

# 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

新美 雄也<sup>1</sup> 中村 暢宏<sup>1</sup> 石原 進<sup>1</sup>

**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へ離れた場所の情報を提供し、運転の負担軽減のための運転支援技術の開発が進められている。筆者らは車載カメラの撮影画像をVANETを用い車両間通信で伝達しドライバーへ提示することで、任意の場所の様子を目視で確認するためのシステムを開発している。このシステムではドライバーがある位置を入力すると、システムは指定位置での撮影画像をVANETを通じて入手し、ドライバーへ提供する。この仕組みをオンデマンドで実現しようとすると、複数ユーザが同様の位置を指定した時、各要求に対して情報が返送される。結果同様の情報が多数配信され、通信資源を消費する。この問題の解決のため本論文では、位置をキーとした要求を集約し、その結果を利用し情報配信を行う手法である Demand map ベースデータ配信手法を提案する。本手法では各車両は要求元から要求先に発生する情報の需要分布を把握し、これに基づき情報を配信する。要求の集約では実際の要求分布を反映する集約方法の設計が問題となるが、これに対し既存の集約手法である soft-state sketch を応用した手法の有効性を示す。

## Demand-based data aggregation and distribution scheme for similar location-targeted requests in VANETs

YUYA NIIMI<sup>1</sup> NOBUHIRO NAKAMURA<sup>1</sup> SUSUMU ISHIHARA<sup>1</sup>

### 1. はじめに

近年、車両間の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、車両間での情報共有を行う事で運転の安全性・快適性向上のための運転支援システムの研究開発が進められている。近隣の車両情報や道路交通情報などの局所的かつ短時間で消費される情報に対してVANETを用いることで、インフラ側の通信・計算資源の消費を低減することができる。

車両間での交通情報共有によって、ドライバーは離れた地点の情報を得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による撮影映像）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を音声あるいは手動の操作でシステムに伝えると、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。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、より快適な運転が可能となることを目指す。

無線マルチホップネットワークの中で情報を共有する手法としては、ある情報を求めるノードが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、常に車両が移動するため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。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、複数車両が同様の情報を求め、同じ位置を指定した要求が多数発生した場合には、多くの車両から類似の情報が多数応答としてネッ

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

トワーク上で伝送されることとなる。その結果、無線通信帯域を浪費し、他の必要な通信を阻害することとなる。

このプル型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、要求と応答のメッセージを用いないため、プル型データアクセスであったような類似の情報の重複発生が起らない。しかしながらプッシュ型データ配信では、生成された情報は区別無く配信され得るため、必ずしも必要とされていない情報についても配信が行われることによるトラフィックが発生し、通信資源の浪費につながる問題がある。これに対してこれまで提案されている手法の多くでは、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。

VANET を利用し、車両が生成する情報に対して位置をキーとして指定して問い合わせを行うシステムを想定する場合、プル型データアクセスで起こりうる、同様の要求に対する複数の類似した応答が発生する問題を回避する必要がある。更に、要求生成車両が情報を入手できるようにするため、情報を配信する車両はそれぞれ配信する情報を選択してブロードキャストする。このブロードキャストでは、プッシュ型データ配信において考えられた配信の必要がない情報が伝送される問題を回避する必要がある。

これらの方針を実現するには車両それぞれが、ネットワーク内でどのような情報が要求されているかという全体像を把握する必要がある。その上で各車両が、個々の要求に対して応答するのではなく、需要の分布状況、自身の現在位置などの状況に応じて配信に適切な情報を選択し、適切な頻度で送信する。本研究ではこのような情報配信によって、ある情報を求める車両に対しては、要求に合致する情報を持つ車両からデータが自ずと送られてくる状況を作り出すことを目指す。

本論文では、各車両が情報に対する需要の分布を把握するために、複数の要求を用いて Demand map (以下 Dmap) と呼ぶ要求の分布図を作成し、この Dmap を利用して情報を適切に選択し配信することで情報共有を行う Demand map ベースデータ配信手法を提案する。Dmap の、実際の需要の分布状況を反映させ、かつデータサイズを抑える設計のために、VANET における情報集約手法を要求の集約に応用し、その場合の設計を示す。更に Dmap を利用した情報配信について、配信する情報の選択と最適な配信頻度の選択の問題について議論する。

