

# 物体の潜在的な占有空間を考慮した自律移動ロボットの経路決定

張 斌<sup>†</sup> 仙石 龍司<sup>†</sup> 児玉 雅人<sup>†</sup> 金子 正秀<sup>‡</sup> 林 憲玉<sup>‡</sup>

神奈川大学<sup>†</sup> 電気通信大学<sup>‡</sup>

## 1. 概要

実生活空間において、自律移動ロボットは障害物を回避する必要があるが、物体の潜在的な占有空間も回避する必要がある。ここで、物体の潜在的な占有空間とは、物体の周辺の場所で、物が無いが、潜在的に物体に使用されている空間である。例えば、ドアや大型展示品の周辺の場所は、潜在的に使用されているため、人間ならできるだけ回避している。自律移動ロボットは自然に移動するため、人間と同様に回避する必要がある。やむを得ず回避できないときには、素早く通過する。そこで、本稿は物体の潜在的な占有空間を考慮した自律移動ロボットの経路決定手法を提案する。

## 2. 研究方法

物体の潜在的な占有空間を理解するためには環境にある様々な物体を認識し、その物体の特性を反映可能な環境地図を生成する。地図生成については SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) により行う。次に、物体の特性によって、周りの潜在的な占有空間を占有確率モデルで表し、目的地が設定されたら、最短的なグローバル経路を生成する。ただし、最短経路を生成する際に、物体の潜在的な占有空間を障害物と同様に回避する。経路が存在しない場合やコストが高すぎる場合のみ、潜在的な占有空間を通過可能とする。その後、ロボットをグローバル最短経路に従って、移動させる。具体的には最短経路から等間隔でサブゴールを生成し、ロボットにサブゴールに向けて、統合ポテンシャル場により移動速度と方向を計算する。統合ポテンシャル場法とはサブゴールからの引力場と障害物や物体の潜在的な占有空間からの斥力場を統合し、その統合ポテンシャル場の勾配方向にロボットを移動させる方法である。ここで、潜在的な占有空間の斥力場は障害物と違い、空場所より大きく、障害物より小さくなる。そうすることで、ロボットができるだけ回避するが、やむを得ないは通過可能になり、素早く通過する。

Path Planning of An Autonomous Mobile Robot Considering Potential Occupied Space of Objects

<sup>†</sup>Bin Zhang, Ryuji Sengoku, Masato Kodama, Hun-ok Lim, Kanagawa University

<sup>‡</sup>Masahide Kaneko, The University of Electro-Communications

## 2.1 潜在的な占有空間を反映した地図生成

ロボットに LRF (Laser Range Finder) を搭載し、周囲の障害物までの距離情報を取得し、不動領域グリッドマップを基づいた SLAM で環境地図を生成する [3]。地図生成中には、ロボットに搭載した RGB-D センサにより、障害物のカラー画像情報と 3 次元距離情報を取得し、YOLO で物体認識した結果とともに、3 次元の形状情報を地図に投影する。認識した物体の種類によって、周囲の潜在的な占有空間を設定する。その範囲は事前の調査で定義する。

## 2.2 最適経路決定

ロボットの目的地を設定されたら、最適な移動経路の生成手法を論じる。生成された地図を用いて、ダイクストラ法により、通過可能な領域で目的地までの最短経路を生成する。通過可能な領域とは、障害物と物体の潜在的な占有空間が含まれていない領域である。経路がない場合のみ、物体の潜在的な占有空間を通過可能な領域に変化する。具体的には、通過可能な領域に等間隔でグリッド点を配置し、ロボットの位置からの最近グリッド点から、ゴール位置からの最近グリッド点までの移動経路はダイクストラ法で計算できる。ロボット位置、移動経路上のグリッド点、ゴール点を繋がり、最終的な最適経路を生成する。

## 2.3 ロボットの移動制御

最適経路から等間隔でサブゴールを生成し、引力場を式 (1) のよう設定し、式 (2) で引力を計算する。静的な障害物の潜在的な占有空間範囲内に固定値の斥力場を設定し、一定の斥力をロボットに与える。動的障害物とその潜在的な占有空間に斥力場を式 (3) のように設定する。ロボットが受けられる引力と斥力は式 (2) と (4) でそれぞれ計算する。

$$P_a = k_a / 2 \times d_s^2 \quad (1)$$

$$F_a = k_a \times d_s \quad (2)$$

$$P_r = \begin{cases} \infty & , d_1 < d_0 \\ \frac{k_o}{d_1 - d_0} & , d_1 > d_0 \end{cases} \quad (3)$$

$$F_r = \begin{cases} \infty & , d_1 < d_0 \\ \frac{k_o}{(d_1 - d_0)^2} & , d_1 > d_0 \end{cases} \quad (4)$$

