

自動走行を高度化するインフラ技術

名倉健一* 渡辺昌志**
末廣 雄* 小崎成治*
細井響子*

Infrastructure Technologies to Improve Autonomous Driving

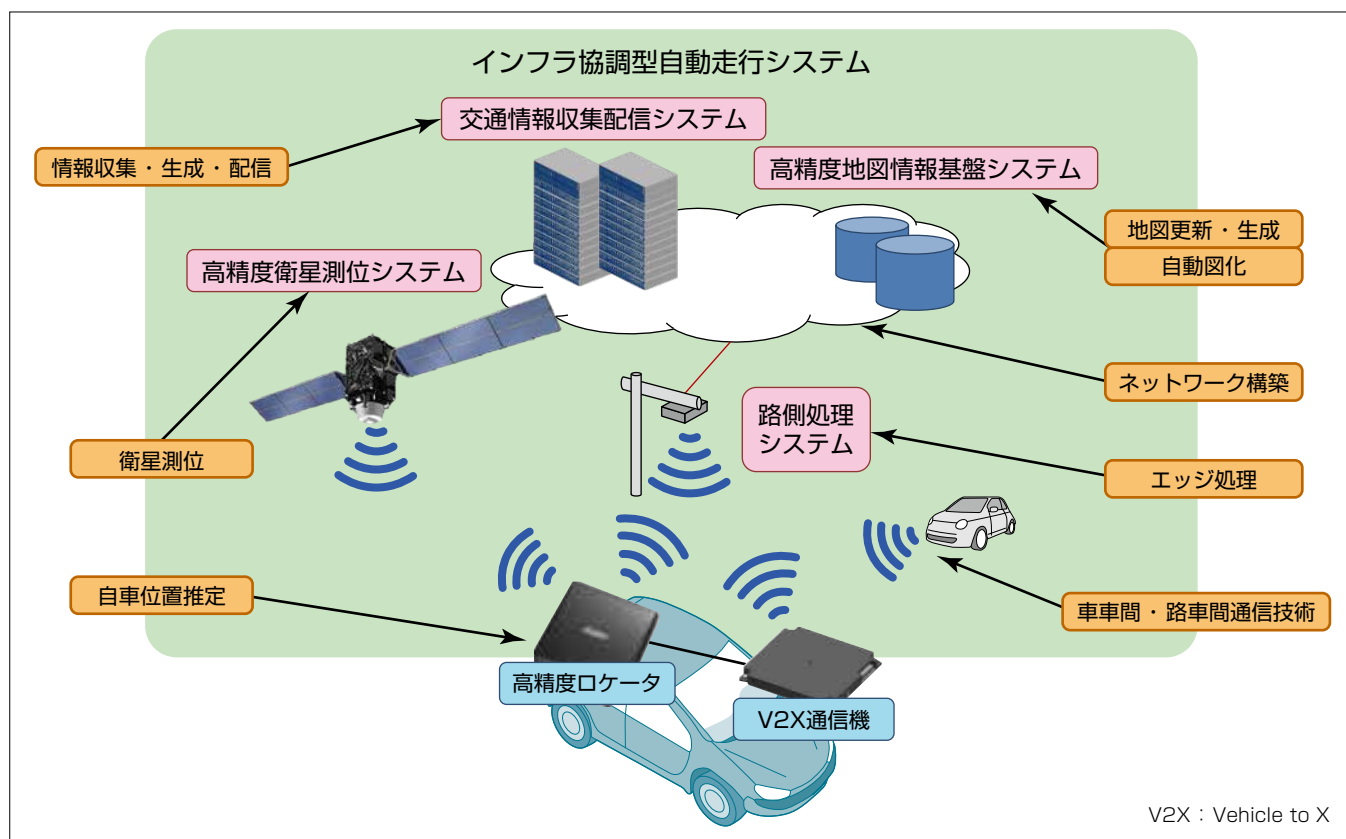
Kenichi Nakura, Takeshi Suehiro, Kyoko Hosoi, Masashi Watanabe, Seiji Kozaki

要 旨

自動走行をより高度化し、安全性の向上、モビリティの高速化や道路交通の効率化、さらには環境への貢献を向上させるためには、車載機器による自律走行に加え、周辺情報や先読み情報等を車両に伝えるインフラ協調による走行に関する技術も重要となる。インフラ協調型自動走行システムの主要構成要素として、交通情報収集配信システム、路側処理システム、高精度衛星測位システム、高精度地図情報基盤システム等が挙げられる。また、自動走行を高度化するインフラ技術として、ネットワーク構築技術、エッジ処理技術、高精度三次元地図生成技術が挙げられる。