以下、2 章では VANET における情報共有と、情報の集約に関する関連研究について述べる。3 章では、提案手法

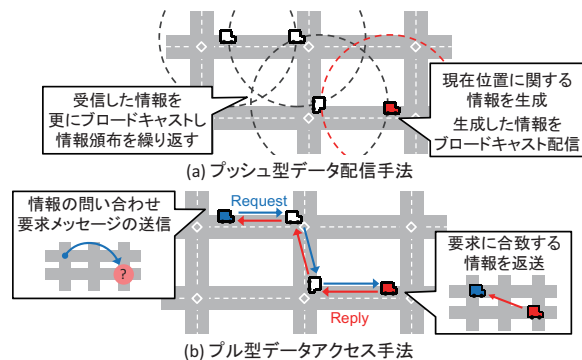


図 1 プッシュ型データ配信手法とプル型データアクセス手法

である Demand map ベースデータ配信手法の詳細と課題について、4 章で Dmap の設計を示す。最後に 5 章でまとめを述べる。

## 2. 関連研究

VANET を利用した車両間での交通情報の共有によって、安全・運転支援に役立てるための研究が広く行われている。その多くはサーバやアクセスポイントなどの固定インフラを用いることなく、車両が収集した情報（渋滞情報、利用可能な駐車場情報、車載カメラによって撮影した画像など特定の位置に依存する情報: 位置依存情報）を車々間通信によって共有する。このためインフラ管理のためのコストを必要とせず、また特定の地域に関する情報をその地域の車両のみが消費するネットワークが構築できる [3]。本章ではこれまでに提案されている VANET を利用した位置依存情報の共有手法、並びにその中で用いられている情報の集約手法について述べる。

### 2.1 プッシュ型データ配信とプル型データアクセス

これまでに提案された VANET を用いる位置依存情報共有手法の多くでは、ある情報を収集した車両が自発的にその情報をブロードキャストすることで周辺の車両に情報を配布するプッシュ型データ配信を用いている (図 1 (a))。これによって、情報を受信した車両は自動的に送信されてくる情報を利用可能となる。しかしながらこのプッシュ型データ配信による情報の配信は、受信する車両がその情報を必要としているか否かに関わらず実行される。そのため、配信される必要の無い情報がブロードキャストされることによって無線通信帯域を浪費したり、ある情報を必要としている車両に対して、望ましい情報の送信が行われないう、といった問題が存在する [8]。

プッシュ型データ配信に対して、プル型データアクセス手法を用いることで情報共有を狙う研究もいくつか行われている [1][9]。図 1 (b) に示すプル型データアクセスは、まずある情報を必要とする車両がその情報に対する要求メッ

セージを生成し、発信する。この要求メッセージを受信した車両のうち、応答可能な情報を保持する車両が要求に対する応答メッセージとして情報を要求生成車両に対して返送する。この応答を要求生成車両が受信することで、要求生成車両は求めていた情報を獲得できる。

VANETにおけるプル型データアクセスでは、車両が構成するアドホックネットワークを利用して、情報を求める車両と保持する車両との間で通信が行われる。しかしながら、VANETでのプル型データアクセスでは、応答メッセージの返送経路が課題となる。車両は常に移動を行うため、VANETのネットワークトポロジは一定でない。そのため、要求メッセージの配送に用いた経路が、応答メッセージの返送時に利用可能であるという保障はない。更に、要求生成車両も移動し要求生成位置から離れることで、応答メッセージをどの位置に返送するべきかということに応答生成車両が判断しづらくなる。

またプル型データアクセスでは、配信される情報はいずれかの車両が求めたものに限定されるため、プッシュ型データ配信で考えられたような需要の無い情報の配信による無線通信資源の浪費は発生しない。しかしながらプル型データアクセスにおいては、ある位置を指定した要求メッセージを、指定位置周辺の複数車両が受信した時、ある問題が発生する。要求を応答可能な複数車両が受信した時、受信したそれぞれの車両が要求生成車両に対して応答を返送するため、結果似通った情報が多数伝送されることとなる。無線通信資源が過剰に消費され、他の必要な通信を阻害する。例えば、渋滞の中にある車両が渋滞の先頭に関する情報を求めて要求を生成する場合、周辺の他の車両からも同様の要求が多数発生するであろう。個々の要求に対して応答を生成した場合、同一の情報が重複して返送されることになり、通信資源の浪費につながる。

