

VANETにおける類似位置指定情報要求の集約に基づく 情報配信手法の基礎評価

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VANETにおいて、ドライバーが興味を持つ地点の現在の情報を、車両間通信で伝達し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、必要とされている位置に依存した情報（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車々間通信を用いて配信するために、情報の需要と供給の程度に基づき各車両が配信する情報を選択する手法、Demand map ベースデータ配信手法についてSoft-state sketchを応用した実現方法について検討し、同手法に対する基礎的な評価を検討する。シミュレーションの結果、発生する要求を反映するDemand mapを各車両が生成、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が、反映する需要の精度について影響があることが分かった。

A basic performance evaluation of demand-based data aggregation and distribution scheme for similar location-targeted requests in VANETs

YUYA NIIMI¹ SUSUMU ISHIHARA¹

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いて、ある領域に関わる情報を指定して取得する手法としては、その情報を求めるノードが他の車両に対して要求メッセージを発信し、要求に合致する情報を保持する車両が情報を応答メッセージとして返送することで、要求生成ノードが求めた情報を取得するプル型データアクセスがある[2]。しかしながらVANETでは、ノードである車両の移動によってネットワークトポロジが頻繁に変わり、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・応答メッセージ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な、複数車両が同様に近い位置に関する情報を求め、そのような位置を指定した要求が多数発生した場合には、それらの要求メッセージに対して複数の車両から類似の情報が応答メッセージ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、類似の応答メッセージが重複し

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

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。

プル型のデータアクセスに対して、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データ配信を用いている[3]。この方法では、プル型データアクセスで生じる類似した情報の重複した送信は発生しない。しかしながら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データを対象としており、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]。この方法では、車両はあるPOIに関する位置依存情報を生成すると、その情報を周辺の車両に配信する。その後、その情報を受信した車両は、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。プッシュ型で情報を配信する場合、配信の範囲が適切に設定されていなければ、先に述べたプッシュ型における通信資源浪費の問題が発生してしまう。筆者らはこの配信範囲の設定について、プル型における要求メッセージの発生時刻・地理的分布を考慮に入れた方法を提案し、議論を行っている[9][10][11]。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、Dmapに基づいて位置依存情報の配信を行う。

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。ある要求を生成・受信したり、他の車両が配信する需要の情報を受信した車両は、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。また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。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。

位置依存情報の配信にあたっては、各車両がDemand mapと自身の状況に応じてどの頻度でどの情報の送信を行うかを決定する必要がある。具体的には、情報に対する需要の強さ、情報の新しさ、情報配信経路と自身の現在位置との関係、情報の希少性などの複数の基準に基づいてこの判断を行う。たとえば、多くの車両が求めているような需要が高い情報であっても、要求元と要求先を結ぶ経路から

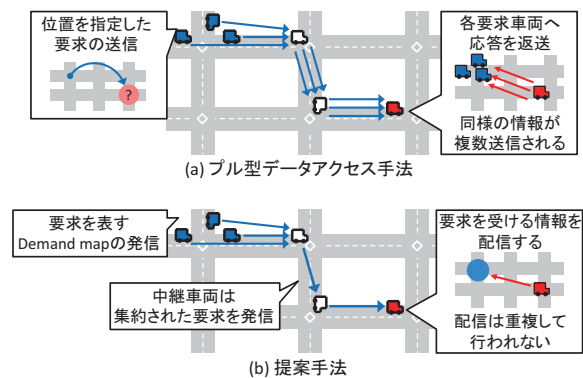


図1 プル型データ配信手法と提案手法の比較

その情報を保有する車両が大きく離れている場合、そのような情報の配信を実行しても需要の達成に寄与できる可能性は小さく、ゆえに配信を行うべきではない。一方、ある情報が生成される機会が少なかったり、その情報を持つ車両が少ない場合、積極的にその情報の配信を行うことで、位置依存情報の分布の多様性をもたらすこととなり、様々な情報要求に応えやすくなるであろう。筆者らは、これらのような複数の基準をもとに、情報に対する有用性を評価することで、配信情報の選択を行う方法をこれまで提案している。

