

セルラ網ベースの車載カメラ画像提供システムのための 車車間通信によるメタデータの交換に基づく 類似画像のアップロード抑制手法の提案

松本 克也¹ 石原 進¹

概要: 車のドライバーに対し、ドライバーが興味のある地点やこれから行く予定の道路で撮影された画像を提供することは、経路選択や快適な運転の手助けとなるだろう。本論文では、携帯電話網のようなセルラ網を用いて車載カメラ画像を提供するシステムの実現のためのデータ転送手法について議論する。このシステムの実現方法として、各車両が画像を撮影するたびに画像をサーバにアップロードすることでサーバで画像を一括管理し、画像を望むドライバーに対してはサーバが適した画像を提供する方法が考えられる。しかしながら、このような単純な方法では、画像を撮影した車両が他の車両が類似した位置・時刻で撮影しているにも関わらず撮影した画像をサーバに送信する可能性があり、サーバ負荷の増加やセルラ網通信資源の浪費をまねく。本稿では、各車両が車車間通信を用いて撮影した画像のメタデータ（撮影位置、時刻、進行方向等）を送信することで他車両が撮影した画像の存在を把握し、他車両が最近画像を撮影していない箇所でのみ、画像の撮影とサーバへの撮影画像のアップロードを行うことでサーバの負荷を抑制する近隣情報利用型データ送信抑制手法を提案する。シミュレーションの結果、提案手法は指定位置で全車両が画像を撮影するたびに画像をサーバに送信する方式と比べ、36%のトラフィックでドライバーに画像を提供することができた。

1. はじめに

行きたい場所の現在の道路状況を知ることは、ドライバーが状況に応じた経路選択をするにあたって有用であろう。本稿では、ドライバーの望む場所で車載カメラにより撮影された画像をドライバーに提供することで、経路選択や快適な運転を支援することを目的としたシステムの実現を考える。筆者らは、ドライバーの行きたい場所の現在の画像を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」の実現を目指し、その実現手段の一つとして Vehicular Ad-hoc NETwork(VANET)を用いて個々の車両が生成する位置依存情報を共有する手法の開発を行っている [1][2][3]。リアルタイム画像カーナビでは、ドライバーが音声入力やタッチ操作を用いて興味のある地点を入力すると、図1のように入力された地点付近に向けて要求メッセージを送信し、要求先位置付近の車両に撮影された画像を返送させることでドライバーの望む画像を取得し、ドライバーにその画像を提供する。

リアルタイム画像カーナビの実現方法としてセルラ網を用いてサーバに画像を収集させ、ドライバーがある地点で

撮影された画像を所望する場合には、サーバにドライバーが望む撮影条件を送信し、該当する画像を返送させることで画像を取得する方法が考えられる。セルラ網を用い、車両がセンサや車載カメラにより収集した道路情報をサーバに送信することを前提とし、サーバから車両に向けて道路情報を配信する集中型のシステムは既に提案されているが [4][5][6][7]、サーバが全ての車両から定期的に情報を収集するためセルラ網の資源を浪費する恐れがある。また、車両が画像を撮影するたびにサーバに「この画像はサーバにアップロードする必要があるか」を問い合わせ、サーバから画像のアップロードを要請された場合にのみ車両が画像をサーバに送信する方法も考えられる。しかしながら、この方法では全車両が画像を撮影するたびにサーバに問い合わせをする必要があるため、サーバは多くの車両と定期的に接続することになり、サーバの処理負荷が大きくなってしまふ。そこで、ドライバーから求められていない地点で撮影された画像や、既にサーバにアップロードされている画像と撮影位置・時刻が近い画像のように、アップロードする必要が小さい画像を車両がサーバに送信することを避け、システムにかかる負荷を抑制する仕組みが必要となる。

本稿では、各車両が車車間通信を用いて撮影した画像の

¹ 静岡大学大学院 工学研究科 数理システム工学専攻

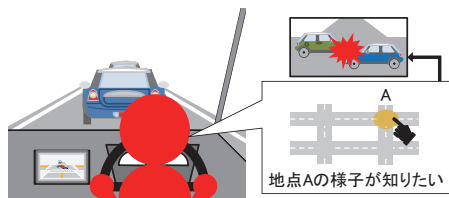


図 1 リアルタイム画像カーナビ概要図

メタデータ（撮影位置，時刻，進行方向等）を送信することで，他車両が撮影した画像の存在を把握し，他車両が最近画像を撮影していない箇所でのみ，車両が撮影した画像をサーバにアップロードすることでサーバの負荷を抑制する近隣情報利用型データ送信抑制手法を提案する．提案手法では，各車両が車車間通信によるメタデータの交換を基にサーバにアップロードする画像を選択することで，サーバに新たな負荷をかけることなく車両からの画像のアップロードを抑制するため，全ての画像をサーバで一括管理する方法よりもシステムのスケーラビリティを向上させることができる．また，この手法では，他の車両が既に類似した位置・時刻で撮影した画像をサーバにアップロードしている場合のみ車両は画像のアップロードを停止するため，画像を要求したドライバーが画像を得ることが出来る確率を大きく損なうことなくシステムのスケーラビリティを向上出来ると見込まれる．

