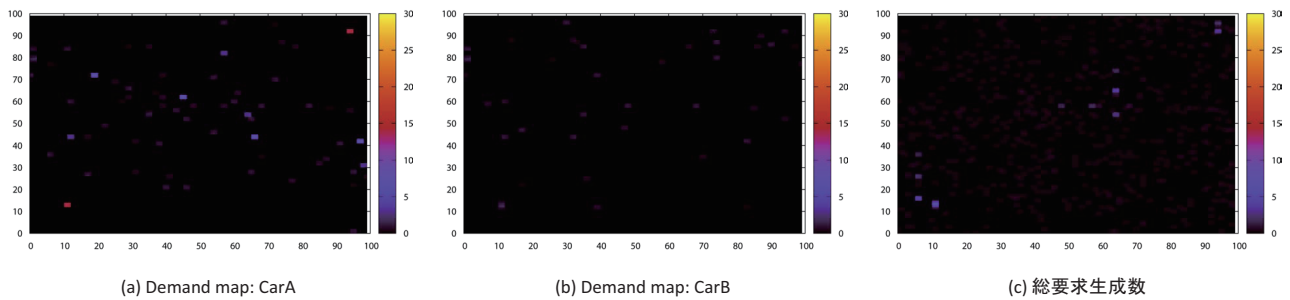


図 7 車両数 10, $TTL_{max}128$, 配信制限数 50 の場合の 2000step 経過時における車両 A, B の Dmap と総要求生成数

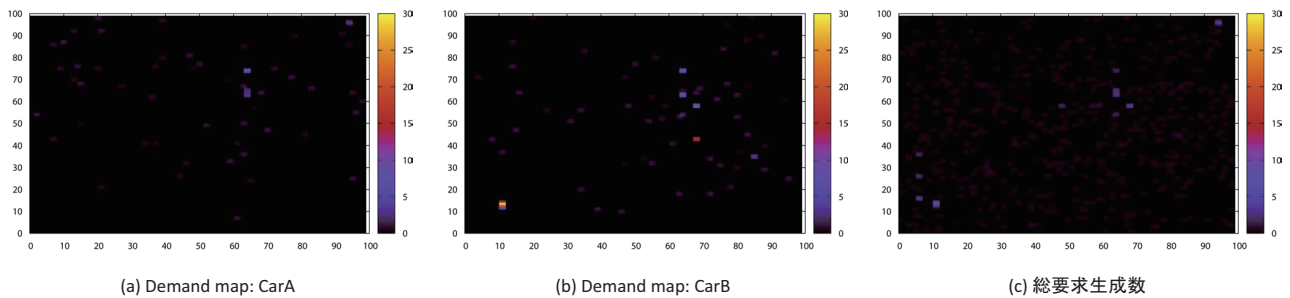


図 8 車両数 10, $TTL_{max}128$, 配信制限数 10 の場合の 2000step 経過時における車両 A, B の Dmap と総要求生成数

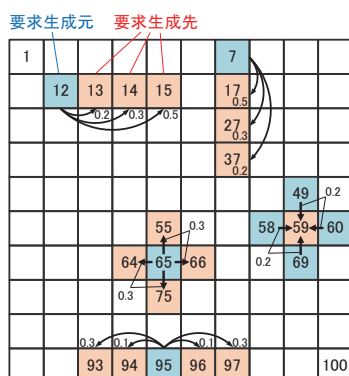


図 6 シミュレーション領域と要求生成パターン

表 1 シミュレーションパラメータ

領域サイズ [セル × セル]	10×10
車両ノード数	10, 50, 100[台]
シミュレーション時間	3000[steps]
セル当たりで交換する総数列数	10, 50[個]
数列あたりの要素数 L	16
TTL_{max} (タイムステップ)	64, 128

