

要求頻度の変化に対応する車々間通信による 適応的位置依存情報配信手法の評価

中村 暢宏¹ 新美 雄也¹ 石原 進¹

概要：車々間通信を用いて、事故や渋滞などの位置に依存した情報（位置依存情報）を車両間で共有し、運転者支援を行う場合を想定すると、運転者毎に必要な情報は異なり、オンデマンドで運転者に情報を配信できる方法が必要とされる。特定の位置に関する情報に対して運転者が問い合わせを行うことを想定すると、特定の領域を走行する複数の車両から同じ場所に対する要求が連続的に発生することが予想される。単純なプル型のデータ配信手法を用いて情報を保持する車両がそれぞれの要求を処理しようとする、個々の要求に対しそれぞれ応答を返送することになり、応答によるトラフィックで通信資源が浪費されてしまう。このような問題を解決するためには、要求の地理的・時間的分布に応じて情報を配信することのできる手法が必要となる。筆者らは既に、車両が生成した位置依存情報を、ビーコンとともに拡散される要求に応じて情報発生位置と要求元間の地域内で配信し続けることで、連続して発生する要求に対して確実かつ低トラフィックで応答を提供する方法 Live VANET CDN を提案している。本稿では、道路網の複数の地点で要求が発生し、時間とともに要求の発生地点の分布が変化する状況下で提案手法を用いた場合のシミュレーションを行い、Live VANET CDN は、情報を配信する領域を一律に定めて情報配信する場合に比べ、低トラフィックで情報を必要とする車両に対し情報を配信できることを確認した。

1. はじめに

車両間で動的に無線マルチホップネットワークを構築する車々間アドホックネットワーク（Vehicular Ad hoc Network: VANET）では、既存の固定インフラを用いることなく車両間で通信を行うため、カバー領域の制限がなく柔軟にネットワークを構築することができる。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、例えば車載カメラによる撮影写真、動画）を車両間で共有し、運転者支援を行う「リアルタイム画像カーナビシステム」の開発を進めている。本システムでは、ドライバーが興味のある位置（Point Of Interest: POI）を音声または手動操作でシステムに伝え、システムはPOIで撮影された写真をVANET経由で入手し、ドライバーに提供する。

同様の目的をもつシステムとして、パイオニアの「スマートループアイ」がある[1]。スマートループアイでは、あらかじめ用意された画像撮影用のポイントを通じた車両が撮影した画像を広域無線通信網を用いて収集してクラウド上に保存し、その場所に近づく車両にその画像を配信する。この方法では、画像を送信する車両をサーバ側で制

御できるので、サーバへのトラフィック集中を避けることが出来るうえ、サーバ側から車両に送信するデータの量も制御できるので、スケーラビリティに優れている。その一方、任意の場所に関する問い合わせには、対応することはできない。これに対し、筆者らの提案するリアルタイム画像カーナビではVANETを用いることで、任意の場所に関する問合せにも対応することが出来る。

運転者の望む位置に関する情報を提供するようなオンデマンド型のシステムを想定した場合、特定の位置に向け要求メッセージを送信し、要求に合致する情報を保持する車両から応答を受けるプル型データアクセスの情報配信手法が考えられる。しかしながらVANETでは、車両の移動や障害物の影響により、ネットワークトポロジが頻繁に変化するため、車両間の接続性は保証されない。そのため要求・応答メッセージが配送途中で失われ、車両が情報を取得できなくなる可能性がある。また、運転者が事故発生を示唆する光景を目にしたり、渋滞に巻き込まれた等の状況下では、特定の領域を走行する複数の車両から、同じ場所に対する要求が連続的に発生することが予想される。同様の要求が多数発生した場合に、単純なプル型を用いて個々の要求を処理しようとするれば、要求を満たす情報を保持する車両が各要求に対しそれぞれ応答を返送することになる。すると、応答によるトラフィックが増加し、通信資源

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

を浪費してしまう。そのため、要求の地理的、時間的分布に応じて位置依存情報を配信できる手法が求められる。

筆者らは既に文献 [2] において、位置依存情報に対する需要の地理的分布に応じて情報を配信する領域（情報配信領域）を調節し、情報を必要とする車両の存在する地域で情報配信を行う手法 Live VANET CDN を提案している。文献 [2] では、シミュレーション評価の結果、Live VANET CDN は、予め定められた範囲を情報配信領域とする手法よりも、低トラフィックかつ確実に情報要求車両に対し情報を配信できることを明らかにした。これらの評価では、情報を望む車両が要求を生成する位置を予め定められた 1 地点のみとしており、道路網の複数の位置から要求が発生する場合の評価が行われていない。そこで本稿では、道路網の複数の地点から要求が連続的に発生する場合を想定し、Live VANET CDN を改良した上で、想定する状況下でのシミュレーションを行い、性能評価を行う。

2. 関連研究

VANET における位置依存情報の配信に関して様々な取り組みが行われている。情報配信手法はプッシュ型とプル型の二つに分類されるが、これまでに提案されている多くの手法はプッシュ型である。プッシュ型の情報配信手法には、事故発生に関する情報を周辺車両に通知するシステム、駐車場の空き情報や、各道路の混雑状況を広範囲に配信するシステムなどに向けた手法が提案されている [3][4][5]。これらのシステムでは、車両は自身で観測した情報や他車両より受信した情報をブロードキャストで周辺の車両に対し配信する。より広範囲の情報を車両間で共有しようとすると、各車両がやり取りする情報の量が増えるため、これらのシステムでは、多数の車両が発した情報を集約し、情報配信に伴うトラフィック量を削減している。しかしながら、これらのシステムでは、各車両は周辺の車両が情報を必要としているかに関わらずに情報を配信するため、我々の目指す情報配信とは大きく異なる。