三菱電機では、それらのインフラ関連技術を開発・適用

したインフラ協調型自動走行システムを試作し、自動走行車両を用いた合流支援に関わる実証試験を行って所期の機能・性能を確認した。試作した実証システムは路側センシングによるリアルタイムな周辺情報をダイナミックマップの形式に従って配信したもので、エッジ処理技術による運転支援情報の適用性を確認した。また、同システムは路側処理システムだけでなく、交通情報収集配信、高精度衛星測位、高精度地図基盤の全てのシステム要素を組み合わせで実現したものであり、今後の自動走行に関する社会基盤としての有用性を示した。



インフラ協調型自動走行システムの構成

インフラ協調型自動走行システムは、車両位置を高精度に把握するための高精度衛星測位システム、周辺情報の収集・配信を行う交通情報収集配信システム、路側センサ情報の処理及び車両への配信を行う路側処理システム、高精度地図の生成技術などのシナジーによって、より高度な自動走行を実現する。

1. ま え が き

自動走行をより高度化し、安全性の向上、モビリティの高速化や道路交通の効率化、さらには環境への貢献を向上させるためには、車載機器による自律走行に加え、周辺情報や先読み情報等を車両に伝えるインフラ協調による走行に関する技術も重要となる。

本稿では、自動走行を高度化するインフラ協調型自動走行システムの構成要素と、ネットワーク構築技術、リアルタイム配信を実現する上で重要なエッジ処理技術、高精度地図生成技術等の要素技術について述べる。

2. インフラ協調型自動走行システムの構成

2.1 交通情報収集配信システム

車車間・路車間通信を利用したインフラ協調型自動走行システムでは、道路地図情報、工事規制情報や物体情報などの車両への配信、及び車両からのプローブ情報や路側に設置したセンサ情報を収集する交通情報収集配信システムが必要である。情報の収集・配信周期は月単位から秒単位まで様々であり、応答性条件に応じて効率的に情報の収集・分析・配信を行えるシステム構成の実現が課題である。インフラ協調型のシステムで車両やインフラシステムで情報を効率的に利用するには位置情報のフォーマットの共通化が重要であり、ダイナミックマップと呼ばれる静的な地図情報を基盤として動的な情報を関連付ける方式で統一的に扱うことが想定される。

2.2 高精度衛星測位システム

自動走行の実現には自車位置を車線レベルで正確に特定する高精度な測位技術が必要である。2018年11月から運用を開始した準天頂衛星システム“みちびき”からのセンチメートル級測位補強サービス信号を高精度衛星測位端末等で受信することによって自車位置をセンチメートル級で把握することが可能になる。

2.3 高精度地図情報基盤システム

自動走行システムでは、自動車に搭載されたレーザレーダやカメラなどによるセンサ情報が必要となるが、区画線、路肩縁、標識などの高精度な静的地図情報も不可欠とされている。高精度地図を利用することで、車載センサでは判別できない遠くの道路状況を先読みすることが可能になり、より安全・快適な自動走行が可能になる。高精度地図情報は、GNSS(Global Navigation Satellite Systems)の受信機やレーザレーダといった様々なセンサを具備したMMS(Mobile Mapping System)と呼ばれる車両によって走行した際に取得された情報を図化処理することで生成される。

2.4 路側処理システム

車載センサでは認識できない見通し外の状況を、路側に設置したレーダやカメラの情報から他車両や障害物を検知

して自動走行車両へ配信することで、よりスムーズな自動走行が可能になると考えられる。特に高速で移動する物体や近傍の物体は100ms程度の周期で車両へ配信することが求められ、センサ情報のリアルタイム処理技術が必要である。また路車間の無線通信システムではDSRC(Dedicated Short Range Communication)⁽¹⁾が広く普及しているが、スループットの向上を目指してIEEE 802.11p⁽²⁾やセルラ技術を用いたC-V2X(Cellular-V2X)などが開発されており、さらに第5世代無線通信技術(5G)についても車車間・路車間通信への適用が検討されている。