以下，2章では，本研究の背景となるセルラ網を用いたドライバーに道路交通情報を配信する手法について述べる．3章で本稿で対象とする車載カメラ画像提供システムについて述べ，4章で本稿で提案する車車間通信によるメタデータの交換に基づく類似画像のアップロード抑制手法について述べる．5章では，シミュレーションによる提案手法の性能評価について述べ，6章で本稿をまとめる．

2. 関連研究

今日，セルラ網やFM多重放送，光ビーコンを利用した道路交通情報提供手法が提供・実用化されている [4][8]．また，ドライバーがセンサやカメラなどで生成した車両をサーバに集約し，事故情報や駐車スペースの空き情報，ルートの予想所要時間を配信するサービスが提案されている [9][10][11]．しかし，これらのサービスのように車両が生成する情報をサーバが集約し，配信する方法でシステムを実現すると，サーバが多くの車両から送信される情報を集約・管理する必要があるため，サーバの処理負荷が増えシステムのスケーラビリティが低下してしまう．そこで，セルラ網を用いた道路情報配信システムのスケーラビリティを向上させるための手法が提案されている．

Santaらは，道路を細かいエリアに分け，エリアの内の道路情報を管理する環境サーバと，各エリア内で利用なサービスを管理するグループサーバの2種類のサーバを用いてシステムを階層化することで，一つのサーバにかかる負荷

を抑えつつドライバーに道路情報を提供する仕組みを提案している [12]．このシステムではサーバを階層化することで，負荷を分散させスケーラビリティを向上させるだけでなく，ドライバーとサーバの地理的な距離を短くしており短い遅延でサービスを提供することができる．しかしながら，このシステムでは広範囲の情報提供を行う場合，多くの環境サーバを設置する必要があり，それらの設置・維持にかかるコストが問題となる．

安達らは，車両の移動経路を予測し，車両が取得すべき情報とセルラ網とVANETのうち適切な情報取得通信方法をサーバが各車両に指示するシステムを提案している [13]．このシステムでは，全車両が生成した情報のメタデータをセルラ網を介してサーバに送信することで，サーバが全ての情報の生成位置や時刻，情報を生成した車両のIDを把握する．そして，そのサーバが全車両の移動経路と車両が取得すべき情報を予測し，車両に可能な限りVANETを利用して情報取得を行わせるよう指示することで，セルラ網のトラフィックを減らしている．このシステムでは，サーバが車両の移動経路を予測し，車両が取得すべき画像と取得する方法を指示することでセルラ網にかかる負荷を抑制しているため，サーバが全車両の移動予測を行う必要がある．このため，サーバの処理負荷が大きくなってしまふ．

Ideらは，車両が車車間通信により自動的にクラスタを構成し，クラスタヘッド(CH)に選択された車両のみがセルラ通信基地局に車載センサにより取得したセンシングデータを送信することで，サーバにかかる負荷を抑える手法を提案している [14]．このシステムでは，車両が車車間通信により隣接車両間でクラスタを構成し，一定時間ごとに，車車間通信で接続可能な車両台数と前タイムステップで自身がCHだった場合にクラスタに属していた車両の台数の和が最も大きい車両をCHとして選出する．CHとなった車両は，クラスタを構成する車両から車両密度やブレーキランプ点滅情報を収集し，セルラ網を介してサーバに送信する．このシステムでは，CHを選出する際に前タイムステップでCHだった車両を優先的に次タイムステップでもCHに選択することで，クラスタの寿命を向上させるだけでなく，セルラ通信のトラフィックを抑えることができる．このシステムは比較的データサイズの小さい情報をCHが収集し，それらのデータを圧縮してサーバに送信することでセルラ通信のトラフィックを抑えているが，画像のような大きなデータサイズの情報を収集しようとする場合には，VANETにかかる負荷が大きくなる．

筆者らは，サーバにかかる負荷を抑制しつつドライバーに興味のある地点で撮影された画像を提供するために，ドライバーの興味のある地点で撮影された画像に対する要求に対し，車車間通信を用いた近接車両との情報交換を利用して宛先位置付近にいる車両に要求を満たす画像の選出を行わせ，それに基づきセルラ網を介して画像を提供する

