

車車間通信による近接車両間協調動作とセルラネットワークを用いた低サーバ負荷車載カメラ画像提供手法

松本 克也^{1,a)} 伊藤 亮輔¹ 石原 進²

受付日 2014年11月26日, 採録日 2015年8月12日

概要: 本稿では, ドライバの望む場所で車載カメラにより撮影された画像を提供することで, 経路選択や快適な運転を支援するシステムの実現を考える. このシステムの実現方法として, 各車両が撮影した画像をセルラ網を介してサーバにアップロードさせることでサーバに画像を一括管理させ, ある地点で撮影された画像を所望するドライバーは撮影条件をサーバに送信し, サーバに撮影条件を満たす画像を返送させる方法が考えられる. しかしながら, この方法のようなサーバ集中型システムでは, 利用の有無にかかわらず頻りに画像がサーバへ送信されるため, サーバの処理負荷の増加やセルラ網資源の浪費を招く. 本稿では, ドライバの欲する画像を選出するためのメタデータ (撮影位置, 時刻等) の収集を, 車車間通信を用いた近接車両間での情報交換を利用して宛先位置付近にいる車両に行わせることで, サーバが収集すべき情報のデータ量を減らし, システムのスケーラビリティを向上させる手法を提案する. 道路1方向あたりの平均交通量を200 [台/h] とし, 要求の宛先位置を固定としたシナリオにおいて提案手法を評価した結果, 提案手法は, 全車両が撮影した画像のメタデータを定期的にサーバに送信し, サーバがメタデータを基に画像を選出する方式と比べ, セルラ網のトラフィックを34%に抑えられることが確認できた.

キーワード: ITS, カーナビゲーション, 車車間通信, 情報配信, セルラネットワーク

Low Server-load Onboard Camera Image Delivery Scheme Based on a Cellular Network and Cooperation of Neighboring Vehicles through Vehicle-to-vehicle Communication

KATSUYA MATSUTMOTO^{1,a)} RYOSUKE ITO¹ SUSUMU ISHIHARA²

Received: November 26, 2014, Accepted: August 12, 2015

Abstract: We consider realization of a system to provide an image taken at the location desired by car drivers. One possible design of the system is that vehicles send picture data to the central server via a cellular network whenever they take a picture, and if a vehicle driver wants to get an image that is taken at near the driver's Point Of Interest (POI), the driver gets the image from the server. However, sending all the images from vehicles to the server leads to high processing load on the server and major amounts of cellular network traffic. The proposed method improves the scalability of the system by reducing the cellular network traffic. In the method, vehicles that are near a requested POI find the image requested by the driver according to the metadata exchanged through vehicle-to-vehicle communication. The performance evaluation of the proposed scheme was carried out through simulation assuming traffic volume is 200 [vehicles/hour/direction] and only one fixed request destination position. The simulation results reveal that the proposed method reduces the cellular network traffic to 34% of a system in which all metadata of images are sent to the server from vehicles.

Keywords: ITS, car navigation system, vehicular ad-hoc network, data dissemination, cellular network

¹ 静岡大学大学院工学研究科数理システム工学専攻
Department of Mathematical and Systems Engineering,
Shizuoka University, Hamamatsu, Shizuoka 432-8561, Japan

² 静岡大学学術院工学領域
College of Engineering, Shizuoka University Academic Institute,
Hamamatsu, Shizuoka 432-8561, Japan

a) matsumoto@ishilab.net

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, ドライバの望む場所で車載カメラにより撮影さ

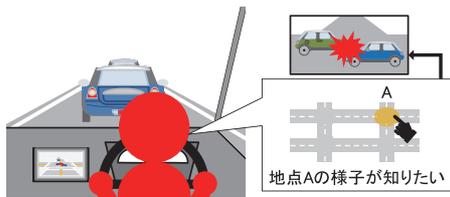


図 1 リアルタイム画像カーナビ概要図

Fig. 1 Overview of real-time visual car navigation system.

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、個々の車両が生成する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。

このシステムの実現手段の 1 つとして、Vehicular Ad-hoc Network (VANET) を用いて個々の車両が生成する情報を共有する方法が考えられる。VANET では、車両間もしくは車両-インフラ間でネットワークを構築するために短距離の無線通信を用いるため、比較的狭い範囲であれば通信を行うことができる。しかしながら、VANET を用いた通信は車両密度や車両の移動に大きく影響を受ける。車両密度が低い環境では、車両間の無線リンクを介した情報交換が行えないことがある。また、車両の移動によりトポロジが動的に変化するため、車両が遠隔地にいる車両から情報を得ようとしても、遠隔地にいる車両への要求メッセージを送信後、応答を得るまでに車両の移動による経路の切断が生じ、応答を受け取れないという問題がある。これらは広範囲の情報提供を行うシステムを実現するにあたっては大きな障害となる。

リアルタイム画像カーナビの実現方法としてセルラネットワーク（以下セルラ網）を用いた方法も考えられる。各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し、画像を所望するドライバーに対してサーバが収集した画像の中からドライバーの望む地点で撮影された画像を提供する道路情報配信サービスはすでに実用化されている [4]。しかしながら、文献 [4] では車両が撮影した画像を用いるものの、大きな交差点や高速道路のジャンクション等、システム側であらかじめ設定された場所で撮影された画像のみを提供するため、任意の場所で撮影された画像を提供することができない。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も提案されている [5], [6], [7]。しかしながら、サーバがすべての車両から定期的に情報を収集するためサーバの処理負荷が増加し、システムのスケーラビリティが低下するという課題がある。

