

2018 年度 卒業論文
地図ベースの走行を行う
自律ロボットの構築

奈良女子大学 生活環境学部 情報衣環境学科
生活情報通信科学コース 4 回生
新出研究室 15480295 鳥居実桜

平成 31 年 2 月

目次

1	はじめに	3
2	使用ロボットについて	4
2.1	測域センサ URG-04LX-UG01	4
2.2	深度センサカメラ Xtion PRO LIVE	5
3	ロボット制御機能	5
3.1	ROS	5
3.2	Jason	6
3.3	rviz	6
4	実装	7
4.1	移動ロボットの制御方法	7
4.2	マップを使った目標物への移動	8
4.3	基本行為	9
5	まとめ	11
6	謝辞	12

概要

ロボットが目標を持ち目標達成の為に行動する上で、目標物への移動は必要な能力である。従来研究では、ロボットは自律移動に際し自らの周囲しか認識していなかったため、近距離の目標物にしか到達できなかった。本研究では、ロボットは地図作成と自己位置認識により、地図上での自らの位置・姿勢などを把握して目標物に効率よく接近する能力を実現し、従来研究で実現した物体認識とプランによる目標物到達機構と合わせて、より遠方の目標物への到達をより効率的に行うようになった。具体的には、北陽電機の測域センサ URG-04LX-UG01 と Xtion カメラによる物体認識能力を搭載した移動ロボットに、Jason によるプラン選択、ROS の gmapping で生成した地図、及び自己位置推定の 3 要素を組み合わせ、目標物への接近能力を構築した。

1 はじめに

近年、実世界において人間の立ち合いを伴わなくても、目標を与えられると、達成手順を自分で計画し、かつ状況を判断して作業を実行することのできる自律ロボットの必要性が高まり実現されつつある。例えば、災害救援ロボット、コミュニケーションロボット、宇宙開発などの産業用ロボットから、自動お掃除ロボットなどの一般家庭用まで多岐に渡る。人間の指令や判断が常に与えられるわけではないので、人間と同様に何らかの実世界における多様な環境変化を感知し、対応しながら、周囲の状況に応じて都度最適な目標達成の為に行動選択を自ら行う自律性が要求され、そのためにはかなり高度な知的機能を持たなければならない。このようなことから、我々は 2011 年より、論理的な思考による、人間の行為選択を模したエージェントモデルである BDI による意思決定と、外界の情報をセンサで取得する認識機能を合わせて、自律的な目標物到達行動をする小型ロボットの実装を目指して研究を行っている。

2017 年度の先行研究 [9][8] では、ディープラーニングによる物体認識を用いた目標物への到達機構を実現した。6 種類の物体を到達対象とし、ロボットの目標到達行動に用いるため、低倍率画像を利用し 6 種類の物体を一度に検出可能な学習機と誤検出除去機能を持つ 7 クラス画像分類器を複合することによって、複数物体の同時認識を可能とした。画像分類には、オープンソースで提供されているディープラーニングのフレームワークである Caffe がサポートしている、CNN による多クラス分類器を利用している。学習においては、1 つのサンプル画像につきオリジナル、回転、左右反転、拡大、コントラスト調整、平滑化の 6 パターンの拡張を行い、学習データとした。7 つ目のクラスとして、6 つのクラスオブジェクトのいずれでもない不正解オブジェクトを分類するためのクラスを追加することで、最終的に高速かつ高性能なディープラーニングによる物体認識能力を獲得することができた。しかし、高精度な物体認識能力を獲得した一方で、先行研究のロボットには問題点として、以下のものがあつた。

- 自律移動に際し自分の周囲に関する局所的な情報のみを認識し、それを元に行動しているため、局所的な情報を用いた行動決定しかできない
- 物体認識のできる距離に限界があり、かつ、障害物があればその先は見えないため、十分近くにある目標物にしか到達できない
- 認識可能圏内に目標物が見当たらない場合、対象エリア全てを多量の時間をかけて探索する必要があるが、回復行動には限界がある

