

予測ポテンシャル場による二輪移動ロボットの障害物回避

東京都立大学 機械システム工学科 児島研究室 B4 大谷 蓮

1. はじめに

- ロボットの安全な経路計画のためには障害物を考慮する必要があり、障害物回避を含むロボットの経路計画には**ポテンシャル法**を用いた研究が進められている^{[1][2]}.



Fig. 1 : Khepera IV

- 未知環境における移動ロボットの安全かつ効率的な経路計画には**障害物の情報を的確に集約**することが必要である。

研究目的

- ✓ 未知環境における**障害物に対応したポテンシャル場**の形成

2. 障害物回避

■ ポテンシャル法

- 障害物と目標位置の座標にポテンシャル関数を定義し、その勾配からロボットの進行方向に**人工的な斥力と引力を発生させる**方法。

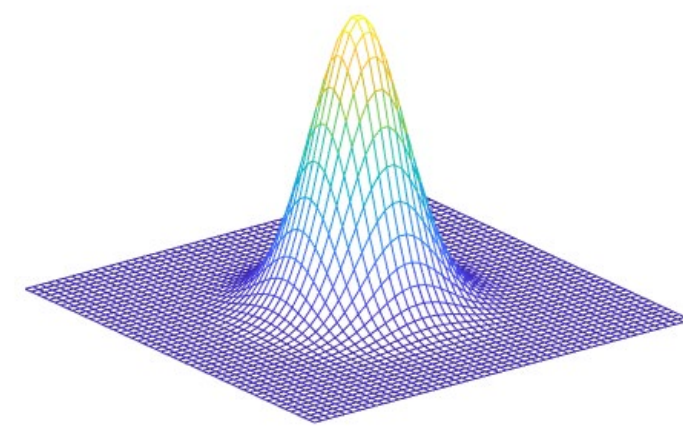


Fig. 2 : Potential method

■ 従来のポテンシャル法と課題

- ロボットに最も近い点にポテンシャル関数をその都度生成するので、最終的なポテンシャルが1つにまとまらない^[1].
- 検知した障害物の座標にポテンシャルを生成し、そのすべてから勾配を計算するので必要以上に回避する可能性がある^[2]. (=作業効率の低下)

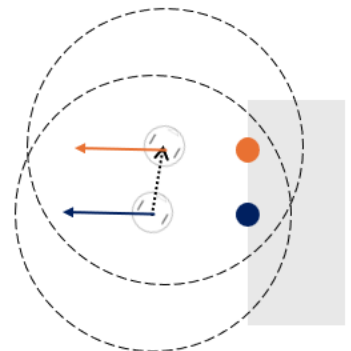


Fig. 3 : Traditional method^[1]

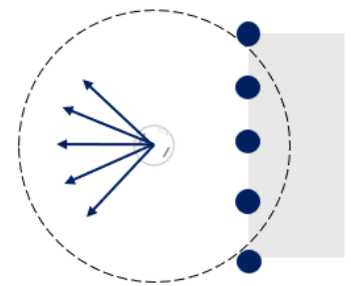


Fig. 4 : Traditional method^[2]

提案ポテンシャル場

上記の課題を解決するために新たに**ガウス過程回帰**^[3]を用いてポテンシャル場を生成する。

■ ガウス過程回帰

学習データからパターンを見つけ、まだ見ていない予測データの傾向を予測する方法。

- カーネル関数 k を導入することでガウス過程に必要な共分散行列を計算で求められる。

$$\text{カーネル関数: } k(X_1, X_2) = \sigma_f^2 \exp\left(-\frac{\|X_1 - X_2\|^2}{2l^2}\right)$$

$$\text{共分散行列: } \begin{pmatrix} K & k_* \\ k_*^T & k_{**} \end{pmatrix}$$

- 共分散行列の要素を使用して予測点での**期待値と分散**が得られる。

$$\text{期待値: } k_*^T K^{-1} y \quad \text{分散: } k_{**} - k_*^T K^{-1} k_*$$

- 計算された**期待値からポテンシャル場を形成**する。

3. データ点の取り方

ロボットと障害物の最短距離をもとに学習データの入出力を $dt[s]$ 毎に取得し、設定した予測点での出力の期待値をガウス過程回帰から計算する。

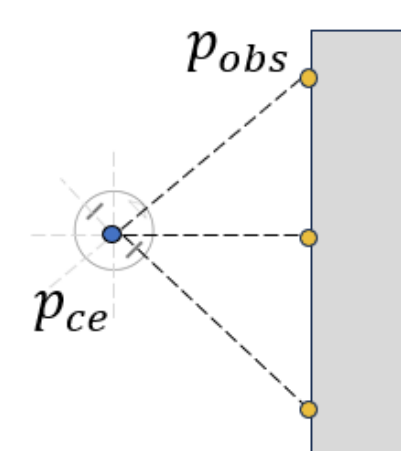


Fig. 5 : Methods of Collecting Data Points

➤ 学習データ

入力: $X(x_1, x_2) = p_{ce}$

$$\text{出力: } y = k \left(\exp\left(-\frac{(\min\|p_{ce} - p_{obs}\|^2)}{\sigma}\right) - \exp\left(-\frac{D^2}{\sigma}\right) \right) \text{ if } \min\|p_{ce} - p_{obs}\| \leq D$$