本稿では、広い範囲の情報提供を行うとともに、セルラ網の通信資源消費とサーバの処理負荷を抑制するため、セルラ網と VANET を組み合わせてドライバーに車載カメラで撮影した画像を提供する手法を提案する。提案手法では、ドライバーの要求を満たす画像を選出するための情報収集を車両が車車間通信を用いた隣接車両との情報交換により行い、画像を望むドライバーが撮影条件をサーバに送信した際にのみ、要求先位置付近にいる車両に要求を満たす画像のメタデータのみをセルラ網を介してサーバに送信させる。サーバは、ドライバーが要求した撮影条件を満たす画像のメタデータのみを収集するため、すべてのメタデータ（撮影位置、撮影時の進行方向、撮影時刻、撮影車両の ID 等）をサーバで管理するセルラ網のみを用いた集中型システムよりも、サーバの処理負荷を抑え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。

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 VANET とセルラ網を併用した低サーバ負荷の車載カメラ画像提供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等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、ルートの子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、1 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る、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、サーバがすべ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。しかしながら、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、本稿で対象とするドライバーが指定した任意の地点の画像を提供するシステムにそのまま適用することができない。

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。しかしながら、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。

3. 想定サービス

本稿では、セルラ網主体のドライバーが興味のある地点で車載カメラにより最近撮影された画像を提供するシステムの実現方法を取り扱う。このシステムでは、全車両が車両前方に取り付けられた車載カメラで定期的に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。

本章では、想定するサービス的前提条件を示し、セルラ網を用いたシステムの基本構造を示す。さらに、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
車両は一定時間(T_{cap} 秒)ごと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。
- 要求を満たす画像の判定基準
ドライバーが指定した位置座標と完全に同じ場所で最近画像が撮影されているとは限らない。そのため、要求に対する許容マージンを与える。本稿では、図2内の赤く塗りつぶされた部分(宛先位置から $l_1 \sim l_2$ m手前)で、要求車両が要求メッセージで指定した向きで撮影され、要求発生時点での画像の生成からの経過時間が $T_{elapsed}$ 秒未満であるものを要求を満たす画像と定義する。以降、このように要求を満たす画像のことを要求満足画像と呼ぶ。
このシステムでは、全車両が定期的に画像を撮影しているため、ドライバーが要求を生成した時点で要求満足画像を撮影した車両が複数存在することが考えられる。この場合、i) 要求満足画像の中で最も低い遅延でドライバーに提供できる画像を提供する、ii) ドライバーが要求を生成してからあらかじめ定められた許容可能な遅延時間内でドライバーに提供できる画像の中で、最も

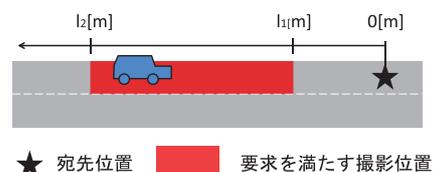


図2 要求を満たす画像の定義

Fig. 2 Definition of a picture that meets a driver's request.

ドライバの要求した撮影条件に合致する画像を提供する等、様々な戦略が考えられる。本稿では、サーバの処理負荷を抑制したシステムの実現を目的としているため、要求を満たす画像の条件を厳しく設定し、要求満足画像の中から最も早く提供可能な画像をドライバに提供する戦略をとる。

● 位置情報の登録

車両は定期的に自身の現在位置、進行方向、IDを含む位置更新メッセージをセルラ網を介してサーバに送信する。サーバは車両から位置更新メッセージが送信されたときに返送する形のみ車両に情報配信を行うものとする。

3.2 単純なシステムの実現方法

3.2.1 全画像送信方式

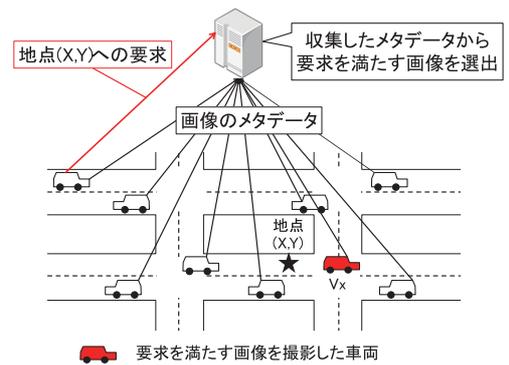
本稿で想定するサービスを実現する最も単純な方法として、全車両が撮影するたびに撮影した画像をサーバに送信し、ドライバの要求に対してサーバが車両から収集した画像の中から要求満足画像を返送する方法が考えられる。これ以降、この方法を全画像送信方式と呼ぶこととする。この全画像送信方法では各車両が撮影した画像をすべてサーバに送信するため、サーバの処理負荷が増加するだけでなくセルラ網の通信資源の浪費を招く。

3.2.2 全メタデータ収集方式

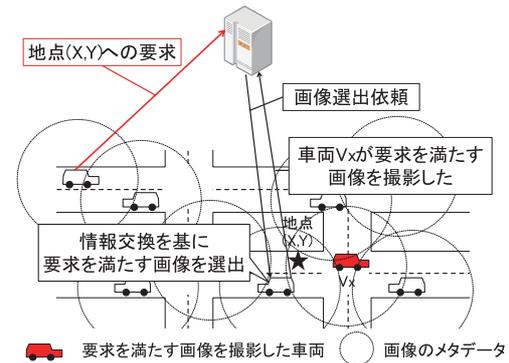
全画像送信方式よりもセルラ網資源の消費を抑えた方法として、車両が画像本体をサーバに送信するのではなく、データサイズの小さいメタデータをサーバに送信する方法が考えられる。これ以降、この方法を全メタデータ収集方式と呼ぶこととする。この方式では、図3(a)のように車両は画像を撮影するたびに撮影した画像のメタデータをサーバに送信する。サーバは車両から送信される画像のメタデータをデータベースに保存する。車両から要求を受信したサーバは、データベースに保存されたメタデータと前述した要求満足画像の条件を比較し要求満足画像のIDを選出する。その後、サーバは選出された画像を撮影した車両の中で、最も早く位置更新メッセージを送信してきた車両に画像転送要求メッセージを送信し、返送された画像を要求車両から位置更新メッセージを受信したときに提供する。全メタデータ収集方式では、車両がサーバに送る情報を画像本体ではなく、画像よりもデータサイズの小さいメタデータにすることで、前述した全画像送信方式よりもセルラ通信資源の消費量を抑えることができる。

