

つくばチャレンジ 2022 における 千葉工業大学未来ロボティクス学科 ORNE チームの取り組み

藤原 柾, 清岡 優祐, 大塚 竜征, 石 涛, 春山 健太, 井口 颯人, 高橋 祐樹, 白須 和暉, 野村 駿斗, 桜井 真希
上田 隆一, 林原 靖男 (千葉工大)

The activities of the Advanced Robotics Department ORNE team of Chiba Institute of Technology in the Tsukuba Challenge 2022

Masaki FUJIWARA, Yusuke KIYOOKA, Ryusei OTSUKA, Tao SHI, Kenta HARUYAMA, Hayato IGUCHI,
Yuki TAKAHASHI, Kazuki SHIRASU, Hayato NOMURA, Maki SAKURAI,
Ryuichi UEDA and Yasuo HAYASHIBARA (CIT)

千葉工業大学未来ロボティクス学科

Abstract— In this paper, we present the activities of the Advanced Robotics Department ORNE team of Chiba Institute of Technology in the Tsukuba Challenge 2022. We developed autonomous outdoor mobile robots, and we tackled several challenges. For example, We developed robots using machine learning and robots that can run in the rain.

1. はじめに

本チームは、屋外で自律移動するロボットの研究開発を行つてあり、その一環としてつくばチャレンジに参加している。本チームでは公園における地図生成や自己位置推定を中心に研究開発を行ってきた。また、防水機能や高い拡張性を有したオープンプラットフォームロボットの開発も行っている。

本稿では、つくばチャレンジ 2022 向けて取り組んだ内容に関して紹介する。

2. ロボットの概要

本チームには、開発を続いている三台のロボット ORNE- , ORNE-box [1], ORNE-box2 がある。各ロボットごとの開発方針は以下の通りである。

- ORNE-
LiDAR とカメラを用いた自律走行
- ORNE-box, ORNE-box2
ロボットプラットフォーム ORNE-box の検証と改良

2.1 ハードウェア

次に、ORNE-Series の外観を Fig. 1、ハードウェア構成を Table 1 に示す。これらのロボットは i-Cart mini, i-Cart middle をベースにしている。

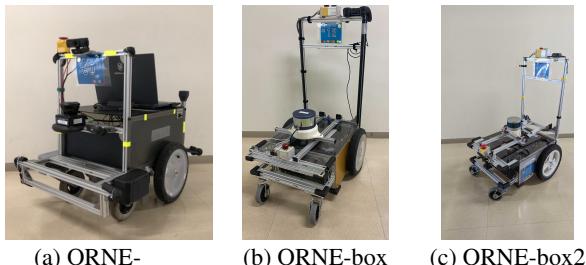


Fig. 1: ORNE-Series

Table 1: Specifications of the robots

	ORNE-	ORNE-box	ORNE-box2
Depth[mm]	690	600	
Wide[mm]	560	506.5	
Height[mm]	770	957	
Wheel diameter[mm]		304	
Battery	LONG WP12-12	LONG WP14-12SE	
Motor		Oriental motor TF-M30-24-3500-G15L/R	
Driving system		Power wheeled steering	
2D-LiDAR	URM-40LC-EW (HOKUYO)	None	UTM-30LX-EW (HOKUYO)
3D-LiDAR	None	R-Fans-16 (SureStar)	VLP-16 (Velodyne)
IMU		ADIS16465 (Analog devices)	ADIS16470 Analog devices
Camera	CMS-V43BK (Sanwa supply)		None

2.2 ソフトウェア

従来より ROS(Robot Operating System) の navigation stack [2] をもとに開発されたシステムである orne_navigation と orne_box [3] によりロボットを自律走行させている。Fig. 2 に開発しているロボットのソフトウェアを含むシステム構成を示す。また、両パッケージ共に GitHub の open-rdc [4] でプログラムを公開している。

