

金沢大学における自律型自動運転自動車の開発の実例

菅沼直樹^{†1}

本論文では金沢大学が開発している自動運転車両の概要について紹介する。

Development of the autonomous vehicle in Kanazawa University

NAOKI SUGANUMA^{†1}

In this paper, the autonomous vehicle developed by Kanazawa university is introduced.

1. 諸言

現在世界各国において自動車の自動運転に関する研究が行われている[1], [2]. 米国においては, Google 社がネバダ州において自動運転自動車のナンバープレートを取得し, 公道におけるフィールド試験を行うなど, 特に米欧においてこの分野の研究が活発に行われている状況にある.

日本においては, 2011 年 12 月に東京ビッグサイトで開催された東京モーターショーにおいてトヨタ自動車[3], や金沢大学[4], [5]の車両が公開されるなど, 近年になり大きな注目を集めるようになってきた.

このような背景から, 現在金沢大学では一般道でも走行可能な認識能力, 判断能力を持つ車両を開発すべく研究を進めている. 本稿では, 現在開発中の自動運転システムの概要について報告する.

2. 自動運転車両と自動運転システムの概要

本章では著者等が開発している自律型自動運転自動車のシステム概要について述べる.

2.1 自動運転車両の概要

本研究では, 図 1 に示すワゴンタイプの乗用車を用いた. 本車両には, 自律的な自動運転を可能とするためステアリング, スロットル, ブレーキ, シフトレバー, サイドブレーキ部にアクチュエータを設置している. また自然な運転挙動を実現するため, ウィンカー, ハザードおよびホーンスイッチもコンピュータ制御可能としている.

次に, 本車両に搭載したセンシングシステムの概要について述べる. 本車両には GNSS/INS 複合航法装置(Applanix 社 POS-LV220)が搭載されており, 100Hz で車両の位置姿勢, 運動状態が計測可能となっている. また, 車両内の OBD-II コネクタを介して, 自動車内の CAN バスと接続することでステアリング角, スロットル踏み量, ブレーキ圧, シフトポジション等を取得可能としている.

車両周辺環境の認識を行うセンサとしては, 4 台のレー

ザレンジファインダと, 1 台のミリ波レーダを設置している. このうち車両上部には, 3 台のレーザレンジファインダがアルミフレームを介して設置されており, このうち 2 台(SICK 社 LMS291-S05)は主に白線を検出する目的で車両後輪軸の左右延長方向にスキャン平面が来るように設置している^[6]. 残りの 1 台(Velodyne 社 HDL64E-S2)は, 主に近・中距離に存在する車両全周囲の障害物を検出する目的で設置されている. また, 車両のフロントグリル部にはレーザレンジファインダ(Ibeo 社 LUX)およびミリ波レーダ(富士通テン社)が設置されている. フロントグリル部のセンサは, 計測範囲が前方の限られた領域に絞られる一方, 遠距離の物体を検出可能な能力を有している.