3.3 問題提起

全メタデータ収集方式では、車両が画像本体よりもデータサイズの小さなメタデータをサーバに送信することで、セルラ網の通信資源の消費を抑えている。しかしながら、同方式では、各車両が撮影したすべての画像のメタデータ



(a) サーバによる画像選出 (全メタデータ収集方式)



(b) 車両群による画像選出 (提案手法)

図 3 要求満足画像選出手法

Fig. 3 Strategy for selecting a suitable picture.

をサーバに送信するため、車両の台数が増加するとサーバの処理負荷が増大する。これは、車両が撮影した画像の中でどの画像が将来的に他車両から利用されるか分からないため、車両が撮影したすべての画像のメタデータをサーバにアップロードするためである。システムのスケーラビリティを向上させるためには、ドライバが必要とする画像のメタデータのみがセルラ網を介してサーバに送信されるようにする等、サーバが収集するデータ数を減らす仕組みが必要となる。

4. 提案手法

4.1 概要

想定システムを前章で説明した図3(a)のような全メタデータ収集方式で構築すると、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。そこで、全車両が撮影した画像のメタデータをすべてセルラ網を介してサーバに送信するのではなく、要求満足画像を選出するためのメタデータの収集を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行わせ、選出された要求に合致する画像のメタデータのみを宛先位置付近にいる車両がセルラ網を介してサーバに送信することで画像を選出する手法を提案する。

提案手法では、車両が定期的に自身が持つ画像のメタ

データを車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撮影した画像の存在を把握する。ドライバから要求メッセージを受信したサーバは、図 3(b) のように宛先位置付近にいる一部の車両に要求満足画像の選出を依頼する。画像選出を依頼された車両は、自身が撮影した画像のメタデータと他車両から受信したメタデータを基に、要求満足画像を撮影した車両の ID と画像のメタデータのリストを返送する。車両から要求満足画像を撮影した車両の ID のリストを受信したサーバは、このリストを基に要求満足画像を撮影した車両の中で最も早く位置更新メッセージを送信した車両に対し画像の転送を依頼し、転送された画像をドライバに提供する。

4.2 メタデータの交換

車両は一定時間 (T_{beacon} 秒) ごとに自身が撮影した画像のメタデータと他車両から受信したメタデータの中から、後述する選択基準に従い最大 N 個の画像に対するメタデータをビーコンに付加し、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。

ビーコンに付加するメタデータを選択する基準として、i) 新しいものを優先的に選択する, ii) ビーコン送信車両の現在位置から撮影位置が近いものを優先的に選択する, iii) 隣接車両が持っていないものを優先的に選択する等、様々な基準が考えられる。提案手法では、サーバはある地点で撮影された画像を望む要求車両に対し、宛先位置付近にいる車両による画像選出処理に基づいて要求満足画像を提供する。そのため、各車両は自分自身がサーバから画像選出を依頼される可能性がある領域 (これ以降担当領域と呼ぶ) で撮影された画像のメタデータを多く把握していることが望ましい。たとえば、ある地点に関する要求に対しサーバが画像選出を依頼する領域 (これ以降問合せ領域と呼ぶ) が宛先位置を中心とした半径 R の円で設定される場合、図 4 に示す距離 $2R$ だけ離れた地点 A, B を中心とする問合せ領域は図中の赤い円上の領域となる。図 4 中央の車両は、自身の前後距離 R にある地点 A から地点 B までの範囲で撮影された画像の選出を依頼される可能性がある



図 4 担当領域の例

Fig. 4 Example of a responsible area.

る。したがって、この車両の担当領域は自身を中心とした半径 R の円上の領域で表された領域となる。

各車両は担当領域内で撮影された画像のメタデータを多く保持していることが望ましいので、提案手法では、隣接車両の担当領域内で撮影された画像のメタデータを選択し、ビーコンに付加するものとする。具体的には、ビーコン送信間隔を T_{beacon} 秒とすると、各車両はビーコン送信時刻から T_{beacon} 秒前以内にビーコンを受信した車両を隣接車両と見なし、隣接車両の担当領域内で生成された画像のうち、画像が撮影されてからの経過時間が $T_{elapsed}$ 秒以内であるものの中からランダムに N 個のメタデータを選択し、ビーコンに付加する。ただし、隣接車両が撮影した画像のメタデータは、すでに隣接車両上にあるはずである。したがって、隣接車両が撮影した画像のメタデータはビーコンに付加しない。

たとえば、図 5 のように、ビーコン送信車両 A は 2 台の隣接車両 (車両 B, 車両 C) がいた場合には、車両 B の担当領域 (赤い円形上の領域) もしくは車両 C の担当領域 (緑色の円上の領域) で生成された画像のうち、画像が撮影されてからの経過時刻が $T_{elapsed}$ 秒以内であり、撮影した車両が車両 B でも車両 C でもない画像のメタデータの中から、ランダムに N 個のメタデータを選択し、ビーコンに付加する。隣接車両から受信したメタデータを同じ隣接車両に送り返すことを避けるため、ビーコン送信車両が隣接車両の担当領域内で撮影された画像のメタデータを N 個以上保持していた場合には、隣接車両以外が撮影した画像のメタデータを優先的にビーコンに付加する。具体的には、ビーコン送信車両が保持する隣接車両以外が撮影した画像のメタデータの数 M が N 以上である場合、隣接車両以外が撮影した画像のメタデータの中から、ランダムに N 個のメタデータを選択し、ビーコンに付加する。 $M < N$ の場合、隣接車両以外が撮影した画像のメタデータをすべてビーコンに付加し、隣接車両が撮影した画像のメタデータの中から、ランダムに最大 $N - M$ 個を選択し、ビーコンに付加する。

4.3 セルラ網を用いた画像取得手順

提案手法における詳細な画像取得手順を図 6 の例に従って示す。同図では、車両 1 と車両 3 が要求車両の要求に合致する画像を持っているものとする。また、車両 2 は車両



図 5 ビーコンに付加するメタデータを選択基準の例

Fig. 5 Example of a selection criteria for metadata appended to beacon messages.

