

自律型モビリティシステム（自動走行技術、自動制御技術等）の開発・実証 Development and Experimental Proof of Autonomous Mobility System (Autonomous Driving Technology, Automatic Control Technology, etc.)

研究代表者

川村龍太郎 日本電信電話株式会社 未来ねっと研究所
Ryutaro Kawamura NTT Network Innovation Laboratories

研究分担者

福島隆生[†] 中村祐一^{††} 瀬戸口純一^{†††} 萩田紀博^{††††} 山崎龍次^{†††††} 足立憲児^{††††††}
Takao Fukushima[†] Yuichi Nakamura^{††} Junichi Setoguchi^{†††} Norihiro Hagita^{††††}
Ryuji Yamazaki^{†††††} Kenji Adachi^{††††††}
[†]株式会社日立製作所 ^{††}日本電気株式会社 ^{†††}株式会社 NTT ドコモ
^{††††}株式会社国際電気通信基礎技術研究所 ^{†††††}パナソニック株式会社 ^{††††††}株式会社パスコ
[†]Hitachi,Ltd ^{††}NEC Corporation ^{†††}NTT DOCOMO,INC. ^{††††}ATR
^{††††††}Panasonic Corporation ^{†††††††}Pasco Corporation

研究期間 平成 28 年度

概要

多様な分野における持続的な成長の基盤として、自律型モビリティシステムへの期待が高まっている。そこで本開発・実証では、自動走行に必要な高度地図データベースの更新・配信のための通信技術の開発や、自動走行技術、自動制御技術等を活用した安全・安心な自律型モビリティシステムに関する研究開発を実施した。本稿では、本開発・実証で得られた成果について報告するとともに、自律型モビリティシステムの社会実装に向けた今後の取り組みについて述べる。

1. まえがき

我が国が超高齢化と労働人口減少を迎える中、過疎地も含めた高齢者の安全・安心な生活、多様な経済活動の生産性確保等の実現に向け、様々なセンサ情報等も活用し、ICT 基盤技術と連携して、高信頼・高精度な自動走行を可能とする自律型モビリティシステム（自動走行技術、自動制御技術等）への期待が高まっている。自律型モビリティシステムは、多様な分野における持続的な成長の基盤として期待され、主要国でも官民を挙げた大規模プロジェクトが始動しているため、我が国でも本施策を早急に推進する必要がある。

このため本開発・実証では、自動走行に必要な高度地図データベースの更新・配信のための通信技術の開発や、自動走行技術、自動制御技術等を活用した安全・安心な自律型モビリティシステムの開発及び利活用実証を推進することで、自律型モビリティシステムを支える ICT 基盤技術の確立及び研究成果に関する国際標準の獲得等による我が国の国際競争力の向上に寄与することを政策目標とし、開発・実証に取り組んだ。

2. 開発・実証内容及び成果

本開発・実証では、自動走行に必要な高度地図データベースの更新・配信のための通信技術の開発や、自動走行技術、自動制御技術等を活用した安全・安心な自律型モビリティシステムの開発を推進するため、以下の区分により研究開発を実施した。

- I. 自律型モビリティシステムの高信頼化に係る技術の確立
- II. 自律型モビリティシステムの高精度化に係る技術の確立
- III. 高度地図データベースの高効率なリアルタイム更新・配信技術の確立
- IV. ロボット等も含めた自律型モビリティシステムの共通プラットフォーム構築のための技術の確立

