

VANETにおける soft-state sketches を用いた 位置依存情報に対する要求分布集約における精度向上方式

山田 暁裕¹ 石原 進²

概要：運転者にとって、渋滞や事故等の状況を知ることは経路選択をする上で有用である。筆者らが所属する研究室では、運転者が興味のある位置をカーナビ等の機器に入力した時に、VANET を介してその位置の現在の画像を取得し、提示するシステムの実現に向けた研究を行っている。石原らは、このシステムを実現するために、特定の位置の画像などの位置依存情報を低トラフィックで配信するための手法として、車両が位置依存情報に対する需要の地理的分布情報 (Demand map: Dmap) を保持し、Dmap に基づいて需要の高い位置依存情報を選択し、送信する Demand map ベースデータ配信手法を提案している。この手法では、車両は Dmap の構成データ (Dmap Information: DMI) を他車両と交換し、DMI を基に生成された要求数を推定する。筆者らはこれまで、通信トラフィックを抑制しつつ、Dmap における実際の需要の再現性を向上させるために、soft-state sketches に基づく表現による DMI の送信戦略を提案し、その効果を確認した。しかし、soft-state sketches を用いた DMI における要求数の推定方式に関しては、改善が行われていない。本論文では、soft-state sketches を用いた要求数推定の精度向上方式を提案し、シミュレーションにより提案方式の効果を調査した。その結果、提案方式は要求発生頻度の変化が少ない要求が発生する状況においては、精度向上に効果があるということが分かった。

1. はじめに

ドライバーは、自身が指定した任意の位置の現在の状況を画像で確認することができれば、効率的な経路選択を出来る可能性が高い。現在、高度道路交通システム (Intelligent Transport System: ITS) の研究、開発が盛んに行われており、ドライバーに交通情報を提示し、ドライバーの運転を支援するシステム (VICIS[1] 等) が運用されているが、ドライバーが指定した任意の位置の現在の状況を画像で確認できるシステムは、筆者らの知る限り確認されていない。また、既に実用化されている交通情報をドライバーに提供するシステムでは、固定のインフラを用いて交通情報をドライバーに提供するが、固定のインフラを用いて ITS を実現した場合、中央のサーバに負荷が集中してしまったり、インフラの維持管理等の費用がかかったりするため、車々間アドホックネットワーク (Vehicular Ad-hoc NETWORK: VANET) を用いた ITS の実現が議論されている。

筆者らは、運転者がカーナビ等の車載機器に興味のある位置 (Point of Interest: PoI) を入力すると、車両が VANET を介して現在の PoI の画像を受信し、運転者に提示するリアルタイム画像カーナビシステム (図 1) の実現に向け

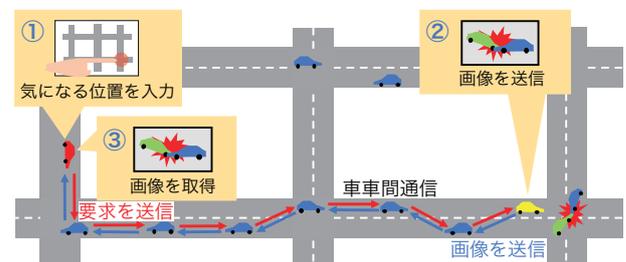


図 1 リアルタイム画像カーナビシステム

た研究を行っている [2]。このシステムで画像を配信する単純な方法として、PUSH 型配信と PULL 型配信がある。PUSH 型配信をこのシステムに用いた場合、車両は PoI の画像を取得する度に、その画像をブロードキャストする。PUSH 型配信を用いると、必要とされていない画像も送信されてしまう恐れがあり、限られた通信資源を浪費してしまう。一方で、PULL 型配信をこのシステムに用いた場合、画像を要求する車両が画像を保持する車両に対して、要求メッセージを送信し、画像を保持する車両がその応答として、画像を要求車両に送信する。PULL 型配信を用いることで、必要とされない画像の配信を抑制することはできるが、位置関係の近い複数の車両が類似した画像を同時に要求した場合に、類似した画像が同じ地域に同時に複数回送信され、冗長な配信となってしまう。

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

しかし、車両が特定の位置の画像などの位置依存情報 (Location-Dependent Information: LDI) を配信する場合、車両が LDI に対する需要の地理的な分布を把握することで、LDI の作成位置と要求の発生位置の地理的關係に基づいた効率的な LDI の配送経路を得ることができ、低トラフィックで LDI を要求した多くの車両に LDI を配信できると考えられる。石原らは、リアルタイム画像カーナビシステムにおける低トラフィックでの画像配信に用いる手法として、車両が LDI に対する需要の地理的な分布を把握し、それに従って効率的な配送経路で LDI を配信する Demand map ベースデータ配信手法を提案している [3]。