本論文では、VANETを利用しドライバーが興味のある位置の情報にアクセスするためのシステムを開発する前提として、位置をキーとしたオンデマンドでの情報の問い合わせを想定する。提案手法では、プル型データアクセス手法で用いる情報に対する要求メッセージをまとめ、複数要求をもとにした情報の需要分布図 (Demand map) を作成する。このDmapを利用して、各車両が配信する情報を選択し、プッシュ型データ配信のように情報を配信する。プル型とプッシュ型の両方の要素を組み合わせることで、両手法の問題点の克服を目指す。

## 2.2 VANETにおける情報集約手法

VANETにおいて、あるエリア内の情報を共有するアプリケーションを想定した時、アプリケーションのカバーするエリアが増大するに従い、扱うデータサイズも増加する。VANETにおける情報配信手法の提案の多くは、この配信する情報量に関する問題に対して、情報を集約することで

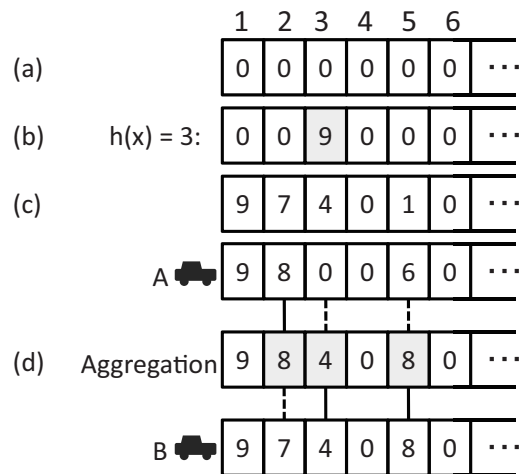


図 2 Soft-state sketch

配信トラフィックの増加を抑える方法を用いている。

Wischofらは、道路ネットワークを細かく分割した道路セグメント毎における車両の平均速度を共有するアプリケーションを想定し、道路セグメントを走行する車両毎の速度情報から集約結果である平均速度を求める情報集約手法であるSOTIS [4]を提案している。SOTISでは、各道路セグメントのIDがあらかじめ定義されており、車両は定期的に自身の走行速度と走行している道路セグメントIDをビーコンで発信する。ビーコンを受け取った車両は、それをもとにして道路セグメント毎の平均速度を計算する。またNadeemらが提案するTrafficView[5]では、高速道路における走行速度の共有を目的とし、道路セグメントによらない情報集約を行っている。車両は距離に基づいた加重平均を位置と走行速度に対して行うことによって情報を集約し、道路構造に依存しない形での集約を実現している。Ibrahimらが提案するCASCADE [6]は、車両に対するクラスタリングを行い、クラスタ毎に位置と速度を集約している。クラスタの中心地点と平均速度をクラスタレコードとして計算した上で、クラスタに属する車両それぞれの位置と走行速度はクラスタレコードからの差分を記録しておくに留め、各車両の情報を集約によって喪失することなく情報量の削減を実現している。

またLochertらは、駐車場情報の集約を想定し、集約する情報の数値 (例として駐車可能スペース数) を sketch と呼ばれる数列で表現し、集約の計算を容易なものとした soft-state sketch という手法を提案している。この手法における sketch とは、各車両が収集したある数値を表現する数列を指す。駐車場毎に収集された値を、sketch を利用して値の近似値を求め、収集された情報をおおまかに推測する。soft-state sketch の概要を図 2 に示す。まず、駐車場毎にあらかじめ決められた長さの数列を用意する。数列の各要素をスロットと呼ぶ。初期状態では、全てのスロットは 0 で初期化されている (図 2(a))。利用可能な駐車スペースを観測する度、乱数を生成し、ハッシュ関数  $h(x)$  を用いハッ

シユ化する。このハッシュ関数  $h(x)$  は、値  $x$  を引数とし、 $2^{-i}$  の確率で  $i$  を出力する関数であり、 $P(h(x) = i) = 2^{-i}$  で定義される。  $k = h(x)$  となったとき、車両は対応するスロット列の  $k$  番目のスロットに、あらかじめ設定された TTL (Time To Live) の値を格納する。 sketch のブロードキャストが実行される際、それぞれのスロットに格納されている TTL がデクリメントされる。 図 2(b) では、 $h(x)$  の出力が 3 だった場合に、3 番目のスロットに TTL が格納されることを表している。 この操作を駐車スペースを発見する度に繰り返す。