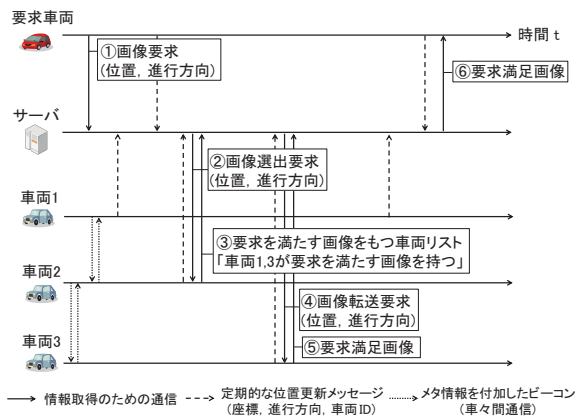


図 2 セルラ・VANET 経由画像選出手法の画像取得手順

手法を提案している [15]. これ以降、この手法をセルラ・VANET 経由画像選出手法と呼ぶ。この手法では、車両から要求を受信したサーバは、図 2 に示すように要求された地点付近を走行する車両に要求を満たす画像の選出を依頼し、選出された画像を撮影した車両に画像をサーバにアップロードさせ、その画像をドライバーに提供する。この手法では、全車両が撮影した画像をサーバに送信することでサーバで画像を一括管理することはせず、サーバがドライバーから画像に対する要求を受信するたびに要求された位置付近を走行する車両に要求を満たす画像の選出を依頼することで、ドライバーの要求を満たす画像を選出し選出された画像をサーバ経由でドライバーに提供する。このため、サーバが収集する画像数を抑えることができ、サーバの処理負荷を抑えることが出来る。しかしながら、この手法では、サーバが車両から要求を受信した後に、要求を満たす画像の選出を完全に要求された地点付近を走行する車両に依頼するため、要求を満たす画像の選出に時間がかかりドライバーに画像を提供するまでの時間が長くなってしまっただけでなく、ドライバーが要求した地点周辺を走行する車がない場合には画像の提供が困難であるという問題がある。

3. 想定サービス

本稿では、全車両が車両前方に取り付けられた車載カメラで画像を撮影するものとし、ある地点で撮影された画像を要求する車両は要求メッセージ(例: この先の交差点が知りたい)をセルラ網を介してサーバに送信することでシステムに要求を伝え、要求に合致する画像(例: ドライバーが指定した交差点を走行した車両が撮影した画像)をセルラ網を用いてサーバに返送させることでドライバーの望む画像を提供するシステムの設計を目指す。

本章では、まず本稿で想定するサービスの前提条件を示し、セルラ網を用いたシステムの基本構造を示す。この後、同システムの実現上の課題を示す。

3.1 前提条件

以下に本稿で想定するシステムにおける前提条件を示す。

- 画像の撮影
 車両は定期的、もしくはあらかじめシステム側で定められた撮影スポット付近を走行するたびに車載カメラにより画像を撮影する。画像撮影時には、画像データに撮影位置、撮影時の進行方向、撮影車両 ID、撮影時刻、画像の ID を含むメタデータを付加し、各車両が持つデータベースに加える。
- 要求の定義
 ある地点で撮影された画像を要求する車両は、画像の撮影条件と要求車両の ID を含む要求メッセージをセルラ網を介してサーバに送信する。撮影条件は、ドライバーが要求する撮影位置、撮影方向、要求生成時刻、からなる。これ以降、ドライバーが要求する撮影位置を宛先位置と呼ぶこととする。
- 要求に対するサーバの動作
 車両から要求を受信したサーバが取る戦略として、i) サーバであらかじめ画像を収集しておき、車両から要求を受信したら収集した画像の中から要求を満たす画像を即座に返送する、ii) サーバが車両から要求を受信してから要求を満たす画像を何らかの方法で選出し、選出した画像を撮影した車両に画像をアップロードさせ、その画像を要求者に提供する、iii) サーバが車両から要求を受信してから要求された地点付近を走行する車両に画像の撮影を依頼し、撮影された画像を提供する、など、様々な戦略が考えられる。本論文では、サーバの処理負荷を抑制し、かつドライバーに対して低遅延で画像を提供するシステムの実現を目指し、i) の戦略をとる。

3.2 単純なシステムの実現方法

3.2.1 全画像送信方式

本稿で想定するサービスを実現する最も単純な方法として、全車両が画像を撮影するたびに画像をサーバにアップロードすることでサーバに画像を一括管理させ、ドライバーの要求に対してサーバが車両から収集した画像の中から要求満足画像を返送する方法が考えられる。これ以降、この方式を全画像送信方式と呼ぶことにする。全画像送信方式の概要を図 3 に示す。全画像送信方式では、各車両が画像を撮影するたびにサーバにアップロードすることで、サーバは道路上で生成された最新の画像をデータベースに保存することになり、ドライバーに対して常に新しい画像を提供することができる。しかしながら、全画像送信方式では各車両が撮影した画像をすべてサーバに送信するため、複数の車両が同じ道路を同じ方向に走行している場合には、各車両が周辺車両が撮影した画像と類似した位置・時刻で撮影した画像をサーバに送信することになり、サー

バの処理負荷が増加するだけでなくセルラ網の通信資源の浪費を招く。例えば、図3のように2台の車両が連続して地点Aで画像を撮影した場合、地点Aで画像を撮影した車両2は、既に車両1が地点Aで画像を撮影した画像をアップロードしているのにも関わらず、撮影した画像をサーバにアップロードしてしまい、サーバの処理負荷を大きくしてしまう。

