

車両走行車線区間に基づくダイナミックマップシステムの エッジサーバ割当方式

細野 航平^{1,a)} 槇 晶彦² 渡辺 陽介³ 高田 広章³ 佐藤 健哉⁴

概要：近年、自動運転車両に搭載されたセンサ情報を無線通信経由で共有し安全性と効率を目指した協調型自動運転の研究が始まっている。さらに、共有したセンサ情報を管理してアプリケーションを実行するための情報通信プラットフォームであるダイナミックマップシステムが検討されている。しかし、インターネット上のクラウドで動作するダイナミックマップシステムでは、センサ情報を送受信する車両台数が増加した場合、スケーラビリティに関する懸念がある。そこで、クラウドで管理している情報を地理的に分散配置したエッジサーバにおいて管理することで、アプリケーションを効率的に実行可能になると考えられる。本稿では、車両が走行する道路上のエリアを「車両走行車線区間」として分割し、それに基づいた ID を用いてエッジサーバを割り当てるダイナミックマップシステムを実装し、管理する車両の台数に応じた通信遅延のスケーラビリティを評価することで、エッジサーバ割当方式の有効性を検証した。

キーワード：協調型自動運転、ダイナミックマップシステム、エッジコンピューティング

Edge Server Arrangement Method of Dynamic Map System Based on Lane Section

HOSONO KOHEI^{1,a)} MAKI AKIHIKO² WATANABE YOSUKE³ TAKADA HIROAKI³ SATO KENYA⁴

Abstract: In recent years, connected autonomous vehicles have been significantly studied. Connected vehicles use a variety of sensors, capable of sensing their environment. The dynamic map is a common integration platform, thus, incorporates the real-time traffic information into high accuracy 3D map. Due to this unique mechanism, a dynamic map attracts remarkable attention to some applications. However, the increase in traffic volume using a dynamic map platform, in case of overload in the client requests and responding by a single cloud, triggered to increase in the communication time and mislaid the data packets. Therefore, there is a need for a sustainable communication network. as a solution to this problem, in this study, we proposed the multiple interconnected distributed edge, geographically. By assigning the “Lane Section ID” with respect to control the flow of client request to each edge, which primarily act as a sub cloud, it will enhance the communication time and secure data packets. Moreover, enforce the implementation of a dynamic map platform. We have evaluated the communication time for each edge and missing data packet rate.

1. はじめに

現在、車両に搭載されたセンサにより走行環境を認識し、ドライバへの警告や自動で危険を回避する高度な安全運転支援システムや自動運転の研究・開発が活発に行われている [1-3]。しかし、車両に搭載されたセンサからでは、見通せる範囲の対象物は検知できても、見通せない範囲は検知できない。たとえば、見通しの悪い交差点における出会

¹ 同志社大学理工学部
Faculty of Science and Engineering, Doshisha University
² 富士通株式会社
Fujitsu Limited
³ 名古屋大学 未来社会想像機構
Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University
⁴ 同志社大学モビリティ研究センター
Mobility Research Center, Doshisha University
a) kohei.hosono@nislabs.doshisha.ac.jp



図 1 ダイナミックマップ概要
Fig. 1 Overview of Dynamic Map

い頭の衝突や、物かげからの急な飛び出しには対応が困難という問題がある。これらの状況に対応するため、無線通信技術を利用して、走行中の車両間、あるいは、車両と路側機の間で相互に情報交換することにより、安全性向上を目指した協調型 ITS (Intelligent Transport Systems) の研究が行われている [4, 5]。

協調型 ITS の応用例 (アプリケーション) として、交差点衝突危険警告、渋滞や路面状況、信号状態の情報提供に加えて、高速道路での合流支援など、多様な応用が検討されている [6, 7]。現在は、アプリケーションごとにそれぞれの情報が個別に管理・処理されているが、ダイナミックマップ [8, 9] として、それぞれの情報を基盤となる地図情報をもとに統合的に管理することで、効率的にアプリケーションが実現可能となる [10]。一般的に認知されているダイナミックマップの構成を図 1 に示す。情報の更新頻度に応じて、静的な道路地図の上に動的情報が階層化された構成となっている。

ダイナミックマップの動的情報として一般に 100 ミリ秒周期で車両から送信されるセンサ情報などが管理され、これに基づいて安全運転支援や協調型自動運転を実現するアプリケーションが動作するため、低遅延での情報処理が求められる [11]。

通常、ダイナミックマップシステムはインターネット上のクラウドの利用を想定するが、クラウドに膨大な車両からのデータが集約されると処理負荷や通信遅延の原因となりスケーラビリティが問題になると考えられる。

そこで、クラウドと車両の間の位置にエッジサーバを配置することで、処理負荷の分散や通信遅延の軽減が期待されている [12]。車両は高速に移動するため、継続した情報提供を行うためには、エッジサーバと車両との接続方法や車両の管理方法も問題となる。