図 1 に本開発・実証の全体像を示す。以下、各区分における開発・実証内容およびその成果を報告する。

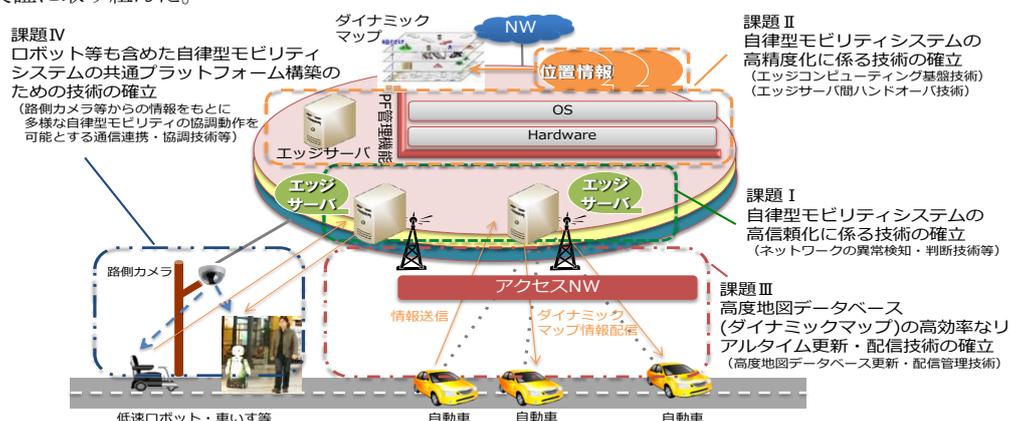


図 1 自律型モビリティシステムの開発・実証の全体像

かかる負荷を低減させるエッジコンピューティング構成技術の開発に取り組んだ。本技術におけるデータ配信では、各エッジサーバがマスターデータを保持するクラウドから一旦データを受信し、配下に収容する各自律型モビリティへのデータ配信を行う。このとき、1つのエッジサーバで収容する自律型モビリティの数をより大きくし、またクラウド-エッジサーバ間の通信頻度をより低くすることで、コア網にかかる負荷を低減することが可能となる。そこで、本技術の確立に向けた基礎データ獲得のため、クラウド、エッジサーバ、自律型モビリティからなる系を模擬した検証環境を構築し、エッジサーバ数、自律型モビリティ数、通信頻度等の各パラメータを変化させてコア網にかかるトラフィック量の計測を行った。これにより、各パラメータ値の組合せによっては、コア網トラフィック削減量を目標とした50%以下に抑えることが可能であることを確認することができた。さらに、実験結果に基づき、各パラメータとコア網トラフィック量削減率の定量的関係を定式化した。これにより、目標とするコア網トラフィック量削減率を達成するために必要となる各パラメータ値がとるべき範囲・条件を明らかにすることを可能とした。

II - イ) 自律型モビリティシステムに対応した低遅延エッジサーバ技術

我々が想定する自律型モビリティシステムにおいて、各エッジサーバが実行すべきデータ処理のうち特に処理量の大きなものとして、道路空間情報の画像解析処理とデータ圧縮を伴うデータ転送処理がある。

そこで、自律型モビリティシステムに関わるアプリケーションが要求する遅延レベルを満たすことが可能な低遅延エッジサーバ技術の確立に向け、これらの各処理について、サーバアーキテクチャの検討と、処理時間の測定を行った。この結果、画像解析処理については、並列計算処理に適したGPUを仮想マシンからPCIバススルーを用いて活用可能とするアーキテクチャにおいて、目標としたフレームレートの映像をリアルタイムに解析できることを確認できた。また、データ圧縮を伴うデータ転送処理については、同様のアーキテクチャと、Redundancy Elimination (RE) 技術を用いることにより、比較対象とした別のアーキテクチャやgzip等の圧縮技術を用いた場合に比べ、自動車情報を模したJSONデータ、映像データ、HTMLデータのいずれにおいても、処理時間・データ圧縮率・通信スループット全てにおいて優れることを確認することができた。

II - ウ) 自律型モビリティシステムに追従するエッジサーバ間ハンドオーバー向上技術

自律型モビリティシステムにおいては、自律型モビリティが高速移動し、移動元エッジサーバ上のアプリケーションから移動先エッジサーバ上のアプリケーションへ通信相手を変化させる必要がある場合にも、継続的なサービス提供を可能とする必要がある。

そこで、通信が途絶する時間を可能な限り短くし、継続的なサービスを可能とするエッジサーバ間ハンドオーバー技術の開発に取り組んだ。まず、エッジコンピューティング基盤に適用可能なハンドオーバー処理方式を複数検討し、アプリケーション開発容易性、ハンドオーバーに要する時間、リソース消費量等の観点から比較検討し、最適な方式を選定した。さらに、当該ハンドオーバー処理方式の実現に向け、エッジコンピューティング基盤の機能設計を行った。具体的には、各ユースケース検討に基づき、システムを構成す