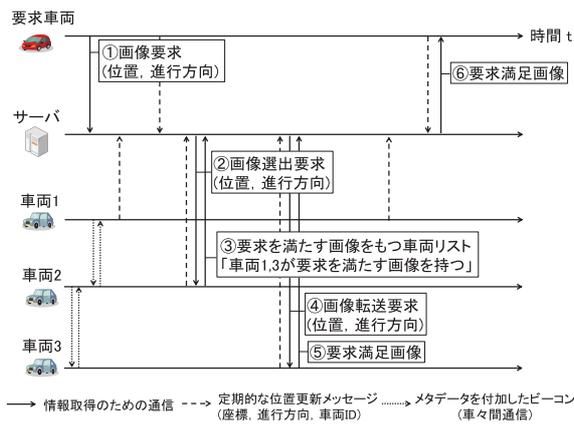


図 6 画像取得のタイムチャート

Fig. 6 Basic strategy of our proposed method.

1, 車両 3 とメタデータの交換を行っている。以下の手順の中の通信はすべてセルラ網を介して行われる。

- (1) 要求車両は自身が興味のある地点の位置，撮影方向，要求生成時刻を含む要求メッセージをサーバに送信する (図 6：①)。要求メッセージを受信したサーバは，要求メッセージに対する問合せ領域を設定する。サーバは問合せ領域内に含まれる車両から位置更新メッセージを受信したとき，その車両に対して問合せを行う。問合せ領域の設定方法の詳細は 4.4 節で述べる。
- (2) 車両から位置更新メッセージを受信したサーバは，位置更新メッセージに記載された位置が問合せ領域内にある場合，その車両に対し画像選出依頼メッセージを送信する。サーバは車両から要求満足画像を受信するまで車両から位置更新メッセージを受信するたびに手順 (2) を行う。画像選出依頼メッセージには，宛先位置，撮影方向，要求生成時刻が含まれている (図 6：②)。
- (3) 画像選出依頼メッセージを受信した車両は，3.1 節で示した判定基準をすべて満たす要求満足画像を自身のデータベースに保存されたメタデータに基づいて選出する。その後，サーバに対して要求満足画像を撮影した車両の ID と画像の ID のリストを返送する (図 6：③)。図 6 では，車両 2 は車両 1，車両 3 からメタデータを受信しており，車両 1 と車両 3 が要求満足画像を撮影していることを把握している。したがって，サーバは宛先位置付近にいる車両 2 に問い合わせることで，直接問合せをしていない車両 1，車両 3 が画像を持っていることを把握することができる。このとき，サーバから画像選出依頼メッセージを受信した車両 2 が要求満足画像を持っていた場合，車両 2 は要求満足画像を撮影した車両の ID と画像の ID のリストではなく要求満足画像そのものを返送する。車両から要求満足画像を受信したサーバは手順 (6) を行う。
- (4) サーバは要求満足画像の撮影車両 ID と画像 ID のリストを受け取った後，リストに含まれる車両からの位置

更新メッセージが送信されるのを待つ。サーバに送信された位置更新メッセージの車両 ID とリストに含まれる車両 ID が一致した場合 (つまりその車両が要求満足画像を持っている場合)，画像転送要求メッセージを送信する。これは，3.1 節で述べたとおり，要求満足画像の中で最も早く提供可能な画像をドライバに提供する戦略をとったためである。画像転送要求メッセージには手順 (3) で取得したメタデータに記載された要求満足画像の ID が含まれている (図 6：④)。

- (5) 画像転送要求メッセージを受信した車両は，メッセージに記載された ID の画像をサーバに送信する (図 6：⑤)。
- (6) サーバは要求車両から次に位置更新メッセージを受信した際に，画像を返送する (図 6：⑥)。

4.4 問合せ領域の設定

提案手法では，サーバが車両から要求を満たす画像のメタデータを返送してもらった場合にのみ，要求者に画像を提供することができるため，問合せ領域をどのように設定するかが重要となる。問合せ領域を広く設定することで，多くの車両が問合せの対象となるため，ドライバの要求に合う画像を返送できる確率が高くなるが，サーバが問合せ領域内の車両から位置更新を受信するたびに問合せを行うと，サーバが多くの車両に問合せを送信することになるためサーバの負荷が増加する。一方で，問合せ領域を狭く設定することで，サーバが問合せを行う回数を減らし，サーバの処理負荷を低下させることができるが，要求先位置付近の車両密度が低い場合には，要求先位置付近で撮影された画像のメタデータを車両間で交換する機会が少ないため，サーバが問合せにより要求満足画像を選出し，その画像を要求者に提供するまでに時間がかかり，サービスの質が低下してしまう。

そのため，i) 要求先位置付近の車両密度に応じて問合せ領域の大きさを調節する，ii) あらかじめ問合せ領域を広く設定して，確率的に問合せ車両を選択する等の工夫が必要となる。本稿では，問合せ領域の大きさがドライバが画像を取得するまでにかかる時間にどのような影響を与えるかを見るために，大きさの異なる 2 種類の問合せ領域を用いてシミュレーションによる評価を行った。

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 [15] 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 7 のような二次元平面上に東西，南北に 4 本ずつ片側 1 車線の道路が走る 1.25 km × 1.25 km の地図を想定する。全道路の両端合わせて 16 カ所には流入点と流出点がある。

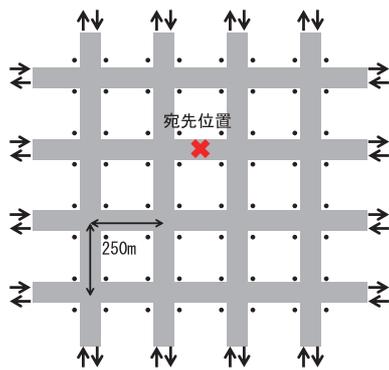


図 7 シミュレーション領域
Fig. 7 Simulation area.