本論文では、提案手法であるDemand mapベースデータ配信手法における、Dmapを用いた需要の発信と拡散について基礎的な評価を行い、議論する。各車両が、ある位置に対する情報要求を発信し、その要求を元にDmapを生成し位置依存情報の配信を行うという状況のもと、Dmapに関する情報を配信することによって生じるトラフィック、需要の伝達の遅延についてシミュレーションによる評価を行う。更に、シミュレーションの結果に基づき、位置依存情報の配信ポリシーについて考察する。

以下、2章では無線アドホックネットワーク、及びVANET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の発信に関する評価・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。

Jiaoらは、移動ノードが構成するDTNにおけるプル型通信で、より人気の高い情報がノードのバッファに保存されるよう設計することで、より価値が高い情報を配信する手法を提案している[12]。この手法における人気とは、本

論文における Demand と同義であり、その点から手法の目的は類似している。しかし、この手法では人気の高さを要求の回数としてみなしており、更に選択の基準は人気の高低のみに依存している。

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ズ学習と、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。動画画像情報を共有することを想定する本研究においては、VANET のような限られた接続機会と通信品質の中で、他の車両と遭遇した際にやりとりできる情報の数は少ない。そのため配信する情報に関する選択戦略が重要となる。

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セージの数の集約に 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)）。抜く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

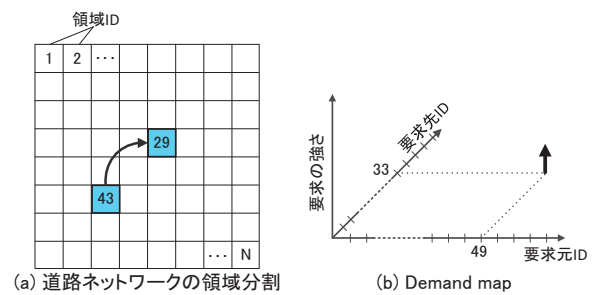


図 2 Demand map の概要

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。Demand map ベースデータ配信手法は、VANET 上で車両が生成する位置依存情報に対する要求を集約し、需要の地理的分布図 (Demand map: Dmap) にまとめ、これに応じて配信対象のデータとその配信経路を決定するものである。

3.1 想定環境

本手法における想定環境を示す。

- 各車両は GPS とデジタル道路地図を用いることで現在位置や走行中の道路に関する情報を取得可能である。
- 各道路セグメント（交差点間の道路）には ID が与えられている。
- 各車両は、定期的の自身の端末 ID、現在位置、タイムスタンプを含むビーコンをブロードキャストする。
- 各車両は現在位置に関する情報（位置依存情報、例は撮影画像）を生成する。
- 各車両は十分な容量のストレージを持ち、車両間で交換する情報によってその容量が不足することはない。
- 各車両は、任意にある位置を指定し、その位置で生成された位置依存情報を求める位置指定要求を生成する。

3.2 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

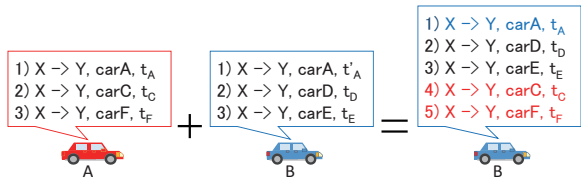


図 3 Dmap のマージ例

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。このような方法でマージを行った場合、Dmap のデータ量は増加する一方となり、不適切である。更に、この表現方法では、時間経過に従って変化するであろう需要の分布を正確に Dmap に反映することが困難である。

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 におけるスロット列を設定する (図 4(a))。このスロット列の各スロットには、 $[0, TTL_{max}]$ の整数が格納される。また、各スロット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スロット列に対して、式 1 に示す確率関数 $P_{slot}(i)$ によって得られる値 X に従って、そのスロット列における X 番目のスロットに TTL_{max} を格納する。