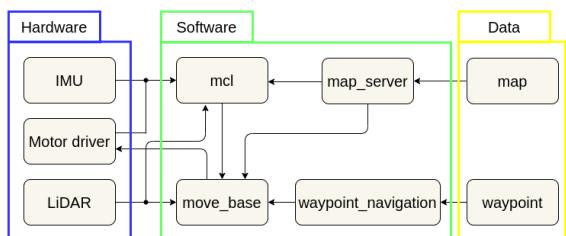


Fig. 2: Structure of the system

3. 各ロボットごとの研究開発

本チームは、つくばチャレンジにおいて各ロボットごとに研究開発の目的が異なる。本章では、各ロボットごとの取り組みを述べる。

3.1 ORNE-

LiDAR を用いた自律走行時、自己位置推定の結果が不確かになる場合がある。この状態での走行はリタイアの要因の一つになる。そこで、ORNE- は、2D-LiDAR を用いた自律走行と機械学習を用いた自律走行の切り替えにより、つくばチャレンジをコースアウトせずに完走することを目的とした。

2021 年度は、orne_navigation による自律走行時、自己位置推定の尤度が低下した場合に、カメラ画像を入力とした end-to-end 学習器^{*1} [5] の出力を用いた自律走行による切り替えを行った。しかし、意図しない箇所でカメラを用いた走行へ切り替えが起こってしまった。そのため、本年度はこの問題を解決するために、取り組んだ内容に関して以下で紹介する。

3.1.1 周辺尤度を用いた 2 つの走行方法の切り替え

ORNE- は、2 つの走行方法を持つ。切り替え方法を Fig. 3 に示す。この 2 つの走行方法は、自己位置推定パッケージである emcl2 [6] の周辺尤度 alpha^{*2}を指標として切り替える。ただし、本走行では、基本的に のみで自律走行し、公園内の折り返し地点付近でのみ、 と を切り替えて走行する。

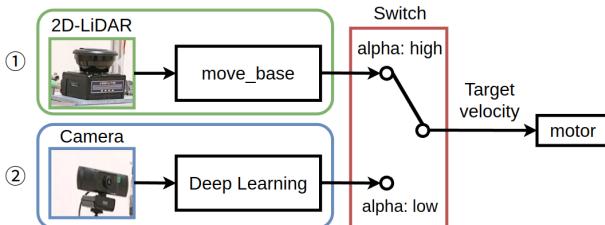


Fig. 3: A system of switching using the marginal likelihood alpha as an indicator

alpha > 0 の場合

2D-LiDAR を用いた自律走行を行う。システム構成を以下に示す。

- 外界センサ: 2D-LiDAR
- 自己位置推定パッケージ: emcl2
- global planner: A*
- local planner: dwa_local_planner
- map

resolution: 0.15[m/pixel]

確認走行エリア、駅周辺、公園エリアのそれぞれで作成した地図を合成

alpha = 0 が 3 秒以上続いた場合

カメラ画像からセマンティックセグメンテーション [7] により走行可能領域を抽出、行動生成を行う。学習に使用するデータセットは、Cityscapes Dataset [8](5000 枚)、千葉工業大学 津田沼キャンパス(66 枚)、モデルは DeepLabV3Plus-MobileNet で学習を行う。

1) 走行可能領域の検出

Fig. 4 の左の元画像から前述のモデルを通して、Fig. 4 の中央の画像を獲得する。次に、走行可能領域(道)を抽出するために画像を 2 値化する。その後、モルフォロジー変換 [9] でノイズを除去する。結果は Fig. 4 の右画像に示す。

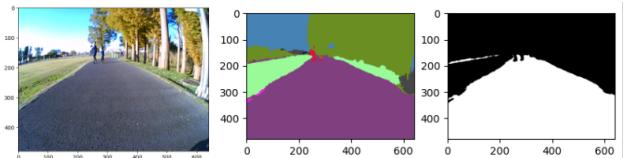


Fig. 4: The left image is the original image, the center image is the image processed by semantic segmentation, and the right image is the image from which the movable area is extracted