車両数によって一車両が配布できる数列数を制限するパラメータである。例としてセル当たりで交換する総数列数が 50 個であった時、同じセルに 5 台の車両が位置していれば、各車両は 10 個の数列を自身の Dmap から選択し、他の 4 車両に配布する。同様に同じセルに 10 台位置していた場合、一車両が配布できる数列数は 5 個となる。

TTL_{max} は、ある数列が操作された際、いずれかの要素番号の要素に代入される値である。 TTL_{max} が 128 であっ

た場合、再び同じ要素に対して処理が行われない限り、代入された要素は 128step 間、ステップ毎にデクリメントされる。

各車両はタイムステップ毎に、自身の位置するセルを要求元位置とした要求の生成判定を行う。図 6 はシミュレーション領域と要求の生成パターンを表している。この図において、要求生成元と示されているセルに位置する車両は、要求生成先に対し要求を生成するかの判定を行う。生成が決定される確率は、図中の矢印に添えられた数値の通りである。

さらに、いずれの要求生成元セルにも位置しない、あるいは要求生成元セルに位置しながらも要求生成判定が行われなかった車両は、50%の確率で要求元を自車両位置、要求先をランダムに指定した要求を生成する。

4.3 結果と考察

図 7(a)-(c) はそれぞれ、車両台数 10, $TTL_{max} = 128$, 配信制限数を 50 とした時の 2000step 経過時における、ランダムに選択した車両 A, B の Dmap 及びその時の総要求生成数を表したヒートマップである。以降の図において横軸と縦軸はそれぞれ、要求生成元と要求先の領域 ID を表す。Dmap が実際の要求の分布を反映している場合、図 7(a) 及び (b) は図 7(c) と同じ傾向を示すことになるが、これらの図からは確認ができない。また、図 7(a) と図 7(b) を比べると、図 7(a) では比較的全体に要求が存在する分布を示しているが、図 7(b) ではこのような振る舞いは確認できない。このことから、車両間の Dmap の共有が充分に

