

## 自動運転車のための階層化フレームワーク

(システムコンセプト提案と、実装/検証のための統合プラットフォーム開発)

松原利之, 北浜謙一<sup>\*1</sup>, ガルパンフランク, グラヴォファビアン<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup>トヨタ自動車株式会社, <sup>\*2</sup>ナレッジネット株式会社

### 1. はじめに

自動運転の実現に向け、様々なアプローチが試みられてきたが、一般道での自動運転は、まだ実現されていない<sup>(1)</sup>。複雑な運転行動をシステム化するには、走行路、周辺車両歩行者といった個々の対象を認識するだけでは不十分であり、その場の道路構造や交通ルール等を総合的に判断して、自車の動きを決定する枠組みが必要である<sup>(2)</sup>。同時に、処理負荷の重いアルゴリズムを、限られた CPU リソースでリアルタイム処理することも求められる。

この問題に対し、われわれは、人間の運転行動を参考にした自動運転システムの構築を試みた。人間の運転行動は、地図から目的地までのルートを探した後、道路構造や標識等から交通ルールを認識した上で、自車の安全を確保し、かつ、周囲の歩行者や他車に危害を加えないように自車行動を決定していると考えられる。重要な点は、ルールに従うための判断、緊急回避のための判断等、各判断に応じて、要求処理時間、判断に必要な情報が異なること、各判断の連携関係に従いつつ、行動を決定していることである。つまり、運転行動は、複数の機能群が積み重なった階層構造から成り立っていると言える。階層構造を採れば、個々のロジックを統合できるだけでなく、限られた CPU リソースの中で、処理時間が長くなりがちな高度な判断を伴う行動と、高周期が求められる緊急回避といった反射的な行動を両立できると考えた。

本稿では、この仮説をもとに、小型電動車両に、階層化フレームワークを実装し、検証した結果を報告する。

**2 システム全体の概略** 階層構造を検証するために、障害物を回避して目的地に向かう基本的な機能を階層に分類し、図 1 のようにモジュール化した。階層構造では、各レイヤーは、タスクに応じた環境認識、判断を下位レイヤーに伝播させ、下位レイヤーでの環境認識、判断の参考情報となる。

Hierarchical Framework for Autonomous Driving System  
(System concept and software platform)

Toshiyuki MATSUBARA, Kenichi KITAHAMA <sup>\*1</sup>

Franck Galpin, Fabien Gravot <sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup>Toyota Motor Corporation, <sup>\*2</sup>Knowledge Net Corporation

また、下位に進むほど、緊急回避といった高周期が要求されるタスクとなる。

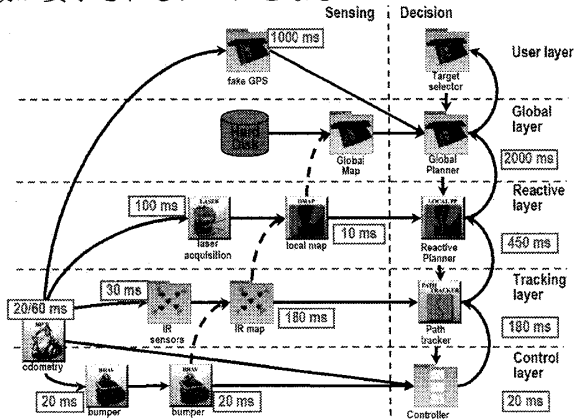


Fig. 1 Current platform inference of the paradigm  
各レイヤーは、それぞれ、認識処理部 (Sensing side) と判断処理部 (Decision side) を持つ。

**認識処理部** 認識処理部の各レイヤーはそれぞれ、周辺環境を表現するマップを出力する。必要な判断に応じて、使われるセンサや出力する情報は異なる。

**判断処理部** 判断処理部の各レイヤーは、認識処理部の処理結果をもとに、経路計画や経路追従制御など、実際の走行 (目標位置、速度、角度など) を規定する行動計画 (plan) を出力する。

以降の節で、各レイヤーの役割、機能を説明する。

**2.1 User layer, Global layer** User layer で、ユーザが行先を指示し、Global layer で、目的地までのルート探索をおこなう。

**2.2 Reactive layer** 上位レイヤーである Global layer から受け取った目的地までのルートをベースに、障害物に衝突せず、かつ滑らかな経路を下位の Tracking layer に出力する。

認識処理部は、障害物の存在確率を示すマップを高周期に出力するために、LRF (laser range finder) を用いて、障害物の種類や速度は認識せずに可能な限り高速・高精度にマップを生成することに特化させた。マップ生成は、GPU を使って高速化することで、57600 点の LRF 点群処理を、10ms におさえている。

