

ソフトインフラとしてのデジタル地図を活用した自動運転システム

Autonomous vehicle using digital map as a soft infrastructure

菅沼 直樹

Naoki SUGANUMA

1. はじめに

近年自動運転自動車の開発状況が各所で発表され、大きな注目を集めている。従来、人間が自ら運転操作を行っていた自動車を自動運転システムが操縦するようになることで、移動時の快適性の向上、人間の運転ミスに起因する交通事故の削減などにつながり、安全快適な交通社会の実現に大きく貢献できるものと期待されている。

しかし、このような自動運転システムは何も最近になって研究が行われるようになってきたわけではなく、古くから大変多くの研究開発が行われてきた¹⁾。また、これらの開発は自動車会社や関連サプライヤーメーカーにおいて個別の開発が行われるだけでなく、古くから現代にいたるまで国家プロジェクトとしても多数の研究が行われてきた。例えば近年であれば、2008年から2012年の間経済産業省が主導して行っていたエネルギー ITS²⁾ プロジェクトがある。このプロジェクトでは、複数台のトラックを短い車間距離で隊列走行させることで空気抵抗を減らし、トラックの燃費を改善しCO₂の削減することを目指していた。また、将来的な後続車両の無人化を想定することで、物流の効率化を図る見当もなされていた。

しかし、これまで行われてきた多くの研究では、高速道路上の本線や専用道路を走行することを想定したものがほとんどであった。高速道路や専用道路であれば、比較的環境が単純であることと同時に、道路のメンテナンスが行き届いているという利点がある。したがって、これまで開発されてきた多くの自動運転システムでは、白線³⁾や磁気ネイル⁴⁾といったハード的なインフラを車載

センサで読み取って走行する例がほとんどであった。

一方、現在注目を集めている自動運転システムは、高速道路といった特定の道路に限定せず、一般道も含めて走行可能となっている。この自動運転システムが実現することで、これまで高速道路でしか享受できなかった安全・快適性といったメリットが全ての道に適用可能となる。また別の利点としては、そもそもいわゆる Door to door の自動運転が実現できれば、モビリティ革命（交通システムの革命）が起きるとも考えられる。例えば、高齢過疎化が進んだ地方では公共交通機関がかなり不足している現状があり、地域内外への移動に多くの問題を抱えている。このような場所で自動運転自動車を公共交通機関として活用することで、交通に関する大きな課題を解決できる可能性もある。したがって、Door to door の自動運転の実現は、単に個人の安全・快適性の向上といった側面の利点のみならず、社会全体としての利点が存在しており、その実現が大きく期待されているところである。

このような市街地を含む Door to door での走行が可能な自動運転自動車に関する研究は DARPA(米国国防高等研究計画局)が主催して実施した Grand Challenge, Urban Challenge といったコンテストを境に徐々に活発に研究が行われるようになった^{5) 6)}。近年では、米欧において Fig. 1 に示す Google 社や DAIMLER 社による公道走行試験⁷⁾が実施されるなど、活発に研究開発が行われている。また日本においても、著者らの研究室が国内の大学としては初となる市街地の自動運転の走行実験を開始⁸⁾するなど、その研究開発が活発となっている。



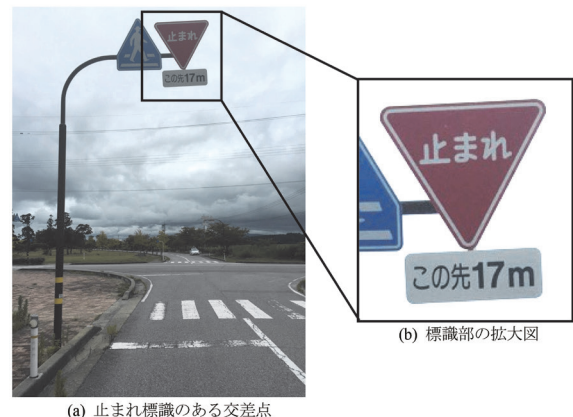
Fig. 1 Google社の自動運転自動車

一方、近年になってなぜ自動運転システムが一般道を含めて走行可能になったかということ振り返ってみると、おそらく自動運転システムに高精度地図を多用するようになったことが大きく影響していると考えられる。このため本稿では自動運転システムへのデジタル地図の必要性について述べた後、著者らの自動運転自動車に対する取り組みとデジタル地図の関連性について述べる。また、著者らが現在実施中の公道走行実験の概要について述べ、自動運転システムの現状と課題について述べる。