佐合らの提案する手法 [6] では、情報を保持する車両が、周辺車両の走行予定経路を考慮し情報を配信することで、車両が将来的にアクセスする可能性の高い情報を配信する。この手法では、各車両が、対向車線上を走行する車両と遭遇した際に、自身の走行予定経路情報を送信する。走行予定経路情報を受信した車両は、走行予定経路に含まれる地点で生成された情報を保持しているかどうかを確認し、保持していた場合その情報を送信する。しかしながら、車両がこれから向かう先に関する情報であっても、必ずしも有用な情報であるとは限らない。一例を挙げれば、燃料が十分にある車両に対し、近隣のガソリンスタンドのガソリンの価格の情報を配信しても無駄である。

Leontiadis らの提案する情報配信手法 [7] では、各車両の走行予定経路情報に加え、追加情報（ガソリン残量情報

等）を車両間で交換することにより、車両により有用な情報を配信する。各車両は、他の車両と遭遇した際に、走行経路情報と追加情報を交換する。情報を保持する車両は、走行経路情報と追加情報を基に、情報を配信するかどうかを決定する。また、車両間で交換される追加情報には、自身が最近受信した情報のメタデータが記載されている。そのため、情報を保持する車両は、周辺の車両がどのような情報を既に保持しているのかを把握でき、同じ情報を送信することを回避できる。

Zhang らの提案する Roadcast [8] では、情報を保持する車両が、周辺車両から送信されるクエリに応じて情報を配信する。Roadcast では、各車両が保持する情報にはその情報を表す複数のキーワードが含まれている。情報を欲する車両は、望む情報に関するキーワードが記載されたクエリを生成し、ブロードキャストする。クエリを受け取った車両は、ベクトル空間モデルを用いて自身の保持する情報とクエリとを比較し、最もクエリに関連する情報を返送する。この手法は、情報要求車両の望む情報を配信するという点では我々の目指す情報配信に近い。しかしながら、情報要求車両が情報を保持する車両に遭遇しなければ情報を取得することができないため、運転者の望む情報が遠く離れた地点に存在する場合には、情報を取得することが困難である。

屋代らは Mobile Agent (MA) を用いて、車両間で位置依存情報を共有するプル型の情報配信手法 [9] を提案している。MA とは、自律的に移動先を選択し、移動先で移動前の状態からの処理を再開できるプログラムである。この手法では、MA の動作する車両が周辺の情報を収集し、その車両が特定の地域から去る際に、その地域内の別の車両へと MA が移動する。情報を欲する車両は特定地域の MA に対し Geocast を用いてクエリを送信し、MA からの応答を受けることで情報を取得する。しかしながら、車両密度が低い場合には、MA が他の車両に移動することができずに特定の地域から去ってしまう可能性がある。特定の地域に MA が存在しなければ、情報要求車両が情報を取得することが困難となる。また、時間の経過とともに情報要求車両はクエリ送信した位置から遠ざかるため、MA がクエリと同様に Geocast で応答を返送すれば、応答が情報要求車両に届かない場合がある。

GeoVanet [10] では、プル型データアクセスにおいて情報要求車両が情報保持車両からの応答を回収する方法が提案されている。この手法では、情報要求車両は、予め情報を回収する位置を設定し、その情報を要求メッセージに記載して送信する。要求を満たす情報を保持する車両は、要求メッセージを受信すると、Store-Carry-Forward によって情報を情報回収地点まで運ぶ。情報要求車両は、自身で設定した情報回収地点に行き、その地点で情報を回収する。しかしながら、情報要求車両の望む情報がその車両から遠

