情報処理学会論文誌 Vol.62 No.2 475–483 (Feb. 2021)

車載器非搭載車両を考慮した協調認識のためのモバイルエッジコンピューティング支援型車両情報共有システム

佐竹 颯太[1,a)] 谷 遼太郎 豊田 睦[1,b)] 重野 寛[1,c)]

受付日 2020年5月11日, 採録日 2020年11月5日

概要：車両ネットワークにおける Cooperative Awareness（協調認識）では，車載器を搭載する車両が Cooperative Awareness Message（CAM）を用いて自車の車両情報を周辺車両へブロードキャストし，他車両はこの車両情報をもとに周辺車両の状況を認識する．しかし，車載器を搭載しない車両は CAM を送信しないため認識が困難である．対策として，インフラ支援型の協調認識が提案されている．インフラ支援型の協調認識では，同一の非搭載車両の情報に関する冗長なブロードキャストによるトラフィックの増大が問題である．本論文では，非搭載車両を考慮したトラフィック抑制と CAM に格納された位置情報の精度を維持するモバイルエッジコンピューティング（MEC）支援の車両情報共有システムを提案する．提案システムのプロトタイプを実装し，提案システムの動作の検証を行う．動作確認の結果より，提案システムが送信制御を行わない場合と同程度の位置情報の精度を維持しながら，トラフィックの抑制を示す．

キーワード：車両情報，Cooperative Awareness Message（CAM），モバイルエッジコンピューティング

MEC-assisted Cooperative Awareness Message Dissemination System in Mixed Traffic

Hayata Satake[1,a)] Ryotaro Tani Mutsumi Toyoda[1,b)] Hiroshi Shigeno[1,c)]

Received: May 11, 2020, Accepted: November 5, 2020

Abstract: In cooperative awareness, the vehicle equipped with On-Board Units (OBUs) broadcast vehicle information to the other vehicles by the Cooperative Awareness Message (CAM), and recognize the other vehicles. However, the vehicles that are not equipped with OBU and thus do not send any CAM can not be recognized through communications. Infrastructure-assisted cooperative awareness, nevertheless another problem comes out that network traffic increases due to the broadcast of redundant CAM. This paper proposes a mobile edge computing assisted vehicle information dissemination system that considers network traffic suppression and maintenance of accuracy of the location stored in CAM in a mixed environment where vehicles equipped with and without the OBUs coexist. We implement a prototype of the proposed system that shows the proposed system suppress network traffic and maintain comparable location accuracy with the case when the transmission control was not performed.

Keywords: vehicle information, Cooperative Awareness Message (CAM), mobile edge computing

1. はじめに

近年，自動車どうしが通信を行う自動車ネットワークにおいて道路や周辺車両の情報を提供し，アプリケーションに活用する Cooperative Intelligent Transport System（C-ITS）[1] が注目されている．C-ITS において特に安全

[1] 慶應義塾大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Keio University, Yokohama, Kanagawa 223–8522, Japan
[a)] satake@mos.ics.keio.ac.jp
[b)] toyoda@mos.ics.keio.ac.jp
[c)] shigeno@mos.ics.keio.ac.jp

© 2021 Information Processing Society of Japan

性に関わる部分を担うものとして Cooperative Awareness（協調認識）[2] がある．協調認識では，各車両は自身の車両情報を Cooperative Awareness Message（CAM）[3] を用いて周辺車両へブロードキャストすると同時に，受信した他車両の CAM の車両情報をもとに周辺車両の状況を認識する．CAM は車車間で送受信されるメッセージであり，位置情報，速度，加速度，進行方向などで構成される．CAM を送受信するには車載器が必要であり，現在の車両ネットワークは車載器を搭載する車両と搭載しない車両が混在する環境（以下，混在環境と呼ぶ）である．米国運輸省道路交通安全局（NHTSA）の働き [4] により，車載器の普及率が上がることが考えられるが，車載器が既製車両・新規車両のすべてに導入されるには相当な時間がかかる．車載器の普及率が低いと，非搭載車両の認識が困難であり，協調認識の安全性が低下することが想定される．そのため，混在環境を検討する必要がある．解決策として，路側センサ，路側カメラ，クラウドサーバなどのインフラ設備を用いた車両検知・追跡手法を組み合わせたインフラ支援型の協調認識が有効である．インフラ支援型の協調認識ではインフラ設備が代理で CAM を送信しない非搭載車両を検知し，周辺車両に通知することが可能である．しかし，路側のインフラ設備が送信する同一の非搭載車両の情報に関する冗長なブロードキャストによる路車間のトラフィックが増大し，それにともなって車車間のトラフィックも圧迫するという問題点がある．

車載器搭載車両の増加にともない，衝突回避や高度なナビゲーションなどの計算集約的で遅延に敏感なアプリケーションが開発されている．これらのアプリケーションは莫大な車両センシングデータをリアルタイムで処理および分析するために大量の計算リソースを必要とする．クラウドサーバなどのリモート計算資源を使用することは車載器の不十分な処理能力や高エネルギー消費などの問題に対処することができる [5]．しかし，クラウドサーバは強力な計算能力を提供する一方，車両とクラウドサーバの通信処理による遅延の増加が問題である [6]．また，車両センシングデータの送受信が増加すると，DSRC [7] や IEEE 802.11p [8] などによる車両無線通信区間での通信帯域が圧迫され遅延が増加する．これらの問題に対処するためにモバイルエッジコンピューティング（MEC）の導入が検討されている．MEC は車両の近傍のネットワークエッジに配置された MEC サーバを利用し，車両と MEC サーバの通信距離の短さにより厳しい遅延要求を満たすことが可能になる [9]．また，衝突回避や高度なナビゲーションなどのアプリケーションは車両からのセンシングデータのみではセンシングの範囲の狭さや死角の存在により不十分である．しかし，MEC サーバと路側センサを組み合わせることで車両からのセンシングデータと路側センサの情報を集約して利用することができる．以上より，MEC サーバを車両ネットワークに導入することで，車載器よりも強力な計算資源でアプリケーションを代わりに処理すること，センシングデータを高速に処理および分析すること，路側で取得できる高精度なセンシングデータと車両センシングデータを集約し利用すること，MEC サーバは地理的に分散的に配置されており局所的な情報の処理が可能であるなどの効果が期待できる．

