

屋外自律移動ロボット Progress-i MK-II の開発

帝京大学理工学部 山根研究室

横松 秀康[†], 井元 智晶, 山根 健[‡]

連絡先: [†]146224m1@stu.teikyo-u.ac.jp, [‡]yamane@ics.teikyo-u.ac.jp

Report for Tsukuba challenge 2016 (Teikyo University)

Hideyasu YOKOMATSU, Chiaki IMOTO and Ken YAMANE

1. はじめに

本稿では、つくばチャレンジ 2016 における帝京大学・山根研究室の取り組みについて報告する。我々は、つくばチャレンジへの参加および屋外自律移動ロボット製作の 2 年目であり、街中実験の経験だけでなくこの分野の知識・技術についても十分ではない点がある。しかし、新しく参加を検討しているチームなどに向けて参考になれば幸いである。

活動では、学部 3 年の横松をチームリーダーとして、卒研究生の井元そして指導教員という体制で取り組んだ。また、2016 年 3 月から 12 月までの計画を立て、主に週 1 回の全体ミーティングおよび学内コースにおける検証実験を行った。

つくばチャレンジ 2016 では、環境を認識するモジュール（オブジェクト認識モジュール、路面状況認識モジュールなど）を構築した。また、本走行では確認走行区間の走破を目標にした。

2. Progress-i MK-II の開発

我々は 2015 年に引き続いて、できる限りオープンソースのものを利用することを基本方針としてロボットを製作・改良してきた。なお、基本構成は文献[1,2]を参考にされたい。ここでは、2015 年との差異を中心に述べる。

2.1 ハードウェアの構成

ロボットの外観を図 1 に、内部構成を図 2 に示す。ハードウェアは T-frog プロジェクト[3]が開発した i-Card mini をベースに利用している。独立 2 輪駆動方式を採用し、フレームを拡張して最低限の防塵・防滴対策を施している。また、外界情報を取得するため、測域センサ、カメラなどを取り付けている。さらに、内部状態を取得するため、ホイール



図 1 : Progress-i MK-II

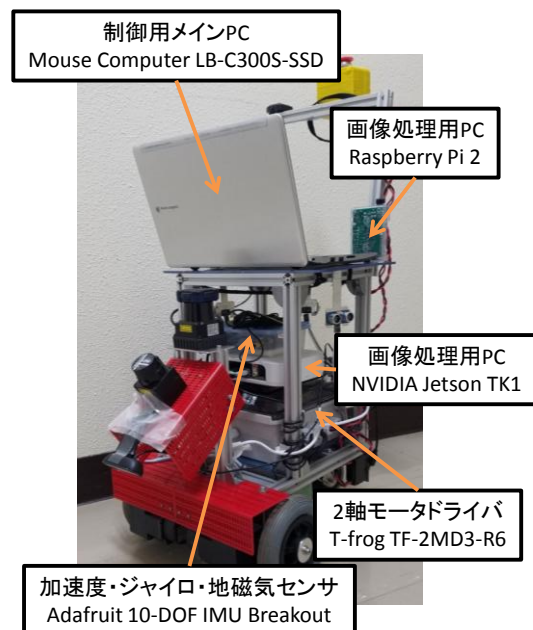


図 2 : 内部構成

オドメトリ, IMU センサなどを取り付けている。

本ロボットは、総重量 17kg, タイヤの直径が

15cm と比較的軽量かつ小型であり、バッテリーなどが地面に近い高さにある。そのため、走行時に地面から大きく影響を受ける。そこで、走行可能な路面を適切に判断しながら自律移動する必要がある。

2.2 ソフトウェアの構成

ロボットシステムの構成を図 3 に示す。なお、幾つかの機能は筑波大学・知能ロボット研究室[4]が開発した *yp-spur* および *ssm*, また *Mobile Robot Programming Toolkit*[5]を利用して実現されている。制御用メイン PC において、自己位置推定、環境認識、走行制御などの計算が行われる。また、画像処理用コンピュータやオブジェクト認識用コンピュータ (Raspberry Pi 2) は ROS を利用して情報共有する。これらのログは *rosvbag* パッケージを利用して *bag* ファイルとして保存される。その他、2015 年からの改良として以下の作業を行った。

- ・ 自律走行用プログラム群の起動の自動化
- ・ タイヤの滑り検知と自己位置再計算の実現
- ・ 複数の環境地図の切り替え
- ・ 障害物回避機能と段差検知機能の統合
- ・ オブジェクト認識機能の実現 (2.3 章)
- ・ 路面状況認識機能の実現 (2.4 章)