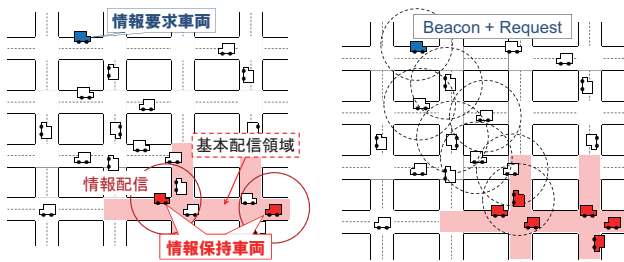


図 1 領域内での情報配信

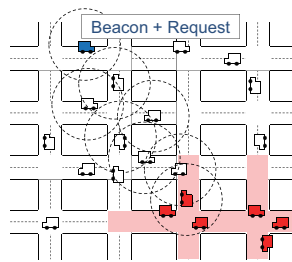


図 2 要求の配信

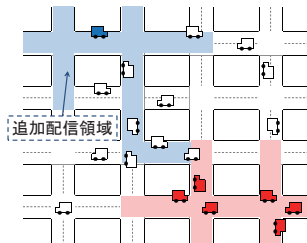


図 3 情報配信領域の調節

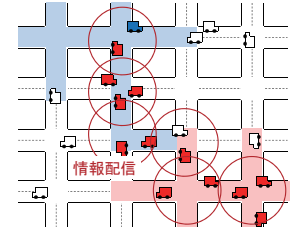


図 4 調整された領域内での情報配信

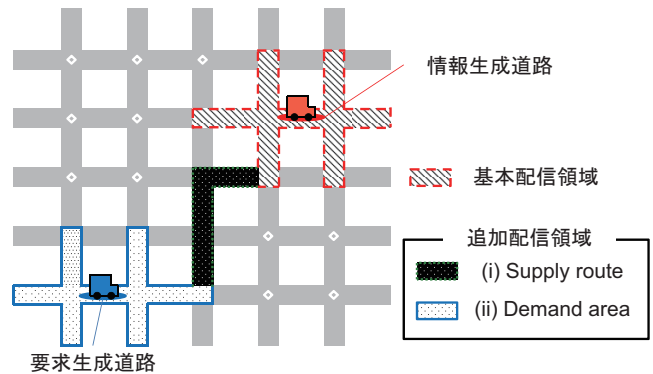


図 5 情報配信領域

い位置にある場合には、情報を得るまでに時間がかかるだけでなく、配送途中で情報が失われてしまう可能性がある。

3. Live VANET CDN

Live VANET CDN は、プッシュ型とプル型を組み合わせ、位置依存情報を望む車両に対してその情報を配信する。情報を必要としない車両に対して配信してしまうことを避けるため、位置依存情報を必要とする車両が存在する領域内のみでプッシュ型でその情報を配信する。位置依存情報を保持する車両は、情報要求車両から送信された要求メッセージを基に、道路網のどの地域で情報が必要とされているのかを把握し、情報の配信される領域（情報配信領域）を調整する。本手法は、情報要求車両が望む情報を手にするために要求メッセージを送信するという点では、プル型のアプローチであるが、情報保持車両が要求メッセージを受信した際に、情報要求車両に対し応答メッセージを返送しないため、単純なプル型データアクセスとは異なる。応答を返送する代わりに、要求メッセージに応じて情報配信領域を調整し、その領域内で複数の車両が繰り返し情報を配信することで、情報要求車両が存在する地域まで情報を運ぶ。情報要求車両は、自身の周囲の地域で情報が配信されるため、短い時間で求めた情報を獲得できる。

情報配信領域は、需要に応じて調整されるため、各位置依存情報は、それが必要とされていない地域で配信されることはなく、無駄な情報配信が抑制される。本手法では、情報配信領域内で各車両がどのようにして情報を配信するかは規定しておらず、様々な情報配信手法を用いることができる。例えば、先行研究である RD 方式 [11] を用いれば、少ない送信回数で多くの車両に対し効率的に情報を配信できる。

3.1 情報配信の流れ

本手法では、車両によって車載カメラ画像等の位置依存情報が生成されると、その情報はあらかじめ決められた範囲内で繰り返し配信され続け、その有効期限の間、情報が生成された道路周辺を走行する車両に保持される（図 1）。位置依存情報を欲する車両は、自身が現在走行している道路の識別子（道路セグメント ID）と POI を含む要求メッセージを生成し、ビーコンに付加してブロードキャストする。ビーコンに付加された要求メッセージを受信した車両は、その要求を自身が次に送信するビーコンに付加して送信する（図 2）。やがて、要求メッセージが、目的とする情報を保持する車両に達すると、その車両は要求の発生位置の周辺ならびに要求の発生位置と位置依存情報の生成位置を結ぶ経路に沿って情報配信領域を調整する（図 3）。以後、要求メッセージおよび位置依存情報の有効期限の間、情報を保持する車両が情報配信領域内で情報配信を繰り返す（図 4）。

3.2 情報配信領域

本手法では、位置依存情報を保持する車両が、図 5 に示す 2 種類の情報配信領域内で情報を配信する。

3.2.1 基本配信領域

基本配信領域は、位置依存情報が生成された道路セグメントから数ブロックの範囲内に存在する複数の道路セグメントから構成される。車両が位置依存情報を生成した際にこの基本配信領域を設定し、領域内の道路セグメントの ID のリストを位置依存情報に付加する。基本配信領域は、情報の生成された道路セグメントによって異なる領域が設定される。各車両は、位置依存情報を参照することでその情報の基本配信領域を常に確認することができる。基本配信領域は、対応する位置依存情報の有効期限が切れるまで有効である。

この領域内での情報配信は、位置依存情報を、その情報の生成された位置周辺に留め続けることを目的としている。この領域内で繰り返し情報配信を行えば、情報を生成した車両がこの地域を去った後にも、情報は領域内の車両

によって保持され続けるため、情報を望む車両は特定の位置を宛先として要求をメッセージを送信することで、情報にアクセスすることができる。

情報を特定の地域に留めるためには、情報配信領域の大きさが重要である。配信領域が狭い場合には、十分な情報配信が行われず、情報が特定の地域から失われてしまう。他方、配信領域が広い場合には、情報を特定の領域に留めることは容易になるが、多くの車両が領域内で情報配信を行うことにより、過剰に情報が配信され、通信資源が浪費される恐れがある。最適な情報配信領域の大きさは道路構造や車両密度などの条件に影響を受け、常に変動するため一律に定めることは難しい。そのため、本稿でのシミュレーションでは、位置依存情報が生成された道路セグメントから 2 ブロック内に存在する道路セグメントを基本配信領域としている。