3. 自動走行を高度化するインフラ技術

3.1 ネットワーク構築技術

情報通信ネットワークの観点からすると、交通情報収集配信システムでは、2章で述べたように高信頼・低遅延のほか、多数のセンサや車両からの膨大なデータ収容が求められる。一方で、自動走行車両にとっては物理的に自車に近い情報ほど重要性や緊急性が高いという性質があることから、ネットワーク上の情報に対する上述の要件は局所的であるという特徴を持つため、リアルタイム性が求められる処理はより車両に近いエリアで行うエッジ処理との親和性が高いと考えられる。図1に当社が検討しているエッジサーバを適用した情報収集配信ネットワーク⁽³⁾の構成を示す。例えば高速道路を想定すると、高速道路のIC(Inter-Change)、SA(Service Area)/PA(Parking Area)、JCT(JunCTion)の合流路付近に路側無線装置や路側センサを設置し、エッジサーバが複数のエリアの機器を管理する。

路側センサの情報はエッジサーバで処理し、路側無線装置を介して車両へ配信する。緊急性の低いセンサ情報やプローブ情報はセンターサーバへ転送して処理する。エッジサーバを適用することで、低遅延なデータ転送・処理のほか、センサデータをネットワークの途中で終端するため幹線ネットワークの負荷を低減することが可能になる。

3.2 エッジ処理技術

合流支援システムに関するエッジサーバの主要な機能としては次の3点が挙げられる。

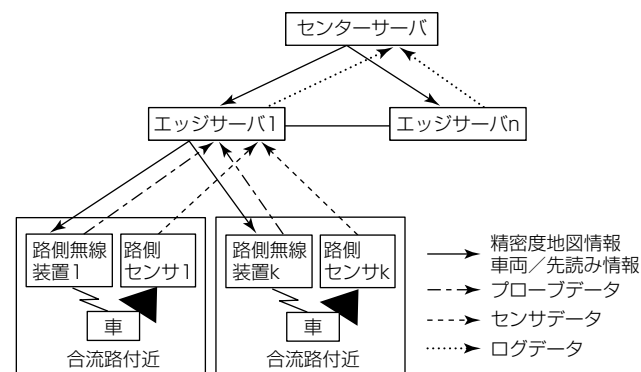


図1. エッジサーバを適用した情報収集配信ネットワークの構成

- (1) 物体同定と物体情報生成(センサ処理)
- (2) 物体情報を共通フォーマットへ変換
- (3) 物体情報を路側へ配信及びセンターサーバへログ送信

これらを実現するエッジサーバの機能構成を図2に示す。センサインタフェース部は受信したセンサデータへの時刻情報の付与とフィルタリングをパケットレベルで実施する。フィルタリングとしては、道路外の物体を示すデータや静止物を示すデータなどのノイズの削除や、時間方向での間引きがある。この構成例ではセンサデバイスとして画像カメラとミリ波レーダを用いている。センサ処理部は、まずカメラデータとミリ波レーダデータのそれぞれを解析する。カメラデータに対しては、各受信画像で検出した車両の位置とサイズ(全長, 全幅)を算出する。ミリ波レーダは自身が放射した電波の反射波を観測して反射点の位置(方位, 距離)と速度を取得する。そこで、センサ処理部は各時刻で反射点をクラスタリングした後に、過去のデータと突き合わせて反射物体を追跡することで、時系列の位置及び速度を算出する。続いて、ミリ波レーダデータからの反射物体の時系列位置情報にカメラデータからの時刻情報付きの車両の位置・サイズ情報を統合することで車両を同定し、その位置、速度、サイズのデータを生成する(センサ間同定)。データ管理部は、エッジサーバ内で生成したデータや外部から受信したデータの管理と、路側無線インタフェース部と上位ネットワークインタフェース部を経由した、路側無線装置及びセンターサーバへの配信制御を行う。センターサーバへは車両情報に加えて車両ごとにカメラデータをログとして送信する。フォーマット変換部は、エッジサーバが生成したデータをダイナミックマップ形式に変換する。また、センサデータやエッジサーバで生成するデータに時刻情報を付与するために時刻管理部を持つ。

3.3 高精度三次元地図生成技術

高精度三次元地図生成時の大まかな処理の流れは、①MMSによる点群データ等の情報取得、②ソフトウェアによる自動図化処理、③手作業による修正・承認処理となる。②については様々な手法が既に検討されているが、計測情報には様々な要因によってノイズが含まれることなどによって、完全な自動化は困難であるため、地図情報を低コストに整備するには、③の作業量削減が重要である。当社では、自動図化結果に確からしさを表す信頼度を付与する機能を提供している。これによって、作業者がチェックの必要性の高い箇所を容易に判別可能になる。