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 [16] を用いて生成した．シミュレーションは 3,000 秒間行った．国土交通省が平成 24 年で行った交通センサス [17] で示された都道府県道等の平均交通量約 200 [台/h] を基に，シミュレーション全体で 2,667 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 26 秒，黄 3 秒，赤 31 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いものとする．

車両が画像を撮影する間隔 T_{cap} は 1 秒とした．この画像撮影間隔は，図 7 中の宛先位置を含む道路上を走行する車両が，5.2 節で説明する要求満足画像の判定基準に合致する画像を撮影するのに十分な値である．画像 1 枚のデータサイズは 100 [kBytes]，メタデータの 1 枚の画像あたりデータサイズは 100 [Bytes] とした．

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 3 Mbps で，各車両の通信出力は 10 [dBm] とし，電波伝播モデルに ITU-R P.1411 を用いた．車両が送信するビーコンには 4.2 節で定義した選択基準に従いメタデータを最大 $N = 10$ 個付加するものとし， $T_{beacon} = 1$ 秒ごとに車車間通信を用いて 1,024 [bytes] のビーコンをブロードキャストする．

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，伝搬遅延は 5 ミリ秒，通信速度が 320 kbps であり，つねに通信は成功するものとした．車両は 10 秒ごとに位置更新メッセージをセルラ網を介してサーバに送信する．位置更新メッセージのデータサイズは 50 [Bytes]，画像選出依頼メッセージのデータサイズは 50 [Bytes] とした．

要求メッセージは，100 秒ごとにランダムに選出された 1 台の車両から送信されるものとし，本シミュレーションでは，全車両が 1 つの宛先位置で東向きに走行する車両が撮影した画像を要求するものとした．要求はシミュレーション時刻 500 秒から発生するものとした．

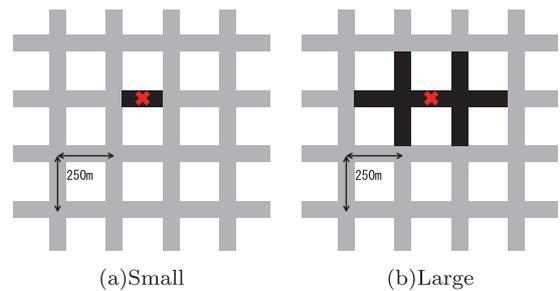


図 8 問合せ領域の設定
Fig. 8 Responsible area.

5.2 判定基準の設定

画像選出を依頼する車両の判定基準と要求満足画像の判定基準を以下のように設定した．

- 画像選出を依頼する車両の判定基準
画像選出を依頼する領域として以下の 2 つを用いる．車両から要求メッセージを受信したサーバは，車両から要求満足画像が送信されるまでの間，問合せ領域内に存在する車両から位置更新を受信するたびに問合せを行う．
 - Small
宛先位置を含む道路セグメントを問合せ領域とする (図 8 (a) 黒塗部分)．
 - Large
宛先位置を含む道路セグメントとそれに隣接する道路セグメントを問合せ領域とする (図 8 (b) 黒塗部分)．
- 要求満足画像の判定基準
筆者らは，ドライバにとって有用な画像の撮影条件を得るため，車両から交差点までの距離を変更して車載カメラにより撮影した複数の画像を用いて，ドライバにとって最も交差点の状況が分かりやすい画像を被験者に選択してもらうアンケート調査を行った [18]．その結果，交差点から 20 m 手前で撮影された画像が，最もドライバが交差点の状況を把握しやすいという知見が得られた．このことから，3.1 節で定義した l_1, l_2 の値をそれぞれ 10 m, 30 m とした．また， $T_{elapsed} = 60$ 秒とした．

5.3 比較手法

本評価では，以下の 3 手法を比較手法として用いる．

- 宛先位置車両依頼 + メタデータ交換方式 (提案手法) (4 章)
この方式では，サーバは宛先位置周辺にいる車両に問合せを行う．画像選出依頼メッセージを受信した車両が要求満足画像を保持していた場合には，要求満足画像をサーバに返送する．画像要求依頼受信車両が要求満足画像を保持していないが，他車両とのメタデータの交換により要求満足画像を撮影した車両の存在を把

握していた場合には、要求満足画像撮影車両の ID をサーバに報告する。車両から要求満足画像を撮影した車両の ID を受信したサーバは、その車両に要求満足画像のアップロードを要求し、要求を受信した車両は要求満足画像をサーバに返送する。車両から画像を受信したサーバは、画像要求車両に対し画像を提供する。

● 宛先位置車両依頼方式

この方式では、提案手法と同様に、サーバは宛先位置周辺にいる車両に問合せを行う。この方式では、車両間のメタデータの交換は行わない。画像選出依頼メッセージを受信した車両は、自身が撮影した画像の中から要求満足画像を選出し、サーバに返送する。車両から画像を受信したサーバは、画像要求車両に対し画像を提供する。

● 全メタデータ収集方式 (3.2 節)

