

# 自律移動ロボットのための物体の潜在的な占有空間の解析

張 斌<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

近年、自律移動ロボットに関する研究が盛んに行われている[1]。ロボットが自律的に移動する際、目的地まで最短経路で移動できる手法が開発されている[2]。しかし、ロボットの社会的な受容性を向上するため、タスクを完成するだけでなく、安全かつ自然な行動が望ましい。他人に迷惑をかける行動や、心配させることを避けなくてはならない。例えば、会話中の人たちの間を通行したり、美術品の隣のような危険そうな場所で作業をしたりする行為が避けるべきである。そこで、本研究では、実物がないが、物と人物によって使われている空間を潜在的な占有空間として定義し、その概念を解析することで、ロボットの安全かつ自然な通過可能な空間を提示する。

## 2. 研究方法

日常生活空間の中では物や人物がないが、周りの物や人物に使用されている空間がある。普通に通過すると、他人の迷惑になる可能性や危険を感じる可能性があり、人間であれば、自然にそういう場所を避けて移動している。本研究ではそういう空間を潜在的な占有空間として新たに定義する。例えば、人物はパーソナルスペースを持っていることが常識で、それが本研究で扱う潜在的な占有空間の一種である。人間が動く際に、自然に回避している。それから、人物は他人（例えば複数人間の会話）や物（例えばテレビを見ている場合）とインタラクション際に、その間の空間も実際には使用されている。また、物自身でも特性（展示物や危険物など）によって、我々は近づきたくない場合もある。ロボットは日常生活空間で普及させ、社会的な受容性を向上するためには、人間のように、空間を察する機能が必要である。つまり、ロボットが移動する際に、障害物を避けるだけでなく、空間を察しながら自然な経路で動く必要がある。本節では定義した潜在的な占有空間をモデル化し、ロボット制御手法に加える方法を論じる。

## 2.1 潜在的な占有空間のモデル化

潜在的な占有空間は障害物と違い、回避すべき場所であるが、入っても衝突による損傷が発生しないため、ロボットが移動する際に、可能であれば回避するように設定し、やむを得ず回避できない場合は入っても良いが、早めに出るようにすることが必要である。そこで、本研究はポテンシャル場法を用いて、物体の潜在的な占有空間に斥力ポテンシャル場を設定し、ロボットに斥力を与えるようにする。その強さが物体の特性によって、空間の占有度 $k_1$ を評価し、設定する。ポテンシャル場は距離に応じて以下の式によって設計する。

$$P_r = \begin{cases} \infty & , d_1 < d_0 \\ \frac{k_1}{d_1 - d_0} & , d_1 > d_0 \end{cases} \quad (1)$$

物体からの斥力は式(2)を用いて計算する。

$$F_r = \begin{cases} \infty & , d_1 < d_0 \\ \frac{k_1}{(d_1 - d_0)^2} & , d_1 > d_0 \end{cases} \quad (2)$$

$d_1$ 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。

また、人物は他人や物とインタラクションをしている場合はその間に線でつながい、上限付きの斥力ポテンシャル場を別に設定する。

## 2.2 ロボットの移動制御

ロボットがポテンシャル場法によって制御される。まず、ロボットに取り付けられた距離センサ Laser Range Finder (以下 LRF という) によって得られた距離情報により、人物と障害物を認識する。次に、ロボットは、目的地からの引力と本研究で提案した潜在的な占有空間からの斥力の合力を元にポテンシャル場を生成し、移動を行う。しかし、混雑環境では、上記のポテンシャル場によって目的地以外の局所最小点が複数できてしまうため、ロボットが局所極点に停止してしまうデッドロックが発生する可能性がある。その場合には、ラプラスポテンシャルにより得られるポテンシャル場を用いる[3]。

## 3. シミュレーション

提案手法の有効性を確認するために、シミュレーション実験を行った。物や物体からの斥力ポテンシャル場は式(1)のように設定する。

ロボットが目的地まで移動するため、ダイクストラ法で最短経路を生成し、経路上に等間隔でサンプリングし、サブゴールを生成する。引

力はサブゴールから以下のように与える。

$$F_2 = k_2 \times d_2 \quad (3)$$

$d_2$ はロボットとサブゴールの距離である。

したがって、ポテンシャル場は以下の式によって設計する。

$$P_2 = k_2/2 \times d_2^2 \quad (4)$$

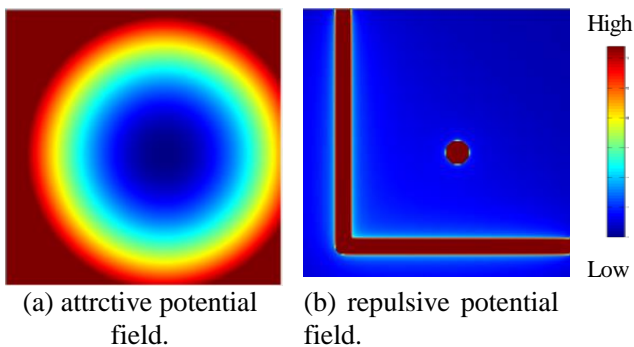


Fig. 1. Artificial potential field.