信頼度は地物ごとに設定した複数の評価項目値を入力とする評価関数によって導出される。地物として路肩縁を例にとると、評価項目は、①高さ方向の形状変化量(大きいほど評価値高)、②抽出された線の形状の関数近似に対する誤差(小さいほど評価値高)、③計測時のMMSとの距離(近いほど評価値高)、とする⁽⁴⁾。

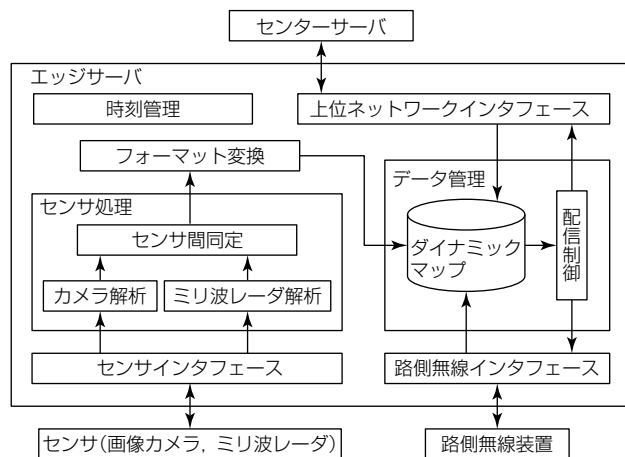


図2. エッジサーバの機能構成



図3. 自動図化処理結果(路肩縁)

図3に路肩縁に対する信頼度付き自動図化処理結果のイメージを示す。図の実線部分は信頼度が高く、点線部分は信頼度が低いことを示している。実際図化結果と、目視確認結果による修正の有無の情報を蓄積し、機械学習によって傾向を分析することで、信頼度評価関数の精度向上が可能と考えられる。

4. インフラ協調による自動走行支援の実証

3章で述べたエッジサーバを適用した合流支援システムを試作し、テストコースで自動走行支援の実証実験を行った。合流部では本線路・合流路間が見通しが悪い場合があり、距離的(時間的)に限りがある合流レーンの走行中に本線路への車線変更を終えなければならないため、自動走行の実現に当たり難易度が高い箇所の一つとされている。また、他車両とのタイミング次第で急加減速が避けられないケースがあり、渋滞が発生しやすい地点でもある。そこで、互いに見通しがなく、車車間通信による情報共有も難しい状態でも情報収集配信システムによって車両位置を把握することで、急加減速なしに前もって進入タイミングを調整して安全かつスムーズな合流を支援できることを確認した⁽⁵⁾。図4にその検証系を示す。車両は本線路と合流路のそれぞれ1台ずつとし、本線車両を観測する路側センサにはいずれも市販のミリ波レーダ3台と監視カメラ1台を、合流車両・路側インフラ間の通信にはIEEE802.11p標準準拠のV2X無線機器を用いた。ミリ波レーダは77GHz帯を使用するもので、50ms周期で反射点情報を送信する。カメ