る各コンポーネントが保持すべき機能や通信シーケンス、インタフェースの定義を行った。また、エッジコンピューティング基盤上で動作させる自律型モビリティアプリケーションを開発するための構成や実装条件をまとめ、アプリケーション開発ガイドラインとして規定した。

II - エ) アプリケーション安定実行制御基盤技術

自動走行車両等の自律型モビリティシステムの動作を支援するためには、周辺環境に関する最新情報を常に取得する必要があり、特に、高速で移動する車両等の位置情報に関しては100ミリ秒程度の短い周期で収集・分析する必要がある。しかし、自律型モビリティ技術が動作する環境では、車両の台数やセンサからのデータ量が時々刻々と変動するため、データの収集・分析にかかる時間が決まった周期を超過し動作が不安定になる。

そこでアプリケーションを安定的に動作させ、応答時間を一定時間内に保つための基盤技術として、アプリケーション安定実行制御基盤の開発に取り組んだ。アプリケーション安定実行制御基盤は、エッジサーバ上で動作する情報処理サービスの応答時間を計測し、当該応答時間が目標値を上回る(閾値を超えて応答時間が劣化する)と予想される場合に、目標値を上回るまでの時間や程度に応じて、CPUの優先度変更、アフィニティ設定、CPUの占有割り当てなどのリソース制御手法を選択・実行する。

評価の結果、多種多様なアプリケーションが動作し、静的な優先度付けが困難な状況においては、負荷の測定と分析に基づいた動的なリソース制御によって、閾値を超過するリクエスト数を約70%程度削減することができた。これによって、我々の提案するアプリケーション安定実行制御基盤が、100ミリ秒程度で位置情報を送受信するアプリケーションの安定動作に有効であることが示された。

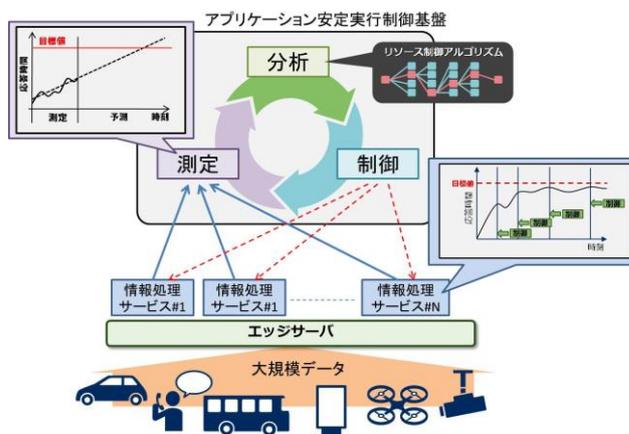


図3 アプリケーション安定実行制御基盤概要

II - オ) リアルタイム位置情報収集基盤技術

自律型モビリティシステムでは自律型センサからの情報だけでは高い安全性を確保するための情報量としては不十分であり、自律型センサでは取得が不可能な他車の情報などを統合した地図をリアルタイムで生成し、その地図を基にした高度な自動運転の実現が期待されている。

この地図はダイナミックマップ(DM)と呼ばれており、DMを実現するためには、各車両がリアルタイムに自車の位置をアップロードする必要がある。車の走行速度にリアルタイムに追従できるようにするためには、高頻度での位置情報の送信が必要であり、例えば、時速100kmで走行する車は1秒で約27m進むため、100msec毎の位置情報の送信が必要となる。しかし従来の技術を用いて解決しよ

うとすると、車両の混雑地域では、通信フレーム数の不足により基地局配下の全車両を収容できない。一方パケットの送信頻度を下げると、移動速度が高速になるほど、エッジサーバで管理している移動体の位置が、物理的な移動体の位置から外れてしまうという問題が生じる。