3.2.2 追加配信領域

追加配信領域は、需要の地理的分布に応じて基本配信領域から拡張される領域である。この領域は、供給路 (Supply Route) と要求地域 (Demand Area) によって構成される。

- 供給路 (Supply Route):

供給路の役割は、位置依存情報を基本配信領域から情報を必要としている車両の存在する地域まで運び出すことである。供給路は、要求メッセージの生成された位置と位置依存情報の生成された位置を結ぶ最短経路上に位置する道路セグメントによって構成される。ここでの最短経路は、VANET での配送経路のコストを踏まえ、道路長を基に計算されるものとする。

- 要求地域 (Demand Area):

要求地域の目的は、情報要求車両が存在する位置の周囲の地域で情報を配信することである。この地域で情報を配信することにより、情報要求車両のみならず、将来的に情報を欲するかもしれない車両に対し情報を予め配信することができる。要求地域は、要求メッセージが生成された道路セグメントから、数ブロックの範囲内に存在する複数の道路セグメントによって構成される。

追加配信領域も基本配信領域と同様に、領域内の道路セグメントの ID が位置依存情報に記載される。ただし、既に要求メッセージの生成されなくなった地域で情報が配信されつづけることを防ぐため、追加配信領域の道路セグメントには個別に有効期限が設定され、有効期限が切れた道路セグメントは位置依存情報からその ID が取り除かれる。

3.3 要求の配信

情報要求車両が情報を取得するためには、情報を保持するいずれかの車両に対し、自身の要求を伝え、望む情報の配信領域を調整してもらう必要がある。筆者らの想定する環境では、各車両はどの車両が特定の位置依存情報を保持

しているのかを知らないため、多くの車両に要求メッセージを配信し、情報を保持するいずれかの車両まで要求メッセージを到達させる。

ある位置に関する情報を欲する車両は、要求メッセージを生成する。この要求メッセージには、自身の車両 ID、要求メッセージの生成された道路の ID と要求先の道路 ID (POI)、要求の生成時刻と有効期限が記載される。要求メッセージを生成後、情報要求車両は定期的に発するビーコンに要求メッセージを付加し、ブロードキャストする。要求メッセージが付加されたビーコンを受信した車両は、それ以降送信するビーコンにその要求メッセージを付加し配信する。要求メッセージを受信した車両は、要求メッセージの有効期限が切れるまでその要求メッセージを保持し続け、自身のビーコンに要求メッセージを付加し続ける。

車両が複数の要求メッセージを保持する場合には、その全てをビーコンに付加し送信する。その際、宛先及び生成道路の ID が同じ要求メッセージを複数保持していた場合、最新のもののみが付加され、それ以外は破棄される。

3.4 情報配信領域の調整

Live VANET CDN では、位置依存情報を保持する車両が、他の車両から送られてきた要求メッセージに基づいて情報配信領域を調整する。ビーコンに付加された要求メッセージを受信した車両は、要求メッセージの宛先道路 ID を確認し、自身がその宛先道路で生成された位置依存情報を保持しているかを調べる。該当する位置依存情報を保持していた場合、その位置依存情報の配信領域に要求メッセージの生成道路 ID が含まれているかを調べ、含まれていなければ位置依存情報の配信領域を調整する。車両は、受信した要求メッセージの生成道路 ID と位置依存情報の生成道路 ID から追加配信領域を求め、その領域内の道路セグメントの ID を位置依存情報に記載する。また、要求メッセージの生成時刻を基に、新たに追加配信領域とする道路セグメントの有効期限を設定し、道路セグメントの ID とともに位置依存情報に記録する。

既に要求メッセージの生成道路 ID が情報配信領域に含まれていた場合には、既に設定されている追加配信領域内の道路セグメントの有効期限を、受信した要求メッセージの生成時刻に応じて更新する。各車両が位置依存情報を配信する際には、追加配信領域の各道路セグメントの有効期限を確認し、有効期限の切れた道路セグメントが見つければ、その ID を位置依存情報から消去する。

3.4.1 要求メッセージの更新

情報配信領域が調整されると、情報は情報要求車両が要求メッセージを生成した位置周辺で配信される。しかしながら、情報要求車両が要求メッセージを生成してから、情報が要求地域に到達するまでには時間がかかるため、要求地域に情報が運ばれた時に、既に情報要求車両が要求メッ

セージを生成した地点から遠く離れた地点にいる可能性がある。このため、情報要求車両は別の道路セグメントに移動した際に、自身の要求メッセージに記載された要求生成道路の ID を現在走行している道路の ID に更新する。情報要求車両が要求メッセージを更新した後は、更新後の要求メッセージをビーコンに付加し配信する。この要求メッセージを受信した車両は、要求の更新を反映させるため、同じ車両によって生成された要求メッセージを複数保持している場合、最新のもののみをビーコンに付加して送信し、それ以外を破棄する。情報保持車両が、更新された要求メッセージに基づいて情報配信領域を調整することにより、情報は要求生成車両が存在する地域まで運ばれる。なお文献 [2] では、情報要求車両が移動しても要求生成道路の ID を更新しないものとしていた。