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

シミュレーション時間中にセルラ網を介して転送されたデータのバイト数をセルラ網のトラフィックとする。位置更新メッセージ、画像選出依頼メッセージ、画像のメタデータ、画像の 4 種類のデータの通信にかかったトラフィックが含まれる。

● 平均応答遅延

ドライバが要求メッセージを生成してから画像の受信が完了するまでの時間を応答遅延と定義し、全要求に対する応答遅延の平均を求めた。提案手法と宛先位置車両依頼方式では、ドライバからの画像要求を受信したサーバが、要求満足画像が見つかるまで繰り返し宛先位置付近を走行する車両に対し画像選出依頼メッセージを送信する。そのため、ただちに要求満足画像が見つからない場合、応答遅延は大きくなる。

5.5 シミュレーション結果と議論

5.5.1 位置更新メッセージ送信間隔を変更した場合のシミュレーション結果

図 9, 図 10 は位置更新メッセージ送信間隔を変更した場合のトラフィックと平均応答遅延を表している。それぞれの値は、3,000 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。今回のシミュレーション条件では、比較した 3 つの手法すべてがすべての要求に対して要求満足画像を提供することができた。図 10 には 95%信頼区間をプロットしているが、すべての場合において信頼区間幅がプロット点サイズを下回っていた。

図 9 から、提案手法と宛先位置車両依頼方式で発生するセルラ網のトラフィックは、全メタデータ収集方式と比べ少なくなっていることが見て取れる。これは、提案手法と

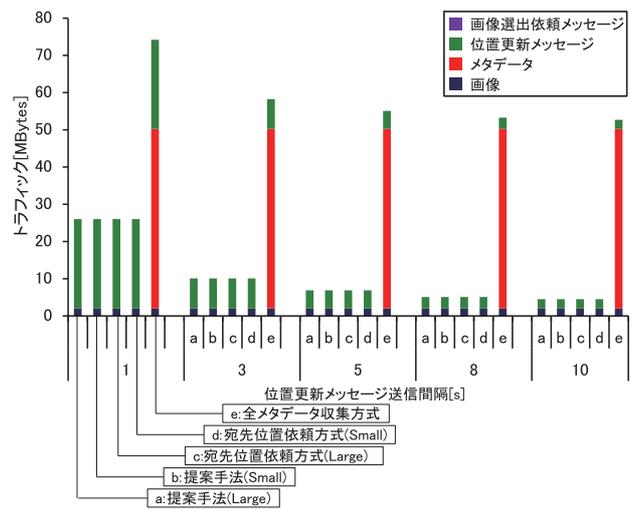


図 9 セルラ網のトラフィック (位置更新メッセージ送信間隔変更)
Fig. 9 Relationship of the traffic of the cellular network and the location update message transmission interval.

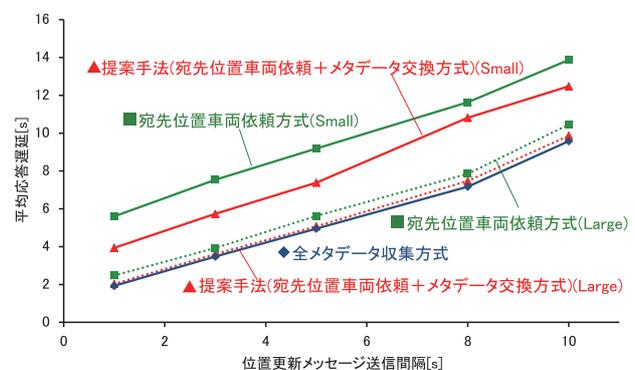


図 10 平均応答遅延 (位置更新メッセージ送信間隔変更)
Fig. 10 Relationship of the age of pictures that drivers obtain and the location update message transmission interval.

宛先位置車両依頼方式では、各車両がサーバに定期的なメタデータの送信を行わないためである。

提案手法と宛先位置車両依頼方式を比較すると、セルラ網のトラフィックに大きな差は見られなかった。しかしながら、宛先位置車両依頼方式の方が提案手法よりもサーバが送信する画像選出依頼メッセージの数が多いため、たとえば、位置更新メッセージ送信間隔が 1 [s] のとき、提案手法 (Large) ではシミュレーション時間中に発生した画像選出依頼メッセージの数が 1,328 個であるのに対し、宛先位置車両依頼方式 (Large) では 1,615 個の画像選出依頼メッセージが生成された。これは、提案手法では、各車両が車車間通信を用いて隣接車両とメタデータを交換することで周辺車両が撮影した画像の存在を把握しているため、サーバからの画像選出依頼メッセージを受信した車両が要求満足画像の存在を知っており、サーバに報告することができる可能性が高くなるためである。

また、提案手法と宛先位置車両依頼方式では、問合せ領域を大きくすると、画像選出依頼メッセージの送信回数が増える。たとえば、位置更新メッセージ送信間隔が 1 [s]

のとき、提案手法 (Small) ではシミュレーション時間中に 618 個の画像選出依頼メッセージが発生しているのに対し、提案手法 (Large) では 1,328 個の画像選出依頼メッセージが発生し、問合せ領域を大きくしたことで画像選出依頼メッセージ数が約 2.1 倍に増加していた。今回のシミュレーションでは、要求の発生頻度が低かったため、提案手法と宛先位置車両依頼方式では画像選出依頼メッセージの数によるセルラ網のトラフィックの差はほとんど見られなかった。しかしながら、要求の発生頻度が高くなると、位置更新メッセージの数が変わらない一方で、画像選出依頼メッセージの数は増大する。したがって、宛先位置車両依頼方式よりも提案手法の方がスケラビリティが高いといえる。