この手法では、車両は LDI に対する需要の地理的な分布情報 (Demand map: Dmap) を保持する。Dmap は VANET を介して車両間で共有され、各車両は Dmap に基づいて LDI の作成位置から LDI に対する要求の生成位置までの効率的な経路を得る。この経路は、LDI を要求した車両をできる限り多く含み、かつ地理的に短い経路となるように作成される。このような経路で LDI を配信することで、重複した要求をする複数の車両に対して一度に LDI を配信することができ、類似した位置からの重複した要求に対する重複した応答を抑制することができると考えられる。

Demand map ベースデータ配信手法では、車両が効率的に Dmap を管理するために、Dmap のデータ構造としてユニークなデータの個数を確率的に推定するためのデータ構造である soft-state sketches [8] を用いる。Dmap を作成するにあたって、車両は LDI に対する要求の生成位置と LDI の作成位置の組に対して、スケッチと呼ばれる配列を複数保持する。各車両は、Dmap を共有するために、数組のスケッチを定期的に送信するビーコンに付加して送信する。車両がスケッチを送信する頻度や送信するスケッチの選択は、Dmap における実際の需要の再現性や Dmap 管理における通信トラフィックに影響を与えるため、これまで筆者らはスケッチの送信戦略を提案し、その効果を調査してきた [4][5]。その結果、LDI の配送経路上の車両がその LDI に対応するスケッチを頻繁に送信する方法が、通信トラフィックを抑制しつつ、LDI の配送経路上の車両、すなわち LDI の配信に関わる車両の Dmap における実際の需要の再現性を向上させることに効果的であることが確認された。

Dmap を構成している soft-state sketches による要求数推定の精度を向上させることで、Dmap における実際の需要の再現性をさらに向上させることができると考えられる。本論文では、soft-state sketches による要求数推定の精度を向上させるための方式、i) TTL 適応方式と ii) ローパスフィルタ方式を提案し、その効果をシミュレーションにより明らかにする。Soft-state sketches による要求数の推定では、車両は要求を生成する度にスケッチの要素に要求の TTL (≥ 1) を格納し、スケッチの最初の要素からの非

零の値のランレングスに基づいて、要求数を推定する。この時、ランレングスが大きい程、要求数の推定値が大きくなるが、TTL 適応方式では、要求数が実際に発生した要求数より大きく推定されることを防ぐために、車両はスケッチの要素番号が大きくなる程、スケッチの要素に格納する TTL の初期値が小さくなるように、TTL の初期値を決定し、スケッチの要素に格納する。ローパスフィルタ方式では、現在時刻における推定された要求数と現在時刻から一定時間前の推定された要求数をいくらかの割合で足し合わせることで、実際の要求数と推定された要求数の差を小さくすることを目指す。

以下 2 章では、本研究に関連した情報配信手法について述べる。3 章では、Demand map ベースデータ配信手法について述べ、4 章にて soft-state sketches による要求数推定の精度向上方式を提案する。また、5 章で提案方式の効果をシミュレーションにより調査し、6 章で本論文をまとめる。

2. 関連研究

本研究にて設計を行っている Demand map ベースデータ配信手法では、LDI を要求した車両は、自身が持つ Dmap に自身の要求を登録する。そして、各車両が Dmap の一部を他車両に送信することで、Dmap は車両間で共有される。Dmap が車両間で共有されることで、車両は Dmap に集約された要求を把握することができ、複数の要求を満たすような配送経路で LDI を配信し、それぞれの車両の要求に対して個別に LDI を配信する場合と比較して、低トラフィックで多くの車両に LDI を配信できることが期待される。

Demand map ベースデータ配信手法と同じように情報を欲するノードが要求を登録して、要求を登録したノードに対して情報を配信する情報配信方法として Publish/Subscribe [6] がある。Publish/Subscribe では、情報を欲するノードが自身の要求を仲介者のノードに登録する。そして、情報を Publisher から受信した仲介者がその情報への要求を登録した Subscriber に対して情報を配信する。Publish/Subscribe は、VANET にも適用されている [7]。

Lochert らは [8] において、VANET のみを用いた有効時間が限られたデータの集約を通信トラフィックを抑制して行うために、ユニークなデータの個数を確率的に推定するためのデータ構造 soft-state sketches を提案している。[8] では、利用可能な駐車場の数を道路セグメントごとに数え、車両間で共有するアプリケーションを例に挙げている。ここでは、車両は、非負の値が各要素に格納された配列 (sketches) を用いて、道路セグメント毎の駐車場の数を推定している。この手法において、車両は、道路セグメント毎に sketch を保持し、空いている駐車場を見つけると、その駐車場が位置する道路セグメントに対応する sketch の要素に、有効時間に相当する値を格納する。また、各車両