そこで，本論文では混在環境を想定したトラフィック抑制と位置精度の維持を考慮した MEC 支援型の車両情報共有システムを提案する．提案システムは主に 3 つの特徴がある．1 つ目は非搭載車両の協調認識の安全性を高めるために路側センサと MEC を組み合わせたインフラ支援型の車両情報共有を行うシステムのフレームワークを提案する．本システムでは，MEC サーバは非搭載車両のための CAM を代理で生成し，搭載車両に非搭載車両の車両情報の共有を提供する．2 つ目は非搭載車両の CAM の生成・送信の優先度付けである．車両位置を特定できていない新規流入車両や車両の予測位置と実際の位置の差が大きい車両に高い優先度を付与することにより，搭載車両における非搭載車両の車両予測位置と実際の位置の認識の精度を高める．3 つ目は非搭載車両の CAM の送信制御である．インフラからの非搭載車両のための CAM の送信に使用可能な帯域は限られており，その帯域を超えないように生成・送信可能な非搭載車両のための CAM 数を余剰帯域に基づき送信制御を行い，トラフィック量を削減する．以上により，トラフィックを抑制しながら位置精度を維持した車載器非搭載車両の CAM の提供を実現する．

以下本論文では，2 章において車両ネットワークにおける協調認識の関連研究について述べ，3 章では提案システムについて説明し，4 章で提案システムの実装と実験評価を示す．最後に 5 章でまとめを述べる．

2. 関連研究

本章では，車両の協調認識とインフラ支援型の協調認識に関する研究について述べる．

2.1 車両の協調認識

高度交通システム（Intelligent Transport Systems; ITS）は車車間通信（V2V）や路車間通信（V2I）によって成り立つ．V2V 通信は自動車に搭載された車載器間で行われる．V2I 通信では路側機（RSU）からの情報伝達と集中制御が可能である．ITS においてより多くの情報を共有し，アプリケーションに活用できるようにする C-ITS は他車両の情報を取得することによって安全性，快適性，効率性を高めることが可能である．C-ITS の協調認識では，各車両は CAM を用いて自身の車両情報をブロードキャストする．CAM に格納される情報は位置情報，速度，進行方向などがある．CAM を車両アプリケーションに活用するこ

© 2021 Information Processing Society of Japan

とで衝突の回避による安全性を向上させ，車両どうしの協調的な動作によって効率的な交通を実現する．

協調認識を実現するには車載器の普及が欠かせず，車載器が普及するまでは混在環境となる．協調認識の安全性を維持するためには非搭載車両を考慮する必要がある．また，搭載車両では車載センサによって他の車両を検知・認識することが考えられる．しかし，交差点のように遮蔽物による死角が存在するような場所では，車載センサによる検知・認識も限定されるという問題点がある．

2.2　インフラ支援型の協調認識

車両検知・認識が限定されるという問題を解決するために，路側のカメラ・センサやクラウドサーバなどのインフラを組み合わせた協調認識の研究が行われている．

HNVS [10] は路側カメラベースの車両検知を画像取得層，属性抽出層，行動理解層，ITS サービス層の 4 つの層で構成される．画像取得層では，路側の可視光センサを用いて交通流を感知し，都市道路，交差点，高速道路の画像を取得する [11]．属性抽出層では，車両の検知 [12]，車両の認識 [13]，車両の位置追跡 [14] をする．行動理解層では，動的および静的な属性を分析し，車両の挙動を理解し，交通システム全体の交通流状況を把握する [15]．ITS サービス層では，以上 3 つの層までの出力をもとに，効率的で安全な交通制御・管理のための ITS サービスを提供する．

車両検知は路側センサを用いることも有効である．車両検知に用いられる路側センサの例として，LiDAR [16] とミリ波レーダがある．路側カメラと路側センサの組合せにより，より高い精度で車両の検出が期待できる．

Bagheri ら [17] は，カメラやセンサに加え，クラウドサーバを組み合わせた協調認識を提案している．歩車間の衝突回避を想定し，クラウドサーバでは歩行者と車両の位置関係を算出し，車両が歩行者に接近した場合に衝突警告メッセージを車両へと送信する．しかし，クラウドサーバを用いる，クラウドコンピューティングは車両との通信距離による遅延により車両アプリケーションの厳しい遅延要求を満たせない場合がある．

Kitazato ら [18] は，複数の路側センサを利用し，車載器を搭載しない車両の検知と CAM の代理生成・送信を行う Proxy CAM を提案している．車載センサによる車両の検知が制限されてしまう環境において，複数の路側センサを用いて車両を検知することが可能である．CAM の代理生成・送信により混在環境における協調認識が可能である．しかし，実環境では複数の車両の CAM を RSU からブロードキャストすることによって，自動車ネットワークにおけるトラフィックの増大および圧迫が懸念される．結果として，パケットが輻輳，衝突することによって CAM が受信できず，CAM の位置情報の精度が維持できず，協調認識の安全性が低下する可能性がある．