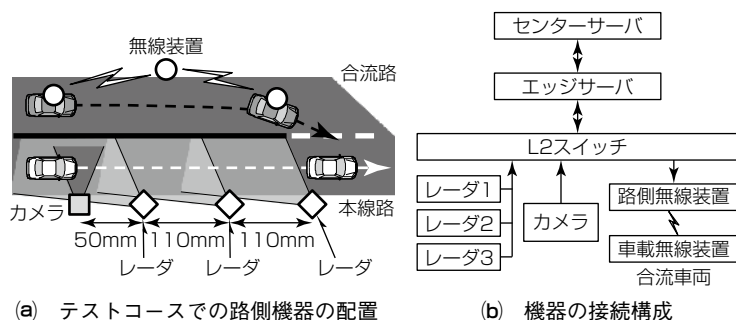


図4. 試作システムの検証系

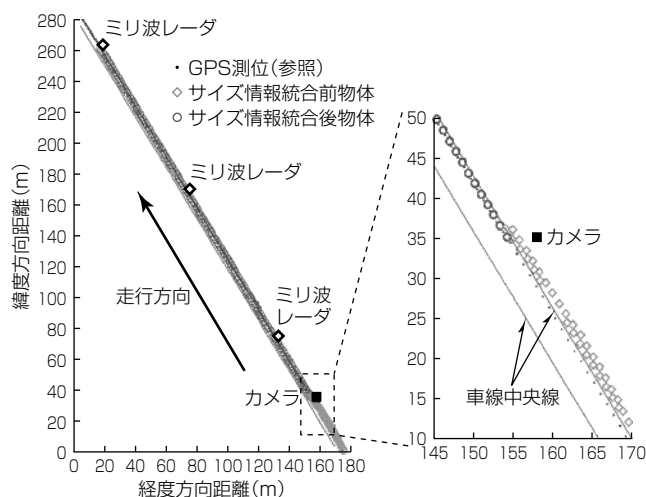


図5. エッジサーバでの追跡物体の軌跡

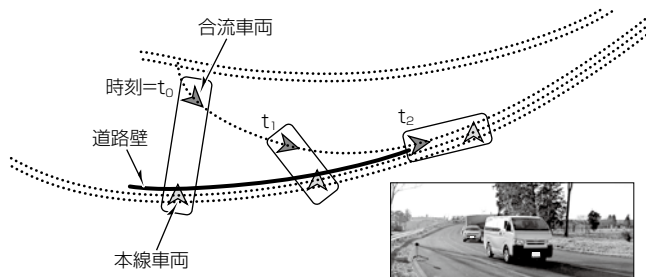


図6. 路側インフラで検知した車両位置の軌跡

ラは画像サイズ640×360、フレームレート30fpsに設定し、エンコードはH.264とした。エッジサーバからの車両情報(位置、速度、サイズ)の配信は、路車協調型の高度交通システムでの一般的な通信処理周期である100msの周期配信とした。

実際に自動走行システムで合流の判断を行うためには、1m程度の位置精度で周辺車両を認識する必要があると考えられ、合流支援システムから配信する本線車両情報にも同等の精度が求められる。図5にエッジサーバ内で追跡された物体の軌跡を示す。

センサ間同定前、すなわちサイズ情報統合前では、1台の車両としてクラスタリングしきれない複数の物体が追跡されているのに対し、サイズ情報統合後は1台の車両として認識できていることが分かる。また、ミリ波レーダの観測点は車両ボディの反射点であるため、サイズ情報統

合前の認識物体位置は高精度衛星測位(車両中央位置に高精度GNSS受信機を設置)からミリ波レーダ寄り(進行方向右側)にずれているが、サイズ情報統合後ではサイズ情報を用いた車両中央位置への変換を行っており、位置精度が向上していることを確認した。合流車両が受信したサイズ情報統合後の車両情報の位置精度は、高精度衛星測位との比較で平均誤差が0.96mであった。

図6に別のテストコースで行った試験での車両位置の軌跡を示す。道路壁によって見通しがいいカーブ路での合流になっている。両車は時刻 t_0 に同時スタート、本線車両が等速走行を継続するのに対して合流車両は死角の本線車両情報を受信して減速することで適当な車間距離を生成し(時刻 t_1)、その後再加速してスムーズに合流した(時刻 t_2)。右下の写真は合流時の様子を捉えたものである。

5. むすび

自動走行を高度化するインフラ協調型自動走行システムの構成要素と主要要素技術について述べ、開発した技術を用いて試作した合流支援システムを用いて行った自動走行実証試験の一例について述べた。実証システムは路側センシングによるリアルタイムな周辺情報をダイナミックマップの形式に従って配信するもので、エッジ処理技術による運転支援情報の適用性を確認できた。また、実証システムには路側処理システムその他、交通情報収集配信、高精度衛星測位、高精度地図情報基盤の全てのシステム要素を組み合わせ実現しており、今後の自動走行に関する社会基盤としての有用性を示したものと考える。

参考文献

- (1) 電波産業会：狭域通信(DSRC)システム, ARIB STD-T75 (2001)
- (2) IEEE 802.11p-2010: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments (2010)
- (2) Suehiro, T., et al.: Development of I2V information collection/distribution system using edge server to support autonomous driving system, ITS Asia-Pacific Forum Fukuoka 2018, TS13 (2018)
- (4) 渡辺昌志, ほか: 高精度地図自動生成システムにおける信頼度導出方法, 電気学会 電子・情報・システム部門大会, OS5-7 (2018)
- (5) 末廣 雄, ほか: 自動走行支援のための情報収集配信システム, 電子情報通信学会研究報告, 118, No.128, 111~115 (2018)