



自動運転バスに使われるLiDARセンサー 応用技術と遠隔監視・操作技術

陣 鎌 真 一・田 中 健一郎

本稿では、自動運転シャトルバスで使われているLiDAR応用技術と遠隔監視・遠隔操作技術について紹介する。まず前者は、物体認識と自己位置推定・環境地図作成といった自動運転の外界認識に関する基礎技術や仕組みを紹介する。また後者は、遠隔地のモビリティの監視・操作する際の機器構成やデータ送受信の流れ、データの内容について紹介する。

キーワード：自動運転，LiDAR，物体認識，自己位置推定，遠隔監視，遠隔操作，FMS

1. はじめに

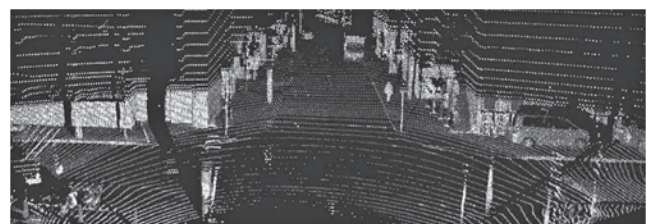
株式会社マクニカでは、GAUSSIN MACNICA MOBILITY社が開発・製造している自動運転シャトルバス「NAVYA」(写真—1)を利用し、日本を始めとした世界各地で自動運転によるモビリティサービスの提供、またその実証実験、更にMaaS (Mobility as a Service) の実証実験を行っている。過去より、茨城県境町、羽田イノベーションシティなどで自動運転バスとして定期的に運行している他、2023年に入ってから、茨城県常陸太田市、北海道当別町、長野県上田市などで各自治体と連携した実証実験を行っている。本稿では、このNAVYAの自動運転シャトルバスでも使われているLiDAR応用技術と遠隔監視・遠隔操作技術について、取り組みを紹介する。



写真—1 自動運転シャトルバスを利用した境町での定常運行

2. 自動運転の仕組みとLiDARの応用技術

コンピュータが自動運転を行う仕組みは、基本的には認知・判断・制御という3つに大別できる。このうち認知、すなわち外界認識は、障害物との距離や相対速度を認識したり、走行路や周辺環境を認識したりする部分のことを指す。前者は物体認識、後者は自己位置推定・環境地図作成と言い換えることができる。ここでキーとなるセンサーがLiDARである。LiDARは、Light Detection And Rangingから作られた造語であり、レーザーで対象物の位置・距離を測定するセンサーである。レーザーを用いた測量技術は建設・土木でもよく用いられているが、自動運転で用いられるLiDARは、いわゆる3D LiDARと呼ばれるもので、昨今では非常に高解像度になっており、カメラの画像のような情報が得られる(図—1)。3D LiDARで得られるデータは、点群と呼ばれる3次元情報であり、カメラのように1視点ではなく、上面や側面から見ることができる。また、反射率などの情報も得られ、走行路の白線や道路標示などを見分けることができる。このように、LiDARはコンピュータの眼としての役割を持っている。



図—1 ビューワーで見た点群データ

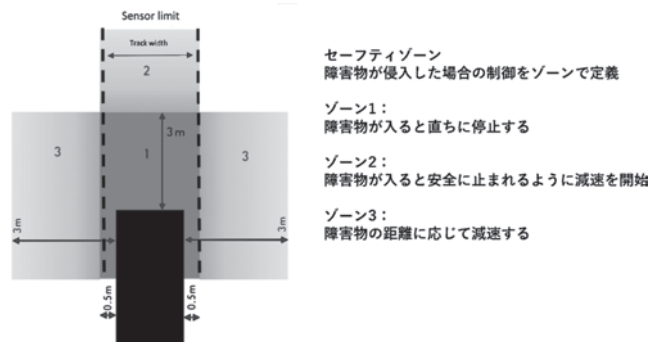


図一 自動運転シャトルバスのセンサー構成

図一は、NAVYAの自動運転シャトルバスのセンサー構成を示している。車両の周辺をくまなく監視するため、複数台のLiDARで死角が無くなるようにしている。また、LiDAR以外のさまざまなセンサーを組み合わせて使われている。