以上より，混在環境において CAM による車載器を搭載しない車両の認識と位置情報の精度を維持しながらトラフィックの増大を抑制する手法が必要となる．

3.　提案

本章では混在環境におけるトラフィック抑制と位置精度の維持を考慮した車両情報共有システムを提案する．

3.1　提案概要

提案システムは車載器を搭載しない車両（N-OBU-V）の協調認識の安全性を高めるために路側センサと MEC を組み合わせたインフラ支援型の車両情報共有を行うシステムのフレームワークを提案する．本システムでは，MEC サーバは N-OBU-V のための CAM（以下，N-OBU-V CAM と呼ぶ）を代理で生成し，車載器を搭載する車両（OBU-V）に N-OBU-V の車両情報の共有を提供する．MEC サーバは N-OBU-V CAM の生成・送信の優先度付けをする．車両位置を特定できていない新規流入車両や車両の予測位置と実際の位置の差が大きい車両に高い優先度を付与することにより，OBU-V における N-OBU-V の車両予測位置と実際の位置の認識の精度を高める．また，MEC サーバは N-OBU-V CAM の送信制御をする．インフラからの N-OBU-V CAM の送信に使用可能な帯域は限られており，その帯域を超えないように生成・送信可能な N-OBU-V CAM 数を余剰帯域から算出することで送信制御を行い，トラフィック量を削減する．以上により，提案システムは混在環境における MEC 支援型の協調認識によって，CAM に格納された位置情報の精度を維持すると同時に，N-OBU-V CAM のブロードキャストの冗長化によるトラフィックを抑制を目的とする．

提案システムは交差点などの交通流が多方向から集中する環境を想定する．**図 1** に提案システムの想定環境を示す．また，OBU-V と N-OBU-V が様々な割合で存在する混在環境を想定している．OBU-V は互いに通信が可能であり，自車の CAM をブロードキャストすることで OBU-V どうしを認識することが可能である．また，RSU も OBU-V の

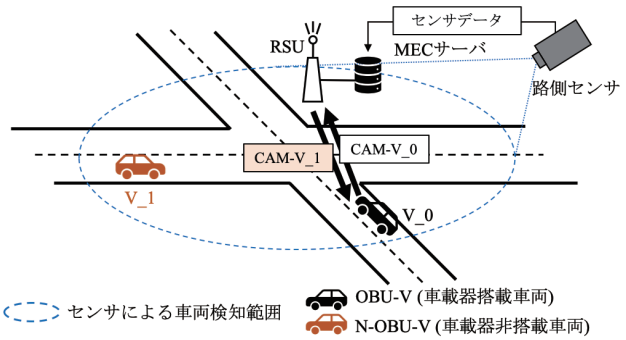

図 1　提案システムの環境
Fig. 1　Environment of proposed system.

© 2021 Information Processing Society of Japan

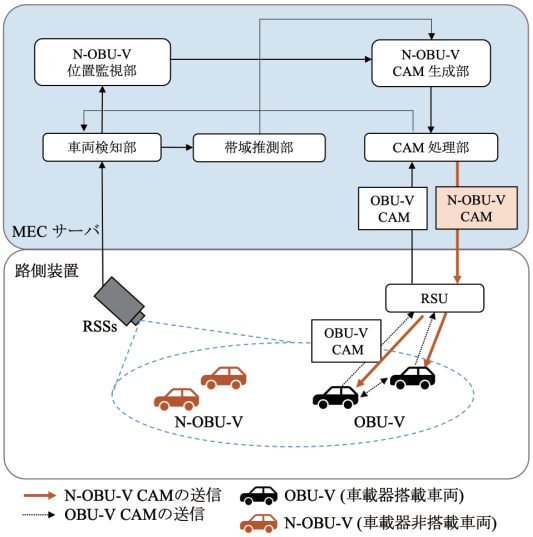

図 2　提案システムの構成コンポーネント
Fig. 2　Components of proposed system.

CAM を受信し，路側に配置された MEC サーバへと転送する．路側センサはカメラや LiDAR，ミリ波レーダなどを想定しており，以下では，死角なく車両を検知可能と仮定する．センサが取得した情報は MEC サーバが処理する．

3.2　提案システムの構成

図 2 に提案システムの構成を示す．本システムは MEC サーバ，OBU-V，N-OBU-V，路側センサ（RSS），RSU から構成される．

MEC サーバ

MEC サーバの役割は路側センサや CAM のデータを処理・管理をするコントローラで，CAM 処理部，車両検知部，帯域推測部，N-OBU-V 位置監視部，N-OBU-V CAM 生成部から構成される．CAM 処理部は RSU との OBU-V CAM，N-OBU-V CAM のやりとりを担う．車両検知部は後で述べる路側センサ（RSS）からのセンサデータと CAM 処理部からの OBU-V からの CAM を受信し，車両数のカウント，OBU-V と N-OBU-V の識別，CAM から車両検知部と N-OBU-V 位置監視部は車両検知部で使用する車両情報抽出する．車両検知部での抽出情報をもとに，余剰帯域の算出を行う．N-OBU-V 位置監視部は車両検知部での抽出情報をもとに N-OBU-V の位置の予測を行い，センサデータから得られた実際の位置との差を算出し，N-OBU-V CAM 生成部へ転送する．N-OBU-V CAM 生成部は帯域推測部での余剰帯域と N-OBU-V 位置監視部での差により N-OBU-V CAM の生成・送信の優先度を付与し，その優先度に基づいて N-OBU-V CAM を生成し，CAM 処理部へ転送する．CAM 処理部は RSU へ受信した N-OBU-V CAM を転送する．

OBU-V

OBU-V は車両情報を格納した CAM をブロードキャストする．また，他車両の CAM を受信し，他車両を認識する．OBU-V どうしは CAM によって互いの車両情報を把握することが可能である．

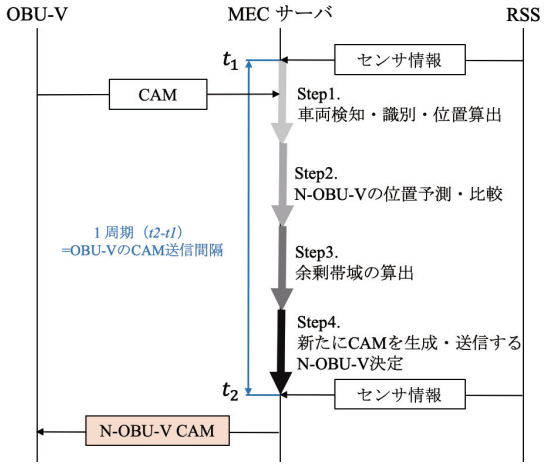

図 3　提案システムの動作
Fig. 3　Operation of proposed system.