本研究では、車両の台数の増加に伴い問題となるクラウドのスケーラビリティの問題を軽減するため、たとえば携

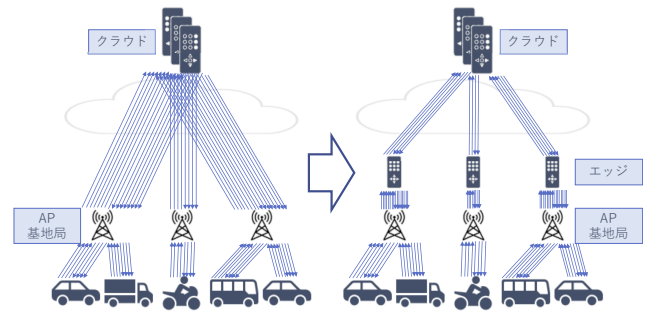


図 2 エッジサーバの配置と動作
Fig. 2 Placement and Operation of Edge Server

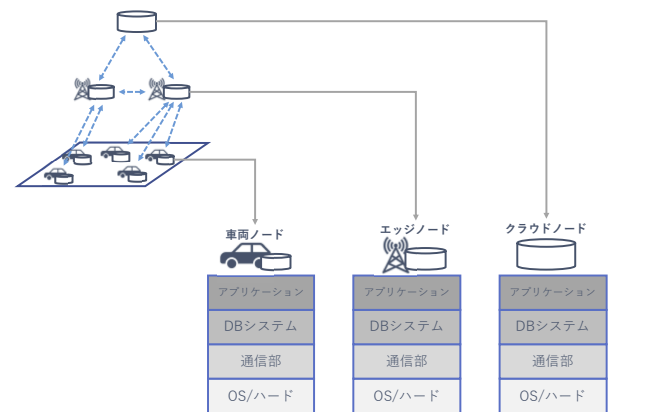


図 3 ダイナミックマップシステムの構成
Fig. 3 Architecture of Dynamic Map System

帯電話の基地局などにエッジサーバを配置し、道路上を移動する複数の車両に対して、効率的なエッジサーバの割り当て方式を検討する。

2. エッジサーバを配置したダイナミックマップシステム

2.1 エッジサーバ利用

エッジサーバの配置にはいくつかの議論があるが [13, 14]、本研究では、移動する車両からデータを送受信する携帯電話基地局に該当する位置にエッジサーバを配置する。車両は、エッジサーバへデータを送信する。ここで車両から送信されるデータは車両 ID、車両位置、速度、進行方向、タイムスタンプ等 [15] であり、車両位置は GPS やスキャンマッチングで測位した車両位置情報 [16] を利用して取得する。本研究におけるエッジサーバを配置したダイナミックマップシステムにおいて、クラウドでは広域の情報、エッジサーバではリアルタイムな処理が必要な局所的情報を管理する。本ダイナミックマップシステムは、クラウド、エッジサーバ、車両の三層構造のシステム構成となる。ここでは、クラウド、エッジ、車両をノードと呼ぶものとする。

2.2 ダイナミックマップシステムの構成

三層構造のダイナミックマップシステムでは、車両と最

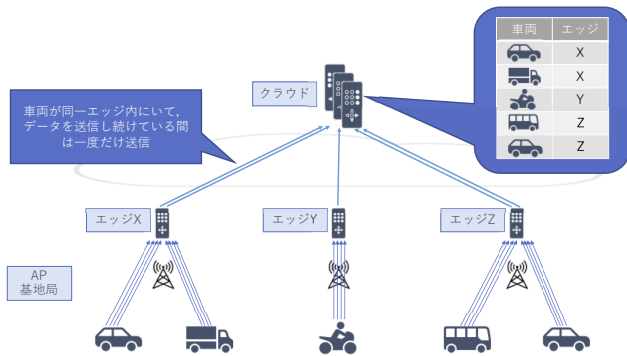


図 4 エッジサーバによる通信負荷軽減

Fig. 4 Reduction of Communication Load by Edge Server

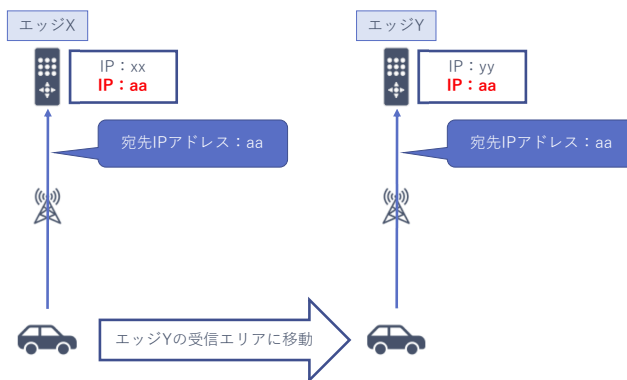


図 5 移動車両に対応した通信におけるエニキャスト利用

Fig. 5 Anycast in Communication for Vehicles

寄りのエッジサーバの間でデータの収集や配信の処理を分散することで、ネットワーク負荷を軽減でき、リアルタイム性の向上が可能となる。クラウドによるダイナミックマップシステムとエッジサーバを用いたダイナミックマップシステムのネットワーク負荷の比較を図 2 に示す。