2) 行動生成

1) の処理を施した画像を用いて、Fig. 5 の 6 つの対応する領域に応じた行動を生成する。この行動生成に関しては先行研究 [10] を参考に実装した。例えば、Fig. 5 の Turn left の範囲に走行可能領域以外が多く存在する場合、左に曲がる方向の角速度を出力する。

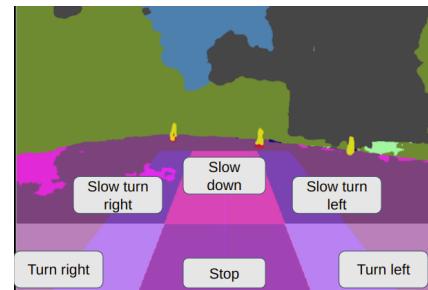


Fig. 5: Types of behavior using semantic segmentation

3.1.2 切り替えの確認

次に、2 つの走行方法を切り替える手法の有効性を検証するため、千葉工業大学 津田沼キャンパスにおいて Fig. 6 に示す経路で確認を行う。使用した PC のスペックを Table 2 に示す。



Fig. 6: Navigation route in Tsudanuma Campus of Chiba Institute of Technology

Created by processing electronic topographic map 3125 (GSI)

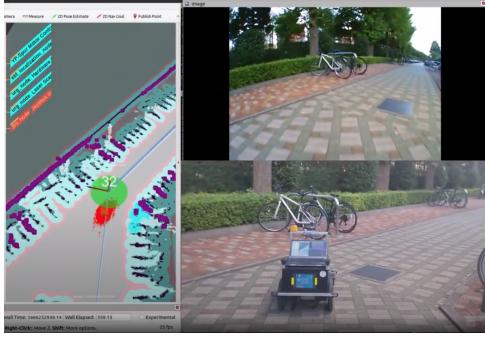
^{*1} 入力から出力までを一括して学習するようなニューラルネットワーク

^{*2} センサ更新後のパーティクルの周辺尤度 (0 ~ 1)

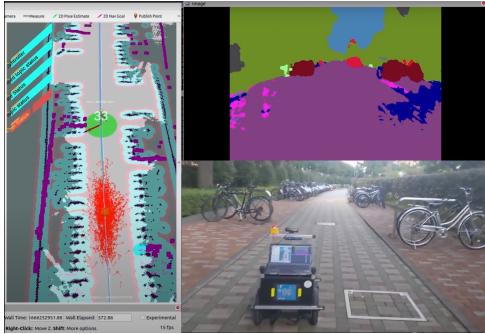
Table 2: Specification of PC

CPU	Core i7-9750H(Intel)
RAM	16GB
GPU	RTX 2070 Max-Q

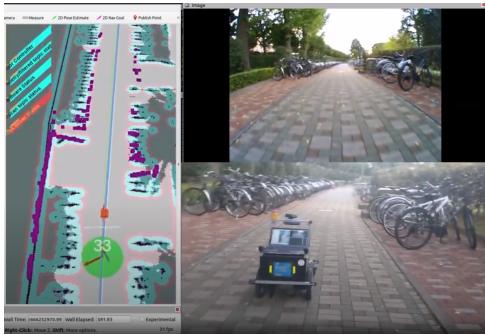
切り替えの確認の様子を Fig. 7 に示す。(a) パーティクル拡散前は 2D-LiDAR を用いて走行し、(b) パーティクル拡散後、カメラ画像を入力とした深層学習の出力で走行している。その後、(c) パーティクルの収束後では、再び 2D-LiDAR を用いた走行に切り替わっている。これからから、2 つの走行方法の切り替えにより、Fig. 6 で示した経路をコースアウトすることなく走行することができた。