N-OBU-V

車載器を搭載しない N-OBU-V は CAM の送信も行わない．本システムではすでに述べたように，路側システムが N-OBU-V の代理で選択的に CAM を送信する．一方，N-OBU-V は他車両や RSU からの CAM も受信しない．したがって，通信に頼らない情報提供を別途設ける必要があるが，本論文で N-OBU-V への情報提供については，これ以上議論しないものとする．

路側センサ（RSS）

RSS はセンサ検知範囲内の車両を検知し，MEC サーバの車両検知器へセンサデータを転送する．

RSU

RSU は範囲内の OBU-V と CAM の送受信を行う．

3.3　提案システムの動作

提案システムは一定間隔で周期的に動作する．以下では，標準的な CAM の送信間隔と同じ間隔で動作するものとして説明する．提案システムの動作は 4 つの処理ステップを 1 つの周期とし，これを繰り返す．図 3 に提案システムの動作を示す．1 周期の 4 つの処理ステップについて説明する．ここでは，N-OBU-V は RSU の通信範囲および路側センサの検知範囲内にすでに入った後であると仮定する．

Step1：車両検知・識別・位置算出

MEC サーバは RSS のセンサデータと OBU-V の CAM から車両の検知・識別・位置の算出を行う．検知では，車両台数をカウントする．識別では，CAM の送信があった車両を OBU-V と判断し，それ以外の車両を N-OBU-V と判断する．車両が OBU-V の場合は車両情報の抽出，N-OBU-V の場合は一意な車両 ID の付与，速度と方位を取得する．位置の算出では，RSS の

© 2021 Information Processing Society of Japan

センサデータをもとに N-OBU-V の現在位置の特定を行う．

Step2：N-OBU-V の位置予測・比較

MEC サーバは 1 周期前のセンサ情報をもとに N-OBU-V の現在位置を推定する．予測位置とセンサデータから算出した位置を比較し，その差に基づいて CAM 生成・送信の優先度付けをする．その周期における新規流入車両には最も高い優先度が，それ以外の車両には差の大きさによって順に高い優先度が割り当てられる．OBU-V も同様に 1 周期前に受信した N-OBU-V CAM の情報から N-OBU-V の位置の予測を行い，現在の周期の N-OBU-V の位置情報として保持する．

Step3：余剰帯域の算出

MEC サーバは Step1 で取得した車両数，OBU-V の割合と OBU-V から受信した CAM の総データ量から余剰帯域を算出する．

Step4：代理生成の対象となる N-OBU-V の決定

MEC サーバは Step3 で算出した余剰帯域内で送信可能な CAM 許容数を算出する．Step2 での優先度に基づき，送信可能な N-OBU-V CAM 許容数内で生成と送信を行う．CAM の生成・送信の対象とならなかった N-OBU-V に関して，MEC サーバは予測位置と 1 周期前の位置情報以外の車両情報を保持し，OBU-V は 1 周期前の車両情報を保持する．

3.4　余剰帯域の算出

帯域推測部では車両数，OBU-V の割合，OBU-V からの CAM の総データ量に基づいて余剰帯域を算出する．余剰帯域内で送信制御を行うことで N-OBU-V CAM の送信におけるネットワークトラフィックを抑制する．以下の式 (1) より周期 t での余剰帯域 $surplus_t$ を算出する．

$$surplus_t = B_MAX - \frac{\sum_{i=0}^{n-1} size_obu_{t,i}}{CAM_INTER}, \qquad (1)$$

ここで，第 1 項の B_MAX は設定する帯域の閾値，第 2 項は OBU-V のトラフィックの総量である．n は OBU-V の車両数，$size_obu_{t,i}$ は周期 t での OBU-V_i の CAM サイズ，CAM_INTER は CAM の送信間隔を示す．余剰帯域は帯域閾値と OBU-V のトラフィック総量の差である．

3.5　CAM の優先度の付与と送信制御

N-OBU-V CAM 生成部は N-OBU-V CAM の生成・送信の優先度を付与する方法を N-OBU-V がその周期における新規流入車両であるかどうかで変える．

- 新規流入 N-OBU-V：最も高い優先度が付与される．
- 残りの N-OBU-V：車両の予測位置と実際の位置の差の大きさによって順に高い優先度が付与される．

新規流入車両や車両の予測位置と実際の位置の差が大きい車両に高い優先度を付与することにより，OBU-V における N-OBU-V の車両予測位置と実際の位置の認識の差を小さくする．以下で説明する送信制御によって落ちてしまう位置精度を差の縮小により精度の維持を可能にする．

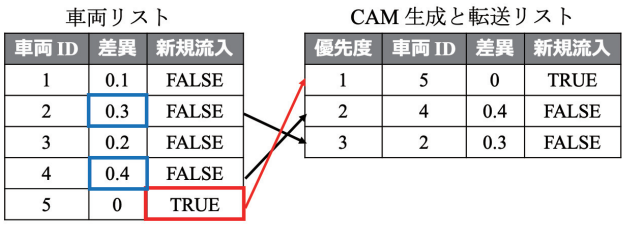

図 4　CAM 生成・送信の優先度付けの例

Fig. 4　Example of prioritization of N-OBU-V CAM generation and transmission.