これらにより、限られた条件下でのみ到達に成功していた。

そこで本研究では、マップを用いて一旦目標物の近くへ接近してから物体認識によって目標物に到達するという機構を実現した。北陽電機の測域センサ URG-04LX-UG01[2] と ASUS の深度センサカメラ Xtion PRO

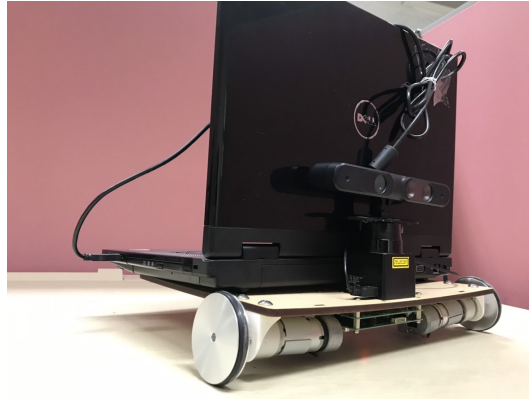


図1 URG と Xtion を搭載した移動ロボット

LIVE[6]による物体認識能力を搭載した新たなロボットをベースとし、自律的に目標を達成するロボットの実現のために①Jasonによるプラン選択(人間同様の柔軟な思考から目的達成の意図を保持してそれを実行しようとする、BDI エージェントを用いることが適していると考えられるため)②ROSのgmappingで生成した地図、③ROSのamclを用いた自己位置推定の3要素を組み合わせ、地図によるある程度の大域的な位置把握を行った上での目標物への到達能力の構築を目指した。マップを用いると目的地の座標が取れて自己位置との距離の差を計算できるのに加え、行き止まりや障害物を避けてルートを選択して進めるのでマップによる到達機能をプラン内で用いることで、信念として目標物の複数の存在場所候補の座標を持つことが出来、現在地から近い地点から順に探索を行うようにルートを考え、目標物に行くルートをプランで与えられるとロボットが考えて動くことが可能となった。従来に比べ、遠方の目標物へエリア内全体を探索せずに到達可能となったため、本研究の方が効率的な到達能力が実現したといえる。

2 使用ロボットについて

本研究では、地図ベースの走行を実装する為に測域センサを搭載できるロボットとして、先行研究で用いた教育用LEGO Mindstorms EV3[5]ではなく、図1に示すような独立二輪駆動の移動ロボット組み立てキットi-Card edu[4](以下移動ロボットと記載)を使用した。このロボットはPC上で、オープンソースソフトウェアYP-Spur[7]を用いることで制御可能となる。今回は、図1のように、移動ロボットに、図2の測域センサURG-04LX-UG01(以下URGと記載)と図3の深度センサカメラXtion PRO LIVE(以下Xtionと記載)を搭載し、行動実行の際に活用している。

2.1 測域センサ URG-04LX-UG01

光でスキャンしながら検出物までの距離を測定する二次元走査型の光距離センサである。内部にあるミラーを回転させることでレーザー光を走査し、2次元平面をスキャンする。約 0.36° の角度分解能で周囲の環境データ(距離・角度)を出力する。測定原理として、投光波、受光波を用いた位相差方式を採用することにより、センサの小型軽量化を実現した。USBバスパワーで駆動する。移動しながらスキャンを行う場合など高速なデータ通信が必要となる場合は、USB接続によるデータ取得が必須である。本研究では、地図作成と目標物のおよその位置までの接近の過程において、自己位置推定的手段及び障害物センサとして使用した。



図 2 測域センサ URG-04LX-UG01



図 3 深度センサカメラ Xtion PRO LIVE

2.2 深度センサカメラ Xtion PRO LIVE

ASUS から販売されており、物体の動きを認識するための RGB センサと深度センサを備えている。物体の動きをデータ化する PC 用モーションキャプチャデバイスである。本研究では物体認識に用いる視覚情報の獲得の為に使用した。物体認識の機能は先行研究のものを流用しているため、Xtion はカメラとしてだけ用いている。

