

屋外の複数のゴミ位置情報をユーザに提示可能な自律移動ロボット An autonomous outdoor mobile robot that can present multiple garbage information to the user

堀本 大翔[†] 宮脇 健三郎[†] 西口 敏司[†]
Hiroto Horimoto Kenzaburo Miyawaki Satoshi Nishiguchi

1. はじめに

ペットボトル等のプラスチック製品がポイ捨てなど不適切に処分されると、雨や風によって河川に入り、海に流れることによって海の環境を悪化させたり、海の生物に悪影響を与えたりしていることが問題視されている[1]。このようなゴミ問題に対し筆者らは人間の指示のもとに検出した物体をゴミかそうでないかを選別し、ゴミであった場合はゴミを回収・破棄するロボットのシステムを開発した[2]。しかし、同時に検出可能なゴミは1つでありリアルタイムにユーザとロボットが通信している必要があった。そこで本研究では、屋外の複数のゴミ位置情報をユーザに提示可能な自律移動ロボットを提案する。このロボットは屋外にあるペットボトル等のゴミ位置情報及び画像をWEBブラウザを介してユーザに提示する。それによりユーザはロボットが動作を終了した後に取得されたゴミ情報を確認することができる。将来的にはロボットにアームを搭載すればゴミを人間の指示のもとに的確に回収できるロボットを実現できる。

2. 関連研究

屋外環境で自律移動するロボットの実証実験が盛んに行われており[3]、ペットボトルや空き缶などの比較的小さなゴミを検出・回収する屋外自律移動ロボットに関する研究が存在する[4][5]。しかし、それらの研究では実装されたアームが把持可能な物体のみ回収対象になっている。実際は認識した物体の中でもロボットが把持困難な物体が存在し、それらの回収は人間に任せるほうが望ましいはずである。そこで本研究では、提示されたゴミ位置情報を基にユーザがゴミを回収しに行くことを可能にするために、屋外のゴミ位置情報及び画像を保存し、ユーザに提示する自律移動ロボットを提案する。

3. システム構成

3.1 システム概要

本研究では、コンピュータ、3次元LiDAR、ステレオカメラを搭載したロボットを用いる。ロボットに搭載されたハードウェアの詳細は表1の通りである。また、ロボットの外観を図1に示す。ソフトウェアの構築やロボットの制御には、オープンソースソフトウェアであるROS(Robot Operating System) [6]を利用した。

表1 ハードウェアの詳細

パーツ名	コンピュータ	3次元LiDAR	ステレオカメラ
名称	NVIDIA JETSON XAVIER NX	Velodyne Lidar VLP-16	Stereolabs ZED2
説明	AIシステムの実行が可能	リアルタイム3Dイメージングが可能	奥行き方向の情報を取得可能
用途	モータ・センサの起動及び行動を制御	自己位置推定、経路計画及び障害物回避に使用	ゴミ検出及びゴミ位置情報・画像を取得

[†] 大阪工業大学 情報科学部
Osaka Institute of Technology
Faculty of information science and technology

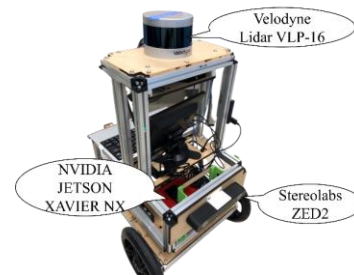


図1 ロボットの概要

3.2 処理の流れ

本システムが屋外で検出したゴミ情報をユーザに提示するまでの流れを以下に示す。

- (1) ロボットは予め設定された複数の目標点に沿って自律移動する。
- (2) 自律移動中にリアルタイム処理が可能な物体検出アルゴリズムであるYOLOv3[7]で経路上のゴミを検出し、ステレオカメラから画像を取得する。なお、本研究で対象とするゴミはペットボトル等を含む空き瓶類とする。さらに、同じゴミを重複して検出することを避けるため、検出されたゴミが前に見たものかどうかを、特徴量計算アルゴリズムの1つであるAKAZE[8]によって判定し、未知のゴミなら座標変換より得られた地図上での位置情報や画像を保存する。
- (3) (2)で取得したゴミ位置情報を3.2.1に示す手法でコストマップに反映させ、LiDARでは検出不可能なゴミを回避する。
- (4) (2)でロボットがゴミ情報を保存し終えたら、直近に通過した目標点から次の目標点を算出し再び自律移動を行う。
- (5) 設定された経路を走行し終わると3.2.2に示す手法で取得したゴミ情報をユーザに提示する。