本研究におけるダイナミックマップシステムでは、各ノードは、OS/ハード、通信部、データベース (DB) システム、アプリケーションの 4 層からなる。また、欧州で標準化が進む協調型 ITS システム [17] と同様に各ノードは固有の ID [18-20] を持つ。ダイナミックマップシステムの構成を図 3 に示す。各ノードは通信部を通じて通信を行い、送受信されたデータは各ノードのアプリケーションで処理される。ダイナミックマップシステムの構築により、センサ情報と地図データを連携させる共通基盤として利用可能となり、アプリケーションの構築が容易となる。

2.3 通信手段

本システムでは、車両とエッジサーバ、クラウドとの通信には IP を利用する。クラウドのみを利用するダイナミックマップシステムにおいて、車両からデータを送信する場合、車両の IP アドレスを送信元として、クラウドの IP アドレスを宛先とする。クラウドから車両にデータを返送する際は車両の IP アドレスを利用することができる。しか

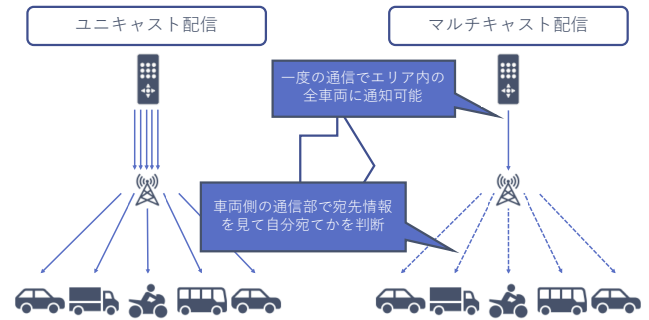


図 6 大量車両に対応した通信におけるマルチキャスト利用

Fig. 6 Multicast in Communication for Vehicles

し、エッジコンピューティングを用いた構成では、クラウドは車両からのデータを直接受信していないため、宛先となる車両の IP アドレスを特定できない。

そこで、本システムにおけるエッジサーバの通信部では、エッジサーバが車両からデータを受信した際に、送信した車両 ID をクラウドに通知することで、クラウドではどのエッジサーバがどの車両のデータを受信したかを判別可能となる。クラウドではこの集約した ID を利用することにより、移動している特定の車両に対してクラウドや、エッジサーバ、あるいは、別の車両からの通信を可能にすることができる。

エッジサーバによる通信負荷軽減について図 4 に示す。車両が移動して送信先のエッジサーバが切り替わった際にのみ、エッジサーバからクラウドに対して通知するため、車両のデータを定期的にクラウドに直接送信する場合と比較して、通信負荷を軽減することが可能となる。

移動する車両は複数のエッジサーバを切り替えながら走行するため、車両からデータを送信する際の宛先となるエッジサーバの IP アドレスを一意に設定できない。その解決策として、位置情報に対応する近隣のエッジサーバの IP アドレスの紐づけた情報を各車両内部に事前に持たせる方法や、位置情報と近隣のエッジサーバの IP アドレス情報を管理しているサーバに対して問い合わせをして、現在位置に対応するエッジサーバの IP アドレスを解決するという方法がある。しかし、前者の場合、全てのエッジサーバの情報を車両に持たせる必要があり、各車両が保持している情報の更新処理も複雑になる。更に、無線通信の状況により必ずしも目的のエッジサーバにつながるとは限らない。一方、後者の場合、データを送るまでに位置情報に体操したエッジサーバの IP アドレスの解決が必要となるため、ネットワークの負荷が増大する。

この問題を解決するため本システムでは、車両からのエッジサーバにデータを送信する際の宛先 IP アドレスとしてエニキャストアドレス [21] を使用する。これにより、車両はどこにいても、クラウドやエッジサーバのネットワーク構成を意識することなく、特定の IP アドレスを

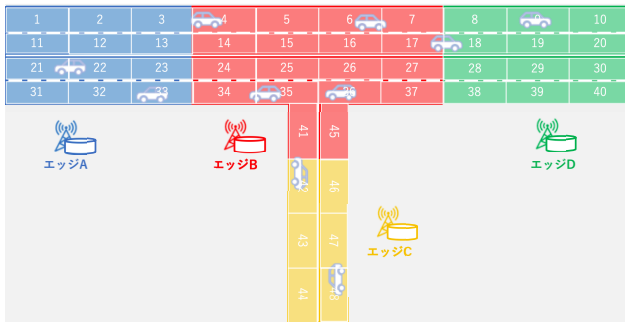


図 7 車両走行車線区間に基づくエッジサーバ割当

Fig. 7 Edge Server Arrangement based on Lane Section ID

用いて近隣のエッジサーバにデータを直接送信することが可能となる。エニーキャストによる車両からエッジサーバへの通信を図 5 に示す。

一方、エッジサーバから車両へ通信を行う場合、エッジサーバは送信先となる車両の IP アドレスを知る必要があるが、本システムでは、エッジサーバから車両に対する通信にはマルチキャスト通信 [22] を利用する。マルチキャストによるエッジサーバから車両への通信を図 6 に示す。各車両の通信部では受信したデータ内の宛先となる車両 ID を見て受信もしくは廃棄の判断をすることができる。これによりエッジサーバが配下の車両のユニキャストアドレスを知らなくても送信することが可能である。また、同一のメッセージであれば複数の車両に同法通知することにより、ネットワーク内の通信輻輳を軽減できる。