は、定期的送信するビーコンに sketch を付加して送信し、sketch を受信した車両は、自身のもつ sketch と受信した sketch をマージすることで、駐車場情報を更新する。車両は、soft-state sketches を用いて、道路セグメント毎の利用可能な駐車場の数を推定する。

[8] では、道路セグメント毎の駐車場の数を数えるために、soft-state sketches を利用しているが、Demand map ベースデータ配信手法では、ある地域から地域への位置依存情報に対する要求の数を推定するために、soft-state sketches を利用し、推定された要求数を基に、需要の大きな位置依存情報に対する需要が大きい地域に配信する。したがって、地域の数 m とすると、位置依存情報の要求元と要求先の組の数は m^2 となるため、sketch の総数は大きくなる。[8] では、sketch を他車両に送信する際に sketch を圧縮して送信することで、通信トラフィックを抑制しているが、筆者らがこれまで提案してきた sketch の送信戦略では、soft-state sketches による要求数推定の精度と通信トラフィックの抑制のトレードオフを考慮に入れて、sketch を選択することにより、通信トラフィックを抑制する。

3. Demand map ベースデータ配信手法

本章では、Demand map ベースデータ配信手法について述べる。この手法では、LDI に対する需要の大きさの地理的分布情報 (Demand map: Dmap) を車両間で共有し、Dmap に基づいて LDI の配送経路を決めて LDI を配信する。この手法は、需要のある LDI をその LDI を欲する車両が多く存在する地域に配信することで、より多くの要求を満たしつつ、通信トラフィックを抑制して LDI を配信することを目指している。

3.1 Demand map(Dmap)

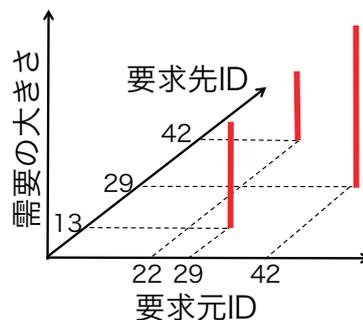
Demand map(Dmap) は、地域毎の LDI に対する需要の大きさをまとめた、LDI に対する需要の大きさの地理的分布情報である。Dmap では、まず図 2 (a) のように区域を小さな領域に分割し、各領域に ID を付与する。ある領域 d の LDI を要求する車両が走行している領域を要求元、領域 d を要求先とし、要求元・要求先の組毎に LDI の需要の大きさを表す。例えば、図 2 (a) において矢印の始点を要求元、終点を要求先、矢印の太さを需要の大きさとする、Dmap では図 2 (b) のように要求元・要求先の組毎に LDI に対する需要の大きさを表す。

3.2 Dmap のデータ構造

Dmap を作成するにあたって、Dmap で需要の大きさを表すための単純な方法として、要求元 ID、要求先 ID、車両 ID 等の全ログデータを車両間で交換し、これらのログデータに基づいて、LDI の要求元・要求先の組毎の生成さ



(a) Dmap における領域分割



(b) Dmap における需要の表現

図 2 Demand map (Dmap)

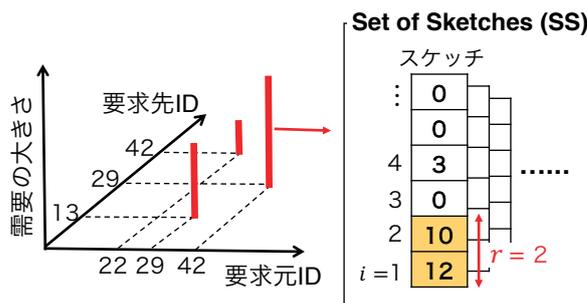


図 3 Dmap のデータ構造

れた要求数を数える方法がある。しかしながら、この方法を用いると、要求数が増大した場合に、車両が保持するデータ量がかなり大きくなってしまふ。そこで、Dmap 管理におけるデータ量を削減するために、ユニークなデータの個数を確率的に推定するためのデータ構造 soft-state sketches[8] を用いて、Dmap を表現する。

Dmap を作成するにあたって、車両は要求元・要求先の組ごとに複数のスケッチ (Set of Sketches: SS) を保持する (図 3)。ここで、スケッチとは各要素に非負の値が格納される配列である。領域 s を走行する車両が領域 d の LDI を要求する際、まず、車両は、要求元・要求先の組が (s, d) の組と一致する SS の中からランダムにスケッチを 1 つ選択する。次に、そのスケッチの i 番目の要素を $1/2^i$ の確率で選択し、要求の有効時間に相当する値 (TTL) の初期値をその要素に格納する。