3.2.1 ゴミ位置情報のコストマップへの登録

コストマップは占有格子地図のセルに障害物からの距離に応じてコスト値を持つ。ROSではLayered Costmaps[9]で実装されており、Obstacle layerやInflation layerといった複数のレイヤで構成されている。本研究では比較的小さなゴミを検出対象としているため、LiDARで障害物として検出することは困難であり、検出済みのゴミにロボットが衝突してしまう恐れがある。そこでそのゴミを回避するために取得されたゴミ位置情報を登録する新たなレイヤ(Objects layer)を作成しコストマップに加えた。ゴミ位置情報が占有格子地図に反映された例を図2に示す。

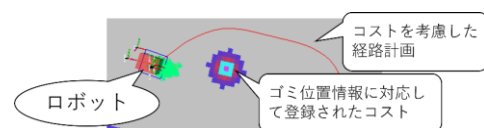


図2 Objects layerの例

3.2.2 ゴミ情報のユーザへの提示

ROS は `rosbridge_server` と `roswww` という WEB サーバを起動する ROS ノードを使うことで WEB ブラウザと ROS ノード間の通信が可能である。本システムでは、それらを用いて WEB ブラウザを介してロボットが検出したゴミ位置情報及び画像を同じルータに接続しているコンピュータを操作するユーザに提示する。実装した WEB ブラウザによる情報提示の例を図 3 に示す。

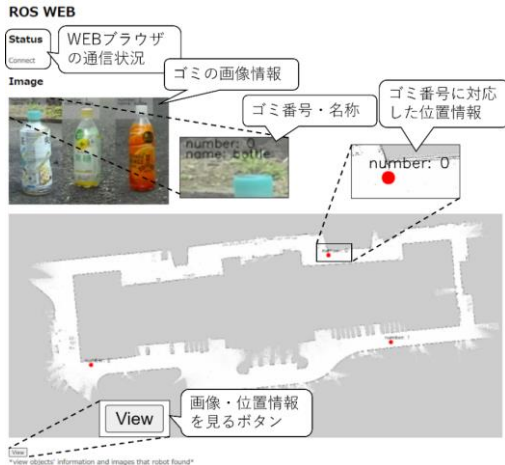


図 3 WEB ブラウザによる情報提示の例

4. 実験と考察

大阪工業大学枚方キャンパス 1 号館周辺で屋外実験を行った。この実験場所にはベンチやゴミ箱等の障害物があり、道もなだらかではない。なお、ロボットの進路は距離約 40 [m]、幅約 10[m]である。まずゴミ検出を行わないシステムで自律移動に関する実験を行った。これによりロボットはセンサ情報により障害物を回避しながら 3 分 12 秒で目標点に到着することが確認された。次に、市販されているラベルの付いたペットボトルをゴミとして実験の各試行で位置や向きを変えながら検出可能な進路付近に合計 5 本縦に置きゴミ検出、位置情報取得、検出済みゴミ回避及び検出済み判定に関して定量的に計測した。実験結果を表 2 に示す。表 2 の②から AKAZE 計算後もカメラの視野に残っていた数は①の YOLOv3 によって検出した数より少ないことがわかる。これは YOLOv3 がゴミを検出しても本システム内の検出済みゴミ判定の特徴量処理が終わっていないため、ロボットが停止せずゴミを通過してしまうことが理由である。これらの対策としては作成した検出済みゴミ判定をロボット制御に適応させることが有効と考えている。また、3.2.1 に関しての実験項目ではロボットは位置情報が取得されたすべてのゴミに対して回避に成功していることが表 2 よりわかる。さらに、表 2 から②のゴミの総数に対して検出済みゴミ判定の成功総数の割合は 48.7%であり、成功数は安定していないことがわかる。これはステレオカメラからゴミへの距離が遠いことや振動による画像のブレにより画質が悪化し特徴量が算出できないことが一因である。また、ラベルがない部分や特徴が比較的少ない部分のみしか見えなくなると、特徴量がほとんど算出できないことも原因となっている。これらに対しては、特徴量と合わせて検出済みゴミの位置推定を行う必要があると考える。最後に、ロボットに搭載しているコンピュータとユーザが操作する