3. エッジサーバ割当方式

3.1 車両走行車線区間

本研究において、車両がエッジサーバへデータを送信する際に、GPS やスキャンマッチングで測位した車両位置情報を車線レベル情報をもった詳細地図データと照合し、当該車両が走行する車両走行車線区間に照らし合わせて、その情報をデータに付加してエッジサーバに送信する。この車両走行車線区間とは、車両が走行する道路の車線を特定の長さの区間に分け、それぞれの区間に固有の ID を割り当てたものである。車両走行車線区間の例を図 7 に示す。また、分割された地理的エリア（車両走行車線区間の集合）の情報を管理するエッジサーバを管轄エッジサーバと呼ぶ。合流調停などの特定の位置（たとえば交差点や道路の合流地点）に依存したアプリケーションを実現するためには、その位置付近を走行する車両をすべて同一のエッジサーバで管轄する必要がある。

しかし、周辺の建物の配置状況や携帯電話基地局の電波状況などにより常に意図したエッジサーバが受信するわけではない。管轄エッジサーバの管轄エリアと受信エリアが一致しない場合、単一のエッジサーバで動作するアプリケーションで処理ができない。このような場合には、車両

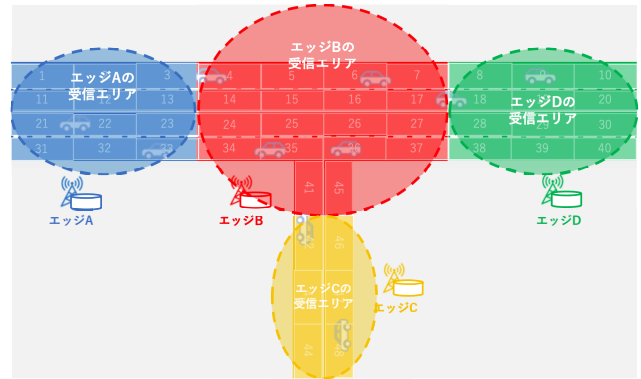


図 8 車両走行車線区間と受信エリア

Fig. 8 Reception Area for Lane Section ID

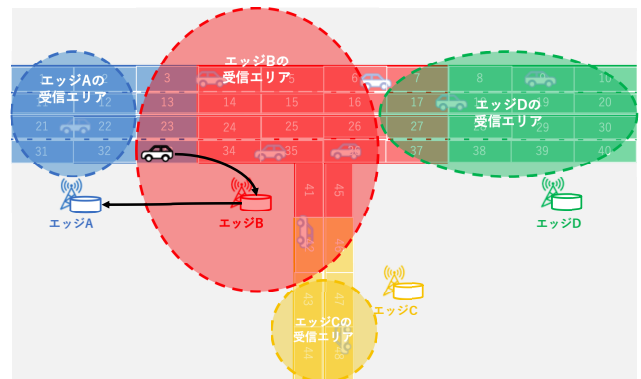


図 9 車両走行車線区間転送

Fig. 9 Lane Section ID Transfer

から送信されたデータ内の車両走行車線区間からエッジサーバ間でデータを転送する必要がある。これによりエッジサーバは車両から送られてきたデータ内の車両走行車線区間をみて、その車両の管轄エッジサーバを判別することが可能となる。

3.2 エッジサーバ間の車両情報転送

例えば、合流調停のように交差点周辺の車両から情報を受信して、車両の走行状況を判断しなければならないアプリケーションがエッジサーバに実装されている場合、そのエリアのすべての車両の受信エッジサーバがそのエッジサーバであれば問題ない。しかし、実際の携帯電話網等の無線通信では電波状況により意図した通りのアクセスポイントや基地局に紐づくエッジサーバが受信するとは限らない。また、携帯電話網や無線 LAN などの複数の通信手段を利用する場合も同一のエッジサーバが必ずしも受信するとは限らない。車両走行車線区間と受信エリアが一致した場合を図 8 に示す。

この手法により、エッジサーバは車両から送られてきたデータ内の車両走行車線区間をみて、その車両走行車線区間を管轄するエッジサーバ（管轄エッジと呼ぶ）が、自分自身であれば上位のアプリケーションに、また、他のエッ