3. 物体認識

前項で説明した通り、LiDARで得られる情報は点群と呼ばれるデータで、その中から障害物などを認識するには、後段のコンピュータでデータ処理が必要である。例えばある高さのデータを抽出すれば、周囲の障害物までの距離を測定できるため、壁にぶつからないように自走するロボットなどに応用できる。もちろん現実には障害物は壁のように床から同じ形状で上方まで延びているとは限らず、背の低い障害物、空洞のある障害物などさまざまなため、3D LiDARによって高さ方向の形状も把握して障害物を避ける必要がある。また、静止物だけでなく動体を避けようとする、どの点群が動体か切り分け、その動体にぶつからないように最も近い部分までの距離を測定しつつ、時間的な処理を行うことにより、どのような経路をたどって動いていたか、さらにその先にどのように動くのかの推定を行う。このように、経路をたどることを追跡、どのように動くのか推定することを予測と言う。さらに物体が人なのか車なのかなど、予め決めておいた分類のどれに該当するか推定することを識別と言い、物体認識の中でも検知・識別・追跡・予測のように処理をそれぞれ区別して呼ぶことが多い。NAVYAの自動運転のアルゴリズムを例に挙げると、セーフティゾーンを3種類定義し、例えばセーフティゾーン3に障害物が検出されたら減速のみ、セーフティゾーン1に障害物が検出されたら停止というような制御を行っている(図三)。ただし、実装されているアルゴ



図三 セーフティゾーン

リズムはもう少し複雑で、動体の場合は上述の追跡・予測を行って判定している。

物体認識の応用範囲は広く、ショベルカーやクレーンなど、旋回時に周辺の建物や人などに当たらないようにしたり、セキュリティカメラのように、交差点や踏切などがあるエリアに侵入した人などを検知したり、空港などで人を検知・追跡し混雑状況を把握するような人流分析にも応用されたりしている。さらに、検知対象を車やバイクとして、交差点や高速道路の交通量監視、逆走検知、踏切など危険エリアへの侵入検知、駐車場の空き情報案内など、さまざまな分野に応用が可能である。

4. 自己位置推定と環境地図作成

物体認識と並ぶLiDARの応用分野に、自己位置推定・環境地図作成がある。

自己位置推定には、GNSSやオドメトリを利用したものが知られているが、LiDARが注目を集めているのはその精度である。自動運転車両の多くにLiDARが使われているのは、走行しながら自車位置を正確に精度よく認識する必要があるためである。LiDARは、優れた空間認識センサーであり、視野角360°の回転

式LiDARであれば1秒間に10~20回という頻度で、100m先でも数cmという精度で周辺の3D点群情報が得られる。この3D情報から特徴点を抽出し、あらかじめ作成しておいた高精細地図と照らし合わせて、自分自身がどこにいるか推定を行っている。NAVYAの自動運転アルゴリズムでは、GNSSおよび補正情報が受信できているときにはGNSSベースで、GNSS受信感度が悪くても、上述のようにLiDARから得られる周辺の点群情報と高精細マップとの違いが一定以上であればLiDARベースで、一定値以下でもさらに低い基準値以上かつオドメトリが使える場合は、これらを組み合わせて自己位置推定が途切れにくいようにしている。これは、ビルの谷間やトンネルのようにGNSSが届かないところや、駐車車両や街路樹などでLiDARから得られる情報と高精細地図との違いが多い場合などでもサービスを継続し続けられるようにするためである。

環境地図は、GNSSやIMUを組み合わせてLiDARの点群データによって作成していく。NAVYAの自動運転シャトルバスも、自動運転を行うルートで、まずはこの環境地図作成を行う必要がある。

5. 遠隔監視技術

冒頭に言及した通り、(株)マクニカでは自動運転、MaaSなどの実証実験に多数取り組み、これらの社会実装に取り組んでいる。自動運転バスが運転手による運転操作が必要ない、いわゆる完全ドライバーレス状態でサービスが提供できることとなると昨今の運転手不足に対する解決策の一つになると考えられている。

