

卒業論文

トポロジカルマップを用いたシナリオによる ナビゲーション

指導教員 林原 靖男 教授

2021年12月30日

千葉工業大学 先進工学部 未来ロボティクス学科

18C1095 原桃子

目次

第 1 章 序論	7
1.1 背景	7
1.2 目的	9
1.3 関連研究	10
1.4 本論文の構成	10
第 2 章 要素技術	11
2.1 トポロジカルマップ	11
2.2 Neural Network	12
2.3 Convolutional Neural Network(CNN)	14
2.4 You Only Look Once(YOLO)	15
第 3 章 提案手法	16
3.1 提案手法の概要	16
3.2 画像の前処理	18
3.3 YOLO のデータセット作成	19
第 4 章 実験	21
4.1 実験の手順	21
4.2 実験装置	22
4.3 実験 1 事前取得のデータを用いた通路認識の検証	23

4.4 実験 2 ナビゲーション適用時の通路認識の検証	24
第 5 章 まとめ	25
謝辞	25

図目次

1.1	Example of spherical camera image of equirectangular projection.	9
2.1	Example of metric and topological map	12
2.2	Neural network architecture	13
2.3	The YOLO Detection System.(出典:[3])	15
3.1	Type of passage.	17
3.2	Flow of passage recognition method.	17
3.3	Preprocessing of spherical camera images	18
3.4	An example of a dataset.	19
4.1	Experiment environment	22
4.2	robot	23

表目次

3.1	Class name to be labeled.	20
4.1	Specification of PC.	23

概要

トポロジカルマップを用いたシナリオによるナビゲーション

Abstract

第1章

序論

1.1 背景

近年，商業施設での清掃作業や屋外での宅配など，屋内外を問わず多くの場所で自律移動ロボットが活用されている。それらのロボットを安全かつ正確に運用するためには，自己位置推定をはじめとする様々な機能を持たせる必要がある。現在，商業施設などで活用されている自律移動ロボットは，メトリックマップと呼ばれる，あらかじめセンサで取得した環境の詳細なデータを持つ地図が使用されている。また，それらの地図を用いて，

一方，人はそのような詳細な地図がなくても，「2つ目の信号で右」のような言葉の情報に基づき目的地まで移動することができる。そこで，そのような人の移動する能力をロボットの自律移動に応用する手法が研究されている。例えば，島田らは人の道案内に注目し，人の道案内の要素を取り入れたロボットのナビゲーション手法を提案した [1][2]。この手法では，人が道案内で用いる情報をアンケートにより収集し，目的地まで移動させるナビゲーション手法を提案した。

アンケートを実施して人の道案内には「通路の特徴」を重視しているという結果を得る。

人が目的地まで移動するための情報を必要としているのかを道案内に関するアンケートにより解析し，その情報をナビゲーションに組み込むことにより，ロボットを人の道案内のように目的地まで移動させるナビゲーション手法を提案した [1][2]。

トポジカルマップとシナリオによるナビゲーション手法を提案した。この研究では，人が目的地まで移動する際に必要としている情報をアンケートにより取得し，得られた情報からナビゲーションに用いるトポジカルマップと呼ばれる地図と，シナリオと呼ばれる人の道案内を言葉にしたもの的形式を決定し，人の道案内のようにロボットを目的地まで移動させるナビゲーションの手法を提案した。また，提案したナビゲーション手法の有効性を実機を用いた実験により検証した。実験の結果，

通路の認識が正しく行われた場合は、提案したナビゲーション手法により目的地に到達できるが、誤認識が起きた場合はロボットが経路から外れ、ナビゲーションに失敗してしまうということが報告されている。先行研究では、通路の認識には LiDAR を使用しており、通路の誤認識は、開いているドアや隙間に LiDAR が反応したことが原因であると述べられている。ここで、通路の認識にカメラ画像を用いることで、誤認識を解消し、ナビゲーション途中に経路から外れるという問題を解決できるのではないかと考えた。

1.2 目的

本研究は、全天球カメラ画像に基づく通路認識の手法を提案する。そして、先行研究により提案された、実口ポットを用いたトポロジカルマップとシナリオに基づくナビゲーションに対し、認識した通路の特徴情報を適用することで本手法の有効性を検証する。検証の際は、本研究と先行研究のナビゲーション結果に着目し、その成功回数を比較することとする。

また、本研究では Fig. 1.1 に示すような、全天球カメラの標準的なフォーマットである正距円筒図法という形式で画像を扱う。



Fig. 1.1: Example of spherical camera image of equirectangular projection.