2.3 オブジェクト認識

オブジェクト認識のための視覚モジュールを構築した。本モジュールは、画像から特定のオブジェクトを認識して目的のものに近寄り、障害物であれば回避するためのものである。本モジュールは、シングルボードコンピュータである Raspberry Pi 2 と上部に設置した Web カメラを用いて構築した。

自作プログラムでは、オープンソースの画像ライブラリである *OpenCV 3*[6]を用いており、オブジェクトの認識のために *Haar-Like* 特徴を抽出してカスケード型分類器を用いて認識する。

2.4 路面状況認識

センサ情報を統合して、路面状況を認識する方法について検討する。図 4 に示すように、入力変数としてロボットの並進速度、鉛直方向の加速度など 10 変数を用いる。なお、様々な路面が存在するので、どのような特徴が使えるかは不明である。そこ

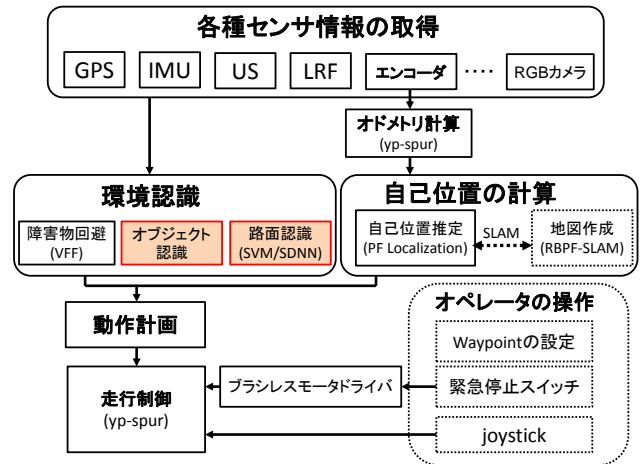


図 3: システムの構成

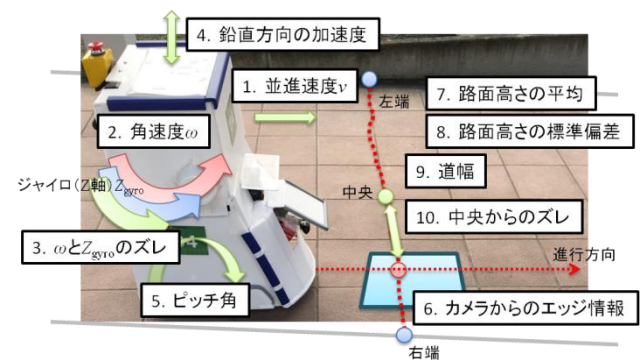


図 4: 路面状況認識に用いる 10 変数

で、冗長な情報であっても路面の認識に役立つような情報を変数に加えることにする。具体的には、ノイズ除去など適切に前処理して、センサ値の範囲を考慮して 0~1 の値に正規化して利用する。

先行研究では、測域センサの反射強度を利用する方法が提案されている。しかし、我々が使用する屋内用測域センサでは反射強度が利用できなかったため、カメラなどの複数の情報を用いることにした。

また、識別器としてサポートベクタマシン (SVM) を用いた例がある。しかし、非線形性が高いなど複雑な問題ではパラメータの調整に経験が必要であるし、冗長な情報が含まれていると効率よく学習できない場合がある。そこで、新型のニューラルネットである選択的不感化ニューラルネット (SDNN) [7]を識別器として用いる方法について検討する。

SDNN は図 5 に示すように 3 層構造をしている。アナログ値である入力変数が与えられると、入力層ではその情報を高次元 2 値パターンとして分散的に情報表現する。なお、近い入力値であれば類似し