入力: $X(x_1, x_2) = p_{obs}$, 出力: $y = k$

p_{ce} : ロボットの重心座標 p_{obs} : 障害物の座標 D : センサ範囲 $k=10$ $\sigma=500$

➤ 予測データ

入力: $X^*(x_1, x_2) = \{240 \times 170 \text{ の格子点} \}$

カーネル関数 k から共分散行列を計算

$$\text{出力: } y^* = k_*^T K^{-1} y \text{ (期待値のみ使用)}$$

学習データの出力 y と予測データの出力 y^* からエリア全体のポテンシャル場が推定可能。

4. シミュレーション結果

1台のロボットでの障害物回避の比較を以下に示す。

■ ポテンシャル場の比較

従来法

$$U = \sum_{obs \in N} k \exp\left(-\frac{\|p_{ce} - p_{obs}\|^2}{\sigma^2}\right)$$

提案法

$$U = y^*$$

- 検知した N 個の障害物座標を足し合わせた関数を構成する
- 求められた格子点上の障害物が存在する期待値から、数値的に勾配を計算し、ロボットの移動方向に反映させる。

■ 制御則

目標速度追従と障害物回避を同時に実現する制御則を適用する。

$$u = B^{-1}v, v = u^{co} + u^{oa}$$

$$(u^{co} = -c_o \nabla U, u^{oa} = -k_{vr}(v - v^*), B = \begin{bmatrix} \cos\theta & -d\sin\theta \\ \sin\theta & d\cos\theta \end{bmatrix})$$

■ シミュレーション結果

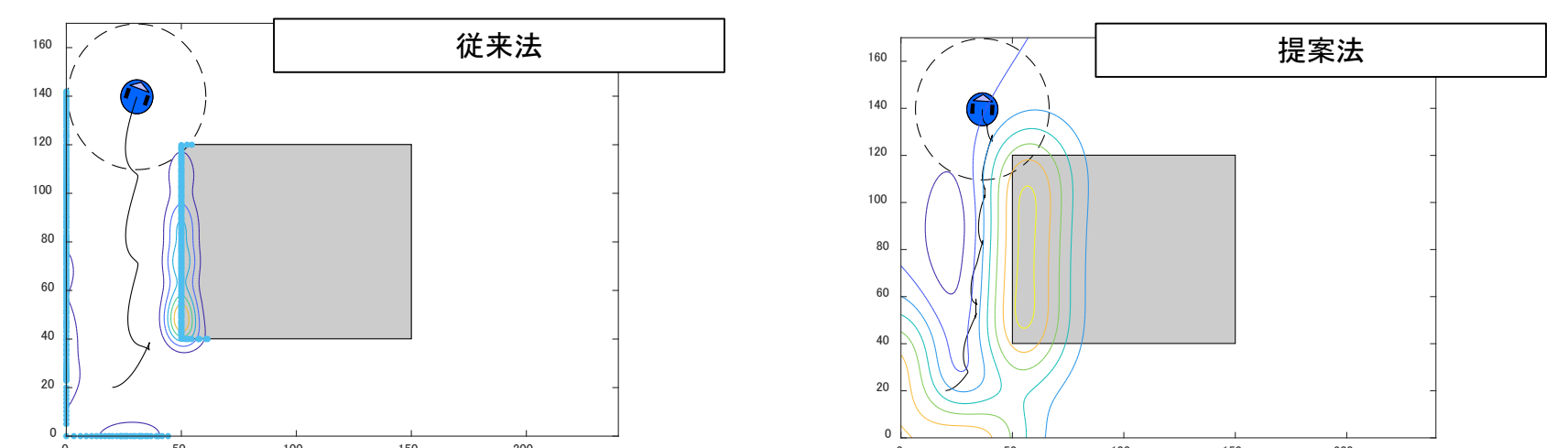


Fig. 6 : Generated potential field and locus

- 提案法は従来法と比較して、**経路が短く**効率の良い回避が確認される。
- 提案法は時間経過によるポテンシャル場の**最大値の増加が緩やかで大きな旋回が少ない**。

5. まとめと今後の展望

- ロボットの観測情報から、**ポテンシャル場を予測生成**する方法を提案した。
- 従来法と比較して、**計算時間が短く、効率のいい回避行動**が見られた。
- 複雑形状や動的環境への影響を考慮した制御について検討していきたい。

参考文献

- [1]宮崎, 鷹羽: 障害物回避を考慮した移動ロボット群のフォーメーション制御, システム制御情報学会論文誌, 28-2, 50/57 (2015)
- [2]彌城, 江口, 岩崎, 山内, 中田: ポテンシャル法によるロボット製品の障害物回避技術の開発, 三菱重工技報, 51-1, 40/45 (2014)
- [3]持橋, 大羽: ガウス過程と機械学習, 講談社, (2019)