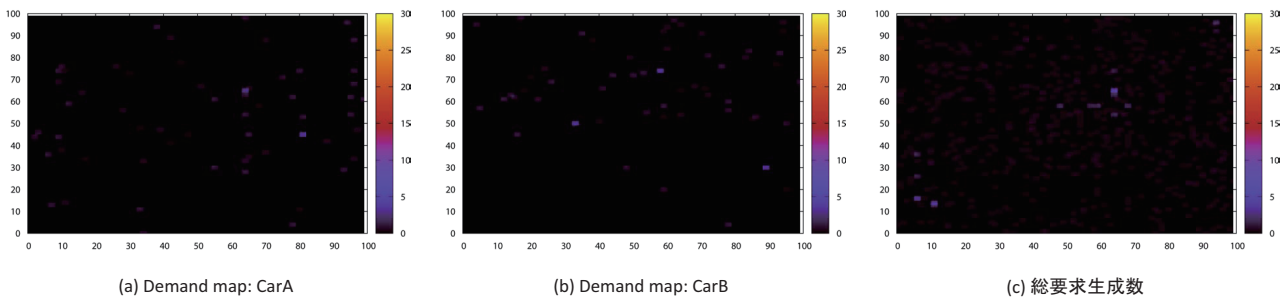


図 9 車両数 10, $TTL_{max}128$, 配信制限数 10 の場合の 3000step 経過時における車両 A, B の Dmap と総要求生成数

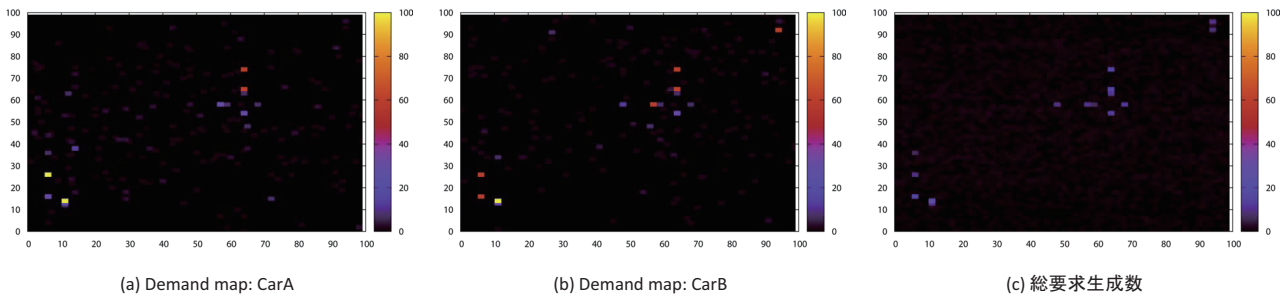


図 10 車両数 50, $TTL_{max}128$, 配信制限数 50 の場合の 3000step 経過時における車両 A, B の Dmap と総要求生成数

行えていないと分かる。これは車両が 10 台という設定で、1 セル当たりの車両台数が 0.1 台であり、車両間での情報交換の機会が乏しいためだと言える。

図 8(a)-(c) は、図 7(a)-(c) における条件から配信制限数を 10 個に変更した場合の Dmap と総要求生成数である。配信制限数を小さくすると、車両間で交換できる数列の最大数が小さくなり、同一セルに位置する車両同士の情報交換が制限される。それぞれの Dmap を比べると、配信制限数が 50 であった場合に比べ、実際に生成された要求の分布を示す程度が強くなっていることが観察できる。このシミュレーションでは、車両は最近処理が行われた数列を新しい順に可能な配信数分選択し、配信する。その上で配信制限数を厳しくすると、いち車両が送信する数列中で頻繁に処理が行われる数列の割合が大きくなり、結果としてこれらの数列が Dmap で目立って現れる。車両はあらかじめ決められた要求生成元から生成する要求、あるいはランダムな要求を生成するが、前者の方が頻繁に生成され、この要求に対応する数列は頻繁に処理が行われる数列となる。

図 9(a)-(c) は、図 8(a)-(c) の段階からさらに 1000step 経過した後の Dmap と総要求生成数である。先に述べた通りの、車両間での情報交換が行いにくい条件では、車両間で Dmap を共有することが難しく、それぞれの Dmap の振る舞いも異なり、また時間経過に従って Dmap 上の振る舞いは大きく変化する。

図 10(a-c) は、車両台数を 50 台とし、 $TTL_{max} = 128$ 、配信制限数を 50 とした場合の 3000step 経過時の Dmap と総要求生成数である。これまでの図と異なり、値の範囲が

0 から 100 までとなっていることに注意されたい。車両台数が 10 であった場合と異なり、図 6 で指定した要求生成元から要求生成先への分布が目立って現れていることが確認できる。車両台数を増やすことで車両間での情報交換が頻繁に行われ、発生した要求が Dmap 上の表現として維持され続けることによると言える。また同じ理由により、車両 A, B が持つそれぞれの Dmap はおおよそ同じ分布を表している。

図 11(a)-(c) は、図 10(a-c) の条件において配信制限数を 50 から 10 に変化させた Dmap と総要求生成数である。図 11(a)-(c) では、車両台数が 10 であった図 9(a)-(c) の場合よりも、実際の要求生成数を反映する傾向にあることが確認できる。また車両台数が増えた分、配信制限数を厳しくしたことによる Dmap 間の差異は小さくなっている。

図 12(a)-(c) は、図 11(a)-(c) の条件において TTL_{max} を 128 から 64 に半減させた Dmap と総要求生成数である。 TTL_{max} を小さくすることで、Dmap 上で需要の情報は減衰しやすくなる。そのため図 12(a) 及び (b) では TTL_{max} が 128 であった場合よりも大きい値を示す部分が少なくなっている。また、図 11(a), (b) では実際の要求数に比べ Dmap 上では大きい値を示す箇所が散見されるが、図 12(a), (b) ではそれが見られない。これは、 TTL_{max} を小さくすると、発生した需要が車両間で交換される前に減衰して消滅しやすくなるためである。