ある時のスロット列が図 2(c) であったとする。 このスロット列を用い、駐車スペース数の近似値を推測する。 近似値計算には、値が 0 以外である最大のスロットに注目する。 図 2(c) において該当する最大スロットは 5 である。  $h(x)$  の定義により、5 番目のスロットに TTL が格納される確率は  $2^{-5}$  である。 このことより、 $h(x)$  に値が代入された回数はおよそ  $2^5$  回である、という推測ができる。 文献 [7] では複数試行の結果に基づく統計より、より実際の数に近い近似値  $A$  を求める計算式を示している。

$$A = \frac{2^m}{\rho} \quad (1)$$

ここで、 $\rho$  は補正係数であり、文献 [7] では 0.77351 とされている。

他車両からブロードキャストによってスロット列を受け取った車両は、情報の集約のために自身の持つスロット列と受信したスロット列とで、各スロットに大きい TTL を持つ側のスロット列を選んで新しいスロット列を生成する。 図 2(d) では、2, 3, 4 スロット目において、より大きい TTL を持つスロットが選択され新しいスロット列を構成している。 新しいスロット列が、情報を集約した結果である。

ここまで述べた情報集約手法は、扱う情報の想定が平均などの計算が容易な数値データであり、本研究で想定する情報である車両搭載カメラによる撮影画像への応用は難しい。 そのため、このような集約を施すことが困難な情報を扱うアプリケーションにおいて、トラフィック量を抑えることのできる手法が求められる。 本研究では、ある位置で撮影された画像情報を求める要求メッセージと、要求に対応する画像情報となる応答メッセージの伝達によるプル型データアクセス手法を用いた情報共有アプリケーションを想定し、このような場合における情報共有手法を提案する。 これまで提案されてきた手法である車両が収集した情報に対する集約ではなく、車両が生成する要求メッセージに対して集約を行うことで、不要な情報の配信を抑え、要求元に対して応答メッセージが提供されることを目指す。

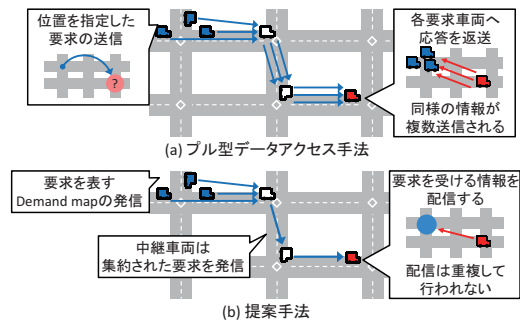


図 3 プル型データ配信手法と提案手法の比較

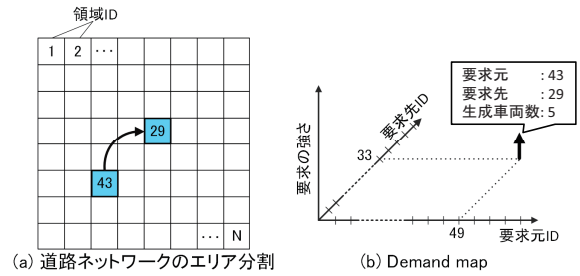


図 4 Demand map の概要

### 3. Demand map ベースデータ配信手法

#### 3.1 Demand map ベースデータ配信手法の概要

車のドライバーに興味を持った位置に関する情報を提示するため、VANET 上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ことを考える。 要求・応答メッセージの伝送で情報を共有するプル型データアクセス手法を利用する場合、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 3(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。

Dmap の例を図 4 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、 $N$  個の小さなエリアに分割する (図 4(a))。 各エリアにはユニークな 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