1.3 関連研究

Mueller らは GIS(Geo Information System) をベースとしたトポロジカルマップに分岐点の情報を組み込み、検出した分岐点の情報を自己位置推定に用いた [7]。この手法では、分岐点にトポロジカルマップのノードが設定されている。自己位置推定の際には、分岐点から分岐点までの距離や、十字路などの分岐点の種類や分岐点から枝分かれする道と道の間の角度を用いる。なお、LiDAR を用いて生成した占有格子地図から分岐点を検出する。このとき、枝分かれする道の方向も同時に求める。そのため、自己位置推定に用いる情報として分岐点の種類に加え、分岐点から枝分かれする道の角度を用いることができる。また、自己位置推定にはパーティクルフィルタを用いている。図 1-2 にはその様子を示す。図 1-2(a) は分岐点と枝分かれする道の方向を検出している様子である。また、図 1-2(b) はパーティクルフィルタを用いた自己位置推定の様子である。

また、澤橋らは道の分岐点をノード、道をエッジとしたトポロジカルマップを作成し、これを経路計画や自己位置推定に用いた自律ナビゲーションシステムを提案した [8]。この手法では、自己位置推定を大まかな移動距離と方位からロボットの通過したエッジの推定を行う。のために、一定数保存したオドメトリの情報から直線的走行を抽出する。抽出した直線の長さと進んだ方位から自己位置推定を行う。ノードごとに確率を持ち、それまで進んできた軌跡から到達可能なノードの確率が高くなる方式である。この時、走行可能領域など、環境認識のために LiDAR やカメラから取得した意味情報を利用している。また、大域的経路計画の際は、初期位置と目的地を選択し、各ノードを結ぶエッジの長さをコストとして、それらの和が最も小さくなるような経路を選択するよう大域経路として採用している。

1.4 本論文の構成

本論文ではまず、第1章で研究背景、目的、関連研究について述べた。第2章では、本研究で用いる要素技術について述べる。また、第3章では提案した手法について述べ、第4章では提案した手法の有効性の検証を行う。また、第5章では4章で行なった実験の結果をまとめ、考察を行う。最後に、第6章で本研究のまとめを行う。

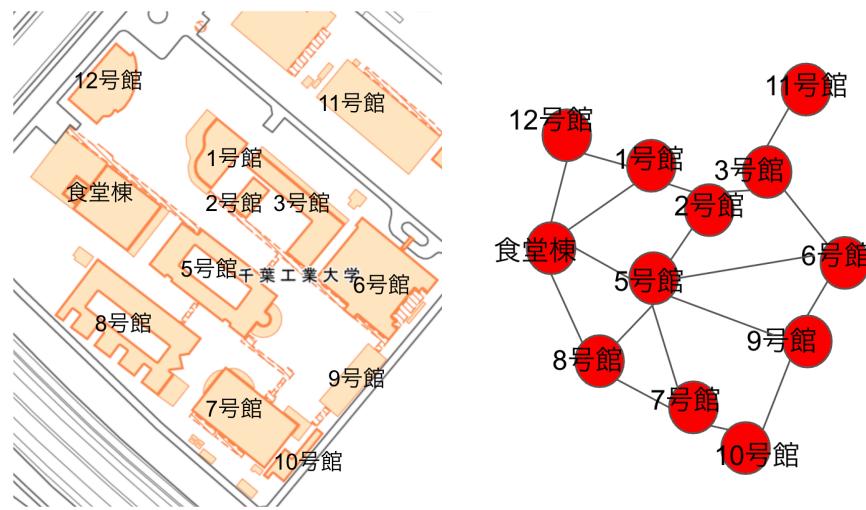
第2章

要素技術

2.1 トポロジカルマップ

私たちの身の回りには様々な種類の地図があり、活用されている。例えば、Fig. 2.1(a) に表すメトリックマップと呼ばれる地図は、普段人が目的地まで移動する際に用いられる。しかし、本研究で用いているトポロジカルマップは Fig. 2.1(b) のような形をしている。メトリックマップがやや複雑な形をしているのに対し、トポロジカルマップはより簡潔に、環境を抽象的に表現することができる。