Fig.1 Onboard perception sensors

^{†1} 金沢大学
Kanazawa University

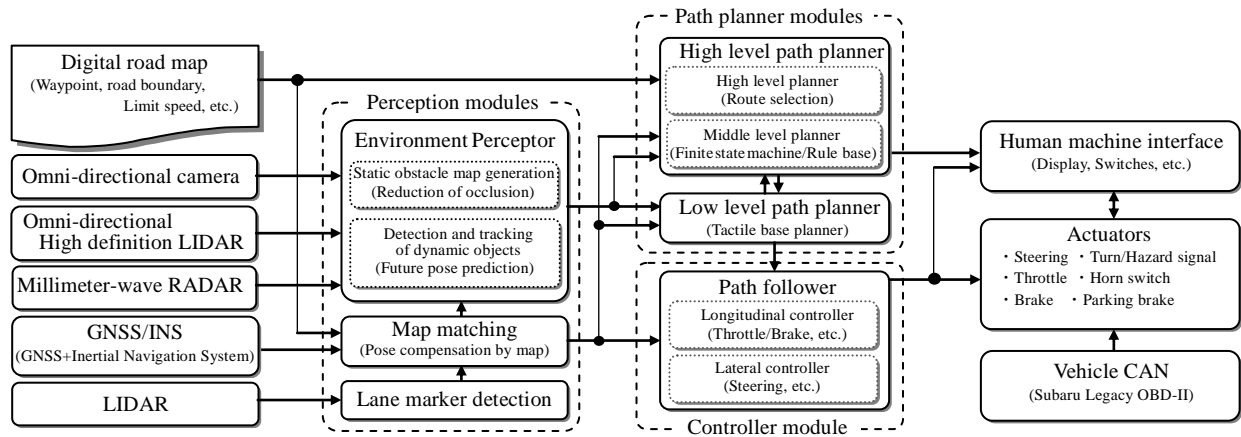


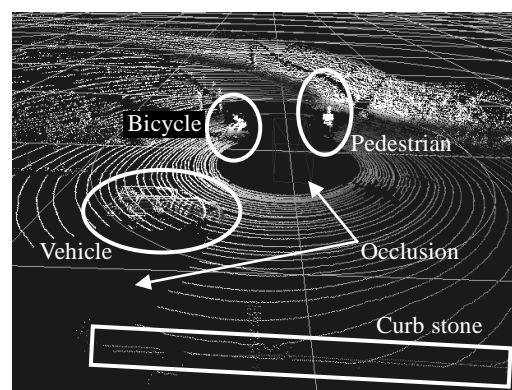
Fig.2 Overview of system architecture of the autonomous vehicle

また、車内ルームミラー部には信号機認識や歩行者認識を目的とした単眼カラーカメラ、モノクロステレオビジョンシステムが搭載されている。

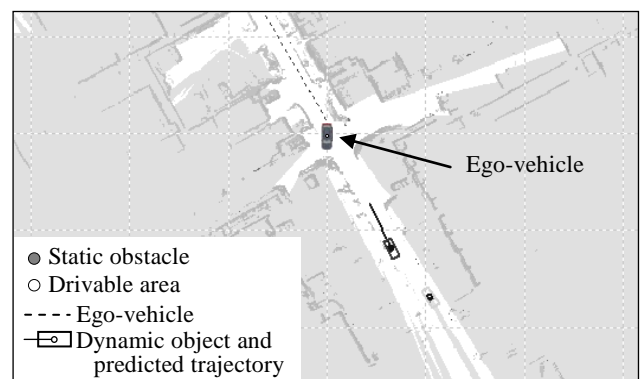
2.2 自動運転システムの概要

自動車のスロットル、ブレーキ、ステアリング、シフトレバー等全てのアクチュエータをコンピュータ制御し、障害物を回避しつつ目的地まで自律的に自動誘導するためには、複雑かつ膨大な機能を実装する必要がある。このため、このような複雑な機能を中央集中的に実装することは、安定性、複雑性の観点から望ましくない。そこで本研究では、図2に示すように必要な機能ごとにモジュール化し、汎用のTCP/UDP IP ネットワークプロトコルを用いてモジュール間で必要な情報をやり取りする分散型システムを構築した^[7]。

図2に示すように、著者等が開発している自動運転システムでは大きく分けて認識(Perception)、パスプランニング(Path Planning)、制御(Controller)の3つのモジュール群から成り立っている。このうち認識モジュール群では、白線認識、マップマッチング、環境認識の3つのモジュールから構成されている。白線認識モジュールは、車両側面に設置したLIDARから白線を検出する。LIDARからは距離と反射率が得られるので、時系列的な計測値からカルマンフィルタを用いて白線位置、白線の曲率が推定される^[6]。マップマッチングモジュールでは、GNSS/INSシステムから得られる自車の位置姿勢情報計測精度を改善する^[8]。これは、特に都市環境やトンネル内などGNSS信号が遮蔽されやすい環境においてGNSS/INSシステムが大きなドリフト誤差を生じるためである。残りの環境認識モジュールは自律型自動運転自動車に最も重要な機能となる安全運転に関する情報を生成する。環境認識モジュールはオンボードセンサから得られる情報を基に車両周辺の障害物を検出し、移動物体の運動を推定する。図3(a)は車両上部に設置されたLIDARから得られたポイントクラウドを示す。前章で述べたように、LIDARからは密な3次元距離分布を取得するこ