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

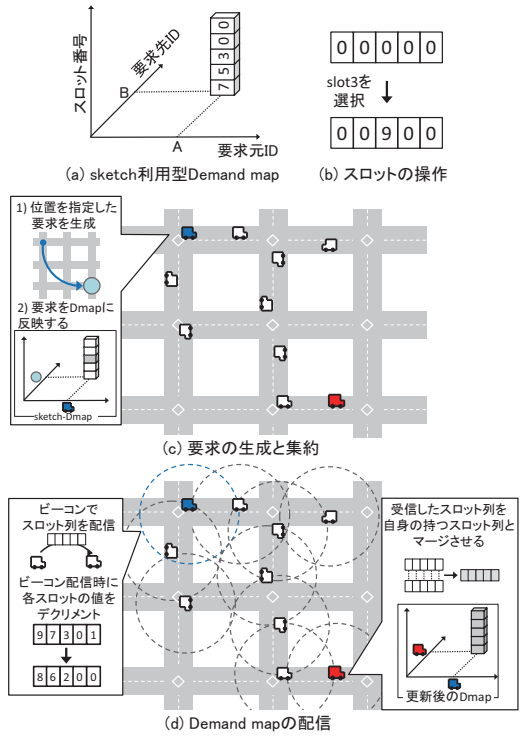


図 4 Demand map ベースデータ配信手法

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

確率関数 $P_{slot}(i)$ は、 i に対して単調減少である。ここで、非 0 の値が格納されているスロットの番号 i を要求の強さとして表現することで時間経過とともに減少する需要を表現する。各車両はこのスロット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、含まれているスロット列を、同じ箇所の需要を示す自身の Dmap のうちのスロット列とマージする (図 4(d))。具体的には、両スロット列の各スロット毎に大きい方の値を選択し、マージ後のスロットの値とする。こうすることで、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。

3.3 Demand map ベースデータ配信手法の動作

ここまで述べた Demand map ベースデータ配信手法における Dmap に関する車両の動作を以下にまとめる。

要求生成時 位置を指定した情報要求がシステムに入力されると、車両はその要求を Dmap に反映させる。

- (1) 要求生成車両は保持する Dmap から、要求元を自車両の現在位置するエリア、要求先を目的のエリアとしたスロット列を取り出す。
- (2) 確率関数 $P_{slot}(i)$ を使い、値を格納するスロットを選択する。
- (3) 選択したスロットに、 TTL_{max} となる値を格納する。

- (4) 発信するビーコンに更新したスロット列を載せる。
- (5) 一定時間待機した後、求めた情報を取得できていないとき、(1)に戻る。
- (6) 要求した情報を取得し、要求が満たされた時、対応するスロット列の全てのスロットをゼロにする。

ビーコン発信時の処理

- (1) ビーコンに載せるスロット列として、車両の周辺エリアに対応するスロット列、あるいは最近更新したスロット列を選択する。
- (2) スロット列をビーコンに載せ、発信する。

ビーコン受信時の処理 車両は受信ビーコンに含まれる Dmap の情報を、自身が持つ Dmap とマージさせる。

- (1) 車両は、ビーコンに載せられていた各スロットに対し、同じ需要を表現するスロット列を自身が持つ Dmap から取り出す。
- (2) 取り出したスロット列と受信したスロット列の各スロット毎に、より大きい値が格納されているものを選択し、新たなスロット列を作成する。
- (3) 新たなスロット列を自身の Dmap に更新する。

時間経過処理 時間経過に従う需要分布の変化を Dmap に反映させる。車両は保持する Dmap の全てのスロット列について、各スロットに格納されている値をデクリメントする。

