



# 8 クルマの自動走行

応  
般

加賀美 聡 (産業技術総合研究所)

## 自動走行に関する動向

Google が 2010 年にカリフォルニアからネバダへの自動走行実験を公開して以来、自動走行に関連する技術開発が注目を集めている。自動車に環境センシングと知能処理を導入し、運転者が操舵に関与しなくても、自動車が自律的に走行できる技術群である。2013 年頃から各国自動車メーカーも自社の技術開発による自動走行実験を公開してきた。国内では、2013 年 11 月にトヨタ自動車、日産自動車、本田技研工業の 3 社が国会周辺で安倍首相を同乗させて自動運転車の公開デモを行ったことは記憶に新しい。欧米でも 2014 年に入って、独ダイムラー社や米ゼネラルモーターズが公道を使った自動運転の実証実験を公開している。

一方で、DARPA Challenge 以降、カーネギーメロン大学やスタンフォード大学も研究開発を続けており、多くの研究成果を発表している。国内の大学研究機関では、ITS 世界会議 2013 において、産業技術走行研究所、名古屋大学、長崎大学、金沢大学などが自動運転のデモを公開した。これら研究開発成果が今後徐々に産業展開されていくことになるが、今のところ自動車メーカー各社は高速道路向けの自動運転技術に力を入れており、2020 年前後を目途に製品化すると公表している。

## 自動走行の要素技術

現在、市販車にも車載カメラやミリ波レーダを利

用した衝突防止システム、アダプティブクルーズコントロール (ACC)、レーンキープアシスタンスシステム (LKAS) など、自動走行の要素技術が搭載されている。今、研究機関で取り組むべき課題は、自動車の安全技術の枠を超えた、情報通信技術やロボティクスとの技術融合である。そして、環境認識から状況判断と行動計画を経て、車両操舵に至る一連の処理を体系化し、統一的なプラットフォーム上で各種コンポーネントを実装することが求められている。以下にこれら自動走行技術の要素技術をまとめる。

### 環境認識

最も安価に手に入る環境センサの 1 つがカメラである。単眼と複眼の違い、シャッタースピード、解像度、フレームレートなど、価格と性能はトレードオフの関係にあるが、それでもほかの環境センサに比べると安価で扱いやすい。単眼ではパターン認識の問題として扱われることが多く、物体検出などに用いる。一方、複眼では広角のセンシングやステレオビジョンを駆使し、単眼では難しいパノラマ画像の取得や距離計測に用いる。

レーザーレンジスキャナ (LRS) の市場も広がっている。カメラでは正確な距離計測は難しいが、レーザーの反射によって正確な距離計測が可能な LRS は、近年、自動運転の重要な要素技術になりつつある。産業技術総合研究所でも、Velodyne 社製の 3 次元全方位 LRS を用いた環境センシングの研究を進めている。図-1 に示すように、垂直方向で 32 ~ 64 の分解能を持つ Velodyne 社製の LRS を用いることで、点群 (ポイントクラウド) による 3 次元の環境地図を生成し、その上で移動体検出といっ



図-1 Velodyne 社製 LRS のデータ

た処理が可能となる。LRS については、ほかにも近距離系、遠距離系、2次元、3次元、などさまざまな組合せの製品が市場に出ている。

LRS を用いると、環境地図から自己位置推定が可能になり、地図生成と位置推定を同時に行う手法として Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) の研究が進んでいる。SLAM は主に環境地図上の相対的な位置認識を目的としており、グローバル座標系での位置認識には GPS を含めた衛星測位システム (GNSS) を用いるのが効果的である。GNSS では衛星の角度によって位置認識の精度が変動するため、高層ビル付近やトンネルでは使用が難しいケースもあるが、慣性センサや携帯電話の基地局を利用した補正をかけることで、市街地でもある程度の精度を保てるようになってきている。そのほかの環境センサとしてはミリ波レーダが車載に導入されてきており、研究レベルでは Time of Flight 形式のデプスカメラや近赤外線カメラの導入も検討されている。