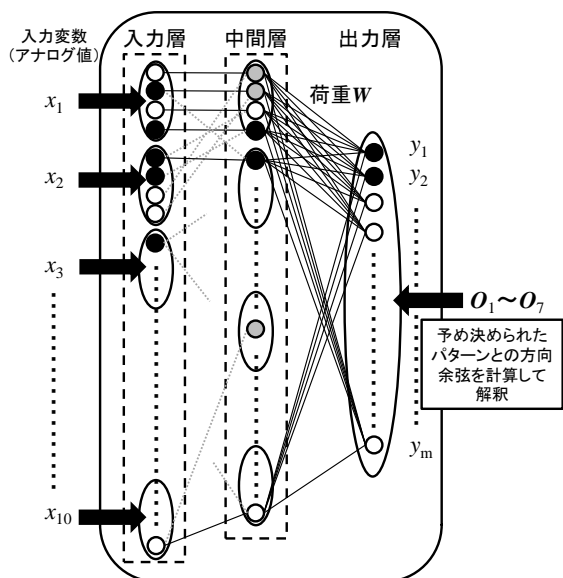


図 5 : SDNN を用いた路面パターン識別器
たパターンとして表現される。

次に中間層では、選択的不感化法[7]を用いて、複数の情報を分散表現のまま統合する。選択的不感化とはある素子群のパターンを別の素子群のパターンで修飾する操作である。そして、中間層から出力層では、いわゆる単層パーセプトロンと同様の計算を行う。ここの間の荷重 W を調整することが、このネットワークにおける学習である。

以下の実験では、入力層の素子 600 素子 (60×10)、中間層の素子 5400 個 ($60 \times 10 \times 9$)、出力層の素子 30 個で構成し、学習係数 $c = 0.01$ として 10 回の誤り訂正学習を行う。

3. 自律走行実験

3.1 帝京大学トライアルコースにおける実験

本走行に向けた準備として、帝京大学宇都宮キャンパス内に設定したトライアルコースにおいて繰り返し走行実験を行った。なお、本コースは緩やかな坂道、やや狭い通路、歩行者の往来などを含む。また、距離は 2.2km あり、最大速度 0.6m/s で走行すると走破には 60 分程度の時間を要する。

まず、学内の様々な場所において、ロボットをマニュアル走行させてデータを取得する。次に、環境地図を作成するとともに、そのデータと 7 種類 (屋内廊下、渡り廊下、タイル、アスファルト、砂利、芝生、段差) の路面パターンを対応させて識別器を訓練する。

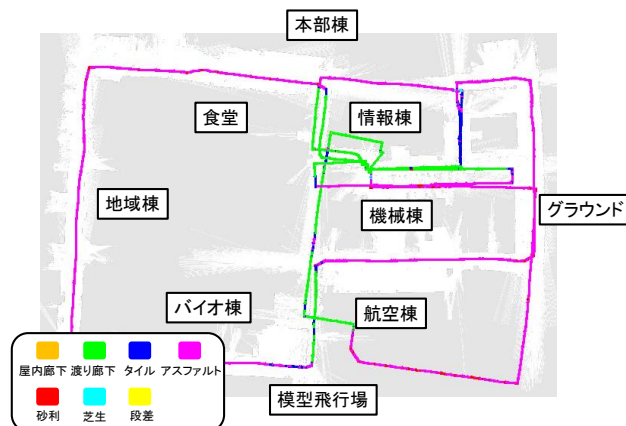


図 6 : 学内における自律走行と認識結果

その上で、学習済みの路面を含む学内コースにおいて自律走行させた。その結果を図 6 に示す。

学内であれば長距離でも確実に走行できることを確認した。また、学習済みの路面を含めて、ほぼ全ての路面を正しく識別できることを確かめた。例えば、アスファルト舗装にも混合物の種類などによって様々あるが、正しく識別できている。

さらに未学習サンプルに対する識別精度について調べた結果、SDNN が 92.4%、SVM が 83.7% であった。また、パラメータ調整に関しては SVM よりも容易であること、識別時間や使用メモリ容量などからリアルタイム処理が可能であることが分かった。

3.2 つくばチャレンジ 2016 における実験

我々は、本走行を含む 8 日間の実験の全てに参加した。その概要を図 7 に示す。走行実験を通して、Progress-i MK-II は確認走行区間を走破できる能力をもつが、確実性が低いことが分かった。主な失敗とその原因は以下の通りである。

- ・ 20m 未満 → 自己位置推定精度の低下
- ・ 150~200m → 坂+泥+団栗によるスリップ
- ・ 250m → 凸凹道によるスタック

本走行では、スタートして 17m 地点で縁石に乗り上げて、さらに芝生エリアに進入してチャレンジ失敗となった。これは、スタート付近での自己位置推定の精度が低下したことが原因であった。