3.4 スロット選択確率関数

3.4.1 設計方針

本手法における Dmap では各車両が、生成する位置依存情報要求、またビーコンによって他車両から受信した Dmap を自身の持つ Dmap に対して反映させ需要情報を共有するために、Soft-state sketch を用いている。Soft-state sketch を用いることによって、演算処理が簡易になることを狙う一方、各スロットに対して異なる選択確率をあらかじめ与えておくことにより推定的に要求数を求める Demand map では、望ましくない状況が発生することも考えられる。例えば 3.3 節に述べたようにある車両が要求を生成し、その要求に対応するスロット列に対して処理を行う場合を考える。ほとんどの場合、そのスロット列のうち TTL_{max} を格納するために選ばれるスロットは下位に近いスロットである。しかしながらごく小さい確率ではあるが、上位のスロットが選択される場合も発生し得る。

あるスロット列に対して相当数の処理が行われた場合、上位のスロットが選択される事象も起こる確率が高くなり、その事象が発生しているという事実は即ちスロット列に対応する要求が多く生成されているということを意味する、というのが Soft-state sketch を利用する目的である。しかしながら、少ない試行数にも関わらず偶然上位のスロットに TTL_{max} が格納されてしまった場合、格納された TTL が 0 になるまでそのスロット列は不当に大きい数の要求数

を表現することになる。このようなスロット列を他車両に対して配信した場合、受信車両はそのスロット列を自身のスロット列とマージし、更に別の車両に対して発信を続けることで、誤った需要の情報が流布されることになる。望ましいのは、各車両が要求生成時の処理と配信・マージ処理によって、実際に発生している要求数にできるだけ近い状況に相当する Dmap を共有することである。

このために、提案手法におけるスロット列及び確率関数の設計において考慮すべき点について、以降の節において述べる。

3.4.2 スロット列の長さ

各領域から各領域に対して発生する要求に対応する各スロット列の長さは、短ければ全てのスロットに TTL が格納され続けてしまい、長ければ各車両の記憶領域を圧迫する。車両密度や要求の発生モデルに応じて、常に実際の要求発生数を反映した Dmap を作り出すために必要十分な長さを選ぶことが必要である。

3.4.3 TTL_{max}

各スロットに格納される TTL_{max} は、小さければ発生した要求の情報が拡散され続ける時間が短くなる。一方、長ければ仮に実際の要求発生数に比べ不当に上位のスロットが選択されてしまった場合、誤った情報が各車両の Dmap に影響する時間が長くなる。

3.4.4 スロットの選択確率と処理回数の推定法

Lochert らの提案する Soft-state sketch では、各スロットが選択される確率を、最下位のスロットを 1 番目としそのスロットの順序番号 n としたとき、2 の n 乗べきで与えられる確率に設定している。あるスロット i が 1 回の試行で選択される確率を p_i とした時、スロット i が N 回の試行で 1 回以上選択される確率 $P(i, N)$ は式 2 に示すように求められる。

$$P(i, N) = 1 - (1 - p_i)^N \quad (2)$$

図 5 は、Soft-state sketch において、 TTL_{max} を十分に大きい値にした場合の処理回数 1024 回までのスロット 1 から 10 で各スロットが 1 回以上選択される確率を表したものである。この図を見ると、処理回数が増加するにつれて、上位スロットの被選択確率もゆるやかに立ち上がっている。これは、処理回数の増加に従い、実際の処理回数に見合わない上位のスロットが選択される確率が大きくなることを表している。またこの図から、例としてスロット 5 に注目すると、スロット 5 が選択されている場合、およそ 22 回の処理が行われたということが推定できる。

より精度の高い推定を行うために、Soft-state sketch では非 0 の値が格納されている最上位スロットに注目していたのに対し、最下位スロットから非 0 の値が格納されているスロットがスロット i まで連続している確率に注目することにする。スロット 1 から i まで連続で非 0 の値が格納