図 10 から、提案手法と宛先位置車両依頼方式は、全メタデータ収集方式よりも応答遅延が長くなるのが分かる。提案手法と宛先位置車両依頼方式では、サーバがドライバから画像要求を受信後に要求満足画像の選出を宛先位置付近を走行する車両に依頼する。そのため、要求発生時に宛先位置付近を走行する車両がない場合には、要求生成後に宛先位置を車両が走行し、要求満足画像を撮影するまで要求満足画像の選出を行えず、サーバが要求満足画像を取得し、ドライバに提供するまでの時間が長くなる。

提案手法と宛先位置車両依頼方式を比較すると、提案手法の方が応答遅延がずっと短くなっている。これは、提案手法では、各車両が車車間通信を用いて隣接車両とメタデータの交換を行っているため、サーバは 1 台の車両に画像選出依頼メッセージを送信することで、画像選出依頼メッセージを送信した車両だけでなくその車両が遭遇した車両の中から要求満足画像を撮影した車両を探すことができ、要求満足画像を選出するまでの時間が短くなるためである。

提案手法と宛先位置車両依頼方式では、問合せ領域を広くとることで応答遅延が短くなっている。これは、問合せ領域を広くとることで、サーバが多くの車両に対し画像選出依頼メッセージを送信することになり、サーバが要求満足画像を撮影した車両を選出するまでの時間が短くなるためである。また、問合せ領域を広くとると、提案手法と宛先位置車両依頼方式の応答遅延の差は小さくなっている。これは、サーバがより多くの車両に対して画像選出依頼メッセージを送ることで、車車間通信によって直接サーバから画像選出依頼を受けていない車両から得られる情報の割合が低下するためである。

5.5.2 車両流入台数を変更した場合のシミュレーション結果

図 11, 図 12 に位置更新メッセージ送信間隔を 10 秒とし、車両流入台数を 1,333 台, 1,600 台, 1,867 台, 2,133 台, 2,400 台, 2,667 台に変更した場合のトラフィックと平均応答遅延を示す。図 12 には 95%信頼区間をプロットし

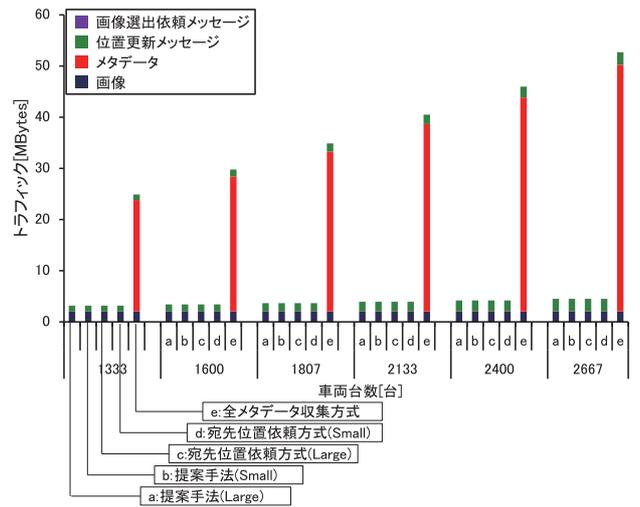


図 11 セラ網のトラフィック (車両台数変更)

Fig. 11 Relationship of the traffic of the cellular network and the vehicle density.

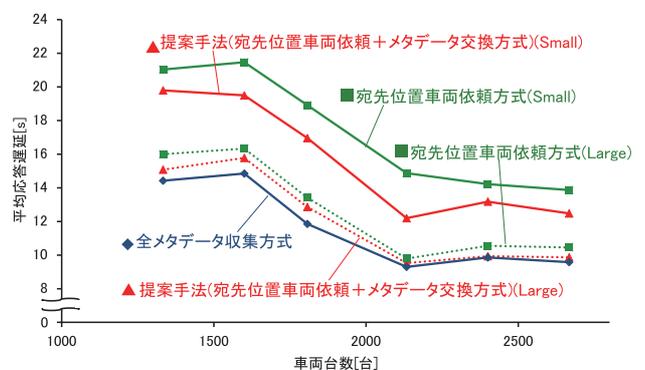


図 12 平均応答遅延 (車両台数変更)

Fig. 12 Relationship of the age of pictures that drivers obtain and the vehicle density.

ているが、すべての場合において信頼区間幅がプロット点サイズを下回っていた。

図 11 から、提案手法は車両密度が高い環境ほど全メタデータ収集方式と比べ、セルラ網の通信資源消費を抑えることができることが確認された。また、位置更新メッセージ送信間隔を変更した場合と同様に、提案手法は宛先位置車両依頼方式よりもシミュレーション時間中に発生する画像選出依頼メッセージの数が少なくなることが確認された。

図 12 から、位置更新メッセージの送信間隔を変更した場合と同様に、提案手法と宛先位置車両依頼方式は全メタデータ収集方式よりも応答遅延が長くなることを確認した。提案手法と宛先位置車両依頼方式を比較すると、提案手法の方が応答遅延が短くなるが、問合せ領域を広くとることで提案手法と宛先位置車両依頼方式の応答遅延の差が小さくなることを確認した。

図 13 に車車間通信のトラフィックを示す。同図から、メタデータをビーコンに付加したことで車車間通信のトラフィックが大きく増加していることが分かる。これは、提案手法では 100 [bytes] のビーコンを 10 個付加しているた

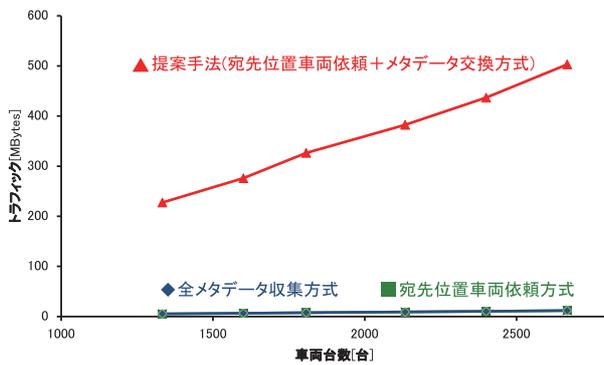


図 13 車車間通信のトラフィック (車両台数変更)

Fig. 13 Relationship of the traffic of the VANET and the vehicle density.