2. デジタル地図を活用した自動運転

本章では近年開発されている一般道での走行を想定した自動運転システムに必須となっている高精度デジタル地図の必要性について述べる。

Fig. 2(a) は、ある一時停止線の存在する交差点付近における1シーンを撮影した例である。この交差点では「止まれ」標識があり、交差点への侵入前に一旦停止することを要求している。またこの標識直下の道路には停止線があり、「止まれ」標識と関連付けて考えると、横断歩道手前の一時停止線で一旦停止することを要求しているように解釈できなくもない。一方標識部を拡大したFig. 2(b)を見ると「この先17m」との記載があり、実は横断歩道手前の一時停止線ではなく、その17m前方に存在する一時停止線で一旦停止することを要求しているということが分かる。すなわち、遠方に存在している見えなかった一時停止線位置で一旦停止し、交差点への安全な侵入を促しているということを示している。また止まれ標識直下の一時停止線では、横断歩道付近に歩行者がおらず安全が確認できれば停止する必要はないことも分かる。この状況下において、「止まれ」標識直下の一



(a) 止まれ標識のある交差点

(b) 標識部の拡大図

Fig. 2 認識の難しいシーンの例

時停止線で不必要なブレーキを踏んでしまうと、後続車両からの追突の可能性も存在する。このため、横断歩道に歩行者が存在しない場合に横断歩道手前の一時停止線で一旦停止することは必ずしも安全であるとは言いきれない。

これを適切に判断するためには、単に止まれ標識を認識するのみでは不十分であり、止まれ標識の下の文字列の認識、一時停止線の認識、横断歩道の認識等が必要となる。また認識した情報を組み合わせ、これらの情報を総合した意味付けが必要となる。もしこれをオンボードセンサのみで実現しようとした場合、これらの情報を遠方から確実に認識する必要が生じ、さまざまな環境下で安定的に認識するのは困難を極めることが予想される。このような認識に係る困難な情報が、デジタル地図という形で事前情報として得られていれば、例えば人間が過去の運転経験を参考にして走行するように、自動運転車両もスムーズに走行することが可能になる。

その他にも、例えば一般道では白線が消えかかっている道路やそもそも白線が存在しない道路が存在している問題や、多数の車両が存在する交差点付近では自車が走行しているレーンやその近接レーンが右左折専用レーンであるか否かといった情報を遠方から確実に認識するのが難しいといった問題もある。また、デジタル地図は単に自車の走行ルートの把握以外にも多くの活用用途があり⁹⁾、自動運転における認知・判断・操作のハードルをかなり下げることが可能となる。このため、現在開発されている市街地を含む一般道路での走行を想定した自動運転システムでは、デジタル地図を多く活用して走行を行うものがほとんどとなっている。

実は、デジタル地図に頼った自動運転は見方を変えれば高速道路における自動運転と同様にインフラに頼った自動運転とみなすこともできる。高速道路のみを想定した自動運転では、高速道路やそこに存在する白線、磁気ネイルといったハード的なインフラに頼って自動運転していたのに対し、現在の自動運転システムではデジタル地図というソフト的なインフラに頼って走行するようになっただけとみなすことができる。ソフトインフラとしてのデジタル地図であれば、従来ハード的なインフラに潤沢なコストをかけることが難しかった過疎地域といった場所など、多種多様な場所にも自動運転システムを導入することが可能となる可能性を秘めており、この意味でもデジタル地図の活用は大きな社会的価値があるものと考えられる。

3. 金沢大学の取り組み

次に、著者らの研究室が開発中の自動運転システムについて紹介するとともに、自動運転システムの各機能とデジタル地図との関わりについて述べる。

著者らの研究室では、これまで Fig. 3 に示すトヨタ社製ビスタ (1998 年に導入) や富士重工業社製レガシー (2008 年に導入) 等の試験車両を用いて、数多くの自動運転に関する研究を行ってきた。研究開始当初は予算の問題もあり、単にステレオビジョンを用いて走行環境を認識するセンシングを中心とした研究を行ってきた¹⁰⁾。その後、実際に自動車を動かしながら大学構内、自動車学校等のテストコースを中心として自動運転システムを作り上げていった¹¹⁾。また、この間前述のエネルギー ITS プロジェクトにも参画していた。

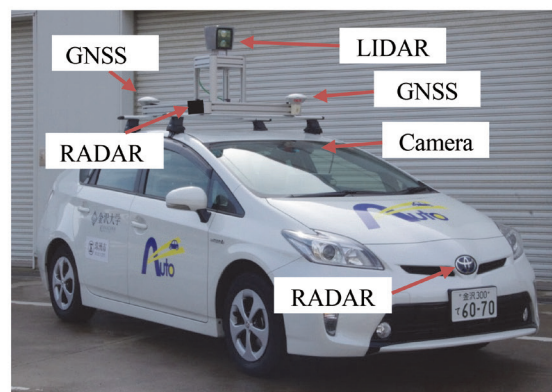
そして関係各所との調整の上 2015 年 2 月 24 日からは、国内の大学としては初となる市街地における公道走行実証実験を開始し⁸⁾、現在はその舞台を公道に移し研究を進めている。