トポロジカルマップは、大きく分けてノードとエッジの 2 つの要素により構成されている。Fig. 2.1(b) では、赤い丸の図形で表現されているのがノードである。ノードには、地図の作成者が好きな情報を入れることができる。もう 1 つの要素であるエッジは、それぞれのノード同士を接続するのに用いられる。ノード同士に関係性がある場合、ノードとノードはエッジにより接続される。



(a) Map representing Chiba Institute of Technology Shin-Narashino Campus with metric map
 (出典：国土地理院より)
 (b) Map representing Chiba Institute of Technology Shin-Narashino Campus with topological map
 一部を加工して作成)

Fig. 2.1: Example of metric and topological map

2.2 Neural Network

ニューラルネットワークとは、人間の脳内の神経細胞（ニューロン）のネットワーク構造を模して作られた数式的なモデルである。ネットワークは、Fig. 2.2 に示すように入力層、出力層、1つ以上の隠れ層（中間層）により構成されており、円で表されているものはニューロンと呼ぶ。また、線により結ばれているニューロンとニューロンの間には重みを持っており、重みは接続されているニューロン間のつながりの強さを表現している。ニューラルネットワークを用いることにより、複雑な回帰問題や分類問題などを解くことができる。

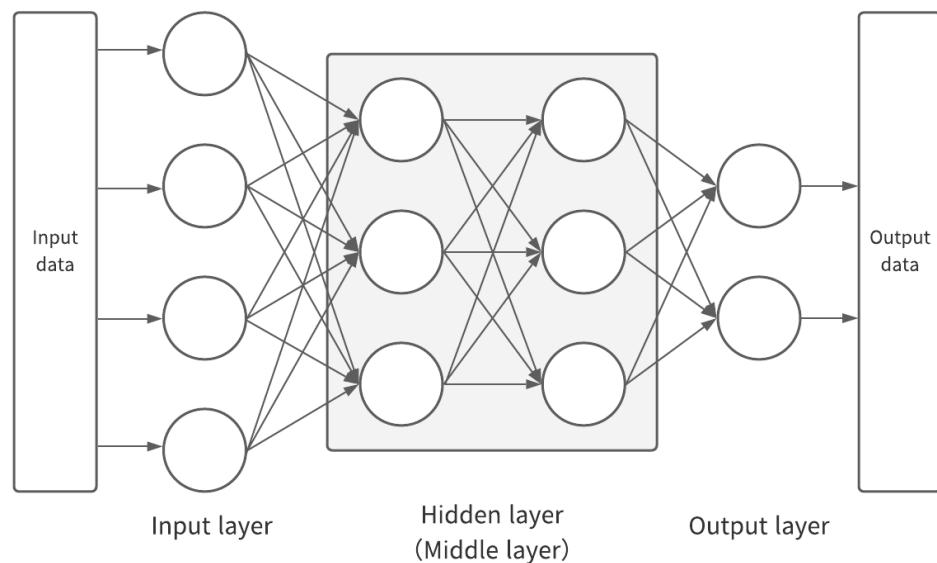


Fig. 2.2: Neural network architecture

2.3 Convolutional Neural Network(CNN)

2.4 You Only Look Once(YOLO)

本研究で用いる YOLO[3][4][5][6] は、リアルタイム物体検出アルゴリズムである。YOLO は、画像の RGB データの配列を CNN に入力し、画像中のどの範囲に物体が存在しているのかを表すバウンディングボックスの情報と、ボックス内の物体がどのクラスに属しているのかを確率とともに表すクラス確率の情報を出力する。Fig. 2.3 は、YOLO を用いて画像中の物体を検出している様子である。