め、ビーコンのデータサイズが大きくなったためである。しかしながら、車両流入台数が最も多い2,133台の場合でも1.25 km 四方の二次元平面上で1秒あたり167.7 [kBytes]のトラフィックしか生成されていないため、他のアプリケーションの通信への影響は小さいと考えられる。

6. まとめ

本稿では、ドライバが興味のある地点で車載カメラにより最近撮影された画像を提供するシステムにおいて、ドライバの要求に対して要求先位置付近にいる車両間で要求満足画像を選出して、選出された画像の中から低遅延でドライバに提供可能な画像をサーバで選択し、ドライバに提供する手法を提案した。提案手法では、車車間通信を用いて画像のメタデータを周辺車両と交換することで車両が自身の現在位置付近で撮影された画像の存在を把握させ、ドライバから要求メッセージを受信したサーバが要求先位置付近にいる車両に要求満足画像の選出を依頼し、要求満足画像のメタデータのみをサーバが収集することで、セルラ網の通信資源消費とサーバの処理負荷を軽減し、システムのスケラビリティを向上させることができる。

本稿では、要求の宛先位置を固定とした環境を想定し、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、提案手法は全メタデータ収集方式に比べセルラ網トラフィックを34%に削減できることが確認できた。また、宛先位置車両依頼方式と比べてもつねにセルラ網のトラフィックが少なくなり、提案手法と宛先位置車両依頼方式とのセルラ網トラフィックの差は要求頻度にともない大きくなる。また、提案手法ではサーバがドライバから要求メッセージを受信した後に要求先位置付近にいる車両に要求満足画像の選出を行わせるため、全メタデータ収集方式よりも平均応答遅延が大きくなるが、宛先位置車両依頼方式に対してはつねに応答遅延が小さくなることが確かめられた。

提案手法では、サーバが車両から要求メッセージを受信した後に、宛先位置周辺にいる車両間の情報交換に基づい

て要求満足画像を選出するため、宛先位置付近の車両密度が低い等、車両間でメタデータの交換を十分に行えない環境では、要求満足画像の選出が行えない恐れがある。ドライバから需要が高い地域で撮影された画像や、車両密度が低い地域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等、車両間でメタデータの交換を頻繁に行えない場合でも要求満足画像の選出を行えるように、ビーコンに付加するメタデータの選択基準を改善することは今後の課題である。

本稿では、簡単のために要求の宛先位置を固定し、宛先位置付近でしか画像が撮影されない環境での評価を行った。複数の地点に対する要求が発生し、広範囲で画像が生成される条件における提案手法の性能評価および機能改善は今後の課題である。

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 Ishihara, 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 Ishihara, S.: R2D2V: RNC based Regional Data Distribution on VANETs, *IEEE Vehicular Networking Conference (VNC 2010)*, pp.263–270 (2010).
- [3] Kusumine, N. and Ishihara, 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] バイオニア, スマートループアイ, 入手先 (http://pioneer.jp/carrozzeria/cybernavi/avic-vh0009hud_avic-zh0009hud/smartloop/) (参照 2014-11-17).
- [5] HONDA, Internavi, 入手先 (<http://www.honda.co.jp/internavi/>) (参照 2014-11-17).
- [6] 富士通, SPATIOWL, 入手先 (<http://jp.fujitsu.com/solutions/convergence/service/spatiowl/>) (参照 2014-11-17).
- [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, 入手先 (<https://www.waze.com/ja/>) (参照 2014-11-17).
- [9] Mathur, S., Kaul, S., Gruteser, M. and Trappe, W.: ParkNet: A mobile sensor network for harvesting real time vehicular parking information, *Proc. 2009 MobiHoc S³ Workshop on MobiHoc S³*, pp.25–28, ACM (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 Trans-*

- portation Systems, Vol.8, pp.2292–2297 (2013).
- [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. and Wietfeld, C.: Cluster-Based Vehicular Data Collection for Efficient LTE Machine-Type Communication, *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*, pp.1–5 (2013).
 - [15] SPACE-TIME ENGINEERING, 入手先 (<https://www.spacetime-eng.com/jp/index.html>) (参照 2014-11-17).
 - [16] SUMO: Simulation of Urban MObility, available from (http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931_read-41000/) (accessed 2014-11-17).
 - [17] 国土交通省: 道路交通センサス一般交通量調査の概要, pp.1–8 (2011).
 - [18] 伊藤亮輔, 大貫斗士, 松本克也, 石原 進: リアルタイム画像カーナビのための車載カメラ画像の取捨選択方法, 第76回情報処理学会全国大会, 5U-7 (2014).



松本 克也 (学生会員)

1991年生。2014年静岡大学工学部システム工学科卒業。2015年同大学大学院修士課程在学中。車車間ネットワークの応用に関する研究に従事。



伊藤 亮輔 (学生会員)

1991年生。2014年静岡大学工学部システム工学科卒業。2015年同大学大学院修士課程在学中。車車間ネットワークの応用に関する研究に従事。



石原 進 (正会員)

1994年名古屋大学工学部電気工学科卒業。1999年同大学大学院工学研究科博士後期課程修了。1998年日本学術振興会特別研究員。1999年静岡大学情報学部助手。2001年同大学工学部助教授。2014年カリフォルニア大学ロサンゼルス校客員研究員。現在、静岡大学学術院工学領域准教授。博士(工学)。モバイルコンピューティング, モバイルアドホックネットワーク, センサネットワークに関する研究に従事。IEEE, ACM, 電子情報通信学会各会員。本会シニア会員。