ここで新たに検討すべき点として、サービス提供中の車両などの管理、またその車内などの状態などの監視についてである。自動運転バスは自動運転に必要なセンサー、その他機材などが搭載されており、車両を含めハードウェアとソフトウェアのかたまりである。それらの必要な機能が損なわれた場合、また車内での不審者の行動や急病の乗客への対応など不測の事態が発生した場合に、車内・車外の状況を確認し、適切な処置を行うといった、今まで運転手が行っていた柔軟な対応を行う必要がある。つまり、運転手の代わりに車両、その他サービス提供状態を遠隔から監視・管理する技術、いわゆるFMS (Fleet Management System) が必要となる。我々の開発しているFMSでは、表一1のようなデータを対象とし遠隔監視を行っている。図一4は、実際の表示画面の例である。

このような遠隔監視の技術は、自動運転バスのみならず、

表一1 FMSに用いられるデータ

データ種類	概要
カメラ映像	車室内、車両進行方向、車両後方等の映像。これらの映像は、リアルタイムに何らかの問題が発生した場合の状況確認や対応に用いられ、一定期間保存され、過去の状況確認のために利用したりする。
GNSS (GPS)	衛星測位による緯度・経度データ。監視対象のモビリティがどこを走行中であることを確認する。
走行車両関連データ	ドアの開閉、車速、アクセル、ステアリングなどの状態情報。発車時にドアが正常に閉じられているか確認したり、車速、アクセル開度、ステアリング角度などから走行状況を確認したりする。
SOC/燃料計	電気自動車はState Of Charge (充電率)、内燃機関車両は残燃料等、走行可能時間等を確認する。



図一4 遠隔監視アプリケーション

建設機械など様々なモビリティでの遠隔監視にも適用が可能である。実際(株)マクニカでは、車両側、すなわちエッジ側への各種センサー設置、データの収集とクラウドへのアップロード、そして可視化アプリケーションの提供など、ワンストップで提供している。

遠隔監視の課題は、一人の担当者(遠隔監視者)が複数のモビリティをどうやって現実的に監視できるようにするか、また得られたデータをどのように活用していくか、という2点である。前者については、車両からのデータまたはそれを処理して得られたデータに対してあるしきい値を設定し、それを上回る/下回るといったルールベースの判定により遠隔監視者に対してハイライトするといったことが考えられているが、例えばカメラ映像データをAIを用いて分析する場合、精度、実装方法、コストなど最適化が必要となる。後者については、得られたデータをビッグデータ的に解析したりしてその先に発生し得る問題の回避やリスクの最小化につなげることが期待されているが、どの

ようなデータを収集し、どのアルゴリズムで処理をするかといった検討が必要である。

6. 遠隔操作技術

前述のとおり、完全ドライバーレスとして運行をするためには、今まで運転手が行っていた柔軟な対応をどのように行うかという課題があり、遠隔監視だけでなく遠隔操作も必要になる。

図一5は、遠隔監視・遠隔操作の構成の一例である。遠隔にあるモビリティを操作するためには、遠隔監視というモビリティから監視・操作側へのデータの流れると、監視・操作側から遠方のモビリティへのデータの流れるを合わせて検討する必要がある。具体的には、何のデータを送る必要があるのか、そしてどのような通信方式で送るのかである。

例えば、前項で述べた通り、遠隔監視技術によってカメラ映像などで現場の状況を確認・理解し、遠隔監視者が手元にあるコントローラーなどから操作入力を行い、それらが再度クラウドを介してモビリティに伝送され、その入力に従いモビリティが動作を変える。操作入力には、停止／再起動は2値のデジタル信号、他方ステアリング、アクセル／ブレーキなどリニアな制御が求められる信号である。現システムはこれらをCAN通信でデータ収集端末に集約し、Wi-Fiなどの構内インフラや4G/5Gなどの公衆通信経由でインターネットに接続し、クラウドにアップロードを行い、クラウドを経由して監視端末にダウンロードしている。同様に、カメラ映像はストリーミングデータとしてデータ収集端末に取り込み逐次アップロードを行い、クラウドを経由して監視端末にダウンロードされている。これらは、図一4のように統合された監視