図 13(a)-(c) は、図 12(a)-(c) で示した条件から車両台数を 50 台から 100 台へ変化させた場合の Dmap と総要求生成数である。これらの図ではこれまでの図と異なり、値の

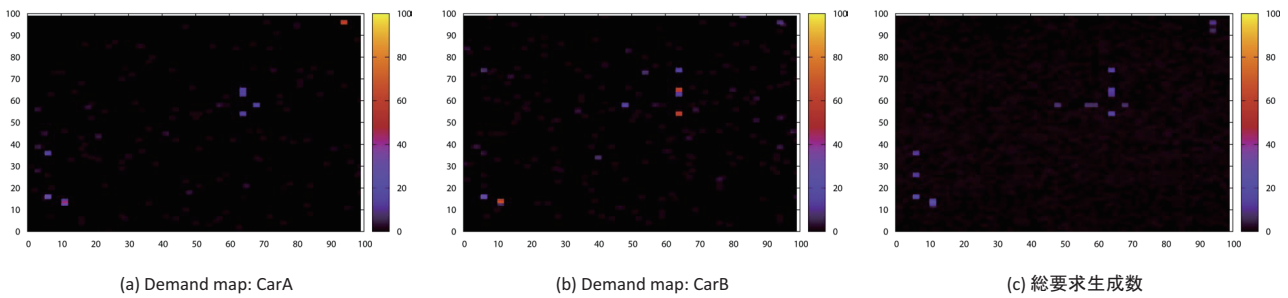


図 11 車両数 50, $TTL_{max}128$, 配信制限数 10 の場合の 3000step 経過時における車両 A, B の Dmap と総要求生成数

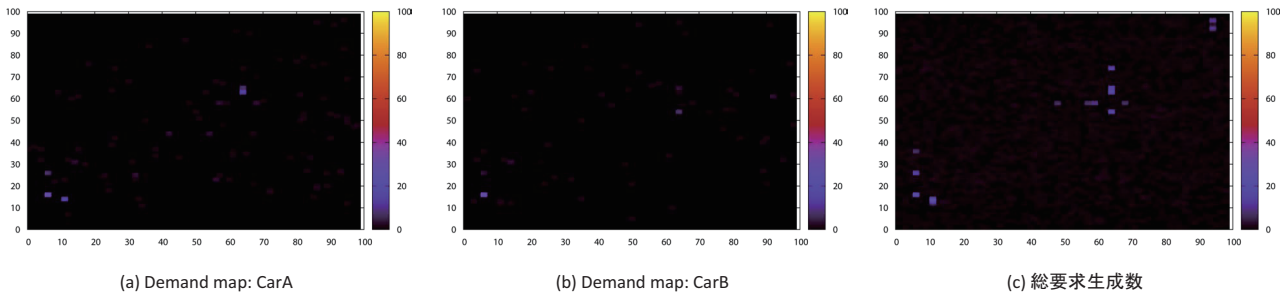


図 12 車両数 50, $TTL_{max}64$, 配信制限数 10 の場合の 3000step 経過時における車両 A, B の Dmap と総要求生成数

範囲を 0 から 160 までとしている。これまでに述べた通り、車両台数を増やすことで車両間の情報交換の機会は増加する。図 12(a), (b) に比べ、車両台数が 100 の場合、それぞれの Dmap は同様の分布を示している。 TTL_{max} は 64 のままとしているが、車両間で頻りに数列を交換したことで発生した需要は消える前に伝播し、分布として現れているとわかる。

4.4 議論

各車両が自身の Dmap を配布し、また他車両から受信し自身の Dmap を更新していくことで需要情報を伝達させる本手法では、Dmap が実際に生成されている要求数をなるべく正確に反映することが必要である。本章で示したシミュレーションでは、車両台数、 TTL_{max} 、配信制限数の各パラメータを変化させ、Dmap の振る舞いを観察した。