3.2.2 一定確率画像送信方式

車両が類似した画像をアップロードを防ぐ方法として、全車両が画像を撮影すると、ある確率 P_{upload} に従って画像をサーバに送信するか否かを決定し、送信すると判定された際にのみ画像をサーバにアップロードする方法が考えられる。これ以降、この方式を一定確率画像送信方式と呼ぶ。この方法では、車両密度が高い地域等多くの車両が類似した画像を撮影すると考えられる場合には、画像のアップロードを抑制することができる。しかしながら、車両密度が低い地域では他のドライバーが画像を欲しているのにもかかわらず、画像を撮影した車両が画像をサーバに送信せず、ドライバーに画像を提供できない恐れがある。

3.3 問題提起

全画像送信方式では、車両が画像を撮影するたびに画像をサーバに送信するため、サーバの処理負荷が増加するだけでなく、セルラ網の通信資源が増加してしまう。一定確率画像送信方式では、車両が撮影した画像全てをサーバに画像を送信するのではなく、確率に従いサーバに画像を送信するか否かを判定することで、サーバにアップロードする画像の数を抑制することでサーバの処理負荷を抑制し、システムのスケーラビリティを向上させることができる。しかしながら、車両があまり走行しない道路上で撮影された画像がサーバに送られず、ドライバーがその地点で撮影された画像を望んでも要求を満たす画像を取得できない恐れがある。システムのスケーラビリティを向上させ、かつ、ドライバーの要求を満たす画像を提供するためには、隣接車両が画像を撮影しサーバにアップロードしている場合のみサーバへの送信を控えるなど、他車両の動作に応じてアップロードを抑制する仕組みが必要となる。

4. 近隣情報利用型データ送信抑制手法

4.1 概要

想定システムを前章で説明した前画像送信方式で構築すると、全車両が撮影した画像のメタデータをサーバに送信するため、サーバの負荷が増加する。また、一定確率画像送信方式のような単純な画像アップロード抑制方式では、需要や画像の生成頻度を考慮せずにアップロードを抑制するため、ドライバーが望んだ画像が得られずシステムの品質を損なう恐れがある。そこで、全車両が撮影した画像のうちサーバにアップロードしたメタデータを車間通信を

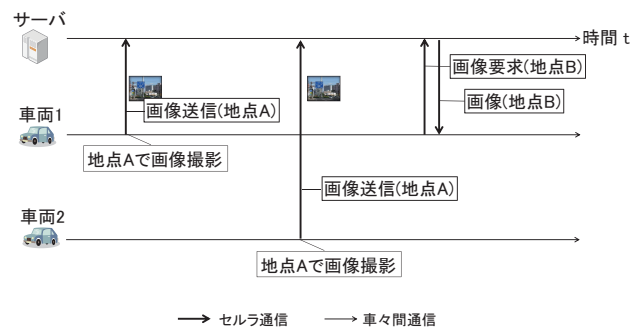


図3 全画像送信方式

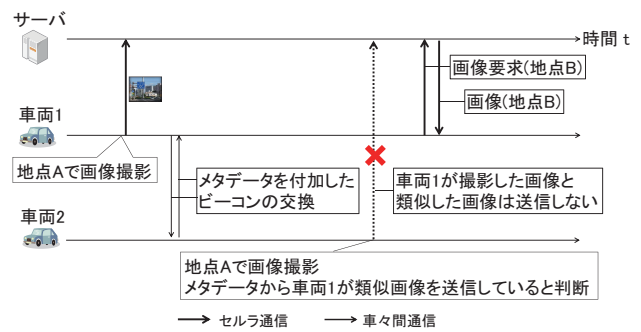


図4 近隣情報利用型データ送信抑制手法

用いて交換し、各車両が他車両から送信されたメタデータを基に、他車両が最近撮影していないであろう箇所で撮影した画像のみをサーバにアップロードする近隣情報利用型データ送信抑制手法を提案する。近隣情報利用型データ送信抑制手法の概要を図4に示す。

提案手法では、車両が定期的に自身が持つ画像のメタデータの内、既にサーバにアップロードされた画像のメタデータを車間通信でのブロードキャストにより近隣の他車両と交換し、他車両から受信したメタデータを自身のデータベースに保存することで周辺車両がサーバにアップロードした画像の存在を把握する。図4のように、各車両は画像を撮影するたびにデータベースを参照し、画像をサーバに送信するか否かの判定を行い、撮影した画像の撮影条件が他車両により最近サーバに送信された画像の撮影条件と類似していなければ画像をサーバに送信する。これにより、各車両がサーバに新たな負荷をかけることなく、他車両が既に撮影画像をアップロードした地点付近で撮影した画像をサーバに送信することを抑制できる。また、この手法では、他の車両が既に類似した位置・時間で撮影した画像をサーバにアップロードしている場合にのみ画像のアップロードを抑制するため、画像を要求したドライバーが画像を得ることが出来る確率を大きく損なうことはない。

4.2 メタデータの交換

車両は一定時間ごとに自身が撮影しサーバにアップロードした画像のメタデータと、他車両から受信した他車両がサーバにアップロードした画像のメタデータの中から、後述する選択基準に従っていくつかのメタデータを選択し、