車両は Dmap を車両間で共有するために、いくつかの

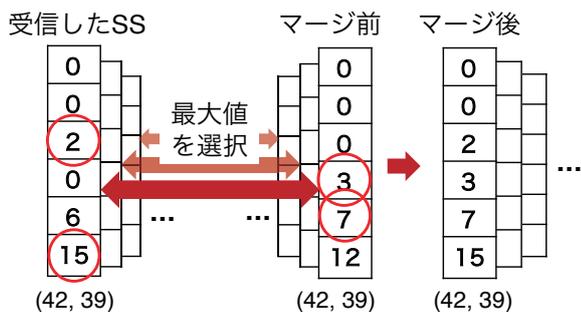


図 4 SS のマージ

SS を定期的送信するビーコンに付加して送信する。車両は、他の車両から SS を受信すると、自身もつ SS の内、受信した SS と同じ要求元・要求先の組をもつ SS と受信した SS の各スケッチの各要素の最大値を選択することで、自身の SS と受信した SS をマージする (図 4)。図 4 の例は、車両が要求元が 42, 要求先が 39 の SS を受信した場合のマージの処理である。各スケッチに格納された値はビーコンを送信する毎に 1 減少し、値が 0 になるとその要求は破棄される。各要求元・要求先の組における LDI に対する要求の数は、[8] で示された次の式によって推定される。

$$C(S_1, \dots, S_m) := m \cdot \frac{2^{\sum_{j=1}^m Z(S_j)/m} - 2^{-\kappa \cdot \sum_{j=1}^m Z(S_j)/m}}{\varphi} \quad (1)$$

ここで、 $\{S_1, \dots, S_m\}$ は 1 つの SS に含まれるスケッチであり、 m は 1SS あたりのスケッチの数である。 $Z(S_j)$ はスケッチ S_j における $i = 1$ 番目の要素からの非零の値のランゲルスである。また、 $\kappa \sim 1.75$, $\varphi \sim 0.77351$ である。

車両は、要求元・要求先の組毎に推定された要求数をその要求元領域における、その要求先領域で作成される LDI に対する需要の大きさとみなす。車両は、要求元・要求先の組毎における、LDI の需要が大きいかつ、自身がその要求先から要求元への LDI の配送経路上を走行している場合に、その LDI を送信する。

3.3 SS の送信戦略

車両は Dmap を車両間で共有するために、SS を車両間で交換する。Soft-state sketches は確率的にユニークなデータの個数を推定するため、車両が SS を高頻度で送信したり、ビーコンに多くの SS を付加すると Dmap における実際の需要の再現性は高くなると考えられる。しかしながら、SS を高頻度で送信したり、大量の SS をビーコンに付加して送信したりすると、限られた通信資源を浪費してしまう。そこで、筆者らは [5] で、通信トラフィックを抑制しつつ、Dmap における実際の需要の再現性を向上させるために、SS の送信戦略 (車両が SS を送信するタイミングの決定方法と送信する SS の選択基準) を提案し、その効果をシミュレーションにより調査した。本章では、これまでに提案した SS の送信戦略について述べる。



図 5 LDI Transfer Zone (LTZ)

3.3.1 Frequent 戦略

Frequent 戦略では、全車両が SS を送信するのではなく、実際の需要をより反映していると考えられる車両が優先的に SS を送信し、それ以外の車両には送信を抑制させることで、通信トラフィックを抑制しつつ、Dmap における実際の需要の再現性を向上させることを目指す。

この戦略では、SS の更新回数に着目する。ここで、更新とは要求の生成や SS のマージにより SS 内のスケッチの要素の値が変更されることである。SS の更新回数が多い車両は、自身が持つ SS とは異なる値が要素に格納されている SS を多く受信しているため、その Dmap はより多くの需要情報を集約しており、実際の需要をより反映していると考えられる。したがって、Frequent 戦略では、過去一定時間における SS の更新回数が多い車両が、SS を優先して送信する。この戦略では、車両は定期的送信するビーコンに、過去一定時間以内における全 SS の合計の更新回数 (Total Count of Updating Sketches: TCUS) を付加する。車両はビーコンを送信する時に、周辺車両における TCUS と自身の TCUS をソートし、自身の TCUS が降順で k 番目以内である場合にのみ SS をビーコンに付加する。

3.3.2 LDI Transfer Zone (LTZ) 戦略

Demand map ベースデータ配信手法では、LDI の要求先から要求元へのデータ配送経路上 (LDI Transfer Zone: LTZ) を走行している車両のみが LDI の配信に関わる。したがって、LTZ 内を走行する車両のみがその LTZ に対応する要求元と要求先の組における需要を把握していれば十分である。ここで、要求元 s と要求先 d を結ぶ線分を対角線とする矩形領域を LTZ と定義する (図 5)。LTZ 戦略では、全ての車両において全ての (s, d) の組における需要の再現性を高めることよりも、LTZ 内を走行する車両においてその LTZ に対応する (s, d) の組における需要の再現性を高めることに重点を置く。

