

VANETにおける 位置依存情報に対す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に関する検討

山田 暁裕¹ 石原 進²

概要：車のドライバーにとって、自身の現在地から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交通状況を知ることは、経路選択をする上で有用である。筆者らは、ドライバーが興味のある位置をカーナビ等の車載機器に入力すると、車両がVANETを介して、その位置の画像等の位置に依存した情報(位置依存情報)を取得し、ドライバーに提供するシステムの実現に向けた技術開発を進めている。さらに、このシステムにおいて効率的に位置依存情報を配信するための手法として、位置依存情報に対する需要の地理的分布情報(Dmap)を車両間で共有させ、これに基づいて情報配信する戦略を提案し、これまでにDmapの共有アルゴリズムを提案してきた。本稿では、Dmapを用いた具体的な位置依存情報の配信アルゴリズムを提案する。

1. はじめに

車のドライバーは、自身の現在地から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交通状況を画像等によって視覚的に知ることができれば、自身にとってより最適な経路を選択できる可能性がある。筆者らは、ドライバーが興味のある位置(Point of Interest)をカーナビ等の車載機器に入力すると、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、その位置の画像等の位置に依存した情報(Location-Dependent Information: LDI)を取得し、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た技術開発を進めている。このシステムにおいて、LDIを要求する各車両がPoI付近の車両に向けて、個別に要求メッセージを送信し、PoI付近の車両が要求メッセージを受信する度にLDIを送信した場合、同時に同様のLDIが同じ場所に複数回送信される恐れがあり、通信資源を浪費する可能性がある。

筆者らは、このシステムにおいて低い通信トラフィックでLDIを配信するための手法として、Demand map ベースデータ配信手法の設計を行ってきた[1][2]。この配信手法では、車両はLDIに対する需要の地理的な分布情報(Demand map: Dmap)を保持し、Dmapに基づいて、需要の大きいLDIをそのLDIを要求する車両が多い地域へ配信する。

車両はDmapを共有するためにDmapの構成要素(Dmap Information: DMI)を車両間で交換するが、筆者らはこれまで、DMIを低い通信トラフィックで車両間で交換するために、DMIの効率的な配信方法を提案し、その評価を行ってきた。しかしながら、Dmapを用いたLDIの配信アルゴリズムに関しては、指針は提案されたが、詳細な設計は未だ行われていない。

車両がLDIを配信するにあたって、LDIはLDIを必要とする多くの車両に届けられることが望ましい。一方で、LDIを必要とする多くの車両に確実に届けるために、LDIを多くの車両を経由し、冗長性を持たせて配信すると、無駄な通信トラフィックが生じてしまう恐れがある。本稿では、無駄な通信トラフィックを削減しつつ、LDIを必要とする多くの車両にLDIを届けるためのDmapを用いたLDIの配信アルゴリズムを提案する。

2. Demand map ベースデータ配信手法

2.1 Demand map (Dmap)

Demand map (Dmap)は、LDIに対する需要の地理的な分布を表した情報である。Dmapでは、地域を複数の小さな領域に分割し、各領域に固有のIDを与える(図1(a))。ここで、LDIへの要求が発生した領域を要求元、要求されたLDIが生成される領域を要求先と定義する。Dmapでは、各要求元と要求先の組毎に需要の大きさを表す(図1(b))。例えば、図1(a)において、矢印の始点となる領域で、矢印

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

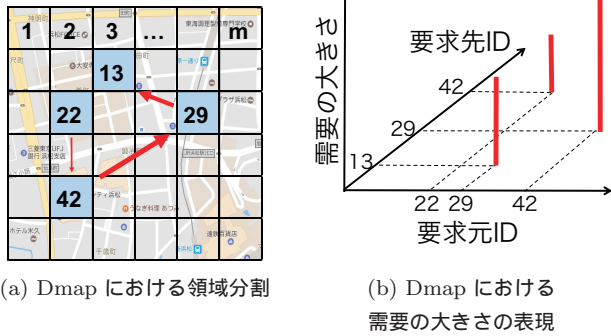


図 1 Demand map (Dmap)