3.1 試験車両の概要

まず本研究で用いた試験車両の概要について述べる。Fig. 4 に示すように、本研究ではトヨタ自動車製のプリウスを用いた。本車両は、自動車会社様のご協力のもと、ステアリング角、駆動力、ウィンカーが CAN(Controller



Fig. 3 著者らの研究室で開発した自動運転自動車



(a) 試験車両の外観とセンサレイアウト



(b) 試験車両内部

Fig. 4 公道走行に用いた試験車両の概要

Area Network) バスを介してコンピュータから制御可能な状態に改造している。また、公道における安全な実験を可能とするため、マニュアル操作によるオーバライド機能も実装している。

また本車両には、GNSS/INS 複合航法システム (Applanix POS-LV220) が搭載されている。本システムは DMI (Distance Measurement Indicator)、IMU (Inertial Measurement Unit) および 2 台の GNSS (Global Navigation Satellite System) 受信機から構成されており、カルマンフィルタにより 100Hz で車両の位置姿勢が計測可能となっている。さらに、後処理補正を行うことで、車両位置姿勢を 3cm、0.05 度で計測可能となっている。

車両周辺の障害物を認識するセンサとしては、車両上

部に全方位 LIDAR (Velodyne 社製 HDL64E-S2) が設置されている。また、車両全方位のバンパー内に 9 台のミリ波レーダ (富士通テン社製) が設置してある。このうち LIDAR は主に中・近距離に存在する車両全方位の障害物を認識する目的で使用している。またミリ波レーダは遠距離に存在する移動物体を早期に検知する目的で使用している。なお LIDAR は、レーザ照射先の反射率を取得可能であるため、後述の自己位置推定システムにおいて昼夜を問わず白線等の道路パターンを読み取る目的でも使用している。

また車内ルームミラー部には、単眼カラーカメラ (Point Gray 社製 FLEA2) も設置されており、これを用いて信号機を認識することが可能となっている。

3.2 デジタル地図と自己位置推定

前章で述べたように、自動運転システムにソフトインフラとしてデジタル地図を与えることで、自動運転における認知・判断・操作のハードルを下げる事が可能となる⁹⁾。一方、単に高精度なデジタル地図があらかじめ与えられていれば、必ずしも自動運転が簡単になるわけではない。これはデジタル地図を活用して自動運転に必要な高度な認知・判断・操作を行うためには、高精度な自己位置推定手法が必要となるためである。一方、高精度な自己位置を常に信頼性高く推定することは、比較的難易度の高い課題であり、これを如何にして行うかも自動運転のキーポイントであると考えられる。

従来、カーナビゲーションシステムでは自己位置推定 (Localization) に、GPS (Global Positioning System) に代表される GNSS を用いる例が多かった。この GNSS は、簡単に位置計測が可能である反面、自動運転システムに適用しようと考えた場合大きな問題がある。例えば高層ビルが多く建ち並ぶ環境では、マルチパスの影響により正しい位置を計測することが困難になる。また、トンネル内などそもそも GNSS 衛星信号の捕捉が難しい状況では測位ができなくなるといった問題がある。通常このような問題を低減化するため、INS (Inertial Navigation System) 等を併用し計測精度の向上や常時計測値を得られるようにする工夫がなされる¹²⁾が、長期間 GNSS 信号が受信できない環境ではやはり大きな誤差を生じてしまう問題がある。

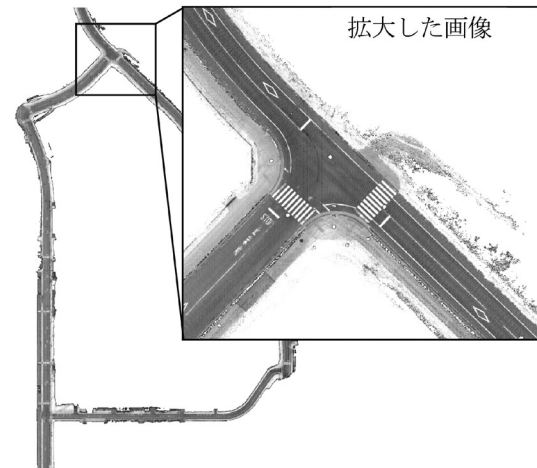


Fig. 5 LIDAR により作成したオルソ画像の例

また、たとえ自己位置が精密に計測できたとしても、デジタル地図自身に誤差が含まれている場合、正しい自動運転を行うことができないといった問題もある。例えば地震による地殻変動が生じた場合などでは、地球上の位置 (以降絶対座標と述べる) とデジタル地図の座標がずれてしまい、GNSS を使用するとデジタル地図を活用することが困難となる問題もある。このため、本研究ではオルソ画像と呼ばれる航空写真のように上空から道路を撮影したような画像を活用して自己位置推定及びデジタル地図入力を行った。