この戦略では、車両は、ビーコンを送信する時に、自身の位置を p , 要求元を s , 要求先を d , LTZ を $Z_{s,d}$ とし、 $p \in Z_{s,d}$ を満たす (s, d) の組を持つ SS を選択して、ビーコンに付加する。また、ここで選択した SS の数 n が 1 度のビーコンに付加する SS の最大数 N を超えた場合には、選

表 1 基礎評価シミュレーションのシミュレーションパラメータ

パラメータ	値
試行回数 [回/手法]	100
1SS あたりのスケッチの数	10
1 スケッチあたりの要素の数	10
SS に TTL の初期値を格納する間隔 [s]	1
TTL の初期値 [s]	63
シミュレーション時間 [s]	3600

択した n 個の SS の中からランダムに N 組 SS を選択する .

3.3.3 Recently Updated First (RUF) 戦略

最近に更新された SS は、より最近の需要を反映している可能性が高いと考えられるため、RUF 戦略では、より最近に更新された SS に高い優先度を与える。この戦略では、まず車両は自身が持つ SS の中から更新時刻の新しい順に SS を h 組選択し、集合 L とする。ここで、単に更新時刻順のみに従って SS を送信すると同じ要求元・要求先の組を持つ SS が偏って送信され、Dmap における実際の需要の再現性を損なってしまう恐れがある。従って、車両は L の中からランダムに SS を N 組選択し、送信する。

4. Soft-state sketches によるイベント発生回数推定の精度向上方式

4.1 基本方式におけるイベント発生回数の推定精度

4.1.1 基礎評価シミュレーション

Soft-state sketches の精度向上方式を設計するにあたって、soft-state sketches の精度や soft-state sketches によるデータの個数の推定の傾向を調査するために、シミュレーションを行った。本シミュレーションでは、SS を車両間で交換することなく、定期的にイベントを発生させ、その度に 1 台の車両が自身の持つ 1 つの SS に Dmap における要求の TTL の初期値を格納する。

1 台の静止した車両を配置した。その車両は定期的に、SS 中の 1 つのスケッチをランダムに選択し、そのスケッチの要素 $i (i = 1, 2, 3, \dots)$ に Dmap における要求の TTL の初期値を格納するというイベントを発生させる。シミュレーションは seed 値を変えて 100 回行った。車両は、soft-state sketches により、イベントの発生回数を 1 秒間隔で推定する。本シミュレーションでは、車両が時刻 t において soft-state sketches により推定したイベントの発生回数の推定値と、時刻 t から過去 TTL の初期値時間以内に実際に発生したイベントの回数を比較した。主なシミュレーションパラメータを表 5 に示す。また、シミュレーション中の SS における各スケッチの各要素の値を 1 秒ごとに記録した。

4.1.2 イベント発生回数推定値の変動

図 6 は SS 中の同じスケッチの、時刻 t における状態と時刻 t から 1 秒後のスケッチの状態を表している。図 6 では、時刻 t においては、スケッチの要素番号 1 からの非零の値のランレングス r は 1 である。しかし、時刻 t から 1

16	0	4	20	28	0	0	15	0	0
----	---	---	----	----	---	---	----	---	---

$r = 1$ 推定値: 54.4117



15	63	3	19	27	0	0	14	0	0
----	----	---	----	----	---	---	----	---	---

$r = 5$ 推定値: 72.5092

図 6 スケッチにおける推定回数の変動

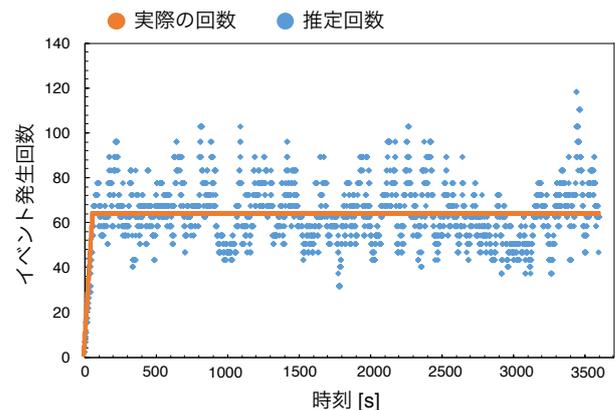


図 7 TTL 初期値の格納回数の推定値と実際回数

秒後では、 $r = 5$ となっている。SS 内の 1 つのスケッチにおけるランレングスが 4 増えたことで、その SS 内の推定回数は 18 以上も増加している。次節でも述べるが、このことは soft-state sketches の精度のばらつきにも大きく影響する。