そこで位置推定アルゴリズムと最適送信アルゴリズムを開発した。車両側とサーバ側の両方で車の位置、速度、加速度、方向などを管理し誤差が閾値を超えた場合のみ車両からサーバへ位置情報等を送ることによって送信レートを削減する。またこのアルゴリズムを活用して DM の準動的情報を生成するため、車線判定アルゴリズムや渋滞判定アルゴリズムを開発した。評価の結果、位置精度が誤差 10cm のときに通信頻度の 46%以上を、誤差 30cm のときに通信頻度の 86%以上を削減可能であることを確認した。

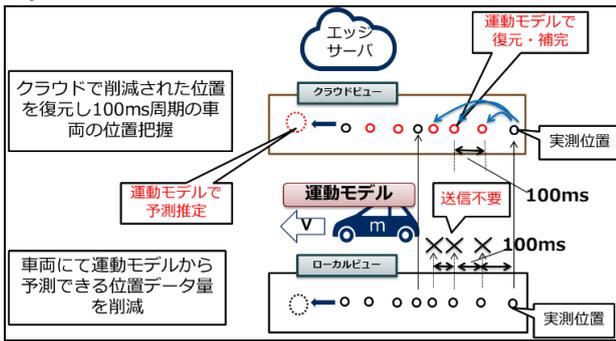


図4 リアルタイム位置情報収集基盤概要

Ⅲ. 高度地図データベースの高効率なリアルタイム更新・配信技術の確立

本開発・実証の区分Ⅲにおいては、高度地図データベースの高効率なリアルタイム更新・配信技術の確立を目的とし、高度地図データベースの実用化や普及を見据え、多様な利用者を想定して、高効率かつリアルタイムに更新や配信を行うことができるネットワーク技術の研究開発を実施した。また、高度地図データベースの更新や配信に関して有用性及び実用性を確認するため、車両等を用いた実証実験を実施した。



図5 課題Ⅲの全体概要

以下、区分Ⅲの技術課題毎に達成した成果の概要を示す。

Ⅲ - ア) 高度地図データベースの更新技術

(1) 静的情報の更新技術の検討

高度地図データベースのうち静的情報を更新する技術について、以下の2点を実施した。

①道路変化箇所検知に利用するデータの定義化および

検知方法の検討

②静的情報の更新内容の自動認識・自動抽出方法の検討

①については、道路変化のパターン（新設、変更（幅幅など）、廃止）および車両（車両に設置する機器を含む）のセンサから得られるデータを洗い出し、パターンごとに検知に必要なデータを整理した。また、これらのデータを用いて機械学習等により道路変化箇所を検知する方法を検討した。これにより、従来の目視による検知手法と比較して検知時間が15分の1程度に短縮されることを机上で確認した。

②については、移動計測車(MMS:Mobile Mapping System)で取得した点群データや画像データから静的情報の更新内容となる道路関連地物（道路縁、道路標識、信号機、区画線）を自動で認識および抽出する方法を検討した。これにより、逆光等の撮影環境下などを除くほぼ全てのケースで自動認識・自動抽出が可能となることを机上で確認した。

(2) 準静的情報・準動的情報の更新技術の検討

高度地図データベースのうち準静的情報・準動的情報を更新する技術について、以下の2点を実施した。

①準静的情報・準動的情報の更新情報生成に利用するデータ送信方法の検討

②準静的情報・準動的情報の更新情報入力用の外部接続インタフェースの定義化

①については、自動走行車両等からⅡオ)リアルタイム位置情報収集基盤等へ送信されるプローブ情報の送信タイミングや送信先を検討し、1分間に1回程度、クラウドではなくエッジサーバに対して送信する方法を導出した。これにより、通信トラヒックが25.7%（コアネットワーク区間は51.3%）削減されることを机上等で確認した。

②については、準静的情報・準動的情報の更新情報を入力するための外部接続インタフェースの定義化を実施した。具体的には、Ⅱオ)リアルタイム位置情報収集基盤等から高度地図データベースに対して入力する準静的情報・準動的情報の更新情報に関するデータの構造や項目等を定義化した。