3 ロボット制御機能

本研究では、獲得した目標物認識能力などの知覚情報をもとに、エージェントが思考し、目標物へ向かって探索行動や接近行動を繰り返すことによって目標物に到達する移動ロボットを実現した。本節ではそのロボットの行動決定や目標物接近を実現するために使用した技術について述べる。具体的には、ロボット制御を担う ROS、ロボットエージェントの思考を司る Jason、ロボットの位置・姿勢などを可視化する rviz について説明する。

3.1 ROS

ロボットの行動を決定するエージェントの構築の際に、ロボットの制御部の開発を容易にするため、本研究では、先行研究より継続して、世界中で広く使用されているロボット開発用ソフトウェアフレームワークの 1 つである ROS(Robot Operating System)[3] を用いた制御を行っている。ROS はオープンソースで提供されているロボット製作のためのオペレーティングシステムで、開発環境に依存せずに、汎用性の高いプログラムを書くことができる。ROS の動作プラットフォームとして Ubuntu を利用し、プログラミング言語として、

プログラムの実装やメモリ管理が容易な Python を使用した。

ROS では、ソフトウェアをまとまりとして管理するための一単位であるパッケージがあり、その内部に ROS の最小の構成要素で、ライブラリの実行プログラムに相当するノードが存在する。このノード同士が ROS クライアントライブラリによって通信を行うことによって、異なるノードがお互いにやりとりしながら協調して動作を行う。これにより、ロボットの各機能を独立したプログラムとして記述でき、それらを結合することによる開発が可能である。そのため、機能の修正の際にソフトウェア全体を修正することなくノードの修正だけで対処することができ、また、ある機能を使用したい場合に、1 からプログラムの構築を行うのではなく、すでに構築された同じ機能のプログラムを再利用する形で容易にロボット開発を行える等の利点がある。

本研究では、先行研究で構築されたパッケージを移動ロボット向けにわずかな修正で再利用を行うと共に、新たに、地図生成に用いる ROS 標準の `slam_gmapping` パッケージと、自己位置推定、大域的な経路計画、局所的な動作計画など、地図ベースの自律走行に必要なノードを含む ROS 標準の `navigation` パッケージを使用した。

3.2 Jason

ロボットの制御部に ROS と `rviz` を用いたのとは別に、それらで実現される基本行為を用いて自律的に目的を達成する BDI エージェントの構築プラットフォームには、Jason[1] を使用した。それにより、ロボットの機能や学習で獲得した能力を使ったプランを用いて、論理による思考を行って行為を決めることが可能なロボットとなる。BDI エージェントとは、Belief(信念)、Desire(願望)、Intention(意図) の 3 つの心的状態を用いて熟考し、意志選択を行うエージェントモデルである。

エージェントはまず、信念、願望から目標を導き出し、この目標を達成する手段であるプランを選択してこれを意図とする。次にこの意図の実行後、エージェント外部の環境変化から知覚を得ると、その知覚をもとに再び信念、願望による目標を導き出す。このサイクルによって最終目的の達成を目指すのが BDI エージェントである。Jason は AgentSpeak を拡張した言語のインタプリタであり、論理型プログラミング言語である Prolog と同様の記述方式を用いて、エージェントが目的を達成するための複雑なプランを記述する。

さらに、エージェントが置かれている外部環境を Java で実装すれば、環境とエージェントが相互作用することで知覚を得たり行為を実行したりすることが可能となる。これにより、ライブラリで実現される基本行為をエージェントがプラン内で用いることができ、1 つの目標に対して、複数のプランを持つことができたり、目標を並列して複数持つことが可能なため、動的な環境に適応したプランをエージェントが選択することにより、ロボットの環境変化に対する目標達成に向けた柔軟なアプローチが可能となる。

3.3 rviz

ロボット開発において重要なのは、センサデータや自己位置を視覚化することである。ROS は強力なデータ可視化ツールを備えており、中でも `rviz` と呼ばれる 3D 可視化ツールは非常に優れたものである。走行範囲にあたる室内全体を視覚化した `rviz` を図 4 に示す。これを用いることでロボットの位置・姿勢などの状態の可視化や、カメラ画像の表示を行うことが可能で、シミュレータとしても機能する。

