

# 二輪移動ロボット群のフォーメーション形成とその速度情報を用いた障害物回避

東京都立大学 システムデザイン学部 機械システム工学科 B4 宮原優太 (児島研究室)

## 1. はじめに

- ・ 極限環境下において作業効率を向上させるために**群ロボット**の適用が期待されている[1].
- ・ 移動ロボットの安全かつ効率的な経路計画にはロボットの**速度に応じた障害物回避**を行うことが求められる.



Fig.1 : Khepera IV

### 研究目的

- ✓ 複数台の二輪移動ロボットによる**フォーメーション形成**
- ✓ ロボットの速度に応じた**障害物回避**

## 2. フォーメーション形成

二輪移動ロボット特有の速度拘束を適切に表現するために**仮想構造** (Fig.2) を導入する[2].

### 移動ロボットモデル

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_i \\ \dot{y}_i \\ \dot{\theta}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & 0 \\ \sin \theta_i & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i \\ \omega_i \end{bmatrix}$$

### 仮想ロボットモデル

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{ri} \\ \dot{y}_{ri} \\ \dot{\theta}_{ri} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_i \\ B_{\theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i \\ \omega_i \end{bmatrix} \cdot B_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -x_{di} \sin \theta_i - y_{di} \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & x_{di} \cos \theta_i - y_{di} \sin \theta_i \end{bmatrix}$$

$$\cdot B_{\theta} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix}$$

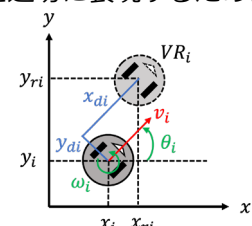


Fig.2 : Virtual structure

$i$  番目の仮想ロボットについて、目標フォーメーション形成時の目標位置を  $r_i^*$ , 現在位置を  $r_i$  として、偏差  $\hat{r}_i$  を設定する.

$$\hat{r}_i = r_i - r_i^*, \quad r_i = [x_{ri} \quad y_{ri}]^T$$

このとき、フォーメーション形成は**仮想ロボットの合意問題**に帰着できる.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|\hat{r}_i(t) - \hat{r}_j(t)\| = 0$$

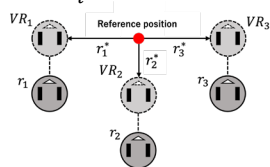


Fig.3 : Formation image

### フォーメーション形成のための制御入力

ロボット間で位置と速度の情報交換が可能であるとする、以下のような制御入力  $u_i^{co}$  を用いることができる[3].

$$u_i^{co} = -k_{vr}(v_{ri} - v_i^*) - \sum_{j \in N_i} (\tilde{k}_i (\hat{r}_i - \hat{r}_j) + k_v (v_{ri} - v_{rj}))$$

$k_{vr}, \tilde{k}_i, k_v > 0$  : フィードバックゲイン,  $v_i^*$  : 目標速度

## 3. 障害物回避<sup>[4]</sup>

### 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, 引力を発生させる手法**.

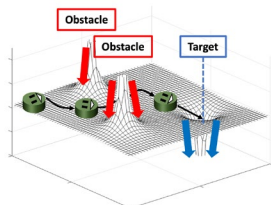


Fig.4 : Potential method

### 従来のポテンシャル関数の問題点

- ・ ロボットの速度に応じて毎回設計パラメータをうまく調節する必要がある.
- ・ ポテンシャルが**一様に分布しているため**, 安全に障害物回避を行うために設計パラメータを大きく設定すると障害物を必要以上に回避する可能性がある。(=作業効率の低下)

### 提案ポテンシャル関数

上記の課題を解決するために新たに次式のポテンシャル関数を導入する[5].

$$U_i^o = \sum_{j \in N^o} \exp \left\{ \frac{-((x_i - x_{oj}) \cos \theta_i + (y_i - y_{oj}) \sin \theta_i / w_i)^2}{a^2} - \frac{(-(x_i - x_{oj}) \sin \theta_i + (y_i - y_{oj}) \cos \theta_i)^2}{r_{oj}^2} \right\}, u_i^{oa} = -c_o \nabla_{r_i^R} U_i^o$$

$w_i = 1 + v_i$ ,  $v_i$ : ロボット  $i$  の速度,  $x_{oj}, y_{oj}$ : 障害物の座標  
 $r_{oj}$ : 円形障害物の半径,  $a, c_o$ : 設計パラメータ

ロボットの速度が関係する  $w_i$  によってポテンシャルの分布が適宜変化するため、安全かつ効率的な回避行動が期待される.