## 状況判断・行動計画

環境認識と深く関連する要素技術が状況判断と行動計画である。環境認識との正確な境目はないが、移動体や障害物を含めた周囲環境の認識結果に基づいて、運転の行動を決定する必要がある。状況判断の古典的なアプローチとしてルールベース手法がある。代表的な応用分野として自然言語処理があるが、自動走行における状況判断にも適用例が多く、たとえばカーネ

ゲームロン大学やゼネラルモーターズの自動走行技術はルールベースの状況判断を用いている。このアプローチは、実装がシンプル、かつわかりやすく、法定の交通ルールとの重ね合わせという点でも合理的であるが、個性的な運転や快適な運転という高度な目的達成には不十分と言われている。

もう1つのアプローチは機械学習を用いて運転モデルを構築することである。これは、たとえば、CAN から取得できるアクセル、ブレーキ、操舵などの運転データと、環境センサから取得できる環境データを入力として、どのようなデータセットに対して、どのような状況判断が正解なのかを学習させて、数理モデルとして表現する手法となる。機械学習によって生成されるモデルは、一般的にブラックボックスとなり、その精度は学習のデータセットや学習器のパラメータに大きく依存する。近年では、さらに深層の学習を用いるアプローチとして Deep Learning が注目を集めている。文字認識や音声認識、画像認識では Deep Learning の効果が認知されており、状況判断に適用できるかどうか研究が進められている。

行動計画は、大別して経路生成と軌道生成がある。経路生成は、カーナビの発展と捉えることができ、目的地までの経路をどのように生成するかという問題であるが、自動走行ではカーナビのような粒度の荒いトポロジではなく、車線レベルでナビゲーションできるような精度が求められる。これは先に述べた環境地図とも関連してくる。一方、軌道生成については、生成された経路に対して、さらに細かい軌道の生成、あるいは生成された経路が利用できない(障害物などがある)場合に重要となる。こちらも先にあげた状況判断と深く関連しており、最終的には環境認識から車両操舵までを統一的に考えないと安全システムとしては成り立たないと考えられる。

## プラットフォーム

環境認識や状況判断、行動計画にかかるアルゴリズムにも大きな課題があるが、それを実装するプラットフォームにも課題は多い。環境認識といっても

さまざまなアルゴリズムが考えられ、環境センサ自体も多岐にわたる。また、状況判断や行動計画も同じコミュニティで開発されるとは限らないため、さまざまなデバイス、さまざまなモジュールを统一的に扱えるプラットフォームが不可欠となる。近年では、スタンフォード大学で開発され、その後 Willow Garage 社、Open-Source Robotics Foundation に引き継がれた Robot Operating System (ROS) が、その役割を担いつつある。また、自動走行自体は、きわめてリアルタイム性の高い処理が求められるため、単に高速処理をするにとどまらず、すべてのタスクが与えられた時間制約を満たすようにシステムの資源管理が行えるリアルタイムオペレーティングシステム (OS) も必要となる。

## まとめ

本稿では、サイバーフィジカルシステムのケーススタディとして自動走行システムを取り上げ、その動向と要素技術について述べてきた。自動走行では実世界の環境認識や、人並みの状況判断と行動計画が求められ、さらに ROS のようなコンポーネントシステムやリアルタイム OS が求められる処理が多く、サイバーフィジカルシステムの原理原則で実現されるアプリケーションの1つと言える。

(2014年5月31日受付)

加賀美聡 s.kagami@aist.go.jp

(独)産業技術総合研究所 デジタルヒューマン工学研究センター。1997年東京大学大学院の博士(工学)。同年より東京大学リサーチアソシエート。2001年産総研デジタルヒューマン研究ラボに入所。2009年より副研究センター長。ロボットの認識・計画・制御とそのリアルタイムシステムの研究に従事。