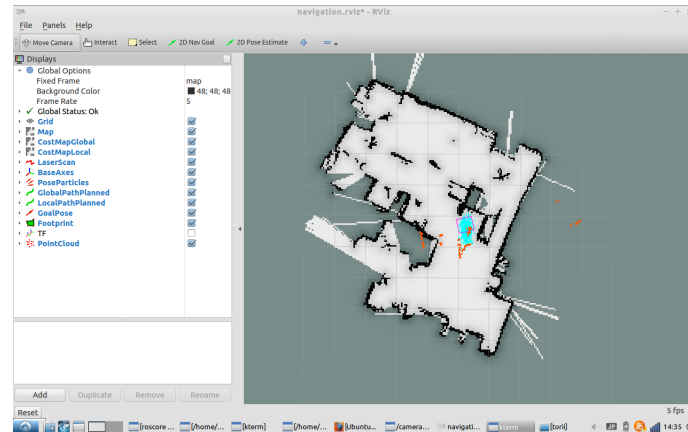


図 4 室内全体の占有格子地図を rviz で表示した例

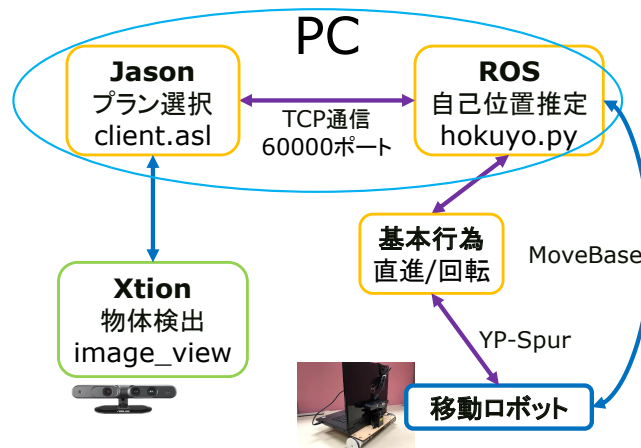


図 5 移動ロボットの制御方法

4 実装

4.1 移動ロボットの制御方法

本研究で構築した目標到達行動能力は図 5 のような制御方法で実現されている。設計においては、単純に動いたり回転したりという、考えなくてもできる部分と、探す順序や探す方法を考えながら探索するという考える必要がある部分を分離して、前者を基本行為とし、後者を基本行為を使った目標物到達プランとして設計と実装を行い実現した。2つの実装を分離することで、それぞれの設計や変更をしやすいとしている。基本行為としては、先行研究で ROS によって EV3 向けに実現されていた通信行動制御プログラムを移動ロボット用に再実装し、大域的な位置への到達には ROS に既存の MoveBase を使用、細かな地点まで到達するのに必要な直進や回転等の基本行為の設計と実装を行った。エージェントが何か考えて動くロボットの思考部分に当たる、意図的な行動選択には引き続き Jason を用いている。状況に応じてプランを選択し、複数の候補地から最