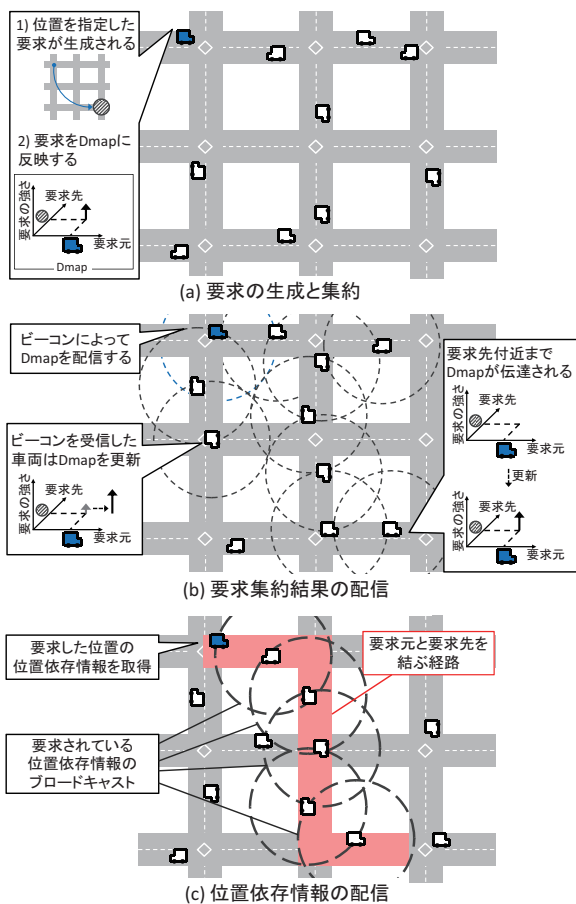


図 5 Demand map ベースデータ配信手法の概要

置するエリアと、その周辺数エリアにおいて、あるエリアからあるエリアに対して発生している要求の強さを表現する。図 4(b) では、要求が発生しているエリアを要求元エリア、要求が向けられているエリアを要求先エリアとして、それぞれ 1 次元で表現した時の Dmap の例を示している。この図では、具体的な例として要求元エリアが 49、要求先エリアが 33 として 5 台の車両がエリア 33 の情報を求めていることを表している。

この手法を用いることで、図 3(b) のように、同様の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。

Demand map ベースによる情報配信の例を図 5 に示す。ある位置に関する情報を求める車両は、その位置を指定した要求を生成する。生成された要求は、要求生成車両が保持する Dmap に反映される。図 5(a) では、図中左上に位置する離れた位置の情報を求める車両が自身の Dmap に要求を反映させている動作を表している。各車両は、自身が

保持する Dmap を定期的に発信するビーコンに載せてブロードキャストする (図 5(b))。また図 5(c) に示すのは、Dmap を利用して行う位置依存情報の配信例である。要求先と要求元を結ぶ経路上に位置する車両が求められている情報をブロードキャストすることによって、要求生成車両のもとに情報が配信される。

### 3.2 想定環境

本提案手法における想定環境を示す。

- 各車両は無線通信端末を搭載しており、通信範囲内の他車両と VANET を構成する。
- VANET を構成す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 とデジタル道路地図を用いることにより自身の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。
- 各道路セグメントには識別 ID が与えられている。
- 路側の通信インフラは存在せず、端末以外の設備、アクセスポイント、固定のデータサーバは利用しない。
- 各車両は、定期的に自身の端末 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、現在位置周辺の地域に関する情報 (位置依存情報、例として撮影画像) を生成する。
- 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、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。

### 3.3 Demand map の設計

各車両が、位置をキーとした位置依存情報への問い合わせ要求を Dmap にまとめることで需要の地理的分布を把握する。3.1 章で述べたように、Dmap はどこに位置する車両がどここの情報を求めているか、という情報を表す。各車両は定期的に発信するビーコンに、自身が持つ Dmap の情報を載せることで、Dmap を車両群の中で伝播させる。Dmap の情報を発信し、またビーコンを受信した車両がビーコンに含まれる Dmap の情報を利用するために、発信するビーコンに載せる情報に、ビーコン発信車両の ID、車両が位置する道路 ID、タイムスタンプに加え、車両が保持する Dmap の情報が付加される。要求元、要求先エリアについては、それぞれのエリア ID が格納される。要求生成車両と生成時刻の情報は、ビーコンを受信した車両がそのビーコンに含まれる Dmap 情報を、自身が持つ Dmap に反映させる際に必要となる。

ビーコンを受信することによって、他車両から Dmap の情報を受信した車両は、その Dmap を自身が保持する Dmap へ反映させることで Dmap の更新を行う。これにより、車両は周辺車両と情報に対する需要分布の状況を共有