車両台数の変化によって、車両同士の情報交換の機会は増減する。この機会がまれであれば、ある車両が要求を生成し自身の Dmap に反映させたとしても、他車両に配信する前に Dmap 中から需要が消滅してしまう。それを防ぐためには、 TTL_{max} を増やすことで需要の有効期限を延ばし、需要を維持し続けることが一つの方法である。

一方車両が多く存在する状況下では、要求が生成される頻度も高く、車両間で頻りに情報交換が行われる。本シミュレーションにおいてあらかじめ生成を指定した要求は、他のランダムに生成される要求よりも生成される機会が大きい。そのためあらかじめ生成を指定した要求は各車両の Dmap 中で頻りに処理が行われ、またその要求は Dmap 上

で減衰する前に他車両に配布されやすくなる。その結果として Dmap 上では実際の要求生成数に比べ強い分布を示すことが確認できた。Dmap が、分布の傾向ではなく、実際の要求生成数をより反映できるようにするには、 TTL_{max} の調節の他、推定方法の検討が必要である。要求元/先の組に対応する数列ごとに配信回数(処理回数)を記録し、頻りに交換が行われる数列に対してはある程度少なく見積もる推定を行うことで、この問題を緩和することができると言える。

また本シミュレーションでは配信制限数を変化させ振る舞いを確認した。前節にて示した通り、配信制限数を厳しくすると、送信される数列のうち、頻りに更新される数列が占める割合が大きくなる。本シミュレーションにおいては、要求はあらかじめ生成を指定した要求と、ランダムに生成される要求があるが、頻りに生成されるのは前者である。そのような要求の生成、あるいは対応した数列を他車両から受け取ることで、数列は頻りに更新され、厳しい配信数列数の条件下では分布として強くなる結果を確認した。

一方でランダムに生成される要求は、厳しい配信数列数の設定では Dmap 上に現れることが少なくなった。この傾向は、強く発生している需要を認識するには有効である一方、少数の需要を無視することになるという側面を持つ。本研究では、情報の重複配信を避け、帯域の浪費を回避することを目指している。その上で節約できた帯域を、他の情報の配信に用いることで、多様な情報を車両間で共有することができるが、少数の需要が Dmap 上に現れることがなくなると、わずかな需要を持つ情報は配信可能であ

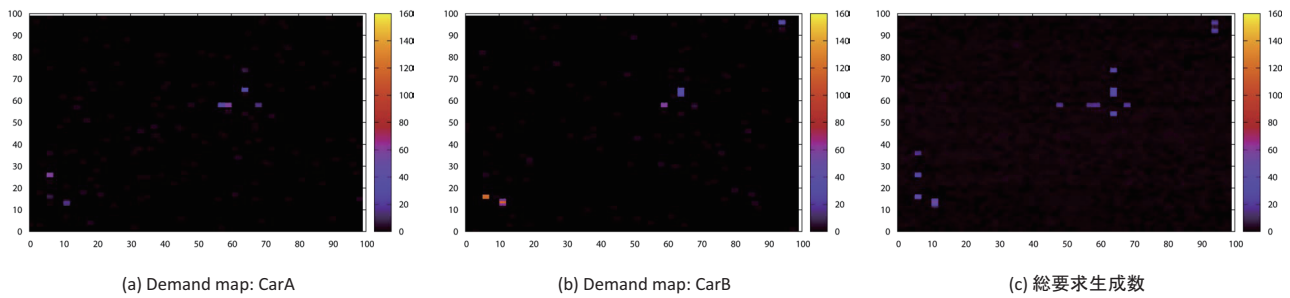


図 13 車両数 100, $TTL_{max}64$, 配信制限数 10 の場合の 3000step 経過時における
 車両 A, B の Dmap と総要求生成数