車車間通信を用いてブロードキャストする。他車両からメタデータが付加されたビーコンを受信した車両は、ビーコンからメタデータを抽出し、自身の持つデータベースにメタデータ(撮影位置, 時刻, 撮影時進行方向, 車両 ID, 画像 ID)を保存する。各車両は、ビーコン送信車両がサーバに送信した画像のメタデータだけでなく、他車両から受信した他車両がサーバに送信したメタデータを交換することで、隣接車両だけでなく数ホップ先にいる車両がサーバに送信した画像の存在を把握することが出来る。

4.3 画像の撮影とアップロード判定

各車両は定期的に、もしくはあらかじめシステム側から設定された撮影スポット周辺を走行するたびに画像を撮影し、撮影した画像のメタデータを自身の持つデータベースに保存する。車両はメタデータを保存した後に自身の持つデータベースを参照し、撮影した画像と撮影した位置・時刻などの撮影条件が類似した画像が他車両および自分自身によってサーバにアップロードされているか否かを判断する。自身が撮影した画像と撮影条件が類似した画像がサーバにアップロードされていない場合には、撮影した画像をサーバに送信することがシステムにとって有益とみなし、サーバに画像をアップロードする。車両から画像を受信したサーバは、自身の持つデータベースに画像を保存する。各車両は他車両から受信したメタデータから周辺車両が既に撮影条件が類似した画像をサーバに送信していることを把握している場合には、車両は撮影した画像のアップロードを行わない。

提案手法の具体例を示す。例えば図5のように同じ道路を2台の車両が走行している場合を考える。先頭にいる車両1は地点Aで東向きに画像を撮影し、サーバにアップロードしている。後方を走行する車両2が地点Aを走行する前に、車両1が地点Aで撮影した画像のメタデータを付加したビーコンをブロードキャストしており、車両2がそのビーコンを受信していた場合、車両2は地点Aで撮影した画像と類似した画像が先頭車両によってサーバにアップロードされていることが分かる。そのため、車両2は撮影した画像をサーバに送信せず、サーバの処理負荷を抑えることが出来る。

提案手法では、画像を撮影した車両が他車両が既に位置・時刻・方向等の撮影条件が類似している画像をサーバに送信していることを把握していた場合、画像のアップロードをしないことでセルラ網の負荷を抑制することが出来る。以下、提案手法の効果について議論する。各車両がシステム側から定められた撮影地点を通過するたびに画像を撮影するものとするとし、車両が一方通行かつ一車線の道路を走行するシナリオを考える。ある撮影スポット a で画像を撮影した車両 α は、画像を撮影する前に前方を走行する車両 β から a で撮影した画像のメタデータを受信していた

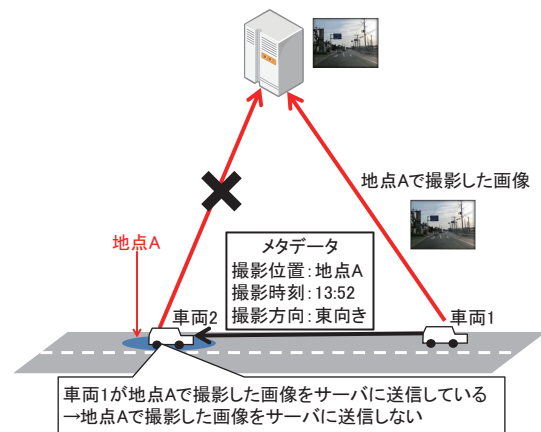


図5 画像アップロード判定の例

場合、車両 β が既に画像をアップロードしていることが分るため、撮影条件が類似した画像のアップロードを抑制することが出来る。車両間距離が車車間通信の通信可能距離 r [m] 以内であれば、1ホップの通信により車両間で既にサーバにアップロードされた画像のメタデータを完全に共有することが出来るとする。前方車両との車間距離が x [m] 以内である確率が $F(x)$ で表されるとすると、車両 α が撮影スポット s で画像を撮影した時の車両 α -車両 β 間の距離が r 以内であれば車両 α は撮影スポット s で撮影した画像のアップロードを行わないため、車両 α が撮影した画像をアップロードする確率 P は、

$$P = 1 - F(r) \quad (1)$$

となる。従って、車両が撮影した画像を全てサーバに送信する方式と比べ、提案手法で発生する画像のアップロードによるトラフィックは P 倍に減少する。本手法では、車両 α が2ホップ以上前方を走行する車両が撮影した画像のメタデータを受信することもあるため、セルラ網のトラフィックは、全画像送信方式で生じるトラフィックの P 倍よりもさらに小さくなりうる。

4.4 ビーコンに付加するメタデータの選択基準

各車両は他車両が画像をアップロードするか否かを判定するために必要なメタデータを選択し、ビーコンに付加することが求められる。メタデータを選択にあたっては、隣接車流が画像をアップロードする回数を少なくし、かつ、ドライバーが要求した画像を提供出来るよう配慮する必要がある。ビーコンに付加するメタデータの選択戦略として、

- A 撮影されてからの経過時間が短い画像のメタデータを優先的にビーコンに付加する
- B 隣接車両の現在位置付近で撮影された画像のメタデータをビーコンに付加する
- C 車両間で移動経路情報を交換し、隣接車両が今後走行する予定の経路上で撮影された画像のメタデータをビーコンに付加する