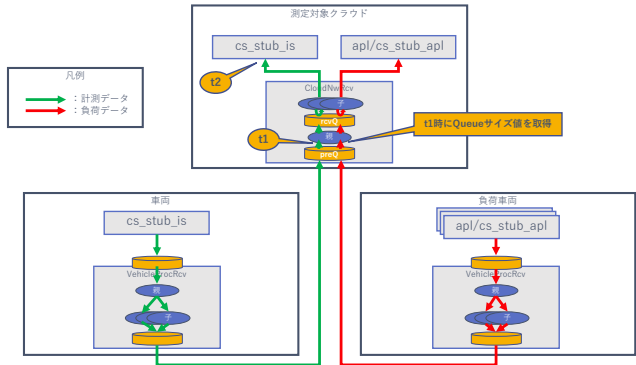


図 10 クラウドによるダイナミックマップシステムのデータの流れ
Fig. 10 Data Flow of Cloud Computing

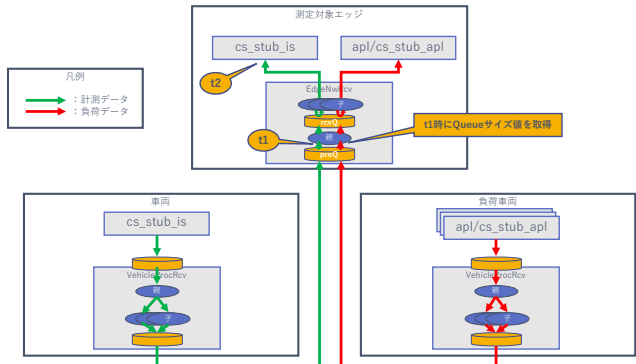


図 11 車両走行車線区間に基づくエッジサーバ割当による
ダイナミックマップシステムのデータの流れ
Fig. 11 Data Flow of Edge Computing

ジであれば該当する管轄エッジにデータを転送する。これにより車両は電波状況や通信手段に影響されことなく、管轄エッジにデータを送信することが可能となる。車両走行車線区間と受信エリアが異なる場合の車両走行車線区間転送を図 9 に示す。

4. 評価

4.1 評価システム構成

本システムを評価するにあたり、クラウドとなる PC を 1 台、エッジサーバとなる PC を 2 台、車両用 PC を 1 台、負荷車両用 PC を 4 台で構成されるダイナミックマップシステムを構築した。

車両走行車線区間を用いないクラウドによるダイナミックマップシステムでは車両はセンサ情報などを車両のアプリケーションにて取得し、通信部を通じてクラウドへと送信する。データはクラウドのキューに一時格納され、転送対象でなければ再度別のキューへと格納される。クラウドによるダイナミックマップシステムでは転送などは行われない。その後処理を行うクラウド内のアプリケーションへと送信され処理される。クラウドによるダイナミックマップシステムのデータの流れを図 10 に示す。

車両走行車線区間に基づきエッジサーバを割当てたダイ

表 1 評価システム構成 (クラウド, エッジサーバ)
Table 1 Cloud and Edge server configuration

OS	Ubuntu16.04
CPU	8 コア 16 スレッド (3.60GHz)
メモリ	16GB
SSD	256GB
通信方式	有線 LAN(最大 1Gbps)

表 2 評価システム構成と送信パラメータ (車両)
Table 2 Vehicle Configuration and Transmission Parameters

車両	
OS	Ubuntu16.04
CPU	4 コア 8 スレッド (1.90GHz)
メモリ	16GB
SSD	256GB
通信方式	有線 LAN(最大 1Gbps)
送信データパラメータ	
再送	なし
同時送信	なし
送信間隔	1000ms
計測間隔	1000ms
送信時間	150s

表 3 評価システム構成と送信パラメータ (負荷車両)

車両	
OS	Ubuntu16.04
CPU	8 コア 16 スレッド (3.60GHz)
メモリ	16GB
SSD	256GB
通信方式	有線 LAN(最大 1Gbps)
送信データパラメータ	
再送	なし
同時送信	なし
送信間隔	100ms
送信時間	100s

ナミックマップシステムではセンサ情報などを車両のアプリケーションにて取得し、通信部を通じてエッジサーバへと送信する。エッジサーバは受信したデータをキューに一時格納し、転送対象でなければ再度別のキューへと格納する。この時転送対象であれば転送対象のエッジへと転送を行う。その後エッジ内のアプリケーションへとデータは送信され、処理される。車両走行車線区間に基づいたエッジサーバ割当によるダイナミックマップシステムのデータの流れを図 11 に示す。

また、評価に用いたクラウド、エッジサーバとなる PC のスペックを表 1 に示す。計測対象である車両 PC のスペックとデータを送信する際のパラメータを表 2 に示す。負荷を与える車両台数を変化させてデータを送信するため

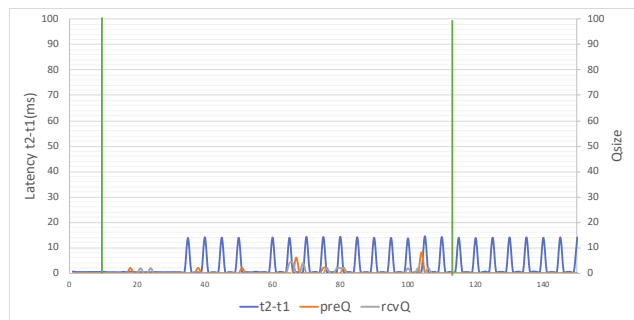


図 12 クラウドの処理遅延（車両台数 1000 台）
Fig. 12 Latency for Cloud (1000 vehicles)