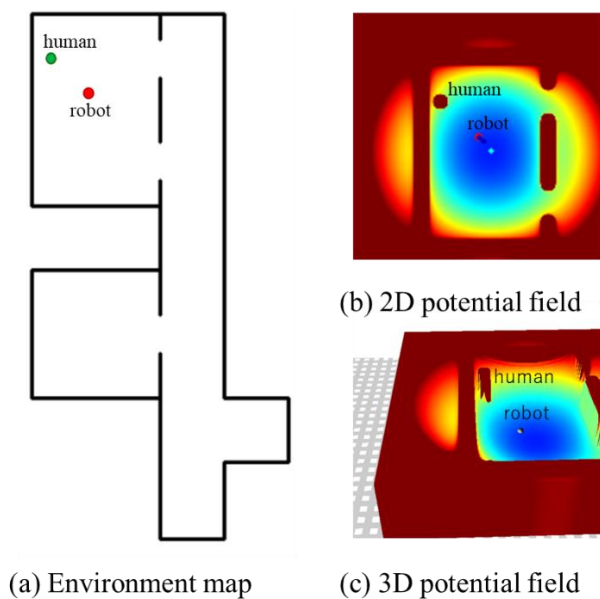


Fig. 2. Potential field-based robot control.

図1の(a)(b)はそれぞれ生成された引力、斥力ポテンシャル場である。色が青から赤に変化するとともに、ポテンシャル場は高くなっていく。したがって、青い場所は引力ポテンシャル場で赤い場所は斥力ポテンシャル場である。図1の(a)はサブゴールからの引力ポテンシャル場で、サブゴールは青い中止に設定されている。図1の(b)は壁と人物から斥力ポテンシャル場を示している。特に、壁に沿って移動するのも不自然なので、壁も人物と同様に潜在的な占有空間を設定した。そもそも線(壁)や点(人物)になっている物はポテンシャル場では長方形や円形になっている。

本シミュレーションは図2の(a)のような環境で実験を行った。左側には部屋二つがあって、右側には廊下となっている。環境には一人の自由に移動できる人物を設定した。実験中に人物の移動は手動で調整し、ロボットの反応を観察した。移動タスクはロボットを図2(a)に示したロボットの場所から廊下を通し、右下側の空きスペースまで通過させた。

実験結果として、ロボットが無事に目的地まで移動できた。それから、壁と常に一定の距離以上を維持した。人物とも一定の距離を維持したが、人物の向きと壁との相対距離に合わせて、壁の近くにおり、壁側に向かっている場合は壁とインタラクションをしていると判断し、ロボットがその間に通過しないようにした。図2の(b)と(c)は統合ポテンシャル場の一例である。ロボットがサブゴールからの引力と人物や物からの斥力を同時に作用されて、その時の統合ポテンシャル場の一番低い(一次微分)方向に移動する。(b)と(c)はそれぞれ2次元と3次元のポテンシャル場の分布になっており、人物や壁から潜在的な占有空間の斥力ポテンシャル場を作用されている。

#### 4. 結論

本研究では物や物体の潜在的な占有空間を定義し、その形成過程をモデル化した。ロボットが物体の潜在的な占有空間を考慮し、経路決定と自律移動する際に、潜在的な占有空間にできるだけ入らないように制御した。シミュレーション実験によって、制御方法の有効性を確認した。今後の予定は潜在的な占有空間のモデルの妥当性を対人実験で確認する上、制御方法の有効性を実機で検証する。また、ロボットに効率的な行動を取らせるため、やむを得ずに人物の潜在的な占有空間に入ったとしても、一言を謝ることで、他人不快感を減らすようにする。

#### 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP16K00351 の助成を受けて行われた。

#### 参考文献

- [1] R. Siegwart, I. Nourbakhsh and D. Scaramuzza, "Introduction to Autonomous Mobile Robots (2nd Ed.)," MIT Press, 2011.
- [2] 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.
- [3] 中澤和至、高橋桂太、金子正秀: "動的環境に適応したポテンシャル場の生成に基づく並走・縦走ロボットの移動制御," 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), vol. 134, no. 2, pp. 293-302, 2014.