また、判断処理部では、Global layer から取

得した目的地までのルート情報をベースに、車が許容する加減速度や操舵角などを考慮しながら障害物を回避する経路を生成する。

**2・2 Tracking layer** Tracking layer は, Reactive layer から受け取った経路に追従するよう、制御値を生成する。

認識処理部では, Reactive layer で見落としした障害物, および, 飛び出し物体に対応するため, 赤外線センサを使って, 周辺 50cm までの障害物を認識する。

また, 判断処理部では, 上位の Reactive layer から受け取った経路やその経路を追従するための目標制御値に対して, 時間遅れや目標経路に対する偏差を補正する(クローズドループ制御)。この際, 時間遅れや経路偏差が一定値以上になった場合, 上位の Reactive layer に, 再経路計画を要求する。同時に, 認識処理部で障害物を検出した場合は, 判断処理部で, 最大減速度で停止するといったフェールセーフ機能も持つ。

**2・3 Control layer** Tracking layer から受け取った制御値に従い, モータ, ステアリングを制御する。また, 認識処理部では車両の周囲に取り付けられた接触式センサを使い, 障害物に衝突した場合, 非常停止を掛けるフェールセーフ機能も持つ。

### 3. 実験

試験車両には, 後輪駆動, 前輪にステアリング機構を持つ電動車両(i-Unit, 図 2 参照)を用いた。環境認識用に, LRF(TopURG)を搭載し, 車速, 現在位置を推定するためにエンコーダ, IMU(慣性航法装置)を搭載している。

実験は, 直線部 20m の曲がり角で, 直線部から歩行者が飛び出してくる状況を想定した(自車目標速度 5km/h, 歩行者移動速度 4km/h)。試験車両には, 走行可能領域, および, スタート・ゴール位置の情報だけを与え, ルート上の障害物を LRF により認識, 回避しつつ, ゴールに向かわせた。

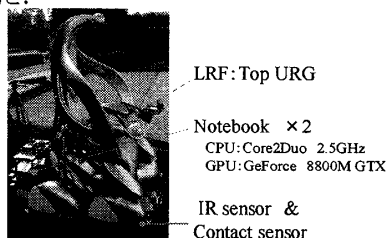


Fig. 2 Component layout

障害物の配置, および, 認識結果, 経路生成結果を図 3 に示す。今回, 歩行者, 障害物ともに, 静止構造物として認識されるため, 認識時

の歩行者位置と, 実際の歩行者位置にずれが生じるが, 随時, Reactive layer で回避ルートを設定することで, 滑らかに回避できることを確認した。また, 歩行者までの衝突時間が短いケースでは, Tracking, Control layer で高周期に直近の障害物を監視することで, 減速, 非常停止を掛け, 衝突を回避できた。

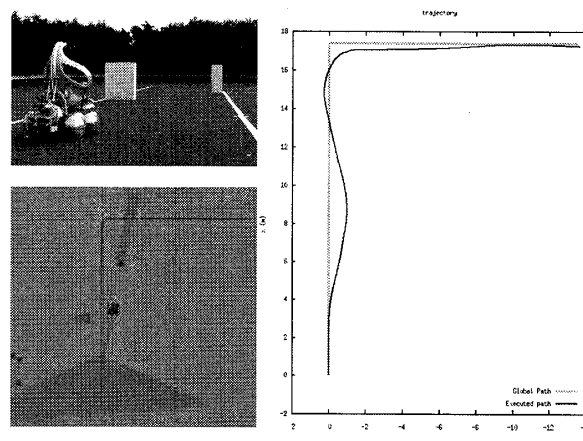


Fig.3 Experimental scene and results. Left images: i-Unit at the start position(top), recognition result, blue the global path to follow, red: obstacles, dark gray: unknown(bottom), Right image: output trajectory

開発にあたっては, 階層構造とすることで, 階層の役割が明確になり, 問題発生時の原因追求が容易になり, 開発効率の向上にも寄与した。また, 階層を増やすことで, これまでの機能を活かしたままの機能拡張ができる, 各階層の処理速度が異なってもよいための, 処理負荷, 優先度に応じた柔軟なシステム構築ができるといった長所も確認できた。

### 4. おわりに

複数の機能レイヤーを階層的に構成した階層化フレームワークを提案した。このフレームワークを電動車両に実装し, 処理時間が長くなりがちな滑らかな動きでの障害物回避, 短時間での処理が求められる緊急時の非常停止が両立できることを示した。また, 機能モジュールを組み合わせることでシステム全体を構築することによって, 機能追加・変更が容易に行えることを確認した。

#### 参考文献

- (1) D. Committee, "Welcome to the urban challenge participants conference," 2006.
- (2) K. Kitahama, T. Matsubara, T. Tsukada, Y. Hirano, F. Galpin, Scene Representation for Autonomous Entity, Journal of the Robotics Society of Japan, Vol.26, No.04(2008), pp.34-37