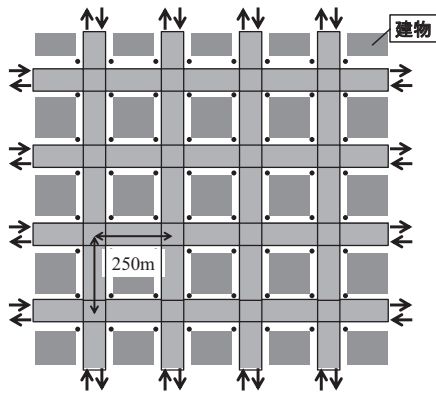


図 6 シミュレーション領域

など、様々な戦略が考えられる。周辺車両に進行予定経路情報を教えたくない、というプライバシーを考慮し戦略 C を除外する。本稿では、戦略 A と戦略 B を組み合わせ、車両が隣接車両の現在位置周辺で撮影された画像のうち、撮影されてからの経過時刻が新しい画像のメタデータを優先的にビーコンに付加する戦略をとるものとする。

4.5 セルラ網を取得した画像取得

提案手法では、画像を要求する車両は、撮影条件（撮影位置、撮影方向）を記載した要求メッセージをサーバに送信する。車両からの要求を受信したサーバは、自身が持つデータベースの中から要求された撮影条件を満たす画像を選出し、選出された画像の中から撮影時刻が最も新しいものを車両に返送する。

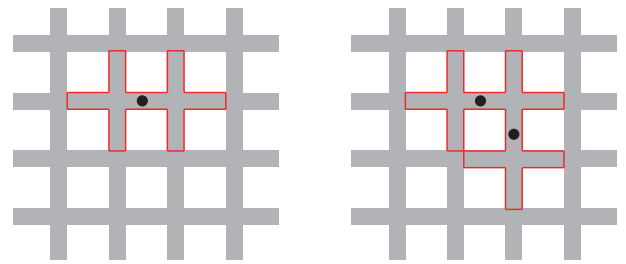
5. シミュレーション評価

提案手法の効果を確認するため、離散事象シミュレータ Scenargie[16] を用いて性能評価を行った。本章ではシミュレーション条件とその結果について述べる。

5.1 環境設定

図 6 のような 2 次元平面上に東西、南北に 4 本ずつ片側一車線の道路が走る 1.25km×1.25km の地図を想定する。全道路の両端合わせて 16 箇所には流入点と流出点があり、車両は流入点から発生する。車両の移動経路は交通流シミュレータ SUMO[17] を用いて生成した。シミュレーションは 3000 秒間行い、シミュレーション全体で 800 台、もしくは 1600 台の車両が流入するものとした。全交差点には信号が設置されており、青 31 秒、黄 3 秒、赤 26 秒の周期で状態が移行する。車両は信号に従い最高速度 50[km/h] で走行する。各車両が交差点で左右各 15% で進路を変更するものとし、車両の追い越しは行われなないものとする。

車両は 1 秒ごとに自身がいる道路セグメントの ID を確認し、前回の道路セグメントと異なる道路セグメントにいた場合、画像の撮影と画像の要求を行うものとした。各車両は 1 道路セグメントあたり 1 度画像を撮影し、メタ



(a) 隣接車両が 1 台の場合 (b) 隣接車両が 2 台の場合

図 7 ビーコンに付加するメタデータを選択基準の例

データを保存する。画像 1 枚のデータサイズは 1[MBBytes]、メタデータの 1 枚の画像当たりデータサイズは 100[Bytes] とした。セルラ網を用いた通信は場所にかかわらずどこにいても可能であり、車両からサーバまでの伝搬遅延は 5 ミリ秒、通信速度が 5Mbps であり、常に通信は成功するものとした。

各車両は自身の進行予定経路を把握しているものとし、次に行く予定の道路セグメントで自身が予定する進行方向で撮影された画像に対する要求を生成するものとした。本シミュレーションでは、自身が次に走行する道路セグメント上で自身が予定する進行方向で撮影された画像であれば、どこで撮影された画像であっても要求を満たす画像であるとした。各車両は道路セグメントを移動するごとに要求メッセージを生成し、サーバに送信する。

全車両は IEEE802.11p 規格に基づいて車車間通信を行うものとした。通信速度は 3Mbps で、各車両の通信出力は 10[dBm] とし、1[s] ごとに自身の ID、位置、進行方向、時刻を付加した 1024[bytes] のビーコンを送信する。電波伝播モデルに ITU-R P.1411 を用いた。