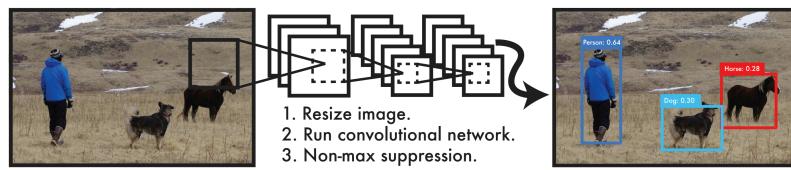


Fig. 2.3: The YOLO Detection System.(出典:[3])

左の画像データを入力した結果、画像からは 3 つの物体が検出されている。また、それぞれの物体が Person 0.64 , Dog 0.30 , Hose 0.28 の確率で予測されていることが確認できる。

第3章

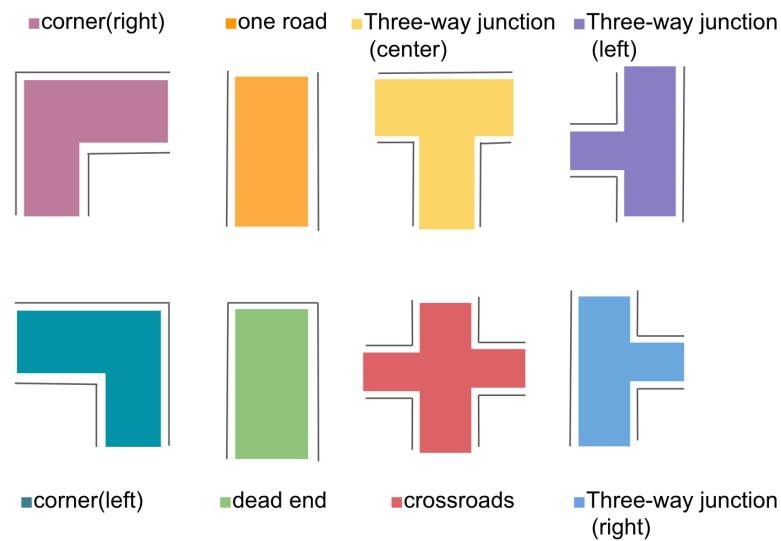
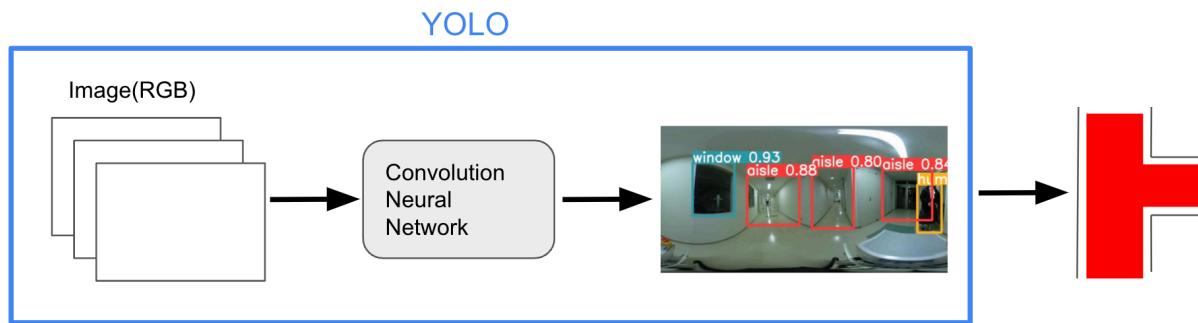
提案手法

3.1 提案手法の概要

本研究は，全天球カメラから取得した画像に基づき，通路認識を行う手法の検証を行う．ここでいう通路認識とは，画像中に通路があるかどうかを検出するだけでなく，画像中に通路がある場合，その通路がどのタイプに属するのかといった，通路の特徴を抽出することである．また，本研究で扱う通路のタイプは以下の8種類であり，それぞれの図を Fig. 3.1 に示す．

- ①一本道 (straight)
- ②行き止まり (dead end)
- ③右のみ曲がれる角 (right)
- ④左のみ曲がれる角 (left)
- ⑤十字路 (cross)
- ⑥右に曲がれる三叉路 (3-way junction_right)
- ⑦左に曲がれる三叉路 (3-way junction_left)
- ⑧突き当たりの三叉路 (3-way junction_center)

