

ダイナミックマップ2.0を活用した自動運転車両 に対するインフラ情報配信システム

Digital transport infrastructure systems for automated driving systems using
Dynamic Map 2.0

今 健人 渡辺 仁

Abstract

In this technical paper, we introduce Digital Transport Infrastructure (DTI) systems using the Dynamic Map2.0 (DM2.0), which is being developed by Nagoya University. These systems supports low-speed automated driving systems by providing other road user information and traffic signal information.

Yamaha Motor is working on research and development of low-speed automated driving systems based on golf carts and control servers for centralized fleet management. The future aim is to provide mobility services for the public, covering a radius of several kilometers in depopulated areas, urban areas or resorts.

As there are always other road users and no dedicated roads available, multiple vehicles can be arbitrated by the control server, making smoother operations at intersections or junctions are possible. In environments where other vehicles that cannot be managed by the control server are running, it is effective to use DTI at such as intersections with poor visibility that are difficult to detect using onboard sensors alone. DTI supports are also effective even at intersections with obscure traffic signals.

1 はじめに

ヤマハ発動機(以下、当社)では電磁誘導式の自動運転ゴルフカーを1996年より発売している^[1]。近年ゴルフカー(以下、ゴルフ場以外での活用のためランドカーと表記する)は生活圏内の短距離移動手段ワンマイルモビリティとして注目を集めている。

当社はランドカーによる移動を社会実装できるよう、数々の実証実験を行ってきた。2002年のオランダ国際花博会場内シャトルサービス、2013年の千葉県柏の葉におけるオンデマンド型水平エレベータコンセプト、2014年には公道走行用の改良を加えたランドカーについて、電動小型低速車両としてナンバー取得が認められた。これによりランドカーの公道走行が可能となった。

そして2016年には公道における国内初の電磁誘導式自動運転の実証実験が石川県輪島市で開始された。続く2017年には経済産業省の端末交通システム実証事業^[2]、国土交通省の中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービス事業に参加協力している^[3]。2021年3月には、経済産業省の端末交通システム実証事業の成果として、国内初のドライバが乗車していない、遠隔監視・操作型のレベル3自動運転車両の認可を受けることができた^[4]。さらに現在開発中のレベル4の自動運転システムはドライバが不要であるため、運用上はコストメリットがあり、社会普及促進の可能性が大きい。

また、先進的な自動運転技術やコネクテッドを活用した新し

い自動運転システムの開発^[5]も進めている。ランドカーは低速で時間あたりの移動距離が制限されることから、数キロ四方程度の限定地域で複数の低速自動走行車両を管制システムによりオンデマンドで配車する「ラストマイルの移動サービスシステム」がサービスモデルとして適している^[6]。

一般的な自動運転では、高度なシステム技術、社会全体のインフラ整備、法律など社会制度の変革、ユーザの心理的受容性への配慮など、大きな課題が山積している。しかし、低速で限定地域内での運用であれば走行環境条件が限定されるため技術的に必要な要件を見積もりやすく、運用方法によっては早期の実用化が期待できる。一方各地での実証実験の結果、車両のセンサのみではドライバレスの運用が難しいことが確認された。特に、車両センサで検知が難しい、見通しの悪い交差点での他車両の検知や、信号機の情報は通信可能な路側機などのデジタル交通インフラ (Digital Transport Infrastructure: DTI) からの支援が必要になる。自動運転管制システム配下の車両については各車両の状態を把握できるので、交差点等での調停が可能であるが、一般公道などの混在環境では車両のセンサ検知範囲外の他の道路使用者の位置などの状態を把握することができないため、調停機能を活用するのは難しい。また、交通信号機についても車載センサのみでは、天候などの影響を受け状態の把握が難しい場面が存在している。これらの課題に対して、DTIと自動運転管制システムの連携機能を構築することにより、自動運転システムの高度化を実現することができる。

本稿では、名古屋大学を中心にして開発が進められている Dynamic Map 2.0(以下 DM2.0)を使用し、路側センサによる他の交通参加者の検知や信号機情報の車両への配信について、基礎的なシステムを開発したので紹介する。

2 自動運転管制システム

2-1. 概要

本システムは、図1のように複数の低速自動走行車両と、それらを集中制御する管制システムによって構成されている。今回、インフラ連携システムを構築するにあたり、配車サービスを実現している管制システム構成^[7]に DM2.0プラットフォーム(以下 DM2.0PF)をインストールしたサーバを追加して路側機からの情報を処理している。