前述の通り、本研究で使用した試験車両には GNSS/INS および LIDAR が搭載されている。GNSS/INS はリアルタイムで車両の位置姿勢を高精度に求めることは困難であるが、後処理補正 (Post processing) を行うことで高精度かつ滑らかな走行軌跡を取得することが可能となる¹²⁾。このため、後処理補正を行った GNSS/INS から得られる位置姿勢情報と LIDAR 反射率情報を用いることで、Fig. 5 に示すような高解像度なオルソ画像を取得することが可能となる。自動運転時は走行中に LIDAR からリアルタイムに得られる反射率情報とこのオルソ画像を時系列的に照合することで GNSS 衛星測位情報にはほぼ頼ることなく自己位置を推定することが可能となる¹³⁾。

またこのオルソ画像を活用すれば、各画素が絶対座標系上での緯度経度の情報を保有しているため、マウス等を用いて走行車線情報を入力していくことで、Fig. 6 に示すようなノード・リンクタイプのデジタル地図を机上

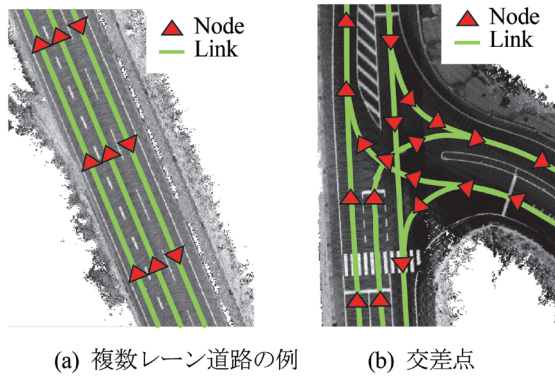


Fig. 6 デジタル地図の例

入力することが可能となる。この場合、デジタル地図と推定した自己位置が共通のオルソ画像を用いて求めたものとなるので、例えば地殻変動等によってオルソ画像が絶対座標系に対してずれてしまった場合でも、現実世界に対して相対的に矛盾のない自動運転が可能となる。

3.3 信号機認識

信号機の認識は、市街地における公道走行のための最も重要な技術課題の1つである。一方、昼夜問わず信号機を認識することを前提とすると、特に夜間において信号灯火による明るい領域と夜間の照度不足によるコントラスト差の問題から、信号機全体が画像内ではほとんど映らないという問題がある。このため、本研究では信号機自体を検出せず、信号灯火を画像内から検出することとした。

一方もし信号灯火のみを画像から検出する場合、特に遠方において信号灯火は画像内の極めて小さな領域にしか撮影されず、その検出および色識別が困難となる問題がある。このため、デジタル地図として信号機の位置を地図データとして保持し、前節の手法で推定した自己位置情報から画像内での信号灯火検出領域を限定することで、Fig. 7 に示すように安定した信号灯火色認識を可能とした¹⁴⁾。これにより約 140m 程度遠方から昼夜問わず信号機の認識が可能となっている。ただし、逆行などの光環境によっては認識距離が短くなる場合や、場合によってはその検出自体が困難となるシーンもある。この問題に関しては今後、カメラのダイナミックレンジの向上など、デバイスの変更・調整に関する検討も必要になると考えられる。

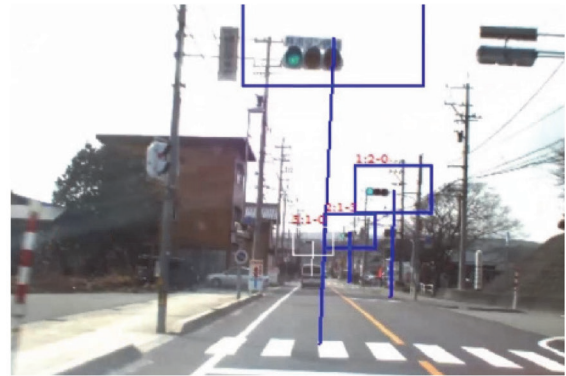


Fig. 7 自動運転中に複数信号機を同時認識している様子

3.4 障害物検出と移動物体の予測軌道推定

次に車両周辺に存在する障害物の検出と移動物体の予測軌道の推定について述べる。これらの認識に用いているセンサは、LIDAR とミリ波レーダである。中心的に用いているセンサは、車両上部に設置した Velodyne 社製の LIDAR である。ただし、このセンサは 360 度全方位を監視できるものの、遠距離の物体を認識する能力が低い。また、基本的に LIDAR では物体までの距離を計測しているのみであるため、移動物体の動きを推定するためには数フレームの間物体を追跡する必要がある。その検出が遅れるといった問題がある。このため、遠距離かつ動きの速い物体を早期に捉える目的で、ミリ波レーダを併用し、LIDAR とミリ波レーダから得られるセンサ情報をフュージョンして、後段のパスプランナに情報を伝えている。