3.5 要求の配信停止

情報要求車両が望んだ情報を獲得した後も要求メッセージを配信し続けた場合、何度も同じ情報を受け取る可能性があるため、情報要求車両が望んだ情報を入手した場合、それ以降に送信するビーコンに自身の要求メッセージを付加することを止める。

Live VANET CDN では、要求メッセージの生成された位置周辺で情報が配信されるため、同地域内の将来的に情報を必要とするかもしれない車両に対しても情報が配信される。そのため、ドライバーが特定の位置依存情報を望んだ際に、車両が既にその情報を保持しているという状況が起こり得る。このように既に情報を保持していた場合にも、車両は要求メッセージを生成しビーコンと共に送信する。追加配信領域の有効期限は、要求メッセージの生成時刻に応じて更新されるため、情報を望む車両が新たに要求メッセージを生成・配信することで、特定の地域が長い間情報配信領域となる。既に情報を保持している車両が要求メッセージを生成・配信するのは、同じ情報を欲する車両が情報を取得しやすくなるようにするためである。

前述のように既に情報を保持する車両が要求メッセージを配信し続けられ、その車両が何度も同じ情報を受け取る可能性がある。そのため、情報を望む車両は、その情報を既に保持していた場合、要求メッセージ生成後、一度だけ送信する。Live VANET CDN では、各車両は自身が要求メッセージを配信することを止めることはできるが、他の車両の要求メッセージの配信を制御できない。そのため、位置依存情報を欲する車両が一度でも要求メッセージを送信すれば、その要求メッセージは他の車両によって有効期限が切れるまで配信し続けられ、ネットワーク中に一定期間存在し続ける。

4. シミュレーション評価

本章では、道路網の複数の地点から要求が発生し、また時

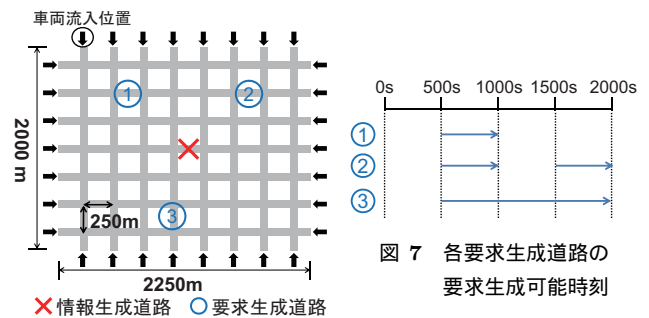


図 6 シミュレーション領域

間の経過とともに要求の発生地点の分布が変化する状況でシミュレーションを行うことで、Live VANET CDN の詳細な性能評価を行う。シミュレーションには、Space-Time Engineering 社のネットワークシミュレータ Scenargie[12] と交通流シミュレータ SUMO[13] を使用した。

4.1 シミュレーションモデル

4.1.1 シミュレーション領域と車両移動モデル

シミュレーション領域として 2000m × 2250m の領域に南北方向に 8 本、東西方向に 7 本の道路を 250m 間隔で配置したマップ (図 6) を用いた。全ての道路は片側 1 車線で、全ての交差点に青 31s, 黄 3s, 赤 26s の周期で状態が移行する信号機が設置されている。車両はシミュレーション領域の端にある 30 箇所の道路端点から一時間あたり 100 台が流入し、領域内を最高速度 50km/h で走行する。各車両は各交差点毎に直進率 70%, 右左折率それぞれ 15% で走行経路を選択し道路網内を移動する。

4.1.2 通信モデル

各車両は無線 LAN IEEE802.11p により通信を行う。通信速度は、3Mbps で、各車両の通信出力は、電波伝播モデルに ITU-R P.1411 を用いた場合に通信可能距離が見通しで約 100m となるように調節されている。

4.1.3 ビーコンの配信

各車両は 0.1s 毎に進行方向や現在位置を含むビーコンを生成しブロードキャストで送信する。ビーコンの Paket サイズは UDP と IP ヘッダを含め 250 バイトとし、有効期限を 0.2s とした。各車両は、周辺車両から受信したビーコンを基に隣接車両リストを生成、保持しており、ビーコンの有効期限が切れるか、既に隣接車両リストに登録されている車両から新たなビーコンを受信すると隣接車両リストを更新する。

4.1.4 位置依存情報の生成

シミュレーション開始から 500s 経過後、図 6 中の × 印で示された情報生成道路上を走行する車両が位置依存情報を生成する。今回のシミュレーションでは、各試行で一度しか位置依存情報は生成されない。位置依存情報の Paket サイズは UDP と IP ヘッダを含め 1000 バイトとし、シミュレーション中に有効期限切れが起きないように、十分