5.2 ビーコンに付加するメタデータを選択基準

提案手法では、3.1 節で述べた通り各車両は定期的に隣接車両の周辺で撮影された画像のメタデータを優先的にビーコンに付加する。本評価では、ビーコン送信車両は隣接車両のいる道路とそれに隣接する道路上で撮影された画像の中から、 N 個のメタデータをランダムに選出し、ビーコンに付加するものとした。例えば、ビーコン送信車両の隣接車両が 1 台いる時、その隣接車両が図 7(a) の道路中央上部（黒丸部）にいるとすると、ビーコン送信車両は赤枠内の地域で撮影された画像のメタデータの中から、ビーコンに付加するメタデータを選択する。図 7(b) のように隣接車両が 2 台いるとすると、ビーコン送信車両は赤枠内の地域で撮影された画像のメタデータの中から、ビーコンに付加するメタデータを選択する。ただし、画像が撮影されてから 100 秒以上経過している画像のメタデータはビーコンに付加しないものとした。

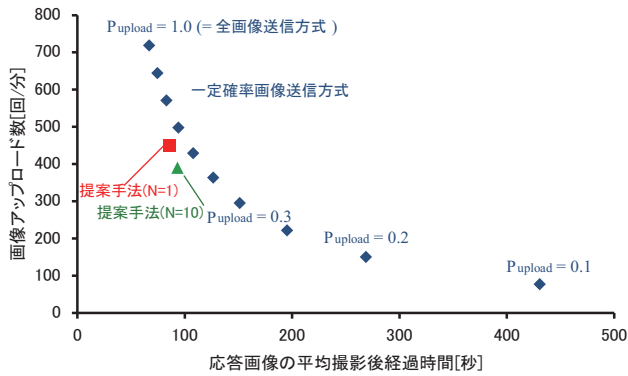


図 8 セルラ網のトラフィックと平均撮影後経過時間 (800 台)

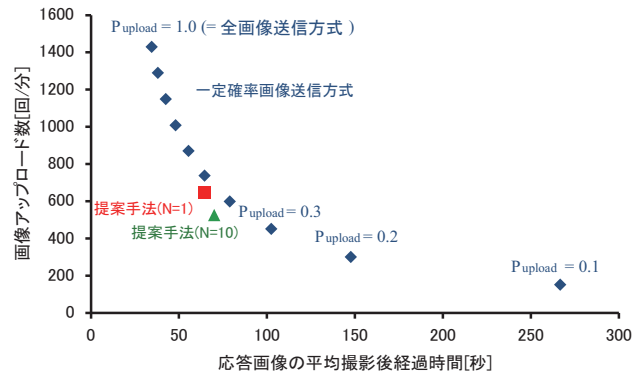


図 9 セルラ網のトラフィックと平均撮影後経過時間 (1600 台)

5.3 比較手法

本評価では、以下の手法を比較した。

- 近隣情報利用型データ送信抑制手法 (4 章)(提案手法)
ビーコンに付加するメタデータの数 $N=1, 10$ とした。
- 一定確率画像送信方式 (3.2 節)
一定確率画像送信方式の撮影した画像をサーバにアップロードする確率 P_{upload} は 0.1 から 1.0 まで 0.1 刻みに変化させた。一定確率画像送信方式で、 $P_{upload} = 1.0$ の時、全画像送信方式 (3.2 節) となる。

5.4 評価指標

以下の評価指標について評価を行った。

- セルラ網のトラフィック
シミュレーション中に車両がサーバに送信した画像の数。
- 取得画像の平均撮影後経過時間
要求車両が画像を取得した際に、画像が撮影されてからどれだけ経過しているかを撮影後経過時間とし、その平均値を調べた。

5.5 シミュレーション結果

図 8 と図 9 は各手法におけるセルラ網のトラフィックと取得画像の平均撮影後経過時間の関係を表している。それぞれの値は、3000 秒間のシミュレーション 10 回のシミュレーションの平均値である。また、一定確率画像送信方式のグラフは左から順に $P_{upload} = 0.1, 0.2, 0.3, \dots$ とした時の値を表している。

図 8 から、提案手法は一定確率画像送信方式のうち応答画像の平均撮影後経過時間が近い場合と比べ、画像のアップロード数が少なくなっていることが分かる。これは、単純に確率に従って画像をサーバにアップロードするか否かを判定する一定確率画像送信方式と違い、提案手法では他車両によって最近アップロードされた道路で撮影された画像のアップロードのみを抑制しているためである。提案手法と全画像送信方式を比較すると、提案手法 ($N=10$) ではトラフィックを約 36% に削減できることが確かめられた。

提案手法においてビーコンに付加するメタデータの数を変更した結果を比較すると、ビーコンに付加するメタデータの数を増やすことで画像のアップロード数を減らすことが出来ることが分かった。これは、ビーコンに付加するメタデータの数を増やすことで各車両が多く車両が撮影した画像の存在を把握することが出来、撮影条件が類似した画像のアップロードを抑制することが出来たためである。

また、図 8 と図 9 を比較すると、車両流入台数が多いほど提案手法の画像アップロード数が少なくなっていることが分かる。これは、車両流入台数が多いほど車両間でメタデータの交換を行う機会が増え、画像を撮影した車両が他車両が撮影した画像と撮影条件が類似した画像のアップロードを抑制出来るためである。