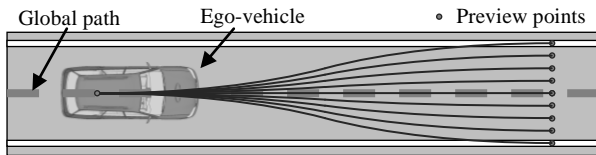
(a) Raw laser point cloud



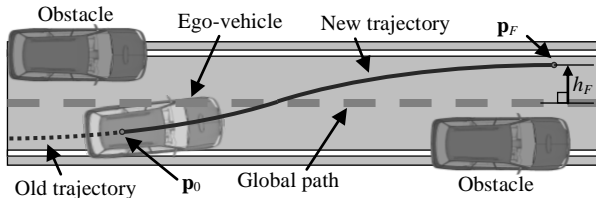
(b) Example environment perception

Fig.3 Overview of Environment Perceptor

とができる。一方、たとえ密な3次元距離分布が得られたとしても、オクルージョンが発生する。このため、本研究では事後確率として物体の存在性を評価できるOccupancy Grid Maps(OGM)を用いて周辺環境を理解することとした^[9]。また、OGMは本来静止物体を検出する手法であるため、移動物体から観測値が得られた場合OGM上に矛盾のある観測点としてとらえることができる。そこで本研究ではこのような矛盾のある観測点を検出し、*k*-best 仮説型 Multi Hypothesis Tracking (MHT) 法^[10]によるデータアソシエーション(時系列的な対応付け)に基づき、Interacting Multiple



(a) Overview of trajectory candidate generation



(b) Connection between new and old trajectory

Fig.4 Overview of local path planning

Model (IMM) 法^[11]を用いて時系列的に追跡することで移動物体の運動を推定することとしている^[12]。図 3(b)に本手法を用いて周辺環境を認識した例を示す。

パスプランニングモジュール群は認識モジュールから得られた情報を基に安全に走行可能な軌道を生成する^[4]。パスプランニングモジュール群はハイレベルパスプランナとローレベルパスプランナの2つのモジュールから構成される。ハイレベルパスプランナはカーナビのようにデジタル地図から最適な経路を探索する機能(High level planner)と、デジタル地図に基づき交通ルールに則った運転行動の候補を提案する機能(Middle level planner)から構成されている。このうちミドルレベルプランナーでは、前進、車線変更、停止といった運転行動が有限状態機械(Finite state machine)で管理されており、状況に応じた適切な運転行動をとるように設計されている。ローレベルパスプランナは上位プランナが提案した運転行動の決定を行うと同時に自動運転自動車最終的に追従する軌道を生成するモジュールである。図 4(a)に示すように、現在の我々の実装では複数の軌道候補が同時に生成され、安全性、コース中心からの横方向偏差等の複数の評価値等から最適な軌道が選択される。これらの軌道候補は、図 4(b)に示すように過去に生成された軌道に滑らかに接続するように生成される。また、自動運転車両が最終的に走行する軌道は、障害物に衝突しない軌道候補のうち、最もラテラルおよびロンジチュージナルジャークが最少となる軌道を選択することで決定される。

3. 自動運転システム評価とデモンストレーション

2章で述べた自動運転システムのうち、環境認識モジュールの試験については、公道における試験もしくは公道において取得したセンサデータを基にオフラインでの検証が可能であり、既に多くの試験を行っている。一方、パスプ

ランニングモジュールや制御モジュールに関しては、実際の自動運転を伴うため公道でのテストが難しい。これまで著者らは主に大学構内の駐車場において各種自動運転実験を行っていたが、通常の交通環境とは異なるため、自動運転システムの検証には限界が存在していた。そこで、著者らの大学所在地近辺の東部自動車興業株式会社(東部自動車学校)殿の全面的なご協力のもと模擬市街路テストコースにおける長期フィールド試験を行っている。

また、これらの開発成果をもとに、東京モーターショー2011, ITS 世界会議 2013, 東京モーターショー2013, ADVANTY シンポジウム 2013 におけるデモンストレーションの実施, メディア向けのデモンストレーション実施等を行った。これらのデモンストレーションでは、自動運転関係の学会関係者, 企業関係者をはじめとし, 国会議員の諸先生, メディア関係者, 一般の方々など多種多様な方々にご試乗いただいたが, 試乗の感想としては概ね好評で大きな否定的意見は見受けられなかった。