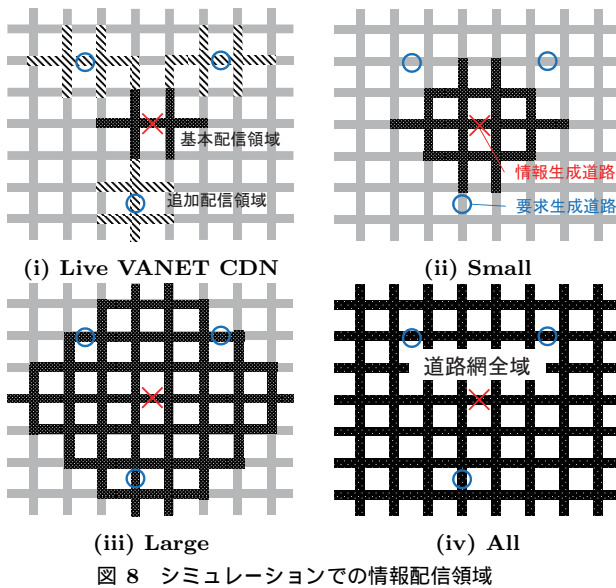


図 8 シミュレーションでの情報配信領域

に大きな値を有効期限として設定した。また情報保持車両が要求メッセージを受信した際に、位置依存情報に追記する追加配信領域内の各道路セグメントの有効期限は、受信した要求メッセージの生成時刻から 60s 後までに設定される。

4.1.5 要求の生成

図 6 中の① - ③の 3 箇所の道路セグメントを要求生成道路と設定し、この道路上を走行する車両が要求メッセージを生成する。車両が要求メッセージを生成後に直ぐにシミュレーション領域から去ることを避けるため、要求生成道路 1 では東方向、2 では西方向、3 では北方向に進む車両のみが要求メッセージを生成する。3 箇所の要求生成道路には、図 7 のように、その道路を走行する車両が要求を生成することのできる時刻が定められている。要求メッセージの有効期限 (TTL) は 240s で、有効期限が切れるまで各車両の発するビーコンに付加され続ける。

4.1.6 情報配信

Live VANET CDN では、情報配信領域内での情報配信方法について規定していない。本シミュレーションでは、先行研究である RD 方式 [11] を用いて配信領域内で各車両が情報を配信する。RD 方式は、信号待ちなどによって車両密度が増加することが期待される交差点において、選択された少数の車両が情報をブロードキャストすることで、少ない送信回数で多くの車両に情報を配信する手法である。情報生成車両、あるいは情報を受信し再配信を行うよう指定された車両 (次配信車両) は、情報配信領域内の交差点で情報をブロードキャストする。このとき、異なる交差点で再度配信するために、自身の隣接車両リストを参照し、車両の進行方向に基づき隣接車両をグループ化し、各グループにつき 1 台の車両を次配信車両として指定する。次配信車両として指定された車両は、それらが次に到達した交差点が配信領域内ならば情報を配信する。

4.1.7 情報配信領域

要求の時間的・地理的分布に応じて動的に情報配信領域が調整される場合の効果を検証するため、図 8 に示す 4 つの情報配信を設定した。

(1) Live VANET CDN

情報生成道路から 2 ブロック内に存在する道路セグメントを基本配信領域とし、要求メッセージの生成された位置及び更新された位置に応じて情報配信領域が調整される。図 8 : (i) は 3 箇所の要求生成道路に向けて配信領域が調整された場合を示している。実際には、情報要求車両が要求メッセージを更新することで、複数の追加配信領域が設定されるため、さらに広い地域が情報配信領域となる。

(2) Small

情報配信領域内に要求生成道路が含まれないように、情報生成道路から 3 ブロック内に存在する道路セグメントを情報配信領域としたもの。

(3) Large

情報配信領域内に全ての要求生成道路が含まれるように、情報生成道路から 5 ブロック内に存在する道路セグメントを情報配信道路としたもの。

(4) All

道路網中の全ての道路セグメントを情報配信領域としたもの。

Live VANET CDN の性能は、車両の移動に大きく影響を受けるため、(i)-(iv) の情報配信領域毎に 2000s のシミュレーションを異なる車両移動軌跡情報を用いて 7 回行った。

4.2 評価指標

以下の評価指標について評価を行った。

- 情報取得成功率
 要求を生成した車両が要求を生成してから、要求の TTL 切れまでに位置依存情報を取得出来た割合。要求を生成した際に既に求める情報を保持していた場合には、情報の取得に成功したとして情報取得成功率を計算する。
- 配信トラフィック
 生成された位置依存情報のブロードキャスト回数。
- 情報取得時間
 要求を生成した車両が要求を生成してから、位置依存情報を取得するまでに要した時間。要求を生成した際に既に求める情報を保持していた場合、0s とする。

4.3 シミュレーション結果と考察

表 1 にそれぞれの情報配信領域で情報配信した場合の情報取得成功率と配信トラフィックを示す。それぞれの値は、7 回のシミュレーションの平均値である。(iv) の道路網全域を情報配信領域とする場合が、最も情報取得率が高

表 1 情報配信領域毎の情報取得成功率と配信トラフィック

情報配信領域	情報取得率	配信トラフィック
(i) Live VANET CDN	0.963	1373
(ii) Small	0.797	1889
(iii) Large	0.978	5346
(iv) All	0.979	6495