CAM の送信間隔において，使用可能な帯域は限られており，その帯域を超えて N-OBU-V CAM を送信しないように N-OBU-V CAM 生成部は生成・送信可能 N-OBU-V CAM 数を算出することで送信制御を行う．余剰帯域に基づき，生成・送信可能 N-OBU-V CAM 数を算出する．以下の式 (2) より周期 t での N-OBU-V CAM の生成・送信可能な数 $n_obu_cam_t$ を算出する．

$$n_obu_cam_t = \frac{surplus_t}{\sum_{j=0}^{m-1} size_n_obu_{t,j}} - in_n_obu_t, \qquad (2)$$

ここで，第 1 項は送信可能な N-OBU-V CAM 許容数を表している．m は N-OBU-V の車両数，$size_n_obu_{t,j}$ は周期 t での N-OBU-V_j の CAM サイズである．第 2 項である $in_n_obu_t$ は周期 t での新規流入 N-OBU-V 数である．N-OBU-V CAM 生成部は以上の式 (2) で算出された値を用いて，余剰帯域を活用する送信制御を実現する．

図 4 は N-OBU-V CAM の生成・送信の優先度付けに基づく送信制御の例を示している．この例では，送信可能な N-OBU-V CAM 許容数 = 3，新規流入 N-OBU-V 数 = 1 の場合である．車両 ID は車両に割り当てられた一意な ID，差異は車両の予測位置と実際の位置の差，新規流入は新規流入車両かどうかを示す．新規流入の値は新規流入車両の場合は TRUE，そうでない場合は FALSE である．この例で，車両リストにおける車両 ID = 5 の車両が新規流入車両であるため，優先度が最も高く付与される．新規流入車両数は 1 台であったので，送信制御により生成・送信可能な N-OBU-V CAM 数 = 2 となる．車両の予測位置と実際の位置の差の大きさで優先度を付与するため，車両 ID = 4 の車両，車両 ID = 2 の車両の順に優先度を高く付与する．そのため，N-OBU-V CAM 生成・送信リストには車両 ID = 5，4，2 の順で格納され，この順に N-OBU-V CAM の生成・送信が行われる．

4.　プロトタイプ実装と評価

本章では，提案システムのプロトタイプの詳細と評価項目および評価について述べる．

© 2021 Information Processing Society of Japan

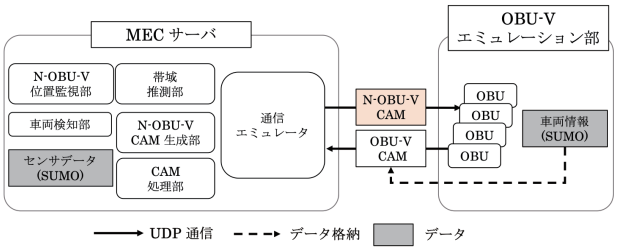

図 5　プロトタイプの全体図
Fig. 5　Overview of prototype.

表 1　実験パラメータ
Table 1　Experimental parameters.

パラメータ	値
交通流シミュレータ	SUMO (ver.1.2.0) [19]
車両移動モデル	Krauss [20]
車両の最大速度	60 km/h
実験時間	200 sec（2,000 周期）
車両総数（密度：低）	100 台
車両総数（密度：高）	150 台
N-OBU-V の数	10–90 台
OBU-V CAM のサイズ	200–800 bytes
N-OBU-V CAM のサイズ	800 bytes
CAM の送信間隔	100 msec（10 Hz）
センサデータの取得間隔	100 msec（10 Hz）
センサデータの取得範囲	交差点の中心から 50 m
取得範囲の標準偏差	0.09
RSU の通信範囲	交差点の中心から 50 m
帯域の閾値	1 Mbps

4.1　プロトタイプ実装

提案システムの動作確認および性能評価を行うために，提案システムのプロトタイプを実装した．**図 5** に提案システムのプロトタイプの概要を示す．実際のシステムでは，RSS がセンサ情報を MEC サーバに送信するが，プロトタイプシステムでは，あらかじめすべてのセンサ情報を用意し，MEC サーバ内に保持しておき，順次読み出すものとした．通信エミュレータを用いて RSU と OBU との通信についても簡略化した．OBU-V は複数台存在するが，すべての OBU-V の CAM は OBU-V エミュレーション部から送信されると仮定した．OBU-V から MEC サーバに送信される CAM には車両情報として車両 ID，位置，速度，方位が格納され，交通流シミュレータ SUMO（ver.1.2.0）[19] を用いて事前に取得した．

4.2　実験環境

プロトタイプをテスト環境で動作させて実験を行った．**表 1** に実験パラメータを示す．想定する環境は片側 2 車線の信号がある交差点，実験時間 200 秒（2,000 周期）とした．混在環境において，N-OBU-V の台数一定にし，OBU-V の台数を変化させることで車両の密度を変化させた．それにともない，総車両台数における OBU-V と N-OBU-V の割合は変化する．CAM の送信間隔は 100 msec とした．路側センサは交差点の中心から半径 50 m の円内の車両を検知・識別できるものとし，センサ情報取得間隔は 100 msec とした．RSU の通信範囲は交差点の中心から半径 50 m の円内で，この範囲内の車両と通信でき，この範囲内の車両どうしも互いに通信できるものとした．路側センサからの情報は SUMO で取得したモビリティを，既存のセンサの精度を考慮してセンサデータの取得範囲を標準偏差 0.09 の正規分布になるようにランダムなノイズを加えて利用した．CAM の送信に使用できる帯域を定めるために帯域閾値を設定した．実際に車両通信に使われている DSRC [7] や IEEE 802.11p [8] の通信速度を考慮し実験の設定値として，帯域閾値を 1 Mbps とした．提案システムでは帯域閾値を超えないように送信制御する．