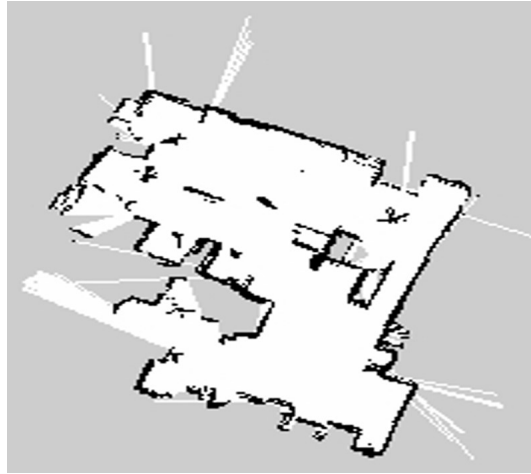


図 6 奈良女子大学 G 棟 403 室のマップ

も近い点を順に選択し、目的地座標まで到達するというゴールを新たに追加した。また、複数の目標物に連続して到達することも可能である。

4.2 マップを使った目標物への移動

ここでは手段として用いたマップについて説明する。

4.2.1 今回作成したマップ

図 6 は研究室 (奈良女子大学 G 棟 403 室) のマップを作成して可視化したものである。まず、地図ベースの自律ナビゲーションを実現するために、ROS の `slam_gmapping` パッケージを用いてマップを作成する。ロボットは URG の複数のスキャンデータを繋げて、走行させた範囲の大きな占有格子地図を生成し、それを ROS の可視化ツール `rviz` で見る事が可能である。`rviz` では 2D Nav Goal を用いてウィンドウで逐次人手で座標を与えることにより、マップ上の指定した場所に自律走行させることができる。しかし、人間の指令や判断を待たず周囲の状況に応じて都度最適な行動選択を自ら行うことが望ましい。そこで、プラン内で目標物の大まかな位置に関する信念を得ると、その位置へ移動できるようにした。

4.2.2 指定座標のリスト出力及び目標物の大まかな位置指定

ロボットは目標物のおよその位置を知ってそこに到達し、そこから物体認識を使って目標物の正確な位置に到達する。本研究では、およその位置はあらかじめ知っているものとした。目標物の図 7 における大域的な位置を `rviz` 上で指定し、ウェイポイントとしてリストの形で出力するプログラムを作成し、そこから得られた値を、検出可能な 6 種類の物体の目的地座標を示す信念としてエージェントに与えた。図 7 は例として、りんごと桃が検出可能な物体であるとしたときの、それらの大まかな位置を、ロボットに信念として与えている様子を示している。ロボットは与えられた信念と地図と ROS の機能を使って最短経路でその位置へ動くことが可能である。

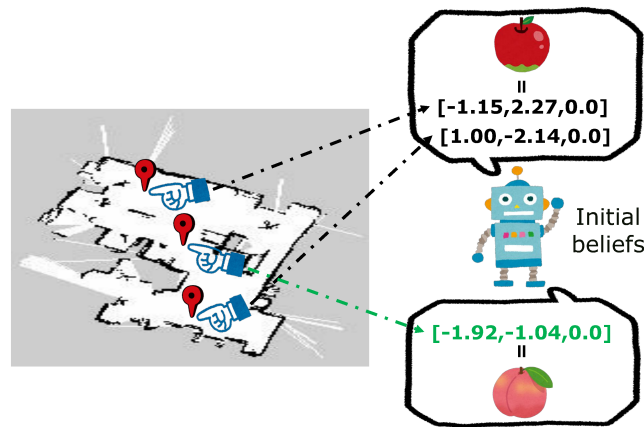


図7 目標物座標を信念として与える様子

表1 基本行為とその実現方法

基本行為	内容	その実現
move	直進	Spur_line_GL(0,0,0)
rotate	回転	Spur_spin_GL(3.14/4)

4.3 基本行為

4.3.1 基本行為の設計と実装

目標物にある程度接近したら、物体認識と直進回転といった基本行為を組み合わせることで目標物の正確な位置に到達する。新たなロボットの使用に際し、搭載しているモータやセンサが従来のロボットと異なるので、定義し直した基本行為について説明する。表1のようなものがある。回転と直進ができれば、その組み合わせでどのような移動も実現できるため、本研究では基本行為としてこの2つを実装した。実装は、ロボットが実行しようとした基本行為の内容を実現する為の Spur コマンドを ypspur-coordinator という制御ソフトが解釈して、モータ制御を行っているマイクロコントローラに指示を出すという手法で行っている。本研究では、move や rotate は引数をとらず、基本行為として move が呼ばれると、プログラムで定義された一定距離を移動するようになっている。本来は、move(50) とすると 50cm 動くといったように、引数として移動距離を指定できることが望ましいが、今回はそのようには実装していない。