1 つの SS における r の値は、SS 中の全スケッチの平均をとるため、1SS あたりのスケッチの本数が多い程、回数推定の精度が 1SS 内のスケッチにおける r の大幅な増加の影響を受けにくくなることで、SS における推定回数の大幅な増加を抑制できると考えられる。しかしながら、車両が保持できるデータ量は限られており、また SS の送信に伴う通信トラフィックの抑制の観点から見ても、1SS あたりのスケッチの本数を増やすことによる soft-state sketches の精度向上方式は現実的ではないと考えられる。したがって、1SS あたりのスケッチの本数を増やすことなく、推定回数の精度を向上させる方式の設計が必要であると考えられる。

図 7 は、100 回行ったシミュレーションの中のある 1 回のシミュレーションにおける、10 本のスケッチを 1 組とする SS から得られたイベント発生回数の推定値の時間変化と実際のイベント発生回数を示している。ここで、時刻 t における実際のイベント発生回数とは、時刻 t から過去 TTL の初期値時間以内にイベントが発生した回数である。このグラフより、イベント発生回数の推定値は実際のイベント発生回数と近い値を示すものの、その標準偏差は大き

く、このグラフの場合では実際のイベント発生回数のおよそ 1.2 倍にも及び、推定値の標準偏差を減らすことができれば、soft-state sketches の精度を向上させることができると考えられる。

4.2 Soft-state sketches によるイベント発生回数の推定精度向上方式

4.2.1 TTL 適応方式

4.1.2 節で述べたように、急にスケッチにおけるランレングス r が増加すると、推定回数も急に大きくなってしまふ。また、実際にはあまり要求が発生していないにも関わらず、スケッチの要素番号が大きい要素に TTL の初期値が格納されたり、要素番号の大きい要素に長い間 TTL が残り続けたりすると、4.1.2 節の例のように急に推定回数が増加し、また、推定回数が過大に推定されてしまう恐れがある。スケッチの要素の番号が大きくなる程、TTL が早く消えるようにすることで、ランレングスの急な増加を抑制できると考えられる。

したがって、本方式では車両がスケッチの要素に TTL の初期値を格納する際に、TTL の初期値を格納する要素の番号が大きくなる程、要素に格納する TTL の初期値を小さくする。このようにすることで、実際にはあまり要求が発生していないにも関わらず、スケッチの要素番号が大きい要素に TTL の初期値が格納された場合において、要求数が実際より大きい値に推定されることを抑制するも期待される。TTL の初期値 $TTL_{initial}$ を決定する式を以下の式により定義する。

$$TTL_{initial} = TTL_{max} - i \cdot w \quad (2)$$

ここで、 TTL_{max} は TTL の初期値の最大値、 i は $1/2^i$ の確率で選択されるスケッチの要素番号、 w は重み定数である。また、 i の最大値を i_{max} とすると w のとり得る値の範囲は、 $0 \leq w \leq \frac{TTL_{max}-1}{i_{max}}$ となる。

4.2.2 ローパスフィルタ方式

4.1.2 節で述べたように、soft-state sketches における推定回数は、実際の回数を境に上下する傾向にある。そこで、ローパスフィルタ方式では、時間軸における推定回数の増減を減らすことで、推定回数の時間軸全体におけるばらつきを抑制し、精度を向上させることを狙う。本方式では、現在時刻において、式 (1) から産出される要求数の推定値と、現在時刻から一定時間前の推定値を一定の割合で足し合わせる。時刻 t における TTL の初期値の格納回数の推定値 E_t を以下の式により定義する。

$$E_t = \alpha \cdot E_{t-1} + (1 - \alpha) \cdot X \quad (3)$$

ここで、 α は定数とし、 E_{t-1} は時刻 t から一定時間前に式 (3) から算出された推定回数で、 X は現在時刻における式 (1) より算出される推定回数である。

表 2 変動係数 (TTL 適応方式)

w	0	1	2	3
変動係数	0.234	0.232	0.230	0.227
w	4	5	6	
変動係数	0.225	0.223	0.220	

表 3 変動係数 (ローパスフィルタ方式)

α	0	0.1	0.2	0.3	0.4
変動係数	0.234	0.233	0.232	0.231	0.230
α	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
変動係数	0.228	0.226	0.223	0.218	0.204

表 4 シミュレーション時間中に生成した要求元と要求先の組

要求元 ID	要求先 ID	要求元 ID	要求先 ID
63	86	37	24
56	89	77	69
73	91	12	54
64	48	59	37
19	50	23	45
38	57	27	34
52	74	15	28
		75	58