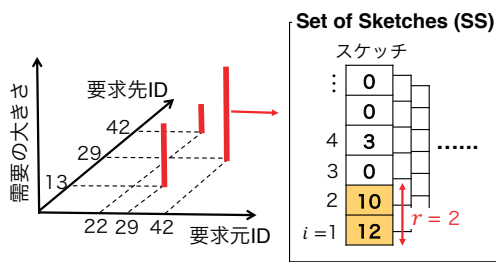


図 2 Dmap への Soft-state sketches の適用

の終点となる領域のLDIへの要求が発生し、矢印の太さがその需要の大きさを表すとすると、Dmapでは図1(b)のように要求元と要求先の組毎に需要の大きさを表す。

2.2 Demand map (Dmap) のデータ構造とDmapの共有

Dmap管理にあたって車両が保持するデータ量やDmapの管理にかかる通信トラフィックを減らすため、Dmapのデータ構造にはsoft-state sketches[3]を用いる[1][2]。Soft-state sketchesは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。各車両は、要求元と要求先の組ごとに複数のスケッチと呼ばれる配列を1組にしたもの(Set of Sketches: SS)を保持する(図2)。LDIを要求する車両は自身が現在走行する領域と同じ要求元を持ち、かつ自身が要求するLDIが生成される領域と同じ要求先を持つSSの中から1つスケッチを選択し、その要素*i*に $1/2^i$ の確率で要求のTTL(Time To Live)の初期値を入れる。TTLは時間とともにデクリメントされる。したがって、ある要求元・要求先の組において、多く要求が発生すればするほど、 $i = 1$ からの非零の値のランレングス*r*が長くなる。Dmapでは、このランレングスに基づいて、各要求元・要求先の組ごとの要求数を推定する。

Dmapを最新の状態に保ちつつ、車両間でDmapを共有するために、各車両は定期的に送信するビーコンにSSを幾つか付加して送信する。SSを受信した車両は自身が持つSSのうち、受信したSSの要求元・要求先の組と一致する組をもつSSと受信したSSをマージすることによって自

身が持つSSを更新する。各車両が持つDmapをより最新の状態に保ち、Dmapにおける実際の需要の再現性(Dmapの精度)を向上させるには、各車両が頻繁にSSを交換することが望ましい。しかしながら、各車両が頻繁にSSを送信すると通信トラフィックが大きくなってしまふ。そこで、筆者らはこれまで、通信トラフィックを抑制しつつ、Dmapの精度を向上させる戦略について提案し、その評価を行ってきた[2]。しかしながら、Dmapを用いたLDIの配信方法については未だ提案されていない。次章にて、Dmapを用いたLDIの配信手法を提案する。

3. Demand mapを用いた位置依存情報(LDI)配信手法

本手法では、VANETのみを用いてLDIを配信することを想定している。車両がLDIを要求する車両にLDIを配信する際、多くの車両がLDIを転送すると、車両密度が低い場合においてもLDIがLDIを要求する車両に届く可能性が高くなる。一方で、素直に全ての車両がLDIを送信するとLDIを要求元車両に届けられない、要求元車両がいる地域から遠い場所でもLDIが送信される可能性がある。また、車両密度が高い場合には、パケットの衝突や輻輳によりLDIを届けられなかったり遅延が生じたりしてしまう。したがって、本手法では、LDIの無駄な配信を抑制しつつ、LDIを要求する車両にLDIを確実に届けることを目指す。

各車両はLDIを他車両から受信した時、または自身がLDIを生成した時、または自身が他車両からSSを受信したことによって自身のDmapの一部の要求元・要求先の組において要求数が増えた時に、LDIを送信する。LDIを送信する車両は、自身が受信した、または保持している各LDIについてLDIの送信確率を計算し、その送信確率にしたがって送信する。本章では、LDIの送信確率について述べた後、LDIを送信するタイミングについて述べる。

3.1 位置依存情報(LDI)の送信確率

各車両は、以下の3つの観点に基づき、自身が受信した、または保持しているLDIを送信するか否かを判定する際に用いる送信確率を算出する。

- 要求数
各領域から要求先領域に対して発生した要求数を要求元・要求先の組ごとの需要の大きさとする。本手法では、需要の大きいLDIを優先して送信するものとする。
- 転送車両と要求元・要求先との位置関係
車両が要求先領域から要求元領域へLDIを配信するにあたって、要求先領域から要求元領域への地理的な最短経路に近い位置に存在する車両のみがLDIを転送すれば、より短い時間かつ低い通信トラフィックでLDI

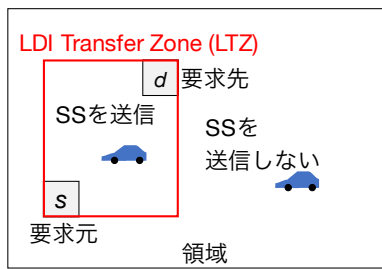


図 3 LDI Transfer Zone (LTZ)

を要求車両へ届けられると考えられる。また、要求先領域や要求元領域から遠い位置に存在する車両が LDI を転送したとしても、要求元領域まで LDI が届けられない可能性が高いと考えられる。そこで本手法では、要求先領域と要求元領域を結ぶ線分を対角線とする矩形領域を LDI の配送領域 (LDI Transfer Zone: LTZ) (図 3) のように定義し、要求先領域で生成された LDI は、LTZ 内の車両のみによって要求元領域まで配送されるようにする。

● 隣接車両数

車両密度が高い時に、全ての車両が LDI を送信するとパケットの衝突や輻輳が起こり得る。また、隣接した複数の車両は同様の LDI を持っている可能性が高いにも関わらず全ての車両が LDI を送信すると、同様の LDI が必要以上に送信され、通信帯域を浪費してしまう恐れがある。そこで本手法では、各車両において、隣接車両が多い時ほど LDI を送信する確率を低くする。