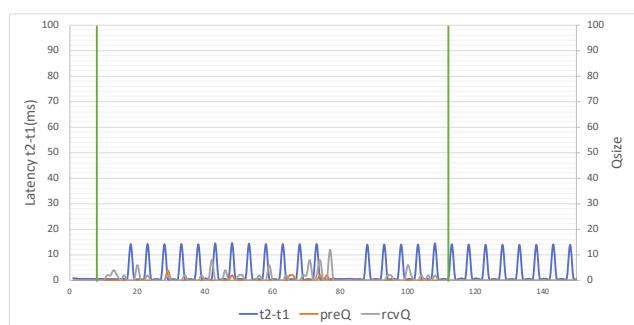


図 13 クラウドの処理遅延（車両台数 1600 台）
Fig. 13 Latency for Cloud (1600 vehicles)

の PC のスペックとデータを送信する際のパラメータを表 3 に示す。計測対象の車両は 1 秒間隔ごとに 150 秒間データを送信する。負荷車両は計測車両がデータを送信している間に 100 ミリ秒間隔ごとに 100 秒間データを送信する。評価対象となるクラウド、エッジは計測車両からのデータを受信した時刻 (t_1) からアプリケーションにて処理が完了するまでの時刻 (t_2) を処理遅延時間として計測する。またデータを受信し、データを溜め込むキューサイズ値に関しても計測する。

4.2 評価結果

クラウドによるダイナミックマップシステムで負荷車両台数を変化させた評価結果を図 12~15 に示す。緑色の縦線で挟まれた範囲が、車両からデータを送信した 150 秒間のうち負荷車両からデータを送信した 100 秒間である。クラウドによるダイナミックマップシステムの場合、1600 台程度の車両台数までは 1 つのクラウドでの管理でも問題となるような処理遅延やパケットロスが発生しなかった。しかし 1600 台の車両を超えて通信を行うとキューサイズ値が増加し処理遅延が発生した。車両台数 1700 台の場合、最大処理遅延時間は 1800 ミリ秒程度であったが、車両台数が 2000 台の場合、最大処理遅延時間は約 20000 ミリ秒であった。

エッジサーバを 2 台構築した車両走行車線区間に基づくエッジサーバ割当てで負荷車両台数を変化させた評価結果を

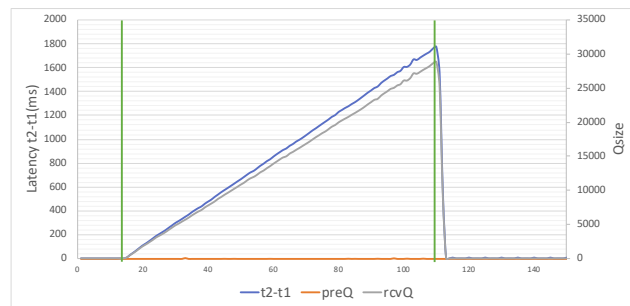


図 14 クラウドの処理遅延（車両台数 1700 台）
Fig. 14 Latency for Cloud (1700 vehicles)

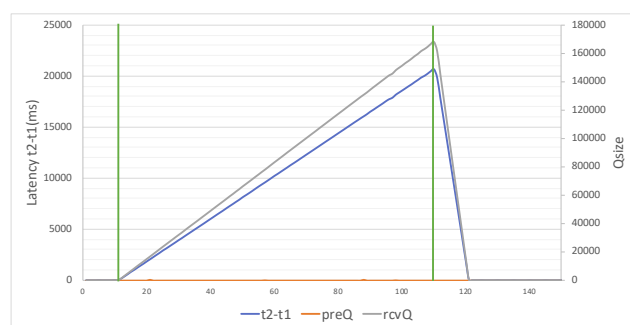


図 15 クラウドの処理遅延（車両台数 2000 台）
Fig. 15 Latency for Cloud (2000 vehicles)

図 16~19 に示す。エッジサーバを 2 台構築した車両走行車線区間に基づくエッジサーバ割当ての場合、車両台数 3200 台程度までは 2 台のエッジサーバでの管理で問題となるような処理遅延やパケットロスは発生しなかった。しかし 3200 台の車両を超えて通信を行うとキューサイズ値が増加し処理遅延が発生した。車両台数 3400 台の場合、最大処理遅延時間は 1800 ミリ秒程度であったが、車両台数が 4000 台の場合、最大処理遅延時間は約 20000 ミリ秒であった。

5. 考察

単一のクラウドによるダイナミックマップシステムでは、図 12、図 13 に示すように車両台数 1600 台程度までは問題となるような処理遅延なく通信・処理を行うことができた。しかし、図 14、図 15 からわかるように車両台数 1700 台程度を超えると大きな処理遅延が発生した。大きな処理遅延が発生する原因はクラウドが受信したデータをアプリケーションにて処理ができなくなり、キューに格納され溜まったことによるものである。

車両走行車線区間に基づくエッジサーバ割当てでは図 16 や図 17 からわかるように車両台数 3200 台程度でも問題となるような処理遅延なく通信を行うことが可能であった。しかし図 18 や図 19 のように、車両台数が 3400 台程度を超えると大きな処理遅延が発生した。大きな処理遅延なく処理ができる車両台数がクラウドによるダイナミックマップシステムに比べて 2 倍程度増加した。これはエッジサー