することとなる。

あるエリア  $A$  からあるエリア  $B$  への要求の強さとして、要求の強さの具体例に、情報を要求している車両台数を用いる場合を考える。この時 Dmap は、要求元エリアをエリア  $A$ 、要求先エリアをエリア  $B$  として、情報を要求している車両の ID のリストと、各要求が生成された時刻を保持する。ビーコンによってエリア  $A$  からエリア  $B$  に対する Dmap 情報を受け取ると、その車両がそれまで持っていた Dmap と、受信した Dmap 情報との間でマージ操作を行う。現実の道路ネットワークにおける需要の分布を正確に Dmap に反映させ続けるためには、マージする 2 つの情報の両方を利用して行う必要がある。これは、エリア  $A$  からエリア  $B$  に向かう要求毎にその生成車両と生成時刻を比較し、マージ後の Dmap が表す需要の強さにどれだけ加味させるかを評価することで可能となる。しかしながら、実際の需要分布を正確に反映するマージの方法を設計することは困難である。マージの例を以下に示し、理由を述べる。

図 6 は、車両  $B$  が自身の持つ Dmap と、車両  $A$  から受信した Dmap とをマージする例である。車両  $A$  と車両  $B$  は、それぞれエリア  $X$  からエリア  $Y$  に向けて生成された要求を表す Dmap を保持している。それぞれの要求は、生成車両と生成時刻が異なる。今、車両  $A$  がビーコンに載せて Dmap を発信し、車両  $B$  がこれを受信したとする。車両  $B$  は、受信したビーコンに含まれる Dmap を、要求元、要求先の位置の組について各要求元毎に最新のデータが保持されるように、自身が持つ Dmap とマージする。図 6 ではこのマージの結果、車両  $B$  が持つ Dmap には車両  $C$  と車両  $F$  が生成した要求が追加されている。また、車両  $A$  が生成した要求については、マージの結果生成時刻のみが更新されている。このような方法でマージが行われた場合、Dmap のデータ量は増加する一方となる。計算量、記憶容量の観点からこの単純な方法のマージは不適切と言える。また、マージ後の Dmap が持つ要求のリストは、生成時刻が要求毎に異なる。現実下においてエリア  $X$  からエリア  $Y$  に向けて発生する需要の強さを、これら複数の要求を利用して正確に評価するのは不可能である。そのため、Dmap の管理、計算に大きなコストが必要となることを避けるために、Dmap の表現方法が課題となる。

Dmap の管理におけるもう一つの課題は、需要分布の時間経過に従う変化を Dmap に反映させる方法である。あるエリアからあるエリアへ向けられる要求の強さは、要求の新たな生成、位置依存情報の配信によって時々刻々と変化する。そのような時間経過に従う変化を、各車両が持つ Dmap に反映させる必要がある。

この Dmap の設計にかかる課題について本論文では、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] を利用することを提案する。Soft-state sketch の詳細については 2.2 節で述べている。ここまで述

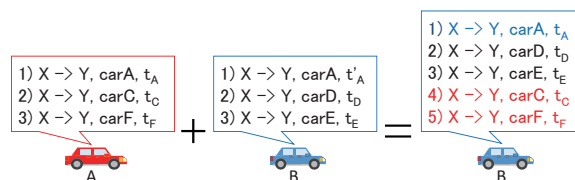


図 6 Dmap のマージ例

べた単純な Dmap のマージに対して、soft-state sketch を利用した Dmap の表現とマージ方法による本提案手法を、sketch 利用型 Demand map と呼び、4 章にて詳述する。

### 3.4 Demand map を利用した情報配信

Dmap を利用した位置依存情報の配信方法について述べる。基本的なプル型データアクセスでは、応答は個々の要求に対して生成され、伝送される。一方、本手法では各車両は Dmap によって同時に複数の要求を把握しており、それらの要求の中から適切な位置依存情報を選択して適切な頻度でブロードキャストする。

選択方法として、全ての車両が必要が大きい位置依存情報を選んで配信するという単純な戦略をとった場合、その情報を求める多数の車両の要求は満たされるものの、小さい需要が無視されることになってしまう。従って、需要が小さい情報に対する要求も満たされるよう、かつ全ての要求に対して平均的に高い達成率を達成する情報配信方法が望まれる。

このような情報配信を行うためには、各車両が自身の状況、また周囲の状況を把握した上で、適切な位置依存情報を選択して配信するべきである。まず情報の配信は、3.1 節に示したように、要求元と要求先とを結ぶ最短経路上の道路に位置する車両が行う。このような処理により、要求先から要求元へ位置依存情報が送られる、言わばデータの流れが形成できるといえる。