(a) Before particle diffusion



(b) Diffusion of particles



(c) After particle convergence

Fig. 7: Experiments at the Tsudanuma campus

3.1.3 本走行の結果

2022 年度の本走行の記録は 847.9[m] で、駅構内の手前でリタイアした。これは歩行者などによりランドマークが隠されたことで、自己位置推定の結果が不確かになった。そのため、Fig. 8 の真の姿勢である青点とパーティクルが離れていることから、誘拐状態^{*3} [11] になったことが要因の一つだと考えられる。折り返し地点まで辿り着けなかっただため、カメラ画像を用いた自律走行への切り替えによるコースアウトを防ぐ挙動が確認できなかった。しかし、実験走行において Fig. 9 のようにカメラ画像のみを用いた自律走行で Fig. 10 に示す経路 (220m) を走行することを確認した。なお、学習を行う際に作成したプログラムとデータセットは GitHub の deeplabv3_plus_pytorch_ros [12] で公開している。



Fig. 8: A view showing the state of kidnapping

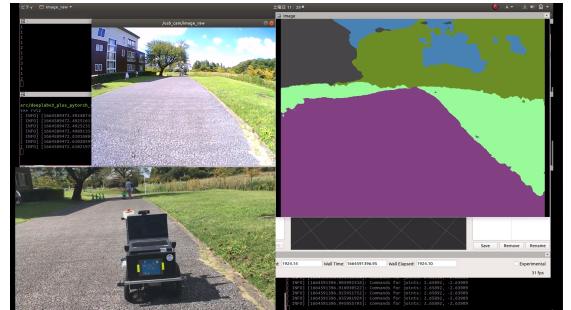


Fig. 9: Autonomous navigation using only camera images



Fig. 10: Navigation route using camera images in park area
Created by processing electronic topographic map 1875 (GSI)

^{*3} 真の姿勢の周囲にパーティクルが存在しない状態

3.2 ORNE-box, ORNE-box2

屋外で自律移動させるためには防水が必要となるが、防水性を担保しながらロボットの機構や電気回路の追加・変更を行うことは多くの時間を要する。これにより、本来研究として実施する新しいアルゴリズムの開発や検証に十分な時間を割り当てられず問題となっていた。このような問題に対して、屋外自律移動ロボットプラットフォーム ORNE-box の開発 [1] を行ってきた。このロボットは屋外での自律走行を目的としており、屋外自律走行の研究開発に必要な機能をパッケージ化し提供することを目標に開発を行っている。現在はウェブページ上 [3] にて設計データなどを順次公開している。

ORNE-box2においては、ORNE-boxにおける問題を洗い出し改善を図るという方針のもと、今年度から開発を行っている。センサ構成などに差異はあるが、基本的なシステム構成は同じである。

3.2.1 3D-LiDAR を用いた自律走行について

つくばチャレンジにおいて ORNE-box と ORNE-box2 は、3D-LiDAR を用いた自己位置推定を行っている。自己位置推定には ROS のパッケージである mcl-3dl [13] を用いた。mcl-3dl は 3D-LiDAR 及び IMU、オドメトリを入力として MCLを行っている。

3.2.2 本走行の結果

ORNE-box の今年度の本走行の記録は 1000[m] だった。リタイアした地点は公園前横断歩道であり、縁石の縁端を検出できず乗り上げてスタックした。本年度の ORNE-box は Table 1 からもわかるように障害物検出は 3D-LiDAR のみで行っていた。3D-LiDAR は機体上部に位置しており、スタックの原因となった縁石の縁端のような低層障害物の検出は困難であった。今後は低層障害物も検出できるよう、障害物検出の改善を図る。

ORNE-box2 の本走行の記録は、一時停止位置で停止できなかつたため 320[m] となった。一時停止できなかつた要因としては自己位置推定の破綻が挙げられる。ORNE-box2 では本走行前日にロボットの制御に用いていたコンピュータである Jetson AGX Xavier が起動しなくなるトラブルが起き、急遽 GIGABYTE GB-BXi7H-4500 に交換を行っていた。これにより計算処理が間に合わなかつたおそれがある。なお、ORNE-box2 は 11 月 6 日に実施された記録走行で完走している。