5. 提案手法の評価

5.1 SS を交換しない場合の基本性能

車々間通信を用いて SS を車々間で交換するシミュレーションを行う前に、提案手法の基本性能を知るために、SS を交換しない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 5 と同じパラメータを用いた。また、本シミュレーションにおける w の範囲は $0 \leq w \leq 6$ である。

1 回あたり 3600 秒間の各シミュレーション毎に各秒毎のイベント発生回数の変動係数を求め、この変動係数の 100 回のシミュレーションでの平均を求めた。TTL 適応方式を用いた時の各 w における変動係数とローパスフィルタ方式を用いた時の各 α における変動係数をそれぞれ表 2、表 3 に示す。 $w = 0$ 、 $\alpha = 0$ の時は、精度向上方式を用いていない場合の結果である。表 2 より、SS を交換しない条件では、TTL 適応方式を用いると、精度向上方式を用いない場合と比較して、最大で変動係数を 6% ほど削減できていると言える。また、表 3 より、ローパスフィルタ方式を用いた場合には、精度向上方式を用いない場合と比較して、最大で変動係数をおよそ 13% ほど削減できていると言える。したがって提案方式は、SS を交換しないかつ、イベントの発生が動的でない場合での soft-state sketches の基本性能をわずかに向上できていると言える。

5.2 車々間で SS の交換を行った場合の性能

本章では、Dmap での要求数推定における提案方式の効果を調査するために、道路上を移動する車両同士が VANET を介して、SS を交換するシミュレーションを行う。

5.2.1 シミュレーションシナリオ

シミュレーションには、Space-Time Engineering 社が提

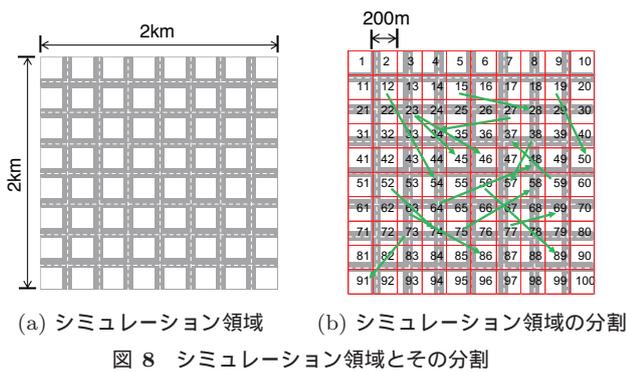


図 8 シミュレーション領域とその分割

表 5 シミュレーションパラメータ

パラメータ	値
試行回数 [回/方式]	10
車両流入台数 [台/h · lane]	300
ビーコンの送信間隔 [s]	1
送信電力 [dBm]	10
要求を生成する間隔 [s]	1
要求の有効時間 [s]	63
シミュレーション時間 [s]	1100
MAC プロトコル	IEEE802.11p
電波伝播モデル	ITU-R P.1411
アプリケーション層の最大パケットサイズ [bytes]	688
N	3

供するネットワークシミュレータ Scenargie[9] を使用した。各シミュレーションは、seed 値を変えて 10 回ずつ行った。シミュレーションパラメータを表 5 に示す。

本シミュレーションでは、図 8 (a) のように、2km × 2km のシミュレーション領域に片側 1 車線の道路を東西南北 7 本ずつ配置した。また、全ての車両は交通流シミュレータ SUMO[10] によって生成された移動ログに従って、道路上を移動するものとした。Dmap では、図 8 (b) のようにシミュレーション領域を 100 個の 200m × 200m の領域に分割し、各領域に ID を付与した。

シミュレーション中に生成した要求元と要求先の組を表 4 に示す。要求元領域を走行しているかつ、それに対応する要求先領域の方向に進行している車両は、その要求先領域で作成された LDI に対する要求を 1 秒間隔で生成する。例えば、領域 23 を走行している車両は、東または南に進んでいる場合のみ、領域 35 で作成される LDI に対する要求を生成する。要求を生成するとは、具体的には SS の中からスケッチを 1 つランダムに選び、そのスケッチの i 番目の要素に $1/2^i$ の確率で要求の TTL の初期値を格納することを指す。また、車両はビーコンを 1 秒間隔で送信し、SS を送信する際はビーコンに SS を付加する。この時、自身が持つ SS の中から送信する SS をランダムで最大 N 組選択し、送信する。

5.2.2 評価指標

Dmap における実際の需要の再現性を評価するための評価指標には、各要求元・要求先の組について、シミュレーションが十分に経過した時刻 t において、Dmap から算出