LIDAR による静止障害物検出では、占有格子地図 (Occupancy Grid Maps) を用いている。占有格子地図では、車両周辺の空間を 2 次元のグリッド上に分割し、各グリッド内での物体が存在するか否かの事後確率を Binary Bayes Filter を用いて推定する。Fig. 8 では、Binary Bayes Filter により推定した確率を示したものであり、白色であれば障害物が存在しないことを、黒色であれば障害物が存在する確率が高いことを示している。また、灰色は障害物が存在しているか否かが不明な確率を示す。事後確率を用いることで、一瞬のセンサの誤検知・未検知による影響を低減化できるのと同時に、周辺に存在している移動物体等により一時的に生じるオクルージョンによる影響を低減化することができる。

また占有格子地図は、周辺環境が静止物体で構成され

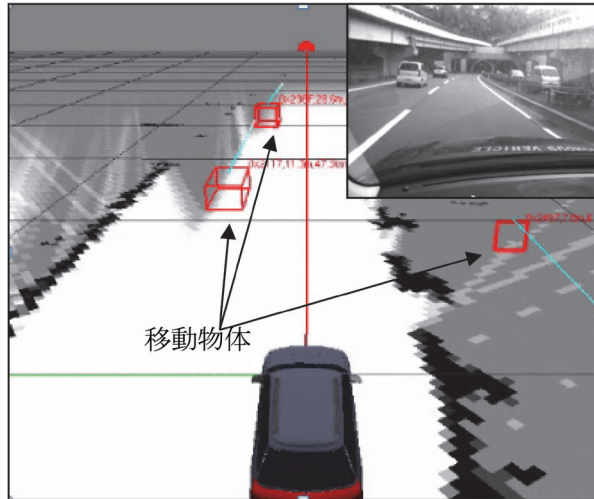


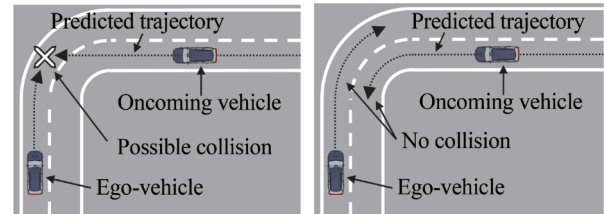
Fig. 8 周辺環境認識の例

ているという仮定の基で成り立つ手法である。このため、センサ情報から得られる観測値と過去に生成した障害物マップを比較し矛盾した箇所を探索することで、Fig. 8の赤色の枠で表示しているように移動している物体を検出することも可能となる。そして、これらの検出した物体を時系列的に追跡することで、物体の運動を推定する¹⁵⁾。

一方、たとえ精度の良い運動状態を推定できたとしても、推定した運動状態のみを用いて移動物体の将来軌道を精度よく予測するのは困難である。例えばFig. 9(a)のシーンにおいて単純に移動物体の時系列的な移動履歴から予測軌道を推定すると、通常は将来も過去の移動履歴と同じ運動状態で走行することを仮定してしまうため、車線を逸脱して走行するような軌道を予測してしまうことになる。この場合、移動物体が自転車走行経路前方に侵入してくる予測結果となるため、それまで自転車および対向車両双方が正しく車線中心を走っていたにもかかわらず、自動運転自動車のパスプランナは危険を察知して急停車することを選択してしまう。このため、Fig. 9(b)に示すように地図情報を基にその物体が車線の維持具合を保持したまま将来走行するという仮定を設けることで自然な軌道予測を可能とした。

3.5 パスプランニング

最後にパスプランニングの概要¹⁶⁾について述べる。交通環境では多数の自動車、歩行者、様々な種類の障害物等が存在している。また、交差点や横断歩道など様々



(a) 運動情報による予測 (b) 地図を用いた予測

Fig. 9 デジタル地図を用いた軌道予測の効果

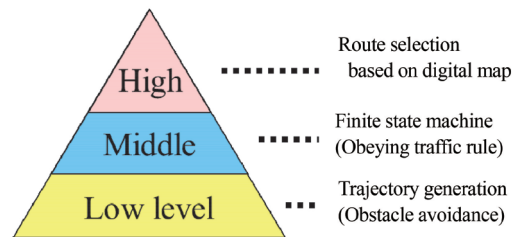


Fig. 10 階層構造型パスプランナ

な交通環境が存在するため、複雑な運転行動を取る必要がある。そこで本研究では、複雑な運転行動をソフトウェアの見通しを良く設計するため、Fig. 10に示すように三層の階層構造型構造を有するパスプランナを設計した。このプランナでは上位では時間的にほとんど変化のない情報を考慮し、下位では一瞬の状況変化を考慮してパスプランニングを行うように設計されている。これらの階層構造型のプランナを有機的に結び付けて自動運転を行うことで、複雑な状況判断を可能としている。下記に各階層における機能と役割について述べる。