Ⅲ - イ) 高度地図データベースの配信管理技術

(1) 高度地図データベースの分散配置の検討

クラウドとⅡア)エッジサーバ（※1）を用いた高度地図データベースの分散配置について、以下の2点を実施した。

①クラウドとエッジサーバへの分散配置方法の検討

②分散配置におけるデータ分離方法の検討

①については、エッジサーバの配置場所（カバーする携帯電話システム基地局の範囲）や1台のエッジサーバが走行中の自律型モビリティに対して配信する高度地図データベースの範囲を検討した。結果、エッジサーバ1台あたり1~8箇所（1k㎡）の基地局までカバーし、静的情報であれば次の1エリア分（1k㎡）、準静的情報・準動的情報であればルート上の都道府県分を配信する方法を導出した。これにより、通信トラヒックが39.4%（コアネットワーク区間は69.9%）削減されることを机上等で確認した。

②については、エッジサーバが保持する高度地図データベースの範囲を検討した。結果、走行前に長距離のルート検索を行う場合等を考慮し、各エッジサーバが日本全国全ての高度地図データベースを保持する方法を導出した。なお、更新頻度が高い準動的情報（1分間隔）については、通信トラヒック削減等の観点から自エリア以外の情報は

に通知するためのインタフェースを定めることとした。

IV - イ) 固定されたカメラ映像を用いた物体の検出、属性識別、追尾、行動予測等に係る技術

本研究開発は、固定カメラ映像の画質を最適化し、歩行者などを高精度で検出、検出された歩行者などの属性・種別を識別、画像上の検出位置を実世界の位置に正確に変換、カメラ内およびカメラ間で追尾し、移動経路を認識すると共に将来の行動を推定する技術を開発することにより、自律型モビリティシステムの安全かつ円滑な移動制御を行うために必要な、固定カメラでの状況認識および予測技術を確認することを目的とする。

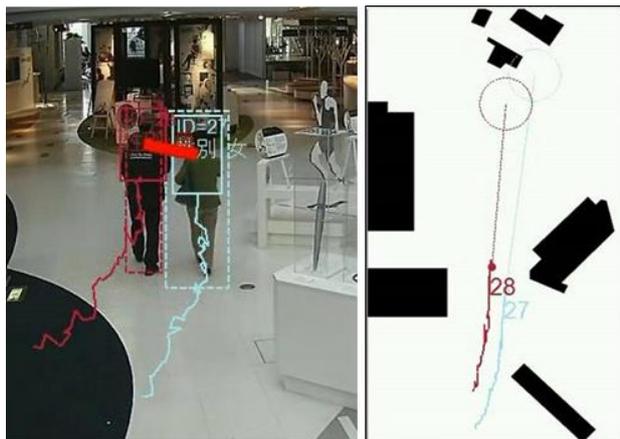


図7 固定カメラ映像による状況認識・予測技術

本研究開発は、具体的には以下の技術からなる。

- ① 固定カメラ映像から、物体および人物を検出し(図7の左図内の矩形枠)、年齢・性別や持ち物などの属性を推定し、さらに家族などのグループ属性を推定する(図の赤太線)、物体検出・属性認識技術。
- ② 固定カメラ映像から検出された人物・物体を、カメラ内およびカメラ間で追尾し(図7内の赤・水色の実線)、実空間内での位置を特定し、群集の行動を認識する、物体追尾技術。
- ③ 固定カメラ映像から検出し追尾された人物の将来の行動を予測する行動予測技術(図7の右図内の赤・水色の細線と円)と、さらにこれらの認識・予測技術を統合する行動認識・予測システム。

本年度は、自律型モビリティシステム実現に重要な研究開発項目の明確化の為、研究調査と基本方式設計を実施した。

物体検出・属性認識技術の研究開発では、主に方式調査と基本方式選定を推進し、人物・車両等の検出および所有物属性識別のための物体検出は Faster-RCNN を採用、属性識別では GoogLeNet を基本としたネットワーク構造にデータオーグメンテーションとヘテロロジーニアスラーニングで高精度化・高速化を図る方式を採用、グループ属性推定は人物動線によりグループを判定し、人物の属性推定によりグループの属性を推定する方式を採用した。独自の映像データ収集を行い、各方式の評価を行う事により、最終的な精度目標への到達可能性と、今後の性能改善の為の方向性を確認した。