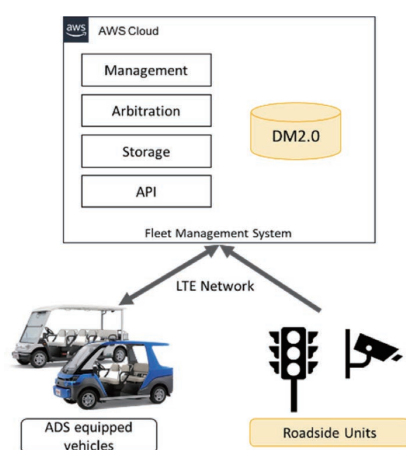


図1 自動運転管制システムの概念図

自動運転車両には自己位置推定などの基本的な自動走行機能が搭載されており、それらの演算結果がLTEを介してクラウドサーバ上に構築された管制システムに送信される。路側機からは信号機情報や道路上に存在する移動物の位置や状態に関する情報(物標情報)がLTEを介して管制システムに送信される。管制システムは車両や路側機の情報をもとに調停を行い、車両に対して制御情報を送信する。

2-2. 管制システムによる調停

管制システムは管理下の自動運転車両を制御しているため、交差点での調停が可能である。先に交差点に近づいている車両や優先度の高い車両を先に通過させ、他の車両の交差点への進入を排他制御で防いでいる(図2)。

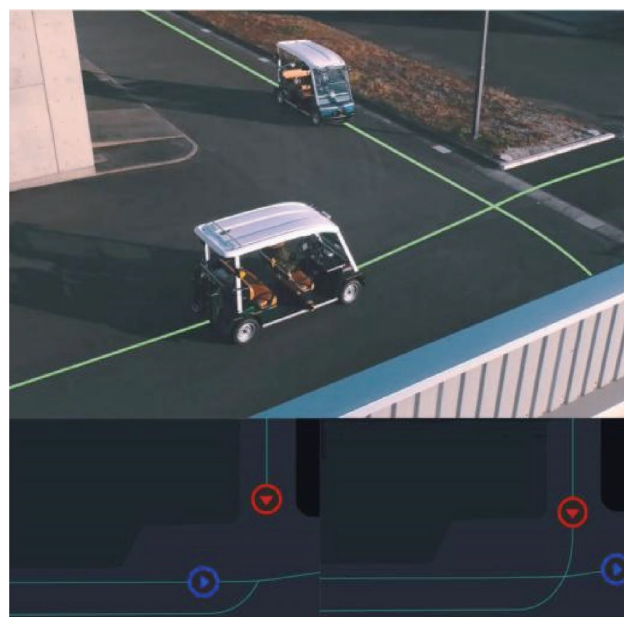


図2 管制システムによる交差点調停

しかし、他の道路使用者がいる環境では管制システムは他の歩行者や車両を検知できないため、車両は自立センサのみによりそれらを検知し走行する必要がある。特に図3のような見通しの悪い交差点では自立センサによる他車両の検知が難しく、現状ではドライバの介入が必要になっている。



図3 見通しの悪い交差点

ドライバの介入を不要にするためには、路側カメラと物体の認識、および、その情報を車両に配信する通信などのDTIによる支援が必要である。

3 Dynamic Map 2.0 (DM2.0)

3-1. 概要

名古屋大学のDM2.0コンソーシアムでは、Dynamic Map(図4)の概念に基づき高精度道路地図とセンサ情報を収集、統合、検索などが可能なデータ管理のシステム開発をしてき

た^[8]。これは、データをクラウドに一括管理するものではなく、処理負荷の分散や通信遅延の解消を狙い、一極集中をやめ、車載組込みシステムや道路インフラのエッジと連携し、クラウド環境の複数サーバで並列動作などといった柔軟なデータ処理と通信の仕組みを実現するものである。

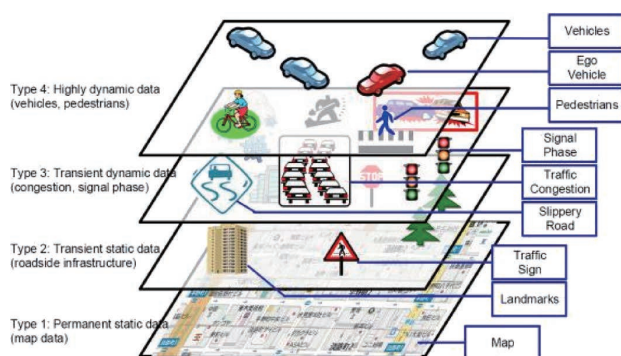


図4 Dynamic Map の構成^[8]