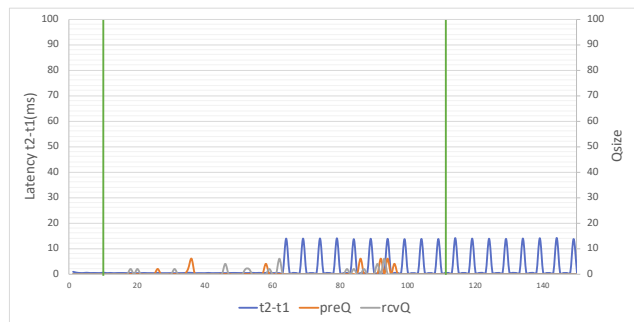


図 16 エッジサーバの処理遅延 (車両台数 2000 台)

Fig. 16 Latancy for Edge (2000 vehicles)

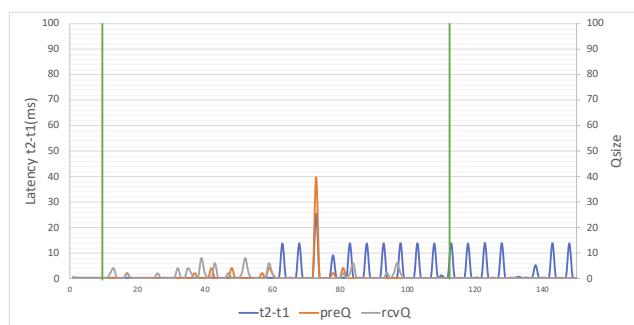


図 17 エッジサーバの処理遅延 (車両台数 3200 台)

Fig. 17 Latancy for Edge (3200 vehicles)

バを 2 台用意し車両走行車線区間情報をもとに処理が分散したために低遅延で処理が可能な車両台数が増加したためである。

安全運転支援や自動運転を実現するためのダイナミックマップシステムでは、低遅延で通信を行う必要があり、今後車両とサーバが通信するデータ量はますます増えていくと考えられるため許容車両台数は多いほどよい。通信を行うときに問題となるような処理遅延が発生しない車両台数が、クラウドによるダイナミックマップシステムに比べて 2 倍程度増加したことから効率が向上した。また各エッジサーバが負担するデータ量がクラウドによるダイナミックマップシステムに比べて少なくなることから通信の確実性が向上した。車両走行車線区間に基づきエッジサーバを割当てたダイナミックマップシステムではクラウドによるダイナミックマップシステムに比べて低遅延で通信が可能となり、交通流の円滑化という点でクラウドによるダイナミックマップシステムに比べて向上した。

今後の課題として車両走行車線区間転送機能の評価が挙げられる。また通信を使い車両のリアルタイムな位置情報を把握するには通信頻度が重要であるが、通信頻度が小さければ位置情報の誤差が大きくなり、リアルタイムな位置情報を利用するアプリケーションへの影響は大きくなる。各車両からエッジに送信されるデータ内の位置情報をダイナミックマップシステムと照合し、各車両の送信間隔を最適化する送信間隔制御についても今後の課題である。

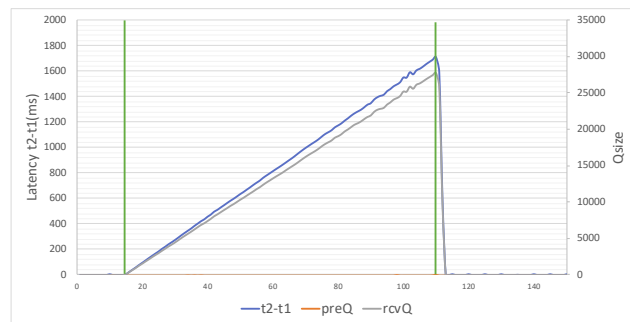


図 18 エッジサーバの処理遅延 (車両台数 3400 台)

Fig. 18 Latancy for Edge (3400 vehicles)

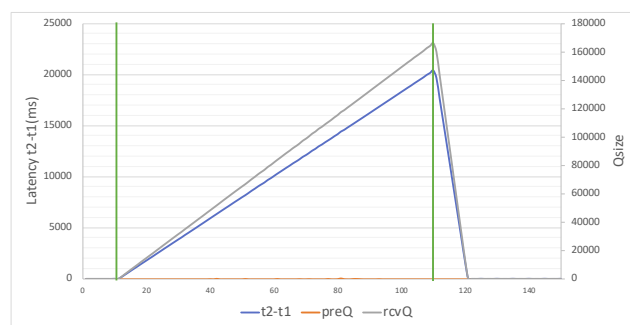


図 19 エッジサーバの処理遅延 (車両台数 4000 台)

Fig. 19 Latancy for Edge (4000 vehicles)