$d_s$  はロボットとサブゴールの距離で、 $d_1$  は、ロボットと物体の距離であり、 $d_0$  はロボットと物

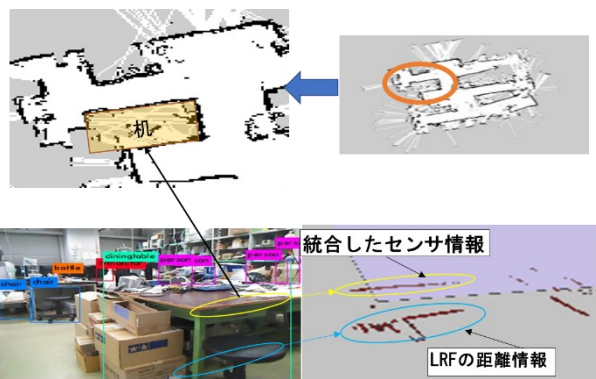
体が接近できる最小の距離である。 $k_0$ は係数で、物体の種類で決定する。

### 3. 実験

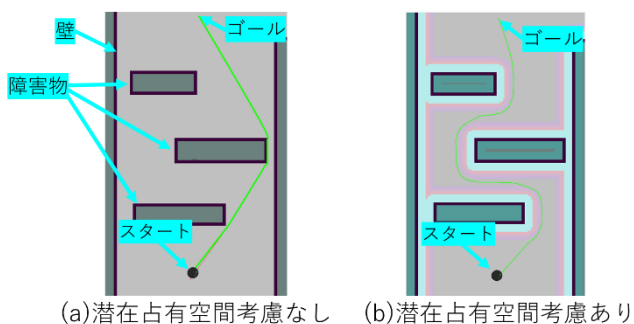
SLAM で生成した環境地図と物体周辺の潜在的な占有空間情報は Fig. 1 に示す。地図中の黒い線は障害物が存在する場所で、その周辺はロボットが近づくことが可能な最短距離と固定の斥力場である。



Fig. 1 環境地図生成の結果



(a) YOLOにより物体認識した結果 (b) 統合したセンサ情報  
Fig. 2 物体認識結果を反映した地図生成



(a) 潜在占有空間考慮なし (b) 潜在占有空間考慮あり  
Fig. 3 潜在的な占有空間を考慮した経路決定

YOLO を用いて認識した物体 (Fig. 2(a) に示す) の投影を反映した地図は Fig. 2(b) に示す。例えば、LRF センサでは机の脚部分しか検出できないが、YOLO で机を認識し、その空間領域を 3次元距離情報から抽出することで、机の全体の範囲が

検出できる。その範囲を地図上に投影し、机というラベルを付けることで、潜在的な占有空間を生成することができる。机は静的な物体で危険性がないが、机の下に通過しない方がよいという事前の設定で、全体範囲の周辺に固定の斥力場を設計する。

物体の潜在的な占有空間を考慮した上、最短経路を生成すると Fig. 3 に示したように最適な経路を生成することができる。物体の潜在的な占有空間を考慮しない場合は Fig. 3(a) の最短距離の経路を生成することができるが、危険性のある狭い場所を通過している。物体の潜在的な占有空間を考慮すると、その狭い場所では斥力場を設定しているため、ロボットが回避し、より自然な経路 (Fig. 3 (b)) を生成することができる。しかし、潜在的な占有空間の斥力場は障害物と違い、より低く設定しているため、ほかの経路がない場合は、通過可能になる。ロボットが移動し始めた後、動的な環境に対し、移動物体とその周囲の潜在的な占有空間を考慮し、リアルタイムで統合ポテンシャル場を生成し、その勾配の方向に移動するように制御する。ロボットは自然な経路 (危険そうな場所を通過しない、人の迷惑にならない) で移動することを実現する。

### 4. 結論

本稿では物や物体の潜在的な占有空間を考慮したロボットの最適移動経路決定手法を提案した。静的な環境内の物体の特性を考慮したグローバル経路は最短性と潜在的な占有空間などの危険な領域の回避性を同時に保証する。動的な環境下での障害物や潜在的な占有空間に斥力場を設定し、ポテンシャル場法で制御することで、リアルタイムで障害物と潜在的な占有空間の回避を実現する。ただし、潜在的な占有空間の斥力場は障害物より小さく設定しているため、やむを得ない場合は通過可能となる。今後は複数の人物や移動物体が存在する複雑な環境下で、提案手法の有効性を検証する。

### 謝辞

本研究は立石科学技術振興財団の助成を受けて行われた。

### 参考文献

- [1] 張斌, 仙石龍司, 中村友昭, 金子正秀, 林憲玉, “空間リスマップに基づく自律移動ロボットの移動制御,” ロボット学会学術講演会, 1F4-04, 2021.
- [2] B. Zhang, K. Shimazu and H. Lim, “Motion Control of the Autonomous Mobile Robot Considering Personal Spaces of Pedestrians,” 2020 SICE International Symposium on Control Systems (ISCS), pp. 7-11, 2020.
- [3] B. Zhang, T. Nakamura, and M. Kaneko, “A Framework for Adaptive Motion Control of Autonomous Sociable Guide Robot,” IEEJ Trans. Electrical and Electronic Engineering, vol. 11, issue. 6, pp.786-795, 2016.