屋外でのオブジェクト認識(顔検知)については、時間や天気などによる光条件の変化、移動によるブレ、対象の 3 次元的な見えの変化などによって、

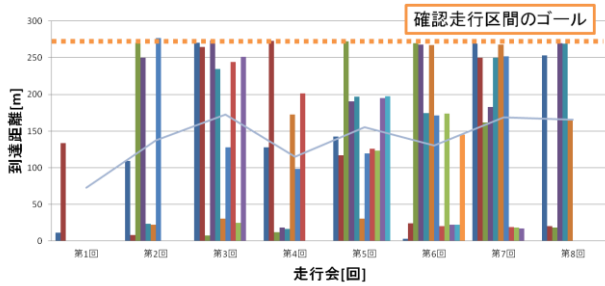


図 7：実験走行会のまとめ

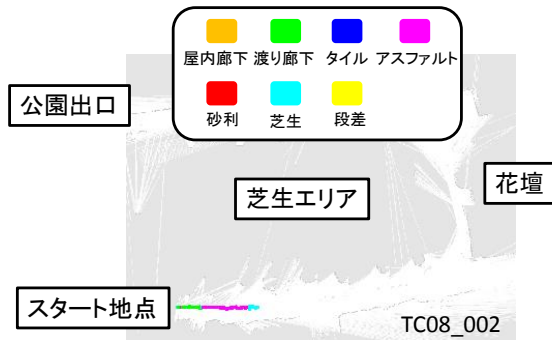


図 8：本走行における認識結果

実際には「顔あり」であるが「顔なし」と判別する誤認識 (False Negative) が 64.7%と高かった。これに関しては方法の変更などを含めて根本的な改善が必要であることが分かった。

まったく学習していない路面を走行したつくばチャレンジコースにおける路面認識結果を図 8, 9 に示す。図 8 に示すように、本走行の失敗地点では芝生に進入したと正しく識別されている。また、図 9 に示すように、公園内の多くの場所はアスファルトとして識別されており、公園の出口である狭い凸凹道は砂利として識別された (走行動画：<https://www.youtube.com/watch?v=TszAXcDWfYk>)。学習した学内の路面から考えると妥当な認識結果が得られている。このモジュールの出力結果を走行制御に利用することが今後の課題である。

4. まとめ

つくばチャレンジ参加 2 年目の我々はロボットを改良して検証を重ねてきた。年々少しずつ前進しているが、2016 年本走行は残念な結果に終わった。また、我々に残されている課題は多い。しかし、今後も安全かつ確実に自律走行できる場所を広げべく Progress-i MK-II の開発を継続する。今後の

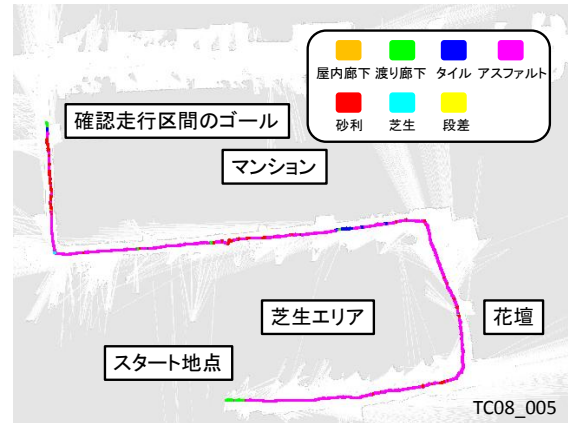


図 9：確認走行区間の認識結果

課題としては以下のようなものが挙げられる。

- ・ 走破性の向上
- ・ システム統合方法の検討
- ・ 画像情報の有効活用

謝辞

我々の取り組みを支援して頂いた、帝京大学理工学部長・波江野勉先生、情報電子工学科長・荒井正之先生に感謝申し上げます。

参考文献

- [1]遠山貴則, 横松秀康, 野村佳太, 山根健, “屋外自律移動ロボット Progress-i の開発,” つくばチャレンジ 2015 参加レポート集, pp.99–106, 2016 年 1 月.
- [2]遠山貴則, 横松秀康, 野村佳太, 青木克之, 熊倉瑞樹, “太陽光発電施設を自動点検する移動ロボットの開発,” 第 12 回大学コンソーシアムとちぎ学生&企業研究発表会予稿集, pp.156–157, 2015 年 11 月.
- [3]T-frog, <http://t-frog.com>, 2016 年 10 月.
- [4]知能ロボット研究室 Robot Platform Project, <http://www.roboken.iit.tsukuba.ac.jp/platform/wiki/>, 2016 年 12 月.
- [5]MRPT, <http://www.mrpt.org>, 2016 年 12 月.
- [6]OpenCV, <https://github.com/opencv/opencv/releases/tag/3.1.0>, 2016 年 12 月.
- [7]森田昌彦, 村田和彦, 諸上茂光, 末光厚夫, “選択的の不感化法を適用した層状ニューラルネットの情報統合能力,” 電子情報通信学会論文誌(D-II), vol.J87-D-II, no.12, pp.2242–2252, 2004.