6. まとめ

本稿では、全車両が撮影した画像のうちサーバにアップロードしたメタデータを車車間通信を用いて交換し、各車両が他車両から送信されたメタデータを基に、他車両が最近撮影していないであろう箇所で撮影した画像のみをサーバにアップロードする近隣情報利用型データ送信抑制手法を提案した。提案手法では、車車間通信による情報交換に基づき他の車両が既にサーバに送信している画像に類似した撮影条件下で撮影された画像のアップロードのみを抑制するため、全車両が撮影した画像全てをサーバに送信する手法と比べ、画像を要求したドライバーが要求した画像を取得できる確率を大きく損なうことなくセルラ網の負荷を抑えることが出来る。

本稿では、各車両が進行予定経路上で撮影された画像を要求する環境を想定し、提案手法の基礎的な評価を行った。シミュレーションの結果、提案手法と全画像送信方式を比較すると、提案手法 ($N=10$) ではトラフィックを約 36% に削減できることが確かめられた。また、一定確率画像送信方式と比べ、応答画像の平均撮影後経過時間を長くすることなくセルラ網の通信トラフィックを削減できることを確認した。また、提案手法においてビーコンに付加するメタデータの数を増やすことで、セルラ網のトラフィックを削

減できることが分かった。

今後の課題として、ビーコンに付加するメタデータの選択基準の改善と、車両密度やドライバーが画像を要求する地点に偏りを持たせた環境での評価が挙げられる。

また、ビーコンに付加するメタデータを選択する際に、隣接車両の進行方向や移動経路情報を活用することで、隣接車両が画像を撮影する際に他車両が既に撮影条件が類似した画像をサーバに送信していると判断できる可能性が高くなり、より応答画像の平均撮影後経過時刻を長くすることなくセルラ網のトラフィックを抑えることが出来ると見込まれる。そのため、ビーコンに付加するメタデータの選択基準の改良も今後の課題である。

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 Ishihhara, S.: Distributing Location-Dependent Data in VANETs by Guiding Data Traffic to High Vehicle Density Areas, IEEE Vehicular Networking Conference (VNC 2010), pp.189–196 (2010).
- [2] Kusumine, N. and Ishihhara, S.: R2D2V : RNC based Regional Data Distribution on VANETs, IEEE Vehicular Networking Conference (VNC 2010), pp.263–270 (2010).
- [3] Kusumine, N. and Ishihhara, S.: Abiding Regional Data Distribution using Relay and Random Network Coding on VANETs, IEEE Advanced Information Networking and Applications (AINA 2012), pp.105–112 (2012).
- [4] パイオニア, スマートループアイ,
http://pioneer.jp/carrozzeria/cybernavi/avic-vh0009hud_avic-zh0009hud/smartloop/ (2015.04.20 確認)
- [5] HONDA, Internavi,
<http://www.honda.co.jp/internavi/> (2015.04.20 確認)
- [6] 富士通, SPATIOWL,
<http://jp.fujitsu.com/solutions/convergence/service/spatiowl/> (2015.04.20 確認)
- [7] Hoh, B., Gruteser, M., Xiong, H. and Alrabady, A.: Enhancing Security and Privacy in Traffic-Monitoring Systems, IEEE Pervasive Computing, Vol. 5, pp.38–46 (2006).
- [8] Waze: <https://www.waze.com/ja/> (2015.04.20 確認)
- [9] Mathur, S., Kaul, S., Gruteser, M. and Trappe, W.: ParkNet: a mobile sensor network for harvesting real time vehicular parking information, Proceedings of the 2009 MobiHoc S 3 workshop on MobiHoc S 3, ACM, pp.25–28 (2009).
- [10] White, J., Thompson, C., Turner, H., Dougherty, B. and Schmidt, D.: WreckWatch: Automatic Traffic Accident Detection and Notification with Smartphones, Mobile Networks and Applications, Vol. 16, no. 3, pp.285–303 (2011).
- [11] Rahmani, M., Jenelius, E. and Koutsopoulos, H. N.: Route travel time estimation using low-frequency floating car data, IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Vol. 8.
- [12] Santa, J., F. Gomez-Skarmeta, A. and Sanchez-Artigas, M.: Architecture and evaluation of a unified V2V and V2I communication system based on cellular networks, Computer Communications, Vol. 31, pp.2850–2861 (2008).
- [13] 安達佳明, 梅津高朗, 山口弘純, 東野輝夫: 車両の移動予測モデルに基づく通信コスト最適な車両情報共有システム, DICOMO2013, pp.1491–1502 (2013).
- [14] Ide, C., Kurtz, F., Wietfeld, C.: Cluster-Based Vehicular Data Collection for Efficient LTE Machine-Type Communication, IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall), pp.1–5 (2013).
- [15] 松本克也, 伊藤亮輔, 石原進: 近接車両間協調動作に基づくセルラネットワークを用いた低サーバ負荷の車載カメラ画像提供手法, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2014) シンポジウム論文集, Vol.2014, No.1, pp.278–286 (2014)
- [16] SPACE-TIME ENGINEERING, <https://www.spacetime-eng.com/jp/> (2015.04.20 確認) .
- [17] SUMO: Simulation of Urban MObility, http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931_read-41000/ (2015.04.20 確認).