物体追尾技術の研究開発では、主に方式調査と基本方式選定を推進し、人物追尾技術は動線補完をベースとする基本方式設計を採用、カメラ間人物追尾は基本方式として DeepFeature と HandCraftedFeature を統合する方式を採用、独自の映像データ収集と各方式の評価を行い、最終的な精度目標への到達可能性と、今後の性能改善のための方向性を確認した。また、人物位置特定技術に関して基本方式の実装を完了し、群集行動識別技術に関して、動き情報による動領域判定と人物形状情報による人物の存在判定による局所領域毎の状態判別手法、及び各種状態の判別結果により、混雑状況の指標算出と異常判定可能な手法を確認した。

行動認識・予測システムの研究開発では、行動予測に関して、主に方式調査と基本方式選定を推進し、様々な人物の行動に対する作用を実装することが可能な基本方式を採用し、独自の映像データによる方式評価を行うことにより、最終的な精度目標への到達可能性と、今後の性能改善のための方向性を確認した。また、1台の固定カメラ映像に対して、複数台のPCで各種認識処理を実行する行動認識・予測システムの基本システムの構築、認識結果を共通プラットフォームに送信するインタフェースに関する基本仕様の策定を完了した。

3. 今後の開発・実証成果の展開及び波及効果創出への取り組み

(1) 開発・実証成果の国際標準化・実用化

本成果の普及促進のため、積極的に国際標準化に参加していく。その活動の1つとして、エッジコンピューティング技術に関しては、ETSI MEC や OEC (Open Edge Computing Initiative) をはじめとした場を通して標準化を進めていく。標準化された仕様についてはオープン戦略を取り、グローバルにキャリア共通仕様でプラットフォームを提供可能にすると同時に、自動走行技術に関わるダイナミックマップなどの他の標準技術が協調的に利用可能な基盤を目指す。

本成果の事業化に向け、自律型モビリティシステムに係るサービスプロバイダ・通信機器ベンダ等のステークホルダを含めたエコシステムの構築を進めていく。

(2) 予想される波及効果

本開発・実証で得られた自律型モビリティシステムへの適用技術は、社会的にも大きなインパクトがある自動走行の実現において必要となる、通信分野の技術革新の根幹を成すものになると想定され、これを世界に先駆けて日本の通信インフラに導入していくことは、日本の主要産業の1つである自動車製造を中心とした製造業全般の活性化に繋がると考えられる。また、自律型モビリティという強力なユースケースを背景に、国際標準化の舞台でのプレゼンスを向上させ、国産技術のグローバル化を推進できると考えられる。

成果の1つであるエッジコンピューティング基盤は、通信インフラとして他の用途への活用も可能であり、特にセンシングやエネルギーマネジメントなど IoT アプリケーションの実行基盤として共用されていくことが期待される。

4. むすび

本稿では、自律型モビリティシステムを支える ICT 基盤技術の確立及び研究成果に関する国際標準の獲得等による我が国の国際競争力の向上に寄与することを目標として取り組んだ、高度地図データベースの更新・配信のための通信技術の開発や、自動走行技術、自動制御技術等を活用した安全・安心な自律型モビリティシステムの開発及び利活用実証により得られた成果について報告した。

今後は、本成果を踏まえた開発・実証に取り組むとともに、自律型モビリティシステムの社会実装を推進していく予定である。

【査読付発表論文リスト】

- [1]Horikawa Y. and Hagita N., “Advent of New Ethical, Legal and Social Challenge of Robotic Services in Cyber Physical Spaces”, Twinned Workshop on the Ethical, Legal and Social Issues of Robots in Therapy and Education (NEW FRIENDS 2016) ISBN:978-84-945603-9-2 (2 Dec 2016)
- [2]Zanlungo F., Yucel Z., Brscic D., Kanda T. and Hagita N., “Intrinsic group behavior: dependence of pedestrian dyad dynamics on principal social and personal features”, pp. 1 - 82, <https://arxiv.org/abs/1703.02672> , (8 Mar 2017)

【国際標準提案・獲得リスト】

- [1]ITU-T FG IMT-2020 Network Softwarization WG, Hitachi, Ltd., “Proposal on O3 Project descriptions for the Baseline Document: Application of network softwarization to IMT-2020”, 2016 年 11 月 22 日