クラウド、エッジ、車載組込みシステムをカバーするソフトウェアプラットフォームの研究開発は、具体的には、①分散データ処理機構を備えたデータストリーム管理システム(DSMS)の設計と実装、②静的、準静的、準動的、動的情報のデータ定義、③通信方式の検討と評価、④Dynamic Mapの利便性を訴求するユースケースの検討と交通アプリケーションの試作、⑤Dynamic Mapの実験評価を行っている。

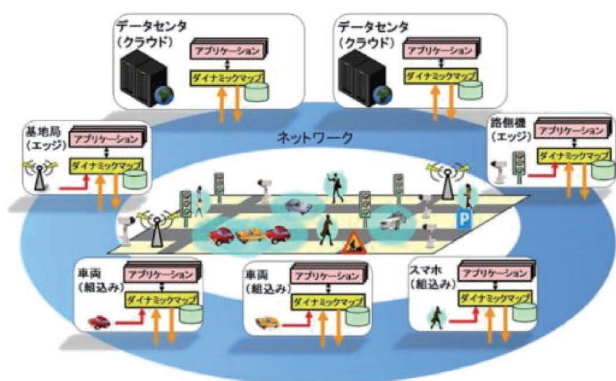


図5 Dynamic Map 2.0 コンセプト^[8]

図5のように、クラウドサーバ、路側エッジや基地局エッジ、車両・スマホの組込みシステムにDM2.0PFを実装することで、データのやり取りが可能になる。

3-2. 動的データの取り扱い

DM2.0のデータの扱いは、信号データ、車両位置データなどの情報の種類が異なっても、共通のデータモデル、共通の

操作体系(クエリ言語)を使えるところが特徴である。

リレーショナルモデルを採用し、更新頻度が低いデータは従来のリレーショナルモデル(テーブル)として扱い、更新頻度の高い、動的情報や予測情報はリレーショナルモデルを時系列に拡張したストリーム形式で取り扱う。

ストリームでは、各行でTimestampの情報をもち、新規のデータは末尾に追加されていく。例として、車両情報のストリームを図6に示す。車両情報は自動運転ソフトウェアからアップロードされている想定である。

位置情報						
データ生成時刻	車両ID	X座標	Y座標	速度	現在のレーンID	
Timestamp	id	pos_x	pos_y	velocity	lane_id	...
:	:	:	:	:	:	:
12:01:00	0	0.1	10.0	19	101	...
12:01:00	1	10.0	2.5	40	202	...
12:01:01	0	0.1	15.0	19	101	...
12:01:01	1	14.0	5.0	40	202	...
12:01:01	2	30.0	5.0	0	303	...
:	:	:	:	:	:	:

図6 車両の動的情報ストリーム例

データベースからデータを取り出すクエリにはワンショットクエリと継続クエリが用意されている。ワンショットクエリは同期で1度だけ取得するクエリで静的情報を検索する機能である。また、継続クエリは事前にクエリを登録し、特定のイベント発生や条件に合うデータが発生する度に非同期に結果を取得する、動的または静的情報に対する検索機能である。

今回、DM2.0PF上でDTI情報を動的情報ストリームとして扱うことで、車両が他の道路使用者を検知した情報と信号機の情報をネットワークを介して体系的に取得することが可能になった。

4 信号機情報の配信

信号機情報は図7のように、(i)車載されたカメラ、(ii)路側機に取り付けられたカメラ、(iii)信号制御機などから得ることができる。(i)の場合は画像情報を車両のコントローラに入力、画像分析を行い信号機情報にする。(ii)の画像は路側機端末内部で分析し、信号灯火色情報としてクラウド上のDM2.0PFに送信する。(iii)の場合は画像分析は不要で制御機の信号情報をDM2.0に送信する。

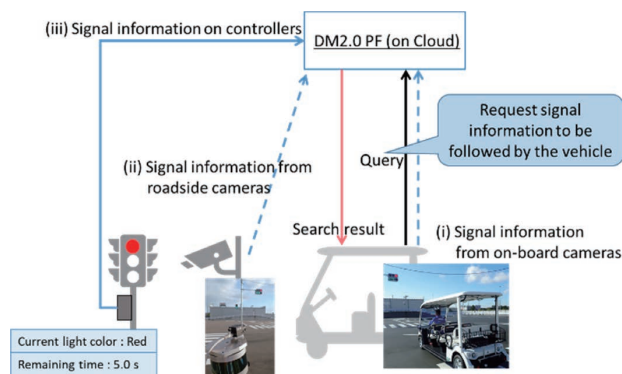


図7 信号機情報の取得と送信

しかし、車載カメラのみでは複数の信号灯火機が映っている場合など、自車が従うべき信号機の判別が難しい場合がある。そのため、並行して DTI により支援することが望ましい。特に、信号制御機からの情報は画像処理が不要であり、また、この先どのように信号が変わっていくかといった灯火制御情報の先読みが可能になるため、車両制御に活用する上でメリットがある。