本手法の通路認識の流れを Fig. 3.2 に示す．まず，全天球カメラにより取得したRGBの画像配列データをYOLOの入力とし，出力されたバウンディングボックスとクラス確率の情報をもとに画像中に通路があるかどうかを検出する．画像中に通路が検出された場合，通路の座標位置に基づき，通路のタイプを決定する．

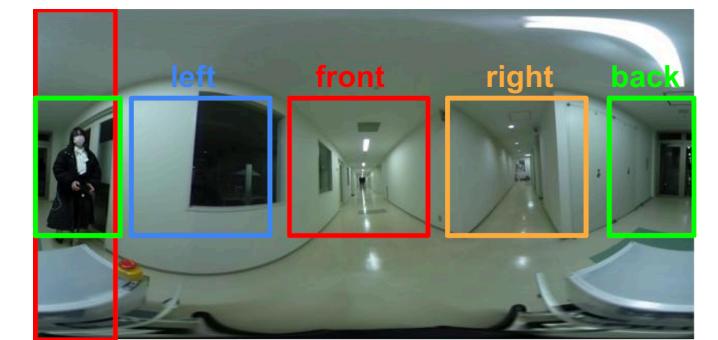
**Fig. 3.1:** Type of passage.**Fig. 3.2:** Flow of passage recognition method.

この例では、YOLO の出力した画像から通路が 3 つ検出されている。
 また、通路はロボットに対して前方、後方、右手側に検出されているため、
 通路のタイプは⑥右に曲がれる三叉路であるということがわかる。

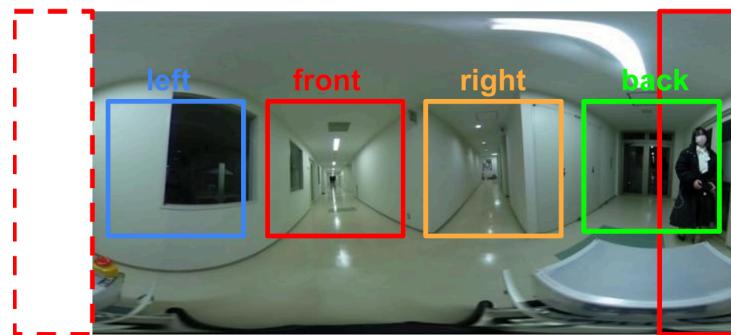
3.2 画像の前処理

全天球カメラで取得した画像は通常， Fig. ?? に示すように，カメラの正面が画像の中心となり，真後ろは画像の左端と右端で見切れてしまう。そこで，カメラに対する正面，真後ろ，真横（左右）にくる通路が見切れないように，YOLO に入力する前の段階で画像の前処理を行う。

そこで， Fig. 3.3(b) に示すような画像の前処理を行なった。この処理では，320*640 の全天球カメラ画像の左端を切り取り，右端に貼り付けるということを行なった。



(a) no processing image



(b) preprocessing image

Fig. 3.3: Preprocessing of spherical camera images

3.3 YOLO のデータセット作成

YOLO のモデル作成のため、自作のデータセットにより学習を行う。学習に使うデータは津田沼キャンパス 2 号館 3 階で収集した。また、データセットの一例を Fig. 3.4 に示す。また、データセットのクラスは Table 3.1 の 11 クラスで設定した。先行研究では、8 つの形状タイプの通路の認識を行なったため、本研究でも先行研究と同様の通路認識を行う。次に、YOLO の出力として得られた通路の情報に基づき、を参考にし、画像中の通路が認識された箇所を場合分けし、通路の形状を決定する。