4. 結言

本章では著者等が開発している自律型自動運転自動車のシステム概要について報告した。今後の課題としては、より複雑な環境への対応、様々な環境に対する地図整備方法に関する検討、歩行者等の物体種別認識とパスプランナの連携等が考えられる。また究極的には、通常のドライバーが実施しているであろう「アイコンタクト」のような行動をどのように自動運転システムに反映するか? など様々な課題が存在している。これらに対してテストコース内における様々な試験を通して引き続き技術開発を続けていく予定である。

また、このような自動運転自動車の技術向上には、最終的に公道において試験を行うことが必要となる。これには単なる技術レベルの向上のみにとどまらず、社会的受容性、法律や保険の整備等が必要となる。米欧ではすでに公道試験が活発に行われている状態にあり、日本ではこの分野における研究開発の遅延が懸念されている。今後は、日本国内における自動運転車両の公道走行に対する社会的受容性の高まりを目指し、単なる技術開発にとどまらず様々な機会でのデモンストレーションの実施による情報発信もしていく予定である。

謝辞 本研究の実施に当たり、金沢東部自動車学校竹中校長先生をはじめとし、東部自動車学校の皆様にご多大なるご支援をいただきました。この場をお借りして感謝申し上げます。

参考文献

- 1) M.Montemerlo, et al.: "Junior: The Stanford Entry in the Urban Challenge", Journal of Field Robotics, Vol.25, No.9, pp.569-597(2008)
- 2) A.Broggi, C.Caraffi, P.P.Pota, P.Zani, "The Single Frame Stereo Vision System for Reliable Obstacle Detection used during the 2005 DARPA Grand Challenge on TerraMax", Proceedings of the 2006 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, (2006), pp.745-752.
- 3) 水越雅司, 松本健太郎, 細川光典, "「東京モーターショー2011」トヨタ自動車の自動運転デモ概要", 自動車技術会春季大会フォーラム2012, No.12FORUM-2, pp.55-57, 2012
- 4) 菅沼直樹, 魚住剛弘, "東京モーターショー2011における金沢大学自律自動運転車両の概要 -第1報 自動運転自動車の障害物回避走行のためのバスプランニング-", 自動車技術会学術講演会前刷集, no.16-12(2012), pp.5-10
- 5) 魚住剛弘, 菅沼直樹, 笈 貴登, "東京モーターショー2011における金沢大学自律自動運転車両の概要 -第2報 全方位レーザレンジファインダを用いた市街地走行のための障害物検出-", 自動車技術会学術講演会前刷集, no.16-12(2012), pp.11-16
- 6) 菅沼直樹, 魚住剛弘, "レーザレンジファインダを用いた白線検出および白線線形推定", 自動車技術会学術講演会前刷集, No.145-10, pp.5-10, 2010
- 7) 菅沼直樹, 自動運転自動車の開発～分散処理系の基礎構築と各種システム紹介～, ADVANTY2008 シンポジウム講演論文集, pp.79-84 (2008)
- 8) 菅沼直樹, 魚住剛弘, GNSS/INS と白線検出の融合による自動運転自動車の自己位置推定, 自動車技術会論文集, Vol.42 No.5, pp.1151-1156, (2011)
- 9) A.Elfes. "Occupancy grids: a probabilistic framework for robot perception and navigation", PhD thesis, Carnegie-Mellon University (1989).
- 10) Cox, L. J., and Hingorani, S. L., "An efficient implementation of Reid's multiple hypotheses tracking algorithm and its evaluation for the purposes of visual tracking". IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.18, no.2 pp.138-150, 1996
- 11) Y. Bar-Shalom, W. D. Blair, "Multitarget-Multisensor Tracking: Applications and Advances", Artech House Publishers
- 12) 小池 翔太, 菅沼直樹, マルチレイヤ型 LIDAR を用いた車両周辺環境認識, 日本機械学会機械力学・計測制御部門大会 (D&D2012)講演予稿集, (2012)