・High Level プランナ

High level プランナでは、ユーザからの目的地、目標速度情報を受信して、目的地までの最適なルートを探査する。パスプランニングに用いるデジタル地図の情報としては、Fig. 6に示すようにノード、リンクで表されるベクトル地図(有向グラフ)を用いる。ノードは道路の中心座標を表す緯度経度や道幅といった情報を含んでいる。またリンクはノード間のつながりとその方向を示し、直進・右左折といったリンクの種別、破線や黄色線などの白線種別、制限速度が付加情報として記載されている。High Level プランナでは、これらの情報を用いて目的地まで到達可能なルート探索を行う。

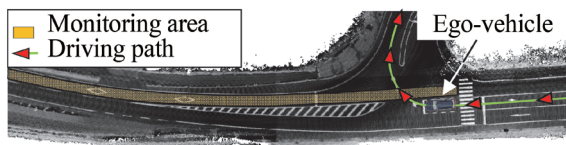


Fig. 11 右折時における注視領域の設定例

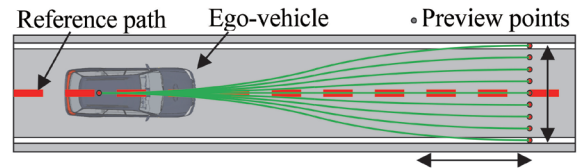
・ Middle Level プランナ

通常、人間が自動車を運転しているとき、「周辺環境の何処を注視するのか?」、また「どのような運転行動を取るのか?」はその道路環境により大きく異なる。このため、単純に High Level プランナが計画したルートを進めるだけでは自然な運転を行うことができない。このため、Middle Level プランナでは、交通シチュエーションに応じて適切な注視位置、運転行動を考慮する役割を有している。例えば右折の状況では、Fig. 11 に示すように注視領域として対向車線を設定する。そして、対向車両の有無、対向車線の見通しの良さを考慮し、対向車線と交わる領域へ侵入すべきか否かの運転行動を決定する。その他にも、「止まれ」標識のある一旦停止交差点では、停止線での確実な停止を判断してから交差点に進入する等、各々の交通環境に応じた適切な注視領域設定、運転行動を Finite State Machine により記述することで交通ルールに基づいて適切に運転を行うことが可能としている。

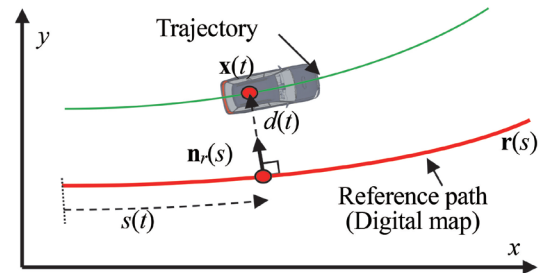
・ Low Level プランナ

上述の通り、Middle Level プランナでは交通ルールに基づいて注視領域設定およびそれに基づく運転行動決定を行う。しかし、さまざまな交通環境において単純に典型的な運転行動決定を行うのみでは複雑な状況に対応して走行することは困難である。このため Low Level プランナでは、Middle Level プランナが設定した運転行動を基礎とし、全ての障害物との衝突を考慮した上での最終的な走行軌道（車両の時系列的な将来の挙動）を計画する。

Middle Level プランナからは車線中心線の位置、道幅、目標速度といった情報が送信される。これらの情報を用いつつ、Low Level プランナは最終的に自動運転自動車が取べき走行軌道を計画する。従って Low Level プランナは安全かつ搭乗者の乗り心地が良い軌道を設計する必要がある。通常、走行経路上に障害物が存在する



(a) 多数の軌道候補生成



(b) 生成する軌道の幾何学的関係

Fig. 12 走行軌道と経路の幾何学的関係

状況においてドライバーが取り得る運転行動は、大まかにはハンドルによって障害物を回避するか、障害物手前で停止するか2種類に分けることができる。そこで Low Level プランナでは、上位モジュールから得られる経路情報（走行車線の中心位置や道幅等）から、時刻 t における車線中心位置からの時系列的なオフセット量 $d(t)$ と、デジタル地図上の走行距離 $s(t)$ のパターンを複数生成する。そして Fig. 12 に示す幾何学的関係から、次式を用いてオフセットパターン $d(t)$ 、および走行距離パターン $s(t)$ を組み合わせた多数の軌道候補 $x(t)$ を生成する。

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{r}(s(t)) + d(t)\mathbf{n}_r(s(t)) \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{r}(s)$ はデジタル地図から与えられる走行経路上の道のり s における経路位置を示す。また、 $\mathbf{n}_r(s)$ は道のり s における経路 $\mathbf{r}(s)$ の単位直交ベクトルを示す。そして、生成した軌道候補の中から、障害物に衝突する軌道を除外し、残った軌道の中から評価関数が最も小さくなる軌道を選択することで、安全性と乗り心地を考慮した軌道を生成することが可能となる。