るにも関わらず配信されず、無視されることとなる。

これを解決するには、数列の選択方法を検討する必要がある。今回は新しく更新された数列から順に選んだが、これに加えて更新されていない数列もランダムに選択する。選択した数列の中で、非ゼロの値を含む数列があれば、これを配信することで、少数の需要の情報も他車両に配信することができる。また、自身が生成した要求を表す数列に対しては優先的に配信することで、車両は求めている情報を周辺車両に伝えやすくなると言える。

5. まとめ

本稿では、筆者らが車々間アドホックネットワークにおけるオンデマンド型の位置依存情報配信の効率的な実現方法として提案している Demand map ベースデータ配信手法における、Soft-state sketch を用いた Dmap の配信についての評価を行うため、セルオートマトンを用いたシミュレーションによって Dmap を用いた需要の伝達の様子を観察した。シミュレーションでは、車両台数、需要の有効期限、車両間で交換できる Dmap 情報数の制限のパラメータを変化させ、それぞれの条件下で Dmap がどのように振る舞いを変え、実際に生成された要求数をどれほど反映するかを確かめた。車両間で情報交換が行いにくい条件下では、発生させた需要が他車両に配信される前に Dmap 上から消滅してしまい、分布としてそれらの要求の存在が確認することが困難になる。一方活発に情報交換が行われる場合、頻繁に発生する需要は何度も情報交換されることで、各車両の Dmap 上で残り続け、分布に強く表れることがわかった。今後は、以上に述べた Dmap の設計と配信方法の更なる検討ののち、高精度なネットワークシミュレータによって手法の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] 石原進: 車々間アドホックネットワークによる位置依存情報の配信, 信学技報, Vol. 113, No. 132, ASN2013-85, pp.

207-212, (2013).
 [2] Okamoto, J., et al.: Distributing location-dependent data in VANETs by guiding data traffic to high vehicle density areas, Proc. IEEE VNC 2010, pp.189-196 (2010).
 [3] Hartenstein, H., et al.: *VANET: Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies*, Intelligent Transport Systems, John Wiley & Sons (2010).
 [4] Wischhof, L. et al.: Adaptive broadcast for travel and traffic information distribution based on inter-vehicle communication, Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.6-11 (2003).
 [5] 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).
 [6] Ibrahim, K., and Weigle, M. C.: Optimizing CASCADE data aggregation for VANETs, IEEE MASS 2008, pp.724-729 (2008).
 [7] Lochert, C. et al.: A probabilistic method for cooperative hierarchical aggregation of data in VANETs, Ad Hoc Networks, Vol. 8. No. 5, pp.518-530 (2010).
 [8] Flajolet, P. and Martin, G. N.: Probabilistic counting algorithms for data base applications, Journal of computer and system sciences, Vol. 31, No. 2, pp. 182-209 (1985).
 [9] 新美雄也, 中村暢宏, 石原進, VANET における類似位置指定情報要求の集約に基づく情報配信方法, DICOMO2013 シンポジウム, pp.896-903 (2013).
 [10] Ishihara, S., Nakamura, N. and Niimi, Y: Demand-based Location Dependent Data Dissemination in VANETs, Proceedings of the 19th annual international conference on Mobile computing and networking (MobiCom 2013), pp. 219-222 (2013).
 [11] 新美雄也, 中村暢宏, 石原進, VANET における類似位置指定情報要求の集約に基づく情報配信のための配信ポリシーの設計, 情報処理学会研究報告, モバイルコンピューティングとユビキタス通信, Vol.2013-MBL-69(5), No.5, pp.1-6 (2013).
 [12] Jiao, Y., Jin, Z., Shu, Y.: Data dissemination in delay and disruption tolerant networks based on content classification, MSN' 09, pp. 366-370 (2010).
 [13] Szczurek, P. et al. *Spatio-temporal Information Ranking in VANET Applications*, International Journal of Next-Generation Computing. Vol. 1, No. 1, pp.62-86 (2010).
 [14] Schwartz, R., et al.: Fair and adaptive data dissemination for trac information systems, IEEE VNC2012, pp. 1-8 (2012).