要求先と要求元との間の経路上の車両が情報配信するとしても、その条件に合致する車両が複数存在した場合には、やはり同じ位置依存情報が重複して配信されることとなる。これを防ぐために、周辺の車両密度を用いて考えると、密度の高低によって送信する位置依存情報を変えるようにすべきである。図 7(a) に示す車両は、周辺車両の数が多地域にいる。この場合、一度のブロードキャストにより、その情報を周りの多くの車両に配ることができる。そのため特に需要が高い位置依存情報を選択して配布することで、需要が満たされやすくなると考えられる。

次に車両密度が低い場合の配信について検討する(図 7(b))。要求先から要求元へ情報を伝達させるためには、その情報を中継する車両の存在が不可欠である。低車両密度下ではこの中継が途切れやすい。これを回避するため、車両は、要求先と要求元を結ぶ最短経路に注目して配信する位置依存情報の選択を行う。この経路上に位置する

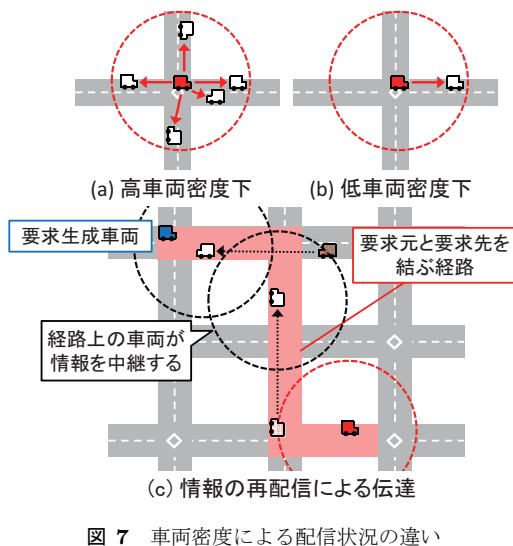


図 7 車両密度による配信状況の違い

車両は要求元にその情報が到達するよう、周辺車両の位置や進行方向も利用して情報を選択する。例として、図 7(b) の状況で情報を受信した車両は、自身がある位置依存情報の配信経路上に位置している時、その情報を高い確率で次の配信時に選択する (図 7(c))。またある車両が、自身が保持する位置依存情報の配信経路上に要求先から要求元に向かう方向に進行する車両に遭遇した時、この情報を送信することで、要求されている情報の要求元への到達を促す。このようにして、要求先から要求元へ向かう情報の流れを作り出す。

#### 4. Sketch 利用型 Demand map の設計

ある地点からある地点に対する要求は、要求元位置、要求先位置、要求生成車両 ID、生成時刻の 4 つを用いることで表現できる。その要求の発生数を数えることで、需要の分布を表現できる。またこの情報を周辺車両へ向けて発信し、更に受け取った情報については自身の持つ情報とマージさせることで、要求に関する情報の共有を行うことができる。このマージは、新しい情報により大きい重み付けを与え、実際の状況をより反映するよう行う必要がある。しかしながら、要求の一つ一つに要求元、要求先位置、車両 ID、時刻の情報を含める場合、Dmap 全体の持つ情報量は莫大になることを 3.3 節で述べた。この問題を解決するため、Dmap の表現とマージに 2.2 節で示した位置依存情報集約手法の一つである soft-state sketch を応用する。本章では Dmap に soft-state sketch を応用した、sketch 利用型 Demand map の設計と動作を述べる。

##### 4.1 Sketch 利用型 Demand map の概要

Soft-state sketch を用いた Dmap と提案手法の動作を図 8 に示す。Dmap は、要求元位置と要求先位置の組の一つ一つに、2.2 節で述べた soft-state sketch でのスロット列を設定する (図 8(a))。図の例では、要求元 ID が A、要