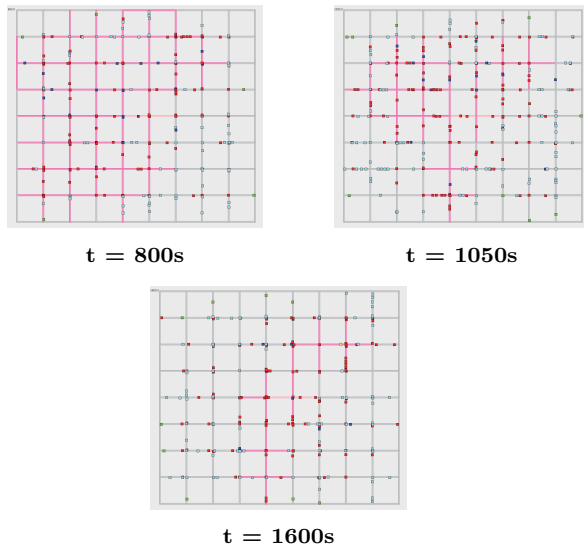


図 9 Live VANET CDN の情報配信領域の変移

く、配信トラフィックも多いという結果となった。この値が今回のシミュレーションの上限値といえる。情報取得率が 1 に満たないのは、情報が十分に配信されていない状況下で、要求を生成をした車両が、要求生成直ぐにシミュレーション領域から去ったためだと考えられる。(ii) の情報配信領域内に要求生成道路が含まれない場合、最も低い情報取得率となった。(ii) の場合、情報配信領域内に要求生成道路が含まれていないが、3 箇所の要求生成道路と配信領域は近い位置に存在する。そのため、要求生成車両の多くが配信領域内に侵入し、約 8 割の車両が情報の取得に成功した。

提案手法の (i) と情報配信領域内に要求生成道路が含まれている (iii) では、どちらも上限値に近い情報取得率を達成している。しかしながら (i) と (iii) の配信トラフィックには大きな差がある。

今回のシミュレーションでは、要求メッセージを生成する道路は 3 箇所に限られているが、要求生成車両ごとの走行経路は異なる。Live VANET CDN では、要求メッセージが生成された位置及び更新された位置を基準として情報配信領域を調節するため、要求生成車両が要求メッセージを更新することによって、広い地域が情報配信領域となってしまうことがある。図 9 は Live VANET CDN を用いた場合のシミュレーションのスナップショットである。同図中のピンク色の地域がそのシミュレーション時刻での情報配信領域を表している。シミュレーション時刻が 800s の時には、広範囲が情報配信領域となっていることがわかる。

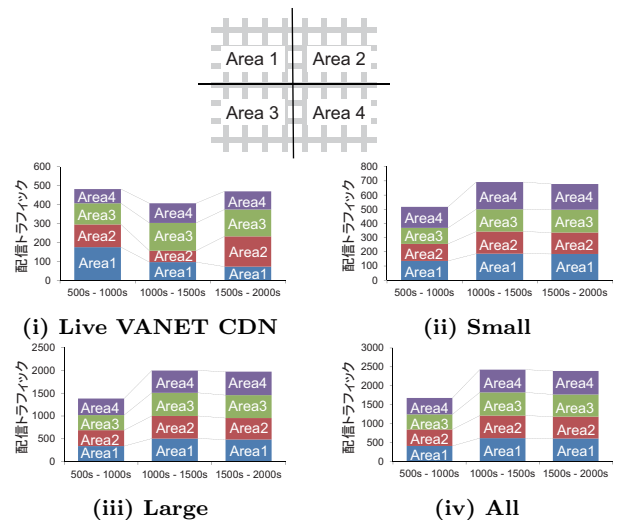


図 10 500s 毎の各地域の配信トラフィック

この時点では、情報配信領域 (ii) と同程度の範囲の道路セグメントが情報配信領域となっている。シミュレーション時刻が 1050s の時には、800s の時と比べて、配信領域が狭くなっている。Live VANET CDN では、時間的に連続して要求メッセージが発生するほど、その要求メッセージの生成された位置は情報配信領域であり続ける。要求を生成した車両は、要求の生成した位置付近で情報が配信されているため、要求を生成後に直ぐに情報を得ることができる。位置依存情報を取得した後は、要求の配信が停止されるため、情報の更新によって新たに情報配信領域が広がることなく。シミュレーション時刻 1600s の時には、情報配信領域が更に狭まっている。この時刻には、情報生成道路 1 では要求が発生していない。そのため、要求の発生している要求生成道路 2 と 3 の周辺の地域のみが情報配信領域となっている。

図 10 に、シミュレーション領域を 4 分割した各地域の、シミュレーション時刻 500s から 500s 毎の配信トラフィックを示す。Live VANET CDN を除く (ii)-(iii) の情報配信領域の場合、4 つの地域の配信トラフィックはほぼ等しい。それに対し、Live VANET CDN では、時間毎に 4 つの地域の配信トラフィックが異なる。Area1 の配信トラフィックは、時間の経過とともに減少していることがわかる。Area2 の配信トラフィックは、減少した後、増加している。Area1 内には要求生成道路 1 があり、Area2 内には要求生成道路 2、Area3 内には要求生成道路 3 がそれぞれある。図 7 のように、500s-1000s の時間には、全ての要求生成道路で要求が発生し、1000s-1500s の時間には、要求生成道路 3 のみで要求が発生する。そして 1500s-2000s の時間には、要求生成道路 3 と 2 で要求が発生する。つまり、Live VANET CDN は、要求の発生に応じて情報を配信しており、要求が発生していない地域での無駄な情報配信を抑制できている。