6. まとめ

近年、自動運転車両に搭載されたセンサ情報を無線通信経路で共有し安全性と効率を目指した協調型自動運転の研究が始まっている。さらに、共有したセンサ情報を管理してアプリケーションを実行するための情報通信プラットフォームであるダイナミックマップシステムが検討されている。しかし、インターネット上のクラウドで動作するダイナミックマップシステムでは、センサ情報を送受信する車両台数が増加した場合、スケーラビリティに関する懸念がある。そこで、クラウドで管理している情報を地理的に分散配置したエッジサーバにおいて管理することで、アプリケーションを効率的に実行可能になると考えられる。

本稿では、車両が走行する道路上のエリアを「車両走行車線区間」として分割し、それに基づいた ID を用いてエッジサーバを割り当てるダイナミックマップシステムを実装した。車両とエッジとの通信にはエニキャスト通信、マルチキャスト通信を用い、電波状況などから意図しないエッジサーバがデータを受信した際に車両走行車線区間転送を用いることで車両がエッジサーバ間を跨いで高速に移動しても低遅延でエッジサーバと車両が通信を行い、処理が可能なシステムを構築した。

管理する車両の台数に応じた通信遅延のスケーラビリティを評価し、提案システムでは約 3200 台程度の車両台数を低遅延で処理することが可能となり、車両走行車線区

間を用いないクラウドによるダイナミックマップシステムに比べて2倍程度スケーラビリティが向上し、エッジサーバ割当方式の有効性を示した。

参考文献

- [1] 高橋宏：ドライバを支援する車の智能化技術，養賢堂（2013）。
- [2] 菅沼直樹，米陀佳祐：自動車の自動運転におけるデジタル地図の活用，日本ロボット学会誌，Vol.33，No.10，pp.760-765（2015）。
- [3] 徳永雄一：「ダイナミックマップによる社会 IoT の実現とその活用」特集号を企画して，システム/制御/情報，Vol.60，No.11，pp.495（2016）。
- [4] 青木啓二：自動運転車の開発動向と技術課題：2020年の自動化実現を目指して，情報管理，Vol.60，No.4，pp.229-239（2017）。
- [5] 菅沼直樹：自動車の自動運転技術の動向と開発事例，電子情報通信学会誌，Vol.98，No.1，pp.48-53（2015）。
- [6] ETSI EN 302 637-2 V1.4.1: Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Definitions（2009）。
- [7] 首相官邸：官民 ITS 構想・ロードマップ 2019（2019）。
- [8] 高田広章，佐藤 健哉：ダイナミックマップ：自動走行／協調運転支援のための情報プラットフォーム：システム/制御/情報，Vol.60，No.11，pp.457-462（2016）。
- [9] ダイナミックマップ 2.0 コンソーシアム，入手先〈<http://www.nces.i.nagoya-u.ac.jp/dm2/>〉
- [10] 佐藤健哉，渡辺陽介，高田広章：動的地理情報共有のためのアプリケーションプラットフォームとしてのダイナミックマップの役割：電子情報通信学会誌，Vol.101，No.1，pp.85-90（2018）。
- [11] 山本 俊行，Kai LIU，森川高行：タクシー配車データのプローブ情報としての活用に関する基礎的分析：土木計画学研究論文集，Vol.23，No.4，pp.863-870（2006）。
- [12] 株式会社 NTT ドコモ，株式会社 パスコ：高度地図データベースの効率的な更新・配信の実現について：入手先〈https://smartiot-forum.jp/application/files/6414/7702/6769/sympo.20160927_02.mobility_03-03.pdf〉
- [13] ITS 情報通信システム推進会議 セルラーシステム TG：セルラー通信技術を用いた ITS・自動運転の高度化に向けた課題調査報告書（2019）。
- [14] ETSI GR MEC 022 V2.1.1: Multi-access Edge Computing (MEC) Study on MEC Support for V2X Use Cases（2018）。
- [15] 高度道路交通システム研究室：プローブデータに関する日米共同研究 評価報告書：国土技術政策総合研究所資料，第 820 号（2015）。
- [16] 渋谷奈保，高橋友和，井手一郎，村瀬洋，小島祥子，高橋新：車載レーザスキャナによる距離データマップの構築と高精度自車位置推定：電子情報通信学会論文誌 D，Vol.J92-D，No.2，pp.215-225（2009）。
- [17] 西部陽右：欧州を中心とする協調型 ITS の標準化動向について：Traffic & business，Vol.94，pp.26-30（2010）。
- [18] ETSI TS 102 894-2 V1.2.1: Intelligent Transport Systems; Users and Applications Requirements; Part 2: Applications and Facilities Layer Common Data Dictionary（2014）。
- [19] ETSI EN 302 637-2 V1.3.2: Intelligent Transport Systems; Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specifications of Cooperative Awareness Basic Service（2014）。
- [20] ETSI EN 302 637-3 V1.2.1: Intelligent Transport Systems; Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service（2014）。
- [21] D. Johnson: Request for Comments 2526: Reserved IPv6 Subnet Anycast Addresses: IETF, <https://tools.ietf.org/html/rfc2526>（1999）。
- [22] R. Hinden: Request for Comments 2375: IPv6 Multicast Address Assignments: IETF, <https://tools.ietf.org/html/rfc2375>（1998）。