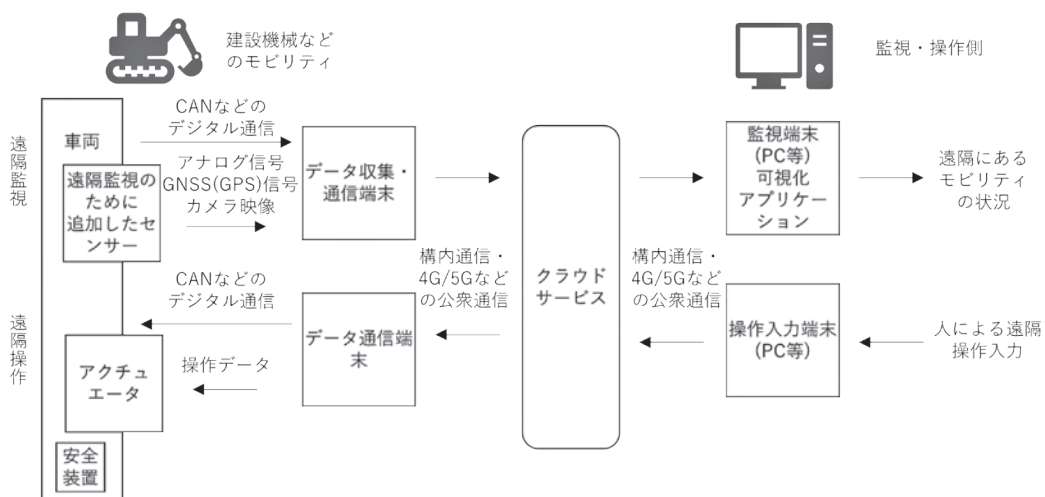
画面で表示が可能であり、操作用にカメラ映像、車速、ステアリング舵角など遠隔操作に合わせた配置・大きさに変更することが可能である。

遠隔操作のキーポイントは、遅延時間である。上述のとおり、現場の状況はカメラ映像などで判断するが、遅延が大きければ手遅れになってしまい適切に対処ができない。同じ理由で、操作してから遠隔現場のモビリティが動くのが遅いと、現場の状況が変わってしまう可能性があり、非常に危険である。また、オペレーターがスムーズに違和感なく操作できなければ、うまく操作できず、効率も上がらない。よって、オペレーターのフィーリングに影響を与えない程度の遅延に抑える必要がある。しかしながら、上述のとおり、カメラ映像など現場の情報を伝えるときの遠隔現場から監視サイトまでの伝送遅延、監視PCでの処理遅延、更に監視者の操作入力を現場のモビリティに伝える伝送遅延、遠隔現場のPCが処理してアクチュエータが動くまでの処理遅延など、さまざまな遅延が合計されるため、非常に難易度が高い。そこで我々は、パートナー企業の独自技術を使用した低遅延伝送を利用し、実用に足る性能を得ている。

また、操作対象のモビリティはさまざまであり、安全装置、衝突軽減システムなどそれぞれのモビリティの装備を使用する場合、それぞれモビリティ別で対応が必要である。

7. おわりに

NAVYAの自動運転シャトルバスは、すでに多くの自治体・事業者向けに実証実験を行っているが、定常運行を行っている境町含めて事故は全く起こしていない。これは、車両やセンサーなどのハードウェア、



図一5 遠隔監視・遠隔操作の構成例

自動運転含めたソフトウェアなど NAVYA の自動運転シャトルバスが優れたパッケージであることと、運用におけるノウハウの積み上げができていたためだと考える。さらに本稿でも紹介した通り、実際の運行時に必要となる技術の開発を進めており、自動運転社会を実現する担い手として社会課題の解決に貢献していきたい。

JCMA

《参考文献》

・(株)マクニカウェブページ (<https://www.macnica.co.jp/business/maas/products/133978/>)

【筆者紹介】

陣鎌 真一 (じんがま しんいち)
(株)マクニカ
イノベーション戦略事業本部
スマートシティ & モビリティ事業部
DX ソリューション部
部長代理



田中 健一郎 (たなか けんいちろう)
(株)マクニカ
イノベーション戦略事業本部
スマートシティ & モビリティ事業部
DX ソリューション部
課長