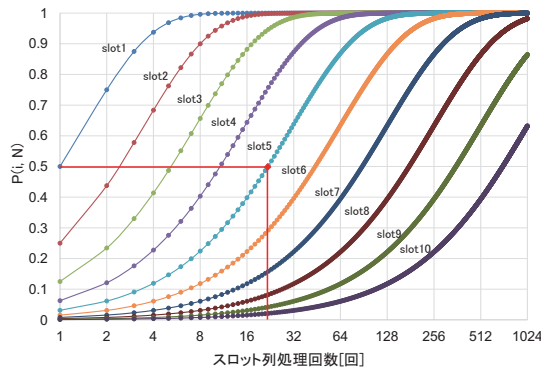


図 5 Soft-state sketch におけるスロット列処理回数に対する各スロットの被選択確率分布

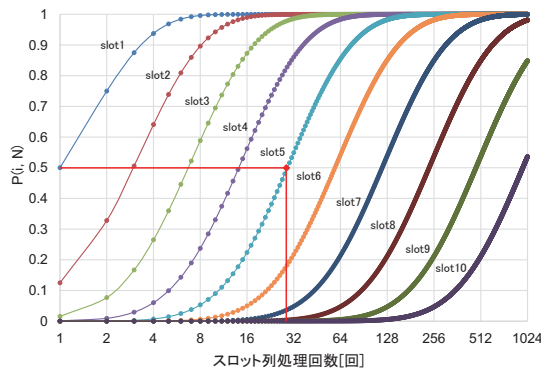


図 6 提案手法におけるスロット列処理回数に対するスロットの被選択確率分布

されている確率 $P'(i, N)$ は、式 3 にて示される。

$$P'(i, N) = \prod_{j=1}^i (1 - (1 - p_j)^N) \quad (3)$$

図 6 は、図 5 同様、各 i について、 $P(i, N)$ をプロットしたものである。例としてスロット 10 に注目すると、図 6 では図 5 に比べ立ち上がり処理回数 1024 回の場合に近い。このことから、式 3 を用いた確率分布の方がより精度の高い推定を行う事ができるとわかる。

次章にて述べるシミュレーションにおいては、以上のようにして式 3 及び図 6 を用いて求めた値 N を、過去 TTL_{\max} 時間ステップにおける要求発生回数の推定値とする。

4. シミュレーション評価

前章までに述べた Demand map ベースデータ配信手法について、簡易的なシミュレータによるシミュレーションを行い、車両が持つ Dmap と実際の要求発生数を比べることによる評価を行う。

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

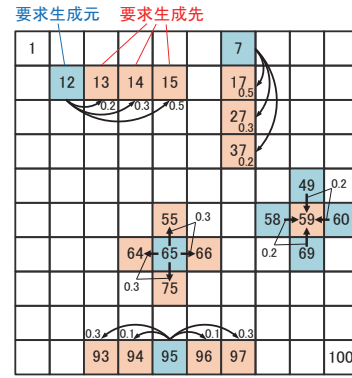


図 7 シミュレーション領域と要求生成パターン

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、車両はタイムステップ毎に上下左右いずれかの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、あるエリアからあるエリアの位置依存情報要求をランダムに生成する。位置依存情報要求を生成した車両は、3.3 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スロット列をあらかじめ決められた件数分、同一のセルに位置する車両にブロードキャストする。同一セルに位置する車両から Dmap を受信した車両は、3.3 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

3.4 節にて述べたように、Soft-state sketch を用いる Demand map の設計検討を行うため、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 にて示す値を用いた。

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	25, 100, 500 [台]
シミュレーション時間	3000 [steps]
配信するスロット列数	5
スロット列の長さ L	16
TTL_{\max} (タイムステップ)	25, 50, 100

各シミュレーションにおいて、1000, 2000, 3000 ステップ時にある車両が持つ Dmap と、シミュレーションエリア全体にて実際に発生している要求の数を比較する。