4. 自動運転自動車の公道走行実証試験

本章では、著者らの研究室が国内の大学としては初の試みとして実施している石川県珠洲（すず）市における

自動運転自動車による公道走行実証実験の取り組み⁸⁾について紹介する。

珠洲市は、石川県の能登半島の先端に位置し、2015年時点で人口約1万5千人のうち65歳以上の高齢者の割合が45%を上回る高齢化の進んだ自治体である。現在珠洲市の公共交通としては、バスもしくはタクシーのみとなっており、地域によってはバスが1日に1便しかない状況となっている。このため、自動運転自動車の活用による公共交通空白地域の解消が切望されている。

このような背景から、2015年2月から国内の大学としては初となる市街地を含む一般道での公道走行実験を開始した。このプロジェクトでは、金沢大学が中心となり国内の自動車会社を含む様々な自動車関連機器メーカー、インフラ機器メーカー、デジタル地図会社様のご協力のもと、自動運転自動車の技術開発を進めている。また実験開始初期段階である現在では、主に市街地走行における走行データの積み重ねにより、単に走行環境認識やパスプランニングといった自動運転の要素技術の向上を目的として実験を中心に行っているが、その後は段階的に珠洲市内での公共交通網の1つとして活用すべく、検討を進めていく予定である。

前述のとおり、実験に用いている車両はFig. 4に示すトヨタ自動車製のプリウスである。なお公道走行に当たっては、様々なセンサの設置や自動運転が可能な状態に改造した状態で、違法性がないことを関係機関に確認の上で実験を行っている。また、実際の公道走行試験を開始するまでは約10年間をかけて著者らの大学構内で各種走行試験を行うのと同時に、公道走行試験実施2年前からは金沢市内の自動車学校様のご協力を得て、自動車学校内の模擬市街路において実際の公道を模した走行試験を行い、概ね仮免許レベルに近い状態までテストを行った後に公道走行試験を実施している。

公道走行実証実験開始当初の約半年間は、珠洲市内のごく限られた範囲約6.6kmにおいて走行実験を行っていた。実験開始約1か月後の2015年4月上旬にはこの区間の完全自動での走破を達成し、4月中旬には往復約13.2kmの完全自動での走行を達成している。Fig. 13にその走行実験の様子を示す。また2015年10月末からは、珠洲市内のほぼ全域となる約60kmの区間での自動運転による走行も実施している。



(a) 一般車両との混在環境下における走行風景



(b) 交差点右折中の様子

Fig. 13 公道走行中の自動運転自動車

なお、現在は珠洲市内における実運用に向けた各種走行試験を継続するとともに、関係機関との調整の上、著者らの大学が存在する金沢市内の交通量が多い市街地の道路での走行試験も実施している。現時点では、国内で市街地を含むこれほど広大な領域での走行実験を行っている例は皆無であり、この走行実験を通して日本の自動運転技術の向上に貢献を図っていく予定としている。

5. まとめ

本稿では市街地走行を前提とした自動運転システムにおけるデジタル地図の必要性について述べた。また、これまでの著者らの研究経験や現在実施している公道走行実験における経験を基に、デジタル地図の自動運転システムへの活用例について述べた。

高速道路のみでなく市街地を想定した自動運転システムでは、デジタル地図が必須であるのと同時に、デジタル地図を活用することで自動運転に必要な認知・判断・操作に必要なハードルを大幅に下げることが可能となる。また既に、デジタル地図を活用することで市街地環境での自動運転も実際に可能となっており、現在の技術を使えばDoor to doorの実現も現実味を帯びるに至ったと考えている。

さて、思い起こしてみると、著者らが研究を開始した1998年頃では、まだ一般道での自動運転は夢のような技術であり、想像も難しい状態であった記憶がある。また研究を開始してから約10年近くは、ほとんど自動運転に関する盛り上がりや期待が、一般の人のみならず研究者の間からも聞くことがほとんどなく、いわば下火の時代が続いていた。実際、国内の学会等を見てみてもたかだか5年前に市街地での自動運転を想定して研究を行っている研究者はほとんどいなかった。しかし、ここ2、3年における自動運転技術に対する産官学の盛り上がりは、著者らの研究室が20年近く研究を行ってきた中でも初めての経験であり、正直とても驚いている。またこの盛り上がりもあり、これまで想定もできなかったような公道での走行実験が現実的に可能となり、長年開発を行ってきた研究者の立場として、とても感慨深いものがある。一方同時に危機感も抱いており、この自動運転の盛り上がり単なる一過性のいわゆる「ブーム」に終わらないようにする努力も必要であると考えている。

その1つの取り組みが、公共交通機関が不足する高齢化地域への社会インフラとしての自動運転システムの導入であると考えている。前述のとおり、以前の自動運転システムがハード的なインフラに頼って走行していたものが、現在ではデジタル地図というソフト的なインフラに基づいて走行するようになってきていると考えることができる。これにより、例えば高齢過疎地域のような潤沢にインフラ投資を行うことが困難な地域でも、ソフトインフラとしてのデジタル地図を用いることで自動運転を行うこと可能となる。