今回は前提として、図8のように最初に到達した大まかな位置から半径 1.5m 以内に目標物があるとし、エリア内に地図上の外壁以外の障害物はないものとした。図中の黄線は、ロボットのカメラが目標物を認識できる範囲を示している。まず、最初の到達位置から目標物の認識を試み、そこで見つけれたら到達成功とし、なければ周囲の探索を始める。この時に使われるのが基本行為として定義した直進と回転で、スタート地点を原点として指定した距離や角度だけ移動し、それができているかどうか判定する。それと同時に、物体認識によって近くに到達できたかどうかも判定する。これらの基本行為の組み合わせで、図10のような探し方を実現した。一回の移動があまり大きいとカメラの認識可能範囲で探索エリア全体をカバーできないので、少しず

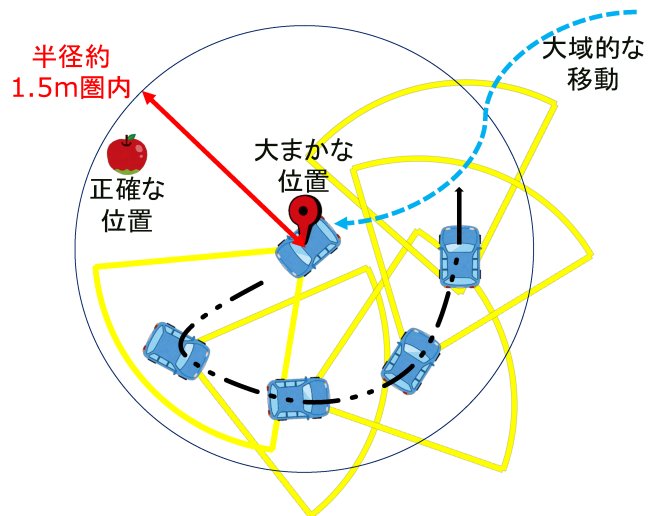


図 8 基本行為を組み合わせたの目標物探索



図 9 目標物が認識可能圏内に存在するが到達困難な状況の例

つ移動するようにした。約 360 度回りきって見つけられなければ、次の候補地へ大域的な移動を行う。

問題点として、現在、物体認識は従来研究のものをそのまま用いており、紙に印刷された目標物の認識性能に特化している。従って、目標物がある一方向から見た場合でないと性能よく認識できないため、その方向を遮る障害物があると、認識可能圏内であっても目標物を見つけれない。例えば、目標物が認識可能圏内である 75cm のところに存在していても、図 9 のように印刷面が障害物に接していると隠されてしまい、認識が困難となり到達が不可能となる。物体認識を改善して、どの方向からでも目標物を発見できるようにすることは課題の 1 つである。

4.3.2 基本行為性能実験

図 10 の探し方を実現するにあたって、回転角度が小さすぎると一周に時間と回転を要して効率が悪くなり、また大きすぎると探索が粗くなるので、適切な角度を選択する必要がある。そこで、回転角度を 90 度とした場合と 45 度とした場合について到達能力を比較した。表 2 に実験の結果を示す。実験は、同一のスタート地点から距離の異なる A 地点、B 地点、C 地点の 3 ヶ所に置かれた目標物認識に成功したか失敗したかの判断

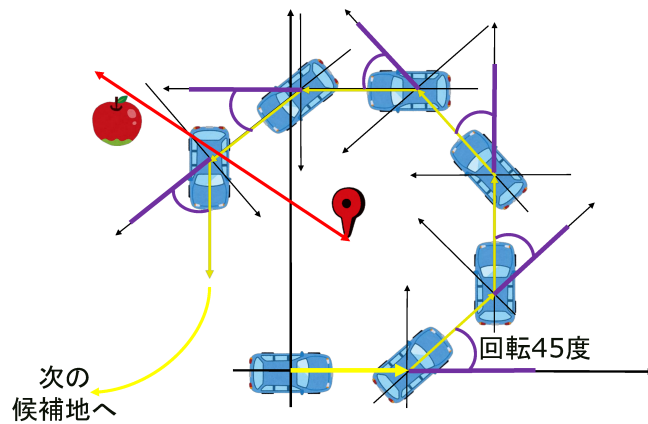


図 10 基本行為を組み合わせた実際の動作図

表 2 到達能力の比較

	45 度	90 度
A(1.0m)	7.59s/success	8.38s/success
B(0.8m)	11.12s/success	34.56s/fail
C(0.5m)	19s/success	39s/success