以上の観点に基づき、各車両は以下のようにして送信確率を決定する。車両 v における隣接車両数が N_v の時、領域 z で生成された LDI l を車両 v が送信する確率 p_l を以下の式によって算出する。

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

ただし、 $0 < \alpha, 0 < \beta \leq N_v$ とする。ここで A は全ての要求先・要求元の組の集合である。また、 B は LDI l の生成元を d 、任意の要求元を s 、 s と d から構成される LTZ を $Z_{s,d}$ とし、車両 v の位置を x_v とした時に、 $x \in Z_{s,d}$ をみたく組の集合である。 D_j と D_i は、それぞれ要求先・要求先の組 j と i における要求数である。LDI は生成された時に有効期限が与えられ、有効期限が切れた LDI は破棄されるため、生成されてから有効期限より長い時間が経過した LDI は送信されない。

この式は、最小値を求める部分の右側では、分母を全要求の要求数の合計とし、分子をある LDI l を要求する要求の要求数の合計とすることで、LDI l の相対的な要求数を算出する。さらに、求めた最小値に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、少ない時には LDI を積極的に送信するよ

うにする。以上のようにすることにより、前述の 3 つの要素を考慮した LDI の送信を行う。

なおその他、送信確率の決定にあたり、広範囲の車両密度分布や車両の移動経路の情報を利用することが考えられる。

3.2 LDI を送信するタイミング

本手法において、各車両は以下の場合に、式 (1) により得られる送信確率にしたがって LDI を送信する。

- LDI を作成した時
 車両は LDI を作成した時、自身が保持する Dmap を参照し、送信確率を求め、作成した LDI を送信する。
- LDI を受信した時
 車両は LDI を受信した時、送信確率にしたがって LDI を転送する。この時、LDI を受信して即座に 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得る。従って、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転送する。また、ある LDI の転送を待機している間に他の LDI を受信した場合は各 LDI における送信の優先度を決定し、その優先度に従って送信する。送信確率が高い LDI ほど優先度が高いものとする。
- 他車両から SS を受信したことによって、自身の Dmap 中の一部の要求元・要求先の組において要求数が増えた時
 他車両から SS を受信した時に自身の Dmap にその SS を反映させることで自身の Dmap が更新されることがある。その時に、要求の数が増えた要求元・要求先の組が存在する場合、前回の送信判定の際に送信されなかった LDI の送信の優先度が高くなった可能性があるため。そこで自身が持つ LDI の中から自身の Dmap を更新した SS の要求先と同じ領域で生成された LDI を選択し、その LDI の送信確率を求めてその LDI を送信する。

4. 結論

本稿では、通信トラフィックを抑制して LDI を車両に届けるために、位置依存情報 (LDI) に対する需要の地理的分布情報である Demand map (Dmap) を用いた LDI の配信手法を提案した。本手法では、車両は自身が持つ Dmap から得られる情報に基づいて、相対的に需要の大きい LDI を優先的に送信する。また、要求元から要求先への最短経路となり得る経路を含む領域を LDI Transfer Zone (LTZ) とし、車両は自身が持つ各 LDI に関して要求元・要求先の組に対応する LTZ 内に自身が存在する場合にのみ LDI を送信する。LTZ に関しては、実際の複雑な道路網を考慮した場合、実際の車両密度や LDI の要求先領域から要求元領

域までの車両のモビリティを考慮する必要があり、それは今後の検討課題である。さらに本手法では、隣接車両が少ないほど、車両がLDIを送信する確率が高くなるように設計した。このようにすることで、通信トラフィックを抑制し、また隣接する車両同士が同様のLDIを抑制することを狙う。隣接車両数の考慮に関しては、隣接車両数だけでなく、ある交差点から次の交差点までの間を走行する車両の密度を考慮に入れて送信確率を決定することで、より車両の分布全体を考慮したLDIの送信を行える可能性がある。

LDIの送信確率の算出に反映させる要素には、改善の余地がある。例えば、1ホップ前にLDIを送信した車両との位置関係や、他車両が保持するLDIに関する情報を利用することなどが挙げられる。今後は、提案手法の単体評価及び、SSの送信戦略を合わせた評価を行う予定である。

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] 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).
- [2] Yamada, A. and Ishihara, S.: “Data Exchange Strategies for Aggregating Geographical Distribution of Demands for Location-Dependent Information Using Soft-State Sketches in VANETs,” Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2017 IEEE 31st International Conference on. IEEE, 2017, pp.728-736.
- [3] Lochert, C., Scheuermann, B. and Mauve, M.: “A probabilistic method for cooperative hierarchical aggregation of data in VANETs,” Ad Hoc Networks, vol.8, No.5, pp. 518-530 (2010).