各車両はタイムステップ毎に、図 7 に示すような形で要求生成元から要求生成先に向けた位置依存情報要求を生成

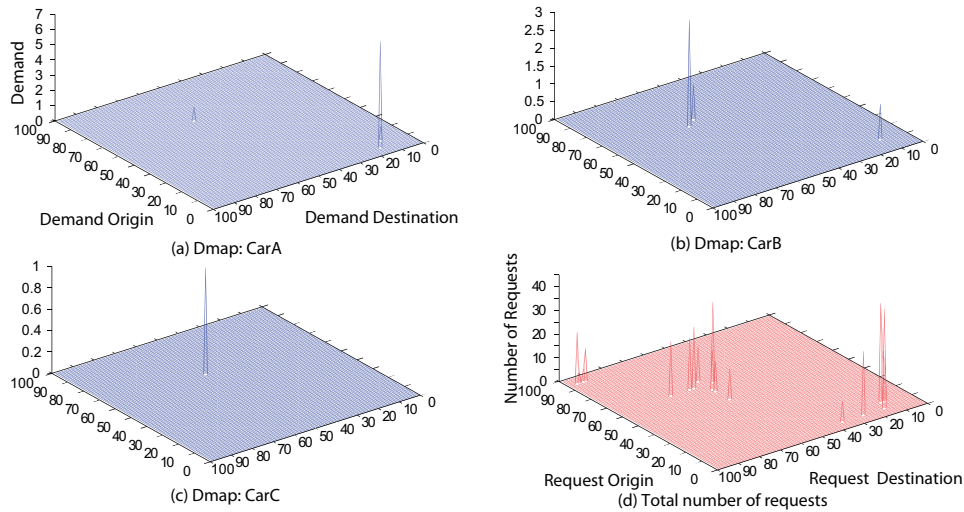


図 8 車両台数: 25, TTL_{max} : 25 の時の Dmap と総生成要求数

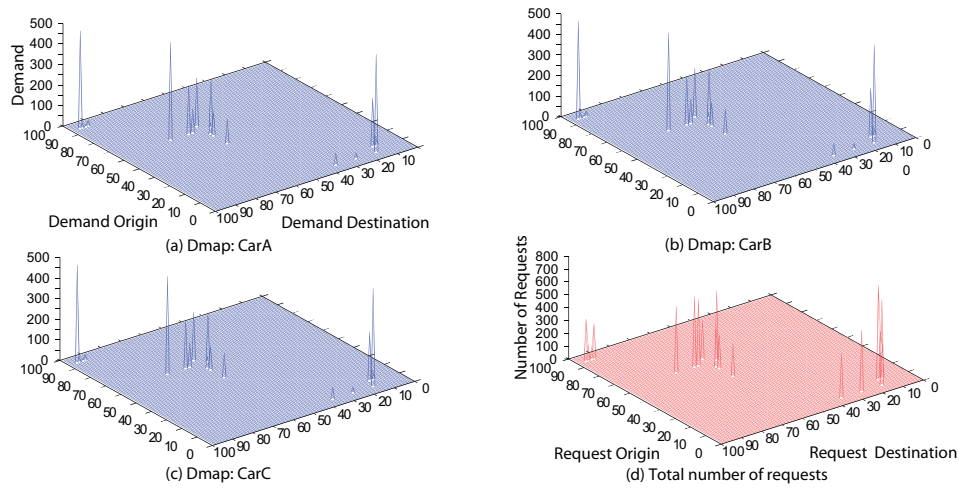


図 9 車両台数: 500, TTL_{max} : 100 の時の Dmap と総生成要求数

する。各要求の生成確率は、図 7 中の矢印に添える確率を用いる。例として図中のエリア 12 から、エリア 13, 14 あるいは 15 に対する要求が生成され得る。

あるタイムステップ時における、各車両の持つ Dmap と、その時点まで生成されている要求の総数（総要求生成数）を比較し、Dmap がどの程度実際に生成された要求数を反映できているか確認する。