車両の走行モデルは前方車両と衝突しない車間距離の維持に基づいた Krauss [20] のモデルを使用した．

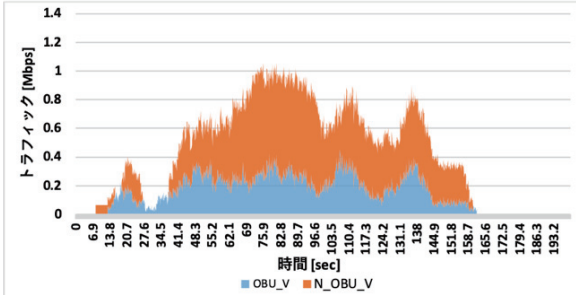

図 6　密度が低い環境で送信制御をしない場合の通信トラフィック
Fig. 6　Transition of communication traffic without transmission control in sparse environment.

4.3　評価項目

実験における評価項目はトラフィックの推移と，N-OBU-V CAM に格納されている位置情報の精度である．それぞれの項目について，提案手法によって送信制御を行った場合と，送信制御を行わなかった場合で比較した．

- トラフィックの推移
  測定するトラフィック量は車両ネットワーク全体の CAM，N-OBU-V CAM とする．N-OBU-V の送信制御を行うことで，ネットワーク全体のトラフィックを抑制できるかを検証する．
- 位置情報の精度
  位置情報の精度は N-OBU-V CAM に格納されている車両位置と実際の車両位置の差の絶対値の平均とする．送信制御を行いながら，N-OBU-V CAM に格納された位置情報の精度を維持できるかを検証する．

4.4　車両密度が低い環境

図 6 と**図 7** に交通密度が低い環境において，送信制御を行わなかった場合と行った場合のトラフィック推移を示す．

© 2021 Information Processing Society of Japan

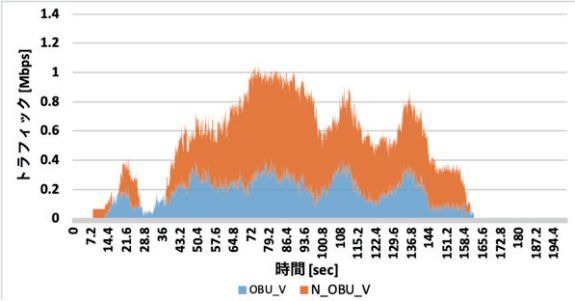

図 7　密度が低い環境で送信制御をした場合の通信トラフィック
Fig. 7　Transition of communication traffic with transmission control in sparse environment.

ここでは，交差点への総流入車両台数が 100 台の車両密度が低い環境で N-OBU-V が 50 台（50%），OBU-V が 50 台（50%）とした．図 6 の送信制御を行わなかった場合の実験時間 70–90 sec の間で，総トラフィック量は 191.8 Mbps であった．図 7 の送信制御を行った場合の実験時間 70–90 sec の間の総トラヒック量は 190.7 Mbps であり，図 6 の送信制御を行わなかった場合の同様の時間における総トラヒックに対して 0.6%の削減率であった．実験を通しての最大の削減率は 16.7%であった．また，送信制御を行わなかった場合では実験時間 2,000 周期のうち，12 周期で帯域閾値を超えた．対して，送信制御を行った場合は 2 周期であり，帯域閾値超過時間を 83.3%削減した．以上の結果より，車両密度が低く，OBU-V CAM 送信からのトラフィックが帯域閾値を超えない環境では提案システムの送信制御によりトラフィックを抑制できることが確認できた．

提案システムにおいて N-OBU-V CAM は帯域閾値のうち OBU-V CAM の送信に使用した帯域の余剰帯域を使用するため，OBU-V CAM を送信可能な車両数と余剰帯域で N-OBU-V CAM を送信可能な車両数の和が CAM を送信可能な車両上限数（以下，車両許容数と呼ぶ）となる．OBU-V CAM サイズは 200–800 byte で変動することを考慮し，式 (1)，(2) より解析的に車両許容数を評価すると総流入車両台数 100 台で N-OBU-V が 50 台，OBU-V が 50 台のとき，最大で 54 台，最小で 16 台である．送信制御を行った場合でも帯域閾値を超える周期が存在したのは，すでにトラフィックが帯域閾値に近い状態でも新規流入車両が多く，多数の N-OBU-V CAM を送信したからである．

図 8 は総流入車両台数 100 台の車両密度が低い環境で，N-OBU-V の割合を変化させた場合の N-OBU-V CAM に格納されている車両位置と実際の車両位置との差の平均を示す．送信制御を行った場合と送信制御を行わなかった場合を比較して，N-OBU-V の割合が 90%の場合は差の平均は最大で 0.02 m であった．N-OBU-V の割合が 50%の場合では同等であり，総じて送信制御を行った場合でも送信制御を行わない場合と同程度の位置情報の精度を維持していることが確認できる．

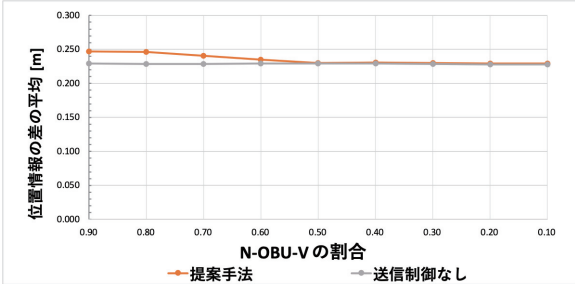

図 8　密度が低い環境の N-OBU-V CAM に格納された車両位置と実際の車両位置との差の平均
Fig. 8　Average difference between N-OBU-V CAM location and actual location in sparse environment.