4. おわりに

本稿では、千葉工業大学未来ロボティクス学科 ORNE チームで開発しているロボットの概要とシステムの構成に関して

述べた。また、つくばチャレンジ 2022 に向けた取り組みについて紹介した。

5. 謝辞

つくばチャレンジ実行委員会の皆様、つくば市の皆様に感謝申し上げます。また、上田研究室の皆様には、つくばチャレンジ 2022 の参加にあたりご意見、ご協力頂き感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 井口 順人, 石江 義規, 橋高 聖人, 上田 隆一, 林原 靖男: “屋外自律移動ロボットプラットフォーム ORNE-box の開発”, 3H2-03, SI2021(2021)
- [2] ros-planning, navigation リポジトリ
<https://github.com/ros-planning/navigation>
(最終閲覧日: 2022 年 12 月 14 日)
- [3] orne-box Github リポジトリ
<https://github.com/open-rdc/orne-box>
(最終閲覧日: 2022 年 12 月 14 日)
- [4] Robot Design and Control Lab, openrdc orne_navigation リポジトリ
https://github.com/open-rdc/orne_navigation
(最終閲覧日: 2022 年 12 月 14 日)
- [5] 岡田 真也, 清岡 優祐, 春山 健太, 上田 隆一, 林原 靖男: “視覚と行動の end-to-end 学習により経路追従行動をオンラインで模倣する手法の提案-“経路追従行動の修正のためにデータセットを動的に追加する手法の検討”, 計測自動制御学会 SI 部門講演会 SICE-SI2021 予稿集, pp.1066-1070, 2021.
- [6] ryuichiueda, emcl2 リポジトリ
<https://github.com/ryuichiueda/emcl2>
(最終閲覧日: 2022 年 12 月 14 日)
- [7] Liang-Chieh Chen, George Papandreou, Senior Member, IEEE, Iasonas Kokkinos, Member, IEEE, Kevin Murphy, and Alan L. Yuille, Fellow, IEEE: “DeepLab: Semantic Image Segmentation with Deep Convolutional Nets, Atrous Convolution, and Fully Connected CRFs”, *IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE*, VOL.40, NO.4, APRIL 2018.
- [8] Marius Cordts, Mohamed Omran, Sebastian Ramos, Timo Scharwachter, Markus Enzweiler, Rodrigo Benenson, Uwe Franke, Stefan Roth, Bernt Schiele,: “The cityscapes dataset” in CVPR Workshop on The Future of Datasets in Vision, 2015.
- [9] OpenCV 公式ドキュメント モルフォロジー変換
https://docs.opencv.org/4.x/d9/d61/tutorial_py_morphological_ops.html (最終閲覧日: 2022 年 12 月 14 日)
- [10] 安達 美穂, 小島 一也, 石田 大貴, 松谷 幸知, 渡辺 拓斗, 小林 真吾, 横田 来夢, 坂田 咲悟, 小松崎 駿斗, 捨田利 沙羅, 宮野 龍一, 宮本 龍介: “単眼カメラを用いた意味論的領域分割に基づくビジュアルナビゲーション”, つくばチャレンジ 2019 参加レポート集, pp105-110, 2019.
- [11] 上田 隆一, 新井 民夫, 浅沼 和範, 梅田 和昇, 大隅 久: “パーティクルフィルタを利用した自己位置推定に生じる致命的な推定誤りからの回復法”, 日本ロボット学会誌 23 卷 4 号, 2005.
- [12] deeplabv3_plus_pytorch_ros リポジトリ
https://github.com/Tsumoridesu/deeplabv3_plus_pytorch_ros/tree/add_cmd_vel
(最終閲覧日: 2022 年 12 月 14 日)
- [13] at-wat, mcl-3dl
https://github.com/at-wat/mcl_3dl
(最終閲覧日: 2022 年 12 月 14 日)