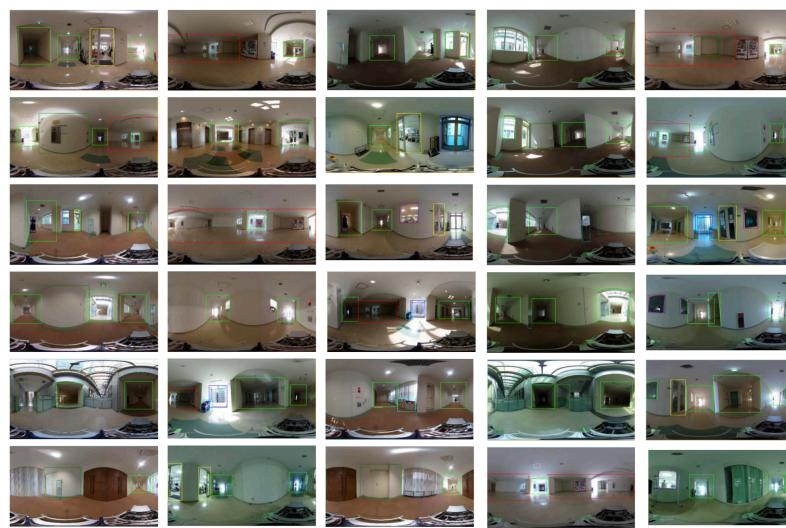


Fig. 3.4: An example of a dataset.

Table 3.1: Class name to be labeled.

name of the class
aisle
end
door_end
human
door
step
square
vending_machine
trash_can
signboard
window

第4章

実験

4.1 実験の手順

提案した通路認識の手法を 2 つのフェーズに分けて検証する。1 つ目のフェーズでは事前に実験環境で取得した画像データを用いて通路の認識ができるか検証する。また、2 つ目のフェーズでは機体に搭載したカメラからリアルタイムに取得する画像データを用いて通路認識を行い、トポロジカルマップとシナリオによるナビゲーションに適用し、先行研究の LiDAR を用いた手法と比較して有効性を検証する。実験環境は Fig. 4.1 に示す千葉工業大学津田沼キャンパス 2 号館 3 階の廊下とした。