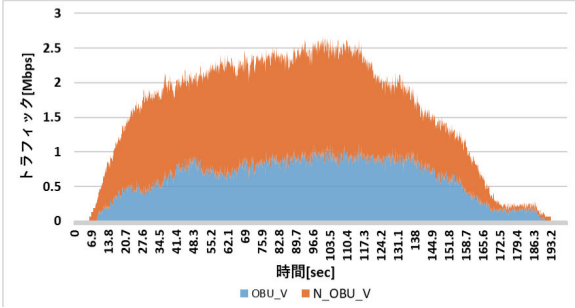

図 9　密度が高い環境で送信制御をしない場合の通信トラフィック
Fig. 9　Transition of communication traffic without transmission control in dense environment.

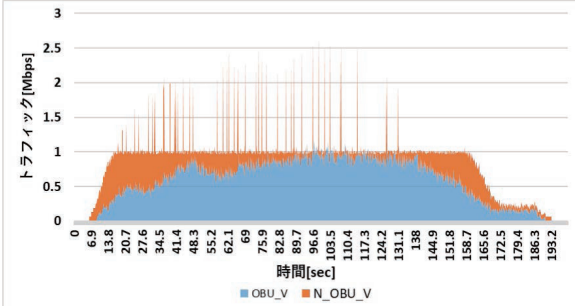

図 10　密度が高い環境で送信制御をした場合の通信トラフィック
Fig. 10　Transition of communication traffic with transmission control in dense environment.

4.5　車両密度が高い環境

図 9 と**図 10** に交通密度が高い環境において，送信制御を行わなかった場合と行った場合のトラフィック推移を示す．ここでは，交差点への総流入車両台数が 150 台の車両密度が高い環境で，N-OBU-V が 50 台（33.3%），OBU-V が 100 台（66.7%）とした．図 9 の送信制御を行わなかった場合の実験時間 15–160 sec の間で，総トラフィック量は 2,914.1 Mbps であった．図 10 の送信制御を行った場合の実験時間 15–160 sec の間の総トラヒック量は 1,515.5 Mbps であり，図 9 の送信制御を行わなかった場合の同様の時間における総トラヒックに対して 48%の削減率であった．実験を通しての最大の削減率は 60.0%であった．また，送信制御を行わなかった場合では実験時間 2,000 周期のうち，

© 2021 Information Processing Society of Japan

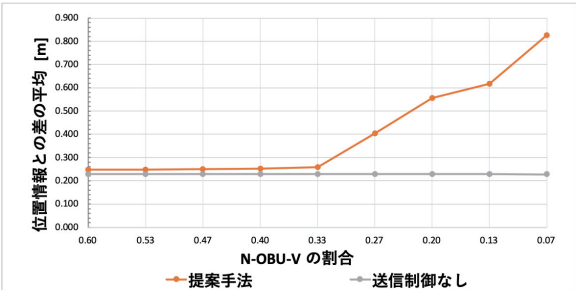

図 11　密度が高い環境の N-OBU-V CAM に格納された車両位置と実際の車両位置との差の平均

Fig. 11　Average difference between N-OBU-V CAM location and actual location in dense environment.

1,429 周期で帯域閾値を超えた．対して，送信制御を行った場合は 157 周期であり，帯域閾値超過時間を 89.0%削減した．

4.4 節と同様，送信制御を行った場合でも帯域閾値を超える周期が存在した．式 (1)，(2) より解析的に車両許容数を評価すると総流入車両台数 150 台で N-OBU-V が 50 台，OBU-V が 100 台のとき，最大で 64 台，最小で 16 台である．車両密度が高い場合は車両密度が低い場合と比較して OBU-V CAM で帯域が圧迫されるため帯域閾値を超える周期が増加した．

図 11 は総流入車両台数 150 台の車両密度が高い環境で，N-OBU-V の割合を変化させた場合の N-OBU-V CAM に格納されている車両位置と実際の車両位置との差の平均を示す．N-OBU-V の割合が 30%以上の環境では送信制御を行った場合は送信制御を行わない場合と同程度の位置精度を維持していることが確認できる．N-OBU-V の割合が 30%未満の環境では割合の減少に比例して差の平均が大きくなっている．これはすでに，N-OBU-V に関する CAM の送信制御では対応できない量の CAM が送信されているためである．

5.　おわりに

本論文では，混在環境におけるトラフィック抑制と位置精度の維持を考慮した MEC 支援型の車両情報共有システムを提案した．OBU-V の CAM と路側センサの情報を併用することによって N-OBU-V の認識を行う．提案システムでは N-OBU-V CAM の送信制御をする．余剰帯域を算出し，余剰帯域内で N-OBU-V CAM を送信することでトラフィックを抑制をする．また，N-OBU-V の現在位置の予測を行い，予測に基づいて N-OBU-V のための CAM の生成・送信の優先度付けを行う．優先度付けにより送信制御しながら N-OBU-V CAM の位置精度を維持する．

提案システムのプロトタイプを実装し，トラフィックの抑制と位置精度の維持について評価を行った．総実験時間 200 秒の実験の結果より，車両密度が低い環境（車両台数：100 台）では，送信制御を行わない場合と同程度の位置精度を維持しながら最大で 16.7%のトラフィック抑制を確認した．また，車両密度が高い環境（車両台数：150 台）において，N-OBU-V の割合が 30%以上の場合に送信制御を行わない場合と同程度の位置精度を維持しながら最大で 60%のトラフィック抑制を確認した．

謝辞　本研究は JSPS 科研費 JP20H04180 の助成を受けたものです．

参考文献

[1] ETSI – European Telecommunications Standards Institute: ETSI TR 102 962 V1.1.1 (2012-02) – Intelligent Transport Systems (ITS); Framework for Public Mobile Networks in Cooperative ITS (C-ITS) (2012).