今回は信号制御機の導入の前に、図8のように信号制御機を模擬したエミュレータを Raspberry Pi で作成し、DM2.0PF を使ったシステムを作成した。

このシステムにより、エッジで取得された信号制御機の情報 DM2.0PF を使いクラウド上の DM2.0サーバに疑似的に収集することができる。図9のように DM2.0PF を介して車両に搭載した自動運転ソフトウェアの Autoware に対して信号機情報を配信することで(a)のように赤信号機情報を配信して車両を停車させたり、(b)のように青信号機情報を配信して車両を発進させたりするなどの車両の制御が可能になった。

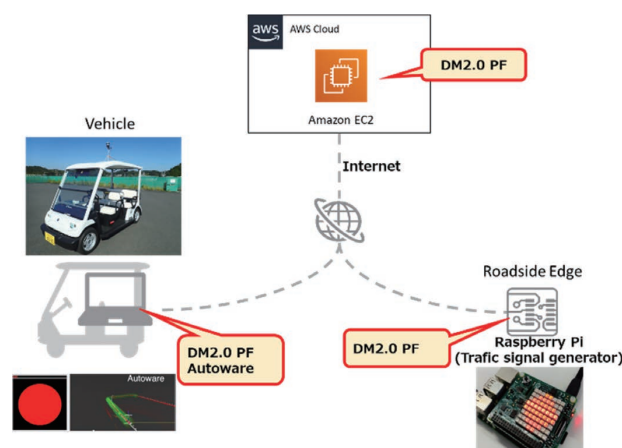


図8 信号機情報の取得・配信システム

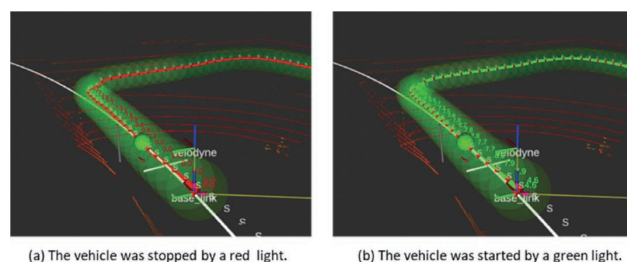


図9 自動運転車両への信号機情報配信

5 物標情報の配信

見通しの悪い交差点では、車載センサだけでは他の道路使用者が検知できない場合がある。その際に路側センサにより物標情報が取得できれば交差点をスムーズに通過することが可能になる。

今回は路側センサにカメラと LiDAR を使用した。カメラは物体が歩行者であるか自転車であるか車両であるかを分類するために必要で、LiDAR はその物体までの距離を測るために必要である。カメラと LiDAR はキャリブレーションにより、対象物検知の位置ずれが無いように調整している。DM2.0PF を使用したシステム構成を図10に示す。

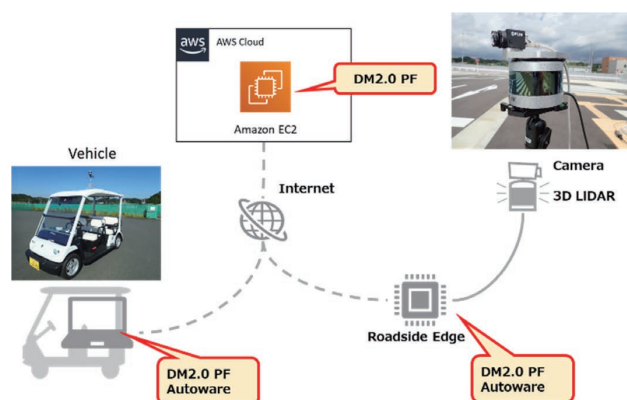


図10 路側センサ物標情報取得・配信システム

このシステムでは、路側センサにより取得された画像を、LiDAR データをエッジに実装した Autoware の障害物検知機能により分析し、物標情報を DM2.0PF に格納し、そこから車両に送信している。