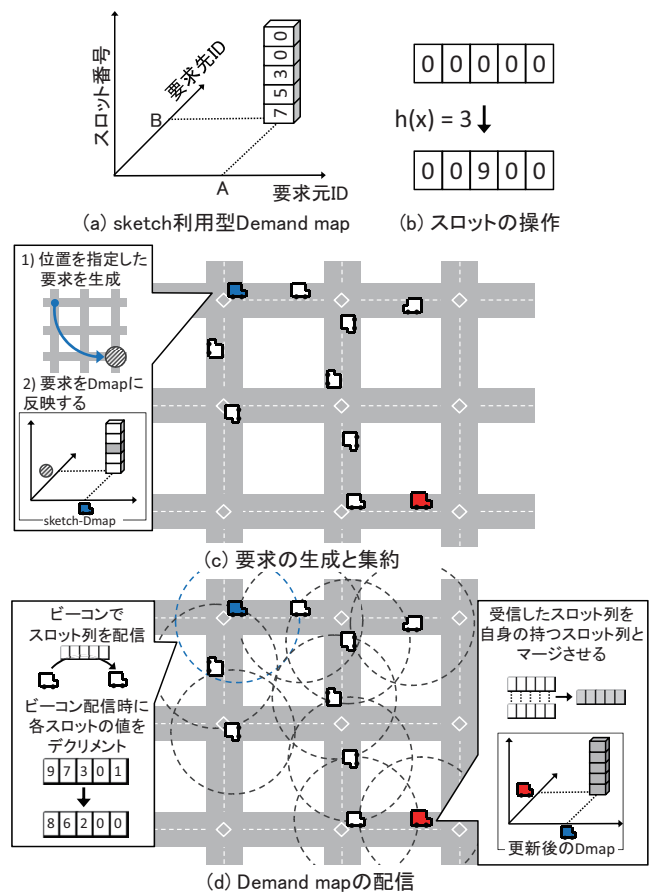


図 8 Sketch 利用型 Demand map

求先 ID を  $B$  とした要求のスロット列に、第 3 スロットまで非零の値が格納されている。よって発生している要求数は、 $2^3$  の近似値であることが分かる。

Soft-state sketch を用いることで、Demand のマージは生成車両と生成時刻を用いることなく行うことができる。図 8(c) にその様子を示す。要求生成車両は、soft-state sketch と同様に乱数をハッシュ化し、出力された値の番号のスロットにスロットの TTL となる値を格納する。図 8(b) ではハッシュ化によって 3 が出力された例である。出力値が 3 であることより、スロット列の 3 番目のスロットに、あらかじめ定めたスロットの TTL となる値を格納する。このスロット列を、ビーコンに乗せて発信することで、要求を周辺車両に対して伝播させる (図 8(d))。ビーコンで配信する際には、ビーコンに載せるスロット列に格納されている全ての値をデクリメントさせる。この操作により、需要が時間によって弱まることを表現する。求められていない、あるいは需要が満たされた情報については、対応するスロット列が時間が経つに従い全ての値が 0 になる。

##### 4.2 Sketch 利用型 Demand map の動作

Sketch 利用型 Demand map におけ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) ハッシュ関数  $h(x)$  で乱数をハッシュ化する。
- (3) 出力値番目のスロットに、あらかじめ決めた TTL 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、受信した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させる。

## 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、Demand map ベース情報配信手法を提案した。情報に対する地理的分布図である Demand map を利用して配信を行うことで、配信する情報は最小限に留めつつ、車両の要求は解決されることを狙う。Demand map の設計では、現実の需要分布を反映させるための Demand map の更新方法の課題を示した。課題に対する解決策として VANET における情報集約手法のひとつである soft-state sketch が有効であることを示した。また Demand map を用いた情報配信方法については、どの需要に注目し情報配信を行うか、各車両が需要分布状況や、車両密度といった複数の条件をもとに、配信する情報を適切に選択することが必要であることを述べた。

今後は、Demand map を利用した情報配信手段の更なる検討を行ったうえで、soft-state sketch を利用した Demand

map の実装を行い、提案手法の効果をシミュレーションで評価する予定である。

## 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。ここに記して謝意を示す。

## 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] J. Tchakarov, and N. Vaidya.: Efficient content location in wireless ad hoc networks. In *Fifth International Conference on Mobile Data Management (MDM'04)*. IEEE Computer Society (2004).
- [3] H. Hartenstein, and K. Laberteaux, *VANET: Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies*, Intelligent Transport Systems. John Wiley & Sons(2010).
- [4] 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).
- [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, 5th IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems (MASS 2008), pp.724-729 (2008).
- [7] 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).
- [8] B. Xu, A. M. Ouksel, and O.: Wolfson. Opportunistic resource exchange in inter-vehicle ad-hoc networks. In *Fifth International Conference on Mobile Data Management (MDM'04)*. IEEE Computer Society (2004).
- [9] T. Delot, N. Mitton, S. Ilarri, and T. Hien.: Decentralized pull-based information gathering in vehicular networks using GeoVanet. In 12th International Conference on Mobile Data Management (MDM 2011), IEEE Computer Society, pp.174-183 (2011).