[2] ETSI – European Telecommunications Standards Institute: ETSI EN 302 637-2 V1.3.2 (2014-11) – Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service (2014).

[3] CAR 2 CAR Communication Consortium: Survey on ITS-G5 CAM statistics (2018), available from ⟨https://www.car-2-car.org/fileadmin/documents/General_Documents/C2CCC_TR_2052_Survey_on_CAM_statistics.pdf⟩ (accessed 2019-12-15).

[4] U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration: Vehicle-to-Vehicle Communications: Readiness of V2V Technology for Application, pp.1–327, August (2014).

[5] Ataallah, S.M.A., Nassar, S.M. and Hemayed, E.E.: Fault tolerance in cloud computing – survey, *2015 11th International Computer Engineering Conference* (*ICENCO*), pp.241–245 (2015).

[6] Li, Y., Liu, J., Cao, B. and Wang, C.: Joint Optimization of Radio and Virtual Machine Resources With Uncertain User Demands in Mobile Cloud Computing, *IEEE Trans. Multimedia*, Vol.20, No.9, pp.2427–2438 (2018).

[7] Karagiannis, G., Altintas, O., Ekici, E., Heijenk, G., Jarupan, B., Lin, K. and Weil, T.: Vehicular Networking: A Survey and Tutorial on Requirements, Architectures, Challenges, Standards and Solutions, *IEEE Communications Surveys Tutorials*, Vol.13, No.4, pp.584–616 (2011).

[8] IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange Between Systems – Local and Metropolitan Area Networks Specific Requirements.

[9] Satake, H., Tani, R. and Shigeno, H.: A Task Placement System for Face Recognition Applications in Edge Computing, *2020 17th IEEE Annual Consumer Communications Networking Conference* (*CCNC*), pp.441–446 (2019).

[10] Tian, B., Morris, B.T., Tang, M., Liu, Y., Yao, Y., Gou, C., Shen, D. and Tang, S.: Hierarchical and Networked Vehicle Surveillance in ITS: A Survey, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, pp.25–48 (2017).

[11] FLIR: Traficam Intelligent Transportation Systems Video detection and monitoring solutions for traffic applications, available from ⟨https://www.flir.com/⟩ (accessed 2019-12-15).

[12] Geng, H., Guan, J., Pan, H. and Fu, H.: Multiple Vehicle Detection with Different Scales in Urban Surveillance Video, *2018 IEEE 4th International Conference on Multimedia Big Data* (*BigMM*), pp.1–4 (2018).

© 2021 Information Processing Society of Japan

[13] Nie, W., Liu, P., Jia, K., Liao, H. and Huang, X.: Taxi License Plate Block Detection Based on Complex Environment, *2018 IEEE 3rd International Conference on Image, Vision and Computing* (*ICIVC*), pp.81–85 (2018).
[14] Wu, C. and Weng, K.: The detecting and tracking system for vehicles, *2017 10th International Conference on Ubi-media Computing and Workshops* (*Ubi-Media*), pp.1–5 (2017).
[15] Thomas, S.S., Gupta, S. and Subramanian, V.K.: Event Detection on Roads Using Perceptual Video Summarization, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, pp.2944–2954 (2018).
[16] Gargoum, S.A., El-Basyouny, K., Froese, K. and Gadowski, A.: A Fully Automated Approach to Extract and Assess Road Cross Sections From Mobile LiDAR Data, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, pp.3507–3516 (2018).
[17] Bagheri, M., Siekkinen, M. and Nurminen, J.K.: Cellular-based vehicle to pedestrian (V2P) adaptive communication for collision avoidance, *2014 International Conference on Connected Vehicles and Expo* (*ICCVE*), pp.450–456 (2014).
[18] Kitazato, T., Tsukada, M., Ochiai, H. and Esaki, H.: Proxy cooperative awareness message: an infrastructure-assisted V2V messaging, *2016 9th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking* (*ICMU*), pp.1–6 (2016).
[19] Krajzewicz, D., Erdmann, J., Behrisch, M. and Bieker-Walz, L.: Recent Development and Applications of SUMO – Simulation of Urban MObility, *International Journal On Advances in Systems and Measurements*, Vol.3-4 (2012).
[20] Krauss, S., Wagner, P. and Gawron, C.: American Physical Society: Metastable states in a microscopic model of traffic flow, *Phys. Rev. E*, pp.5597–5602 (1997).

佐竹 颯太 （学生会員）

2019 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業．現在，同大学大学院理工学研究科修士課程在学中．

谷 遼太郎 （学生会員）

2018 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業．現在，同大学大学院理工学研究科修士課程修了．

豊田 睦 （学生会員）

2020 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業．現在，同大学大学院理工学研究科修士課程在学中．

重野 寛 （正会員）

1990 年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業．1997 年同大学大学院理工学研究科博士課程修了．現在，同大学理工学部教授．博士（工学）．情報処理学会学論文誌編集委員，同 DPS 研究会主査，同理事，電子情報通信学会英文論文誌 B 編集委員，Secretary of IEEE ComSoc APB 等を歴任．現在，同 ITS 研究会主査，Co-Chair of IEEE ComSoc APB MCC．ネットワーク・プロトコル，ITS 等の研究に従事．著書『ユビキタスコンピューティング』（オーム社），『情報学基礎第 2 版』（共立出版）等．電子情報通信学会，IEEE，ACM 各会員．

© 2021 Information Processing Society of Japan