される要求数 E_t と t から過去要求の有効時間以内に実際に生成された要求数 R の一致度 M を用いた。 M は以下の式により計算される。

$$M = 1 - \min\{1, |R - E_t|/R\}. \quad (4)$$

M の最大値は 1 であり、最小値は 0 である。また、 M が 1 に近づけば近づくほど一致度が高いものとする。要求先領域 d から要求元領域 s へのデータ配送経路上の車両がその需要を把握するべきであるため、本シミュレーションでは時刻 t に LTZ 内を走行している車両の一致度について評価した。

5.2.3 シミュレーション結果

図 9 に、TTL 適用方式を利用した場合と精度向上方式を用いてない場合の一致度 M の CDF を示す。グラフの横軸は、 M で縦軸は各 M を示す車両の割合である。グラフの右側で急に増加するほど高い一致度を示している車両の割合が多いことを表している。図 9 を見ると、TTL 適用方式のほうが低い M を示している車両の割合が多いことが分かる。提案手法は、静的にイベントが発生する状況下においては効果があるものの、動的にイベントが発生する状況下では、効果が見られないと言える。

6. 結論

本論文では、VANET を用いてドライバーの指定した任意の位置の画像を取得し、提供するリアルタイム画像カーナビシステムにおける画像配信に用いるための需要情報の推定精度の向上方式を提案し、提案方式のシミュレーション評価を行った。

シミュレーションの結果、提案方式は静的にイベントが発生する状況においては、イベントの発生回数の推定の精度向上に効果があるものの、動的にイベントが発生する状況においては、精度向上方式を用いない場合よりも精度が低く、動的なイベント発生には対応できていないことがわかった。

今後の課題として、本論文で提案した方式を動的なイベント発生に対応できるように検討することがあげられる。

謝辞 本研究は、科学研究費補助金課題番号 15H02689 及び 24650027 の助成による。

参考文献

- [1] VICS, 入手先 (<http://www.vics.or.jp/>) (参照 2017-02-08).
- [2] S. Ishihara, N. Nakamura and Y. Niimi: 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ビ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).

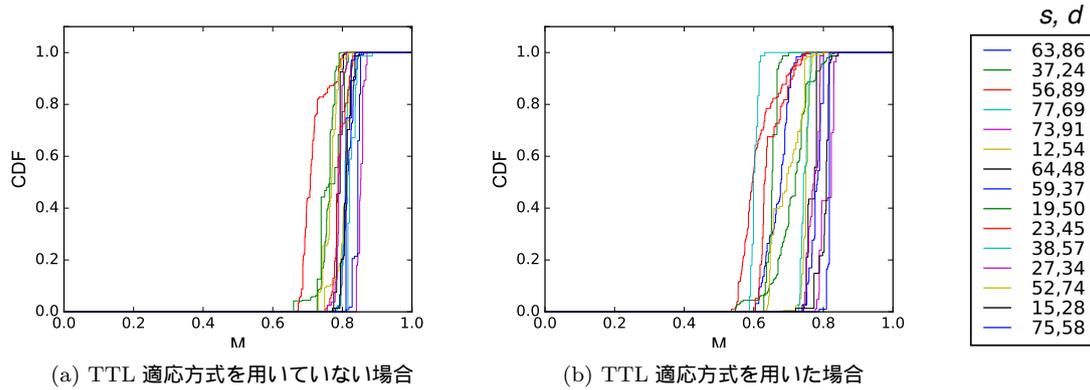


図 9 シミュレーション開始から 900 秒における M の CDF

- [4] 山田 暁裕, 石原 進: VANET における soft-state sketch を用いた位置依存情報の要求分布の効率的集約方法, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2016 論文集, Vol. 2016, pp. 616–623 (2016).
- [5] A. Yamada, and S. Ishihara: On the performance of a method for efficient aggregation of demands distribution for location-dependent information using soft-state sketch in VANET, Proceedings of The Ninth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking, Vol. 2016, No. 5, pp. 1–2 (2016).
- [6] P. T. Eugster, P. A. Felber, R. Guerraoui and A. Kermarrec: The many faces of publish/subscribe, ACM computing surveys (CSUR) 35.2, pp–114–131 (2003).
- [7] L. Leontiadis and C Mascolo: Opportunistic spatio-temporal dissemination system for vehicular networks, Proceedings of the 1st international MobiSys workshop on Mobile opportunistic networking. ACM, pp. 39–46 (2007).
- [8] C. Lochert, B. Scheuermann and M. Mauve: A probabilistic method for cooperative hierarchical aggregation of data in VANETs, Ad Hoc Networks, vol.8, No.5, pp. 518–530 (2010).
- [9] Space-Time Engineering, 入手先 <https://www.spacetime-eng.com/> (2017.02.05).
- [10] SUMO, 入手先 <http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-1213/> (2017.02.05).