別のコンピュータが WEB ブラウザを介して通信できるかどうかを実験したが、ロボットが検出したゴミ情報は問題なく別のコンピュータで確認できた。

表 2 実験結果

試行回	① YOLOv3が 検出した数	② ①のうちAKAZE計算 後もカメラの視野 に残っていた数	②が検出した数に対して			到着時間 [分:秒]
			位置情報取得 成功数	ゴミ回避成功数	検出済みと判定 できた数	
1	5	4	4	4	1	8:01
2	5	5	5	5	3	7:37
3	4	3	3	3	1	7:03
4	5	4	4	4	2	7:49
5	5	3	3	3	1	6:55
6	5	3	3	3	2	6:40
7	5	4	4	4	4	5:39
8	4	3	3	3	2	6:45
9	5	4	4	4	2	6:12
10	4	3	3	3	1	6:50

5. おわりに

本稿では、屋外の複数のゴミ位置情報をユーザに提示可能なロボットとそれを応用したシステムについて述べた。ロボットは屋外で自律移動を行いながら複数のゴミを検出しゴミ位置情報及び画像を保存する。最後の目標点に到着すると検出したゴミ情報をユーザに WEB ブラウザを介して提示するというシステムである。実際に開発したロボットが屋外環境でゴミを検出してユーザにゴミ情報を提示可能であることを実験により確認した。今後は実際に提示されたゴミ情報を基にユーザにゴミを回収してもらった評価実験を行い本システムの有効性を確かめる。さらに、ロボットにもアームを搭載し、ゴミ回収をさせる予定である。ユーザはロボットから送信されたゴミ情報を基に的確にゴミ回収の指示を出し、人間とロボットが協調してゴミ回収作業を行うことが可能なシステムを開発したい。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 21K02933 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 内閣府大臣官房政府広報室, "海のプラスチックごみをへらしきれいな海と生き物を守る!" <https://www.govonline.go.jp/useful/article/201905/1.html>, (参照 2022-05-23).
- [2] 堀本 大翔, 宮脇 健三郎, 西口 敏司, "人間との協調作業が可能な屋内外対応ゴミ回収支援ロボットの開発", 情報処理学会インタラクティブ 3D-13, pp.442-445(2022)*
- [3] つくばチャレンジ". <https://tsukubachallenge.jp/>, (参照 2022-05-23).
- [4] 小畑 昌之, 西田 健, 宮河 秀和, 近藤 隆史, 大川 不二夫, "投棄ゴミの回収を行う屋外サービスロボットの開発", 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol.126, No.7, pp.840-848 (2006)
- [5] Bai, J., Lian, S., Liu, Z., Wang, K., Liu, D., "Deep learning based robot for automatically picking up garbage on the grass", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.64, No.3, pp.382-389 (2018)
- [6] "ROS". <http://wiki.ros.org/>, (参照 2022-05-23)
- [7] Redmon, J., Farhadi, A., "Yolov3: An incremental improvement", arXiv:1804.02767 (2018)
- [8] Alcantarilla, P. F., Solutions, T., "Fast explicit diffusion for accelerated features in nonlinear scale spaces", BMVC, Vol.34, No.7, pp.1281-1298 (2011)
- [9] Lu, D. V., Hershberger, D., Smart, W. D., "Layered costmaps for context-sensitive navigation" IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.709-715 (2014)