4.3 結果と考察

図 8 は車両台数を 25、スロットの TTL_{max} を 25 とした場合の 3000 ステップ経過時におけるランダムに選択した車両 A, B, C が持つ Dmap と総生成要求数である。図 8(d) をみると、図 7 に示した要求生成パターンの下、要求生成元から要求生成先へ向けた要求が生成されていることを確認できる。一方、図 8(a, b, c) のそれぞれでは、いくつかの領域に関する需要を表現してはいるものの、領域全体の需要の分布を反映できてはいないことがわかる。これは、シミュレーションにおけるエリア数が 100 であるのに

対し、車両台数が 25 であるという低車両密度の環境であったことと、 TTL_{max} が 25 に設定されていたことが要因と考えられる。Dmap による需要の情報の伝達は、車両間の情報交換によってなされるため、車両密度が低い状況においては遠隔地の情報が反映されにくい。更に TTL_{max} が小さい場合、伝達の途中で TTL が 0 となってしまうため、すぐに需要情報が消えてしまう。

図 9 には車両台数を 500, TTL_{max} を 100 とした場合の 3000 ステップ時の各 Dmap と総生成要求数である。図 8(d) と図 9(d) を比べると、生成されている要求の種類は図 7 に従い同様であるが、その生成数は図 9 の方がはるかに多い。図 9(a, b, c) をみると、図 8(a, b, c) では把握できていなかった領域についても需要を表現できており、領域全体について把握ができていることを確認できる。図 8 の場合に比べ車両密度が増加し、 TTL_{max} も長いため、車両間での Dmap の交換が頻繁に行われ、遠隔地の情報が消える前に伝達できているためといえる。

これまでに述べた Dmap と総生成要求数の比較におい

て共通しているのは、Dmap は実際に生成された要求の傾向を表現できてはいるものの、要求の生成数は正確に反映できていないという点である。これを改善するためには、3.4 節にて述べたスロット選択確率設計方針の中でも、スロットの選択確率とスロット処理回数の推定法について詳細な検討を行う必要がある。各スロットに与える選択確率について、今回は Soft-state sketch と同様、2 のべき乗数を用いたが、この選択確率パターンを変化させることで、より処理回数の推定精度が向上するモデルを検討するべきである。

また処理回数の推定については、スロット列のパターンとの比較検討を行う必要がある。各スロットが非 0 ならば 1, 0 ならば 0 として、スロットの状態を表すビットパターンを作ると、その総数はスロット長 L のとき、パターン数は 2^L である。スロットの操作回数 N と各パターンの出現確率の関係を得ることで、より正確に N の推定が出来ると考えられる。ただし L が大きいと、この推定のための表のサイズが大きくなってしまいうので、推定精度と表サイズ間のトレードオフが必要である。

5. まとめ

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 の配信についての基礎的な評価を行った。本手法では、各車両は情報に対する需要を示す Dmap によって、どの情報が強く求められているかを把握する。本稿では、セルオートマトンを用いた基礎的な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、車両間で生成されている要求を反映した Dmap を共有できていることを確認した。

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になるべく正確に反映することが必要である。低車両密度下においては、特に遠隔地の需要が反映されにくく、逆に高車両密度下においては TTL_{max} の値を適切に設定しなければ、実際に生成された要求数に対して過剰に強い需要を表現する Demand map を持つ車両が出てきてしまう。スロット列の各スロットに与える選択確率と、得られたスロット列からの要求数の推定法を適切なものにするすることで、より実際に即した表現を持つ Dmap を表現することができると考える。今後は、以上に述べた Dmap の設計と要求数の推定方法の更なる検討・改善ののち、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.: Probabilistic aggregation for data dissemination in VANETs, Proc. VANET 2007, pp.1-8 (2007).
- [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] 新英雄也, 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] 新英雄也, 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 (2010).
- [14] Schwartz, R., et al.: Fair and adaptive data dissemination for trac information systems, IEEE VNC2012, pp. 1-8 (2012).