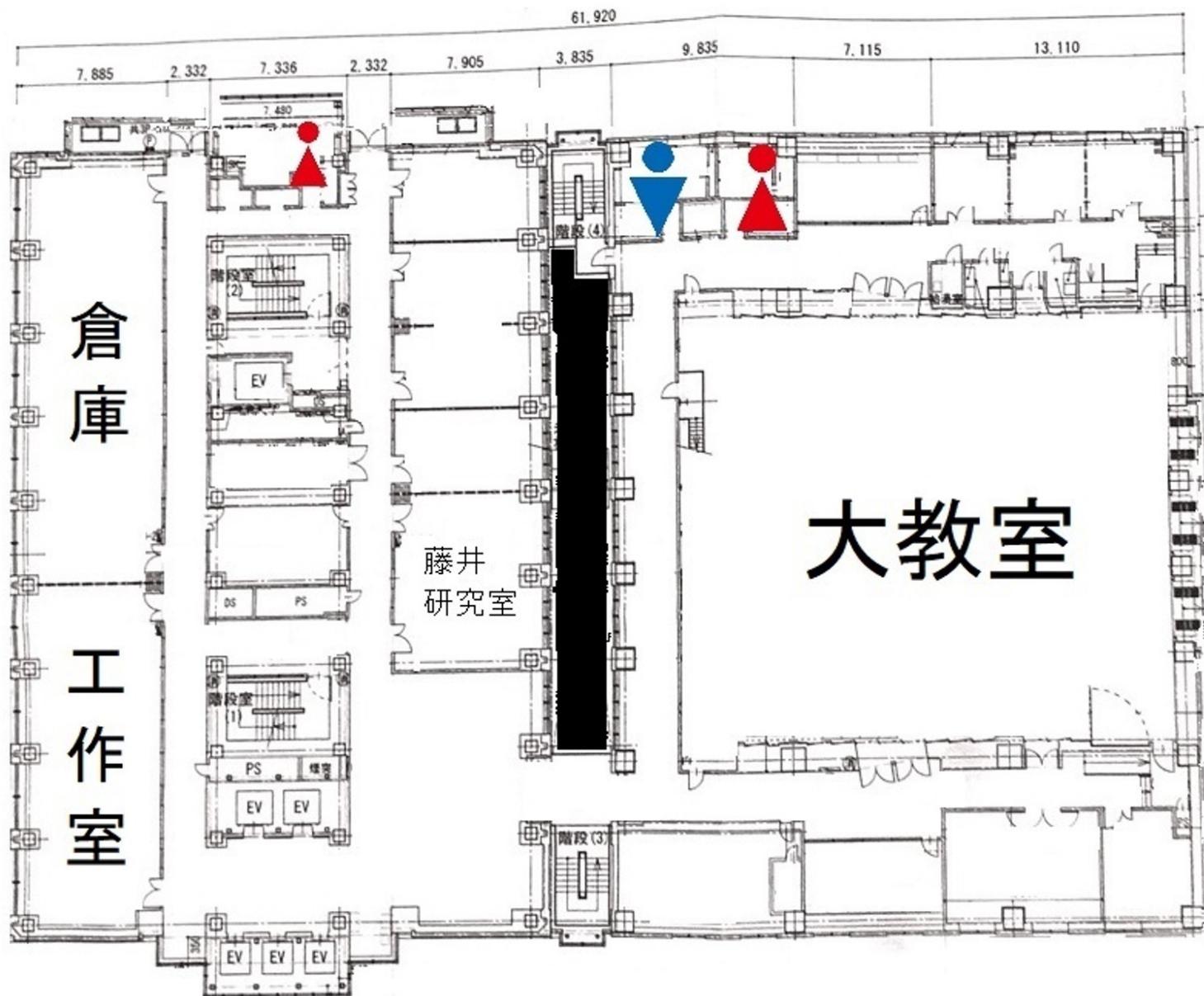


Fig. 4.1: Experiment environment

4.2 実験装置

実験には本研究室で開発をしている ORNE- を用いた。また、機体とその構成、使用した PC のスペックをそれぞれ Fig. 4.2 , Table ?? , Table 4.1 に示す。



Fig. 4.2: robot

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

Table 4.1: Specification of PC.

4.3 実験1 事前取得のデータを用いた通路認識の検証

4.3.1 実験目的

実験1では、あらかじめ実験環境で取得していた画像データを用いて通路の認識ができるか検証する。

4.3.2 実験方法

実験環境で取得した Fig. ?? に示すような画像を YOLO に入力し、出力されたバウンディングボックスの情報とクラスの属性情報をテキストファイルに保存する。次に、保存したテキストファイル

ルを読み込み，通路のタイプを判定する．用意した画像12枚を上記の方法で1枚ずつ読み込み，そこには写っている通路の認識を行う．

4.3.3 結果

4.3.4 考察

4.4 実験2 ナビゲーション適用時の通路認識の検証

4.4.1 実験目的

4.4.2 実験方法

4.4.3 結果

4.4.4 考察

第5章

まとめ

謝辞

本研究を進めるにあたり、熱心にご指導を頂いた林原靖男教授に深く感謝いたします。また、島田先輩には研究を引き継がせていただき、多くの知識や経験をもとに研究のサポートをしていただきました。また、高橋先輩にも多くのサポートをいただきました。日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いたロボット設計制御研究室の皆様に謝意を表します。

参考文献

- [1] 島田滉己 , 上田隆一 , 林原靖男 , ”トポロジカルマップを用いたシナリオによるナビゲーションの提案 一人が道案内に用いる情報の取得と評価ー”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会’20 予稿集 , 2P1-K02 (2020)
- [2] 島田滉己 , 上田隆一 , 林原靖男 , ”トポロジカルマップを用いたシナリオによるナビゲーションの提案 ーシナリオに基づく実ロボットのナビゲーションー”, 1H2-04 , SI2020 (2020)
- [3] Redmon, Joseph, et al. "You only look once: Unified, real-time object detection." Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016.
- [4] Redmon, Joseph, and Ali Farhadi. "YOLO9000: better, faster, stronger." Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2017.
- [5] Redmon, Joseph, and Ali Farhadi. "Yolov3: An incremental improvement." arXiv preprint arXiv:1804.02767 (2018).
- [6] Bochkovskiy, Alexey, Chien-Yao Wang, and Hong-Yuan Mark Liao. "Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection." arXiv preprint arXiv:2004.10934 (2020).
- [7] 澤橋遼太 , 細田佑樹 , 町中希彰 , 山崎亮太 , 定國裕大 , 草刈亮輔 , 黒田洋司 (2018)Edge-Node-Graph 及び分岐点検出に基づく道なり走行ナビゲーションシステムの開発 第 23 回ロボティクスシンポジア No.18-3 , pp.67-72