図 11 は、各情報配信領域で情報配信した場合の情報取得時間を示している。縦軸は、ある情報取得時間までに情

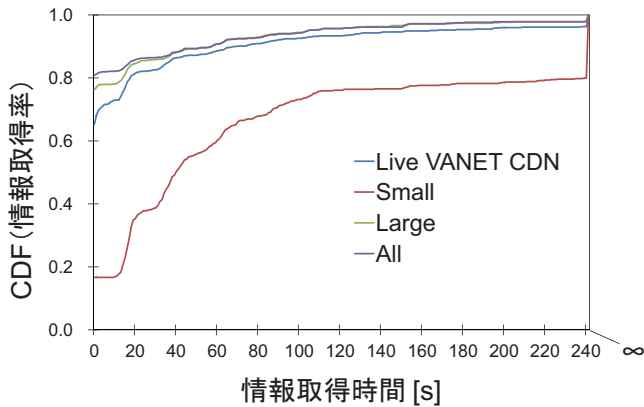


図 11 情報取得時間

報を取得できた車両の割合である。情報配信領域 (ii) は、情報要求車両が情報配信領域に侵入しなければ情報を取得できないため、他の配信領域に比べ情報取得までに長い時間がかかっている。(ii)を除いた3つの配信領域では、情報取得時間が0sで多くの車両が情報を取得している。要求生成道路の付近で情報配信を行うことにより、将来的に情報を必要とする可能性のある車両に対しても情報配信ができたといえる。

Live VANET CDN は、要求の地理的・時間的分布に応じて情報配信領域を調節することで、低トラフィックかつ確実に情報を望む車両に情報を配信できているといえる。

5. まとめ

本稿では、文献 [2] で提案した位置依存情報に対する需要の地理的分布に応じて情報を配信する領域を調節し、情報を必要とする車両の存在する地域で情報配信を行う手法 Live VANET CDN の詳細な性能評価を行った。これまで、情報に対する要求が道路網中の一点から連続して発生する状況下において、Live VANET CDN を用いることで、位置依存情報を望む車両に対し、低トラフィックかつ確実に情報を配信できることを確認していたが、本稿では、複数の地点から要求が発生し、かつ時間とともに要求の発生地点が変化する状況下での評価を行った。Live VANET CDN を用いて位置依存情報の配信される領域を動的に調整することで、情報を望む車両の存在しない地域での情報配信が抑制され、単純に広い範囲を情報配信領域とする場合と比べ、低トラフィックで情報を望む車両に対し情報を配信できることを確認した。

今後、要求だけでなく位置依存情報も複数の地点で発生する状況下でシミュレーションを行い性能評価を行う必要がある。また、本稿のシミュレーションで配信される位置依存情報は1パケットで送信できる程度の非常に小さなものであったが、将来的には画像データ等の大きな情報の配信を目指している。そのため、1パケットで送信できない大きなデータを配信するための機構を検討する必要がある。

謝辞 本研究において使用したネットワークシミュレータ Scenargie は Space-Time Engineering 社の製品である。また、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] パイオニア, スマートループアイ, http://pioneer.jp/carrozzeria/cybernavi/avic-vh0009hud_avic-zh0009hud/smartloop/ (2013年10月22日確認)
- [2] 中村暢宏, 新美雄也, 石原進, 要求頻度の変化に対応する車々間通信による適応的位置依存情報配信手法の提案, 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-66, No.31, pp.1-7 (2013).
- [3] Wischof L., Ebner A., Rohling H., Lott M., and Halfmann R.: SOTIS - a self-organizing traffic information system, in Proc. The 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference (VTC2003-Spring), pp.2442-2446 (2003).
- [4] 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.6-9 (2004).
- [5] Ibrahim K., and Weigle M.C.: Optimizing CASCADE data aggregation for VANETs, 5th IEEE International Conference on Mobile AdHoc and Sensor Systems (MASS 2008), pp.724-729 (2008).
- [6] Sago H., Shinohara, M., Hara T., and Nishio S.: A Data Dissemination Method for Information Sharing Based on Inter-Vehicle Communication, Proc. of Int'l Workshop on Heterogeneous Wireless Networks (HWISE 2007), pp.743-748 (2007).
- [7] Leontiadis I., Costa P., and Mascolo C.: A hybrid approach for content-based publish/subscribe in vehicular networks, Pervasive and Mobile Computing, Vol. 5, No. 6, pp. 697-713 (2009).
- [8] Zhang Y., Zhao J., and Cao G.: Roadcast: a popularity aware content sharing scheme in vanets, ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, Vol.13, No.4, pp.1-14 (2010).
- [9] Yashiro T.: A New Paradigm of V2V Communication services Using Nomadic Agent, Proceeding of 3rd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous System workshop, pp.1-6 (2006).
- [10] Delot T., Mitton N., Ilarri S., and Hien T.: Decentralized pull-based information gathering in vehicular networks using GeoVanet, Mobile Data Management (MDM), 2011 12th IEEE International Conference on, vol.1, pp.174-183 (2011).
- [11] 山中麻理子, 石原進, VANET における Geocast による要求を想定した位置依存情報の複製配布方法, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.1, pp.31-41 (2009) .
- [12] Space-Time Engineering, <http://www.spacetime-eng.com/> (2013年10月22日確認)
- [13] Krajzewicz D., Hertkorn G., Rössel C., Wagner P.: SUMO (Simulation of Urban MObility), An open-source traffic simulation, in 4th Middle East Symposium on Simulation and Modelling (MESM2002), pp.183-187 (2002).