著者らの研究室としては、現在の自動運転ブームを技術の開発とともに、このような高齢過疎地域への社会導入までパッケージとして導入し、モビリティに関する諸問題を解決していくことで、自動運転が一過性のブームで終わらず、社会に実際に浸透していくことを祈念している。

謝辞

本研究の一部は総務省 戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) 地域 ICT 振興型研究開発「自動運転車の地域振興へ活用に向けた研究開発 (No.152305001)」による成果を活用して行われた研究である。

また実証実験実施にあたり、トヨタ自動車様、国土交通省 北陸信越運輸局 石川運輸支局 検査整備保安部門 首席陸運技術専門官 広瀬道弘様、石川県珠洲市 市長 泉谷満寿裕様、石川県珠洲市企画財政課 課長 金田直之様を始め、多くの方々に多大なるご協力をいただいた。この場をお借りし、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 津川定之, “自動運転システムの60年, 計測と制御”, Vol.54, No.11, 2015
- 2) 青木啓二, 森田康裕, “自動運転・隊列走行システムの開発 (第1報)”, 自動車技術会学術講演会 講演予稿集, No.94-09, pp.1-4, 2009
- 3) 毛利宏, 白土良太, 古性裕之, “画像処理による車線追従制御の検討”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.101, No.285, p.55-60 (2001)
- 4) 水間毅, “IMTSの安全性評価について”, 電子情報通信学会技術研究報告, DC2003-89, p.75-80, 2003
- 5) M.Montemerlo, et al., “Junior: The Stanford Entry in the Urban Challenge”, Journal of Field Robotics, Vol.25, No.9, pp.569-597, 2008
- 6) C.Urmson, et al., “Autonomous Driving in Urban Environments: Boss and the Urban Challenge”, Journal of Field Robotics, Vol.25, No.8, pp.425-466, 2008
- 7) Julius Ziegler, et al., “Video Based Localization for BERTHA”, Proc. of the IEEE Intelligent Vehicle Symposium, pp.1231-1238, 2014
- 8) 菅沼直樹, 林悠太郎, 永田大記, 高橋謙太, “高齢過疎地域における自動運転自動車の市街地公道実証実験概要”, 自動車技術会学術講演会 講演予稿集, No.14-15S, pp.390-394, 2015
- 9) 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
- 10) 菅沼直樹, 小原賢治, 久保貴朗, “低基線長型ステレオビジョンを用いた車両前方環境認識”, 日本機械学会論文集 C編, 77-776, 1356/1365 (2011)
- 11) 菅沼直樹, 魚住剛弘, “自律走行自動車のためのデジタル地図に基づくパスプランニング”, 自動車技術会論文集, 44-3, 961/966 (2013)
- 12) J. Hutton, et al., “Tight integration of GNSS Post-processed virtual reference station with inertial data for increased accuracy and productivity of airborne mapping”, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII, Part B5., pp.829-834, 2008
- 13) N.Suganuma, D.Yamamoto, “Map based localization of autonomous vehicle and its public urban road driving evaluation”, Proc. of 2015 IEEE/SICE International

- Symposium on System Integration, pp.467-471, 2015
- 14) Keisuke Yoneda, Naoki Suganuma, Mohammad Amro Aldibaja, Simultaneous State Recognition for Multiple Traffic Signals on Urban Road, Proceedings of Mecatronics-Rem2016, pp.135-140, 2016.
- 15) 羽倉友樹, 菅沼直樹, 松井俊樹, “Occupancy Grid Maps に基づく移動物体の検出と追跡”, 自動車技術会春季大会, 2013
- 16) 菅沼直樹, 米陀佳祐, 自動運転自動車のバスプランニング, 情報処理学会誌, Vol.57, No.5, pp.446-450, 2016

著者



菅沼 直樹

すがぬま なおき

金沢大学新学術創成研究機構 未来社会創造コア 自動運転ユニット
ユニットリーダー, 准教授

著者略歴

2002年 金沢大学大学院博士課程修了. 博士(工学).

2002年 日本学術振興会特別研究員 PD を経て, 同年金沢大学工学部助手に着任.

2015年より異分野融合の研究を主任務とする金沢大学新学術創成研究機構に移籍し,
現在同機構自動運転ユニット ユニットリーダー, 准教授を務める.

1998年から自動運転自動車の研究を開始し, 2015年からは国内の大学として初となる
市街地での公道走行実験も開始.

主な学会活動

日本ロボット学会, 自動車技術会, 計測自動制御学会, 日本機械学会会員.

自動車技術会 自動運転委員会幹事

自動車技術会・ロボット学会 カー・ロボティクス調査研究委員会幹事

主な受賞歴

1998年 社団法人日本機械学会畠山賞 受賞

2016年 堀場雅夫賞 受賞