をするまでの所要時間を、それぞれの場合について各 1 回計測した。表 2 の success は認識成功、fail は認識失敗を意味している。例えば、45 度に設定した時、スタート地点から 1.0m の A 地点にある目標物認識は、7.59 秒要して成功したことを表す。所要時間は Jason が起動してから、成功か失敗の判断をして終了するまでを計測した。実験の結果、90 度だと目標物を見逃してしまうことが多く、認識失敗したり、成功しても倍以上の時間を要することがあったため、今回は回転角度として 45 度を採用した。

5 まとめ

先行研究では、使用されたロボットの認識可能距離が限られており、目標物が離れていると、室内全体が探索範囲となり、多量の探索を要した。それに対し、本研究では、前述の 3 要素を組み合わせることで、目標物が初期位置から離れていてカメラの視界になくても、そのマップ上での大域的な位置を把握して効率的に探索を開始するようになり、物体が認識可能圏外に存在する時、到達に時間がかかる問題を解消できた。これは人間がある地点を目指す時、やみくもに動くより地図を見ておよその見当をつけてから動き出す方がより速い到達を望めるのと同様のことを実現したと言える。この接近能力を利用することによって、より汎用的な能力を持つロボットエージェントを構築することができた。

今後の課題として、探索しながらの地図生成が挙げられる。また、本研究で実現したプランでは指定した順番でしか目標物への到達を図れず、道中で認識した物を記憶する能力がないことから、探索した物体の位置関係を把握し、経路の組み換えを行いながら目標物間を効率よく巡回する行動の構築が望まれる。また、先行研究で使用されていた EV3 等、他のロボットへの汎用性を高める必要がある。他にも、今回は先行研究の画像

認識を流用しており、紙に印刷された目標物の認識率は高いが立体物の認識率が低くなる問題は継続している。正確な到達行動のための物体認識や物体検出の精度向上、立体物認識のため新たな画像認識の使用、学習機能について他の機械学習を検証すること等により、更に効率よく目標到達を行える可能性も考えられる。より求められる形の目標達成を行えるようにするために、このような問題点や改善点について工夫を行うことで、更なる発展を目指していくことが必要である。

6 謝辞

本研究の遂行及び本論文の執筆にあたって、最後まで熱心にご指導頂いた新出尚之准教授、ならびに多くのご指摘やヒントを頂いた新出研究室の皆様へ深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Rafael H. Bordini, Jomi Fred Hübner, and Michael Wooldridge. *Programming multi-agent systems in AgentSpeak using Jason*. WILEY, 2007.
- [2] HOKUYO AUTOMATIC CO.LTD. URG-04LX-UG01. <https://www.hokuyo-aut.co.jp/search/single.php?serial=17>. 2019年1月4日閲覧.
- [3] Open Source Robotics Foundation. ROS. <http://www.ros.org/>. 2019年2月5日閲覧.
- [4] T frog Project. i-Cart edu. http://t-frog.com/products/icart_edu/. 2019年1月10日閲覧.
- [5] LEGO Group. 教育版レゴ®マインドストーム®EV3. <https://education.lego.com/ja-jp/product/mindstorms-ev3>. 2019年2月5日閲覧.
- [6] ASUSTeK Computer Inc. Xtion PRO LIVE. https://www.asus.com/jp/3D-Sensor/Xtion_PRO_LIVE/. 2019年2月5日閲覧.
- [7] OpenSpur.org. YP-Spur. <https://openspur.org/>. 2019年1月24日閲覧.
- [8] 小松芙美子. 自律ロボット行動制御ライブラリの拡張. 2017年度卒業論文, 奈良女子大学生生活環境学部情報衣環境学科生活情報通信科学コース, 2018.
- [9] 兼松明未. 自律ロボットの目標物到達機構の精度向上とそれを用いて行動するBDIエージェントの構築. 2017年度修士論文, 奈良女子大学大学院人間文化研究科, 2018.