検知された物標情報と車両に送られた情報を表示した様子を図11に示す。路側機のセンサで捉えた物標情報はクラウド上の DM2.0PF に送信される。クラウド上では DM2.0PF の情報を基にデータフュージョンを行い、静的情報（高精度地図）と動的情報（物標情報）を紐づけて管理している。車両はクラウド上の DM2.0PF に対して横断歩道付近の物標情報を取得する継続クエリを発行し、検索結果として物標情報を受け取る。

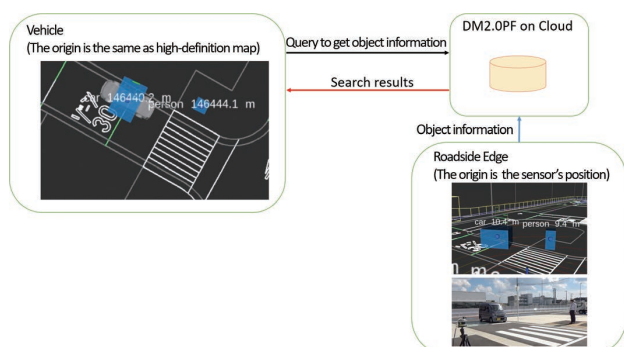


図11 DM2.0を介した物標情報配信例

6 まとめ

本開発では、低速自動走行による移動サービスシステムへのDM2.0を利用したインフラ支援(DTI)の例について、信号機情報の配信と路側センサによる物標情報配信システムを構築した。それにより、DTIの情報を自動運転制御に活用することで高度な自動運転システムを構築することが可能になった。

今後、信号機情報については当社内の市街地を想定したテストコースに設置された信号制御機からDM2.0のクラウドサーバへデータを送信するシステムを作成する。また、路側センサによる物標情報配信については、現行のLiDARとカメラを組み合わせたセンサから、より低コストで普及できるセンサへ切り替えるため、センサの調査を行う。一つの可能性として、高精細なLiDARだけでも障害物の分類が可能なシステムも検討に入れる。

またDTIの場合、路側機での計算処理遅延や路側機－クラウド間、車両－クラウド間の通信遅延などが課題になる。信号機情報配信の場合は現灯火色の残存時間や灯火色テーブルの共有などにより遅延を吸収する必要がある。物標情報配信の場合、複数のセンサの検知情報を集中的に管理し、各物標情報の整合性を取ることで各センサの処理や通信遅延を吸収するようなシステムが考えられる。いずれの場合もそれぞれの機器の時刻同期手法は深く検討する必要がある。

レベル4のドライバレスの自動運転には配車、車両管理などサービス面からも管制システムは必要であり、DTIによる支援が実装しやすいシステムである。また、ドライバレスのシステムの実現にはDTIによる支援が必須であり、今後はこの領域の研究開発を加速していく。

■謝辞

本システムの開発にあたり、名古屋大学の高田広章教授、渡邊陽介准教授、同志社大学の佐藤健哉教授をはじめDM2.0コンソーシアムのメンバー、および、株式会社NTTデータMSE

の水谷武彦氏、花井将臣氏に多大なご協力をいただきました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

■参考文献

- [1] ヤマハ発動機ホームページ「ゴルフカー電磁誘導式とは」, <https://www.yamaha-motor.co.jp/golfcar/technology/self-driving.html>(アクセス日 2021年7月31日)
- [2] 産業技術総合研究所:ラストマイル自動走行の実証評価(北谷町)を開始, https://www.aist.go.jp/aist_j/news/pr20170627.html(アクセス日 2021年7月31日)
- [3] 国土交通省:中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービス実証実験, <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j.html/automated-driving-FOT/index.html>, (アクセス日 2021年7月31日)
- [4] 産業技術総合研究所:無人自動運転移動サービスが永平寺町で本格運用を開始, https://www.aist.go.jp/aist_j/news/au20210323.html(アクセス日 2021年7月31日)
- [5] ITS WC 2018: AP-TP1313 Introduction of low-speed automated driving mobility-based service system(2018)
- [6] ITS WC 2019: AP-TP1739 Automated Driving Service Design for Low-Speed Mobility in Resort Facilities(2019)
- [7] 藤井 北斗、渡辺 仁:低速自動走行車両による移動サービスシステム技術紹介, ヤマハ発動機技報2017-12 No.53 (2017)
- [8] 名古屋大学:ダイナミックマップ2.0コンソーシアム, <https://www.nces.i.nagoya-u.ac.jp/dm2/index.html>, (アクセス日 2021年7月31日)

■著者



今 健人

Kento Kon

技術・研究本部
研究開発統括部
先進システム開発部



渡辺 仁

Hitoshi Watanabe

技術・研究本部
研究開発統括部
先進システム開発部