### 制御則

フォーメーション形成と障害物回避を達成する制御入力を加える制御則を各ロボットに適用する.

$$u_i = B_i^{-1} v_{ri}, \quad \dot{v}_{ri} = u_i^{co} + u_i^{oa} \quad (u_i = [v_i \quad \omega_i]^T, \quad v_{ri} = [\dot{x}_{ri} \quad \dot{y}_{ri}]^T)$$

ここで、フォーメーション形成よりも障害物回避を優先して行うよう  $\tilde{k}_i$  を以下のように設定する.

$$\tilde{k}_i = \begin{cases} \frac{k_i}{1 + D_a - d_{\min,i}^o} & (0 < d_{\min,i}^o \leq D_a) \\ k_i & (D_a < d_{\min,i}^o) \end{cases}$$

$d_{\min,i}^o = \min_{j \in N^o} (\|r_i^R - r_j^o\|)$ ,  $D_a$ : 設計パラメータ

## 5. シミュレーション・実機実験

2台のロボットがフォーメーションを形成し、障害物回避を行うシミュレーションと実機実験を行う. なお、ロボットには障害物の情報を与えている.

Table1 : Relative coordinates

	$k_{vr}$	$k_i$	$k_v$	$a$	$c_o$	$D_a$
Simulation	1	0.1	0.1	20	1000	20
Experiment	0.5	0.1	0.5	40	500	10

Table2 : Conditions

	$r_1^*$ [cm]	$r_2^*$ [cm]
Simulation	$[-50 \quad 0]^T$	$[50 \quad 0]^T$
Experiment	$[-15 \quad 0]^T$	$[15 \quad 0]^T$

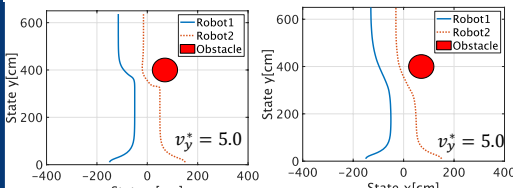


Fig.5 : Simulation result

・ 提案法では従来法と比べて短い経路で滑らかに回避できている.

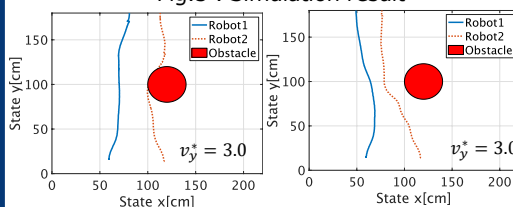


Fig.6 : Experimental result

・ 従来法では回避できていない障害物を提案法では滑らかに回避できている.

## 6. まとめ、今後の予定

- ・ フォーメーション形成を基本としてロボットの速度を考慮した障害物回避を達成する制御則を提案し、有効性を検証した.
- ・ 未知の障害物を回避する制御法の検討を行う.

### 参考文献

- [1] 橋, 森, 滑川: 外乱を考慮したマルチエージェントシステムの協調制御, 計測自動制御学会論文誌, Vol.50, No.9 (2014)
- [2] 池田 高, J.Jongsuk, 池田 貴, 美多: ノンホロノミック車両のフォーメーション制御, IEEJ Trans. IA, Vol.124, No.8, pp.814-819 (2004)
- [3] 吉岡, 滑川: 仮想構造を用いたマルチビークルシステムのフォーメーション制御, 第7回制御部門大会 (2007)
- [4] 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, Vol.28, No.2, pp.50-57 (2015)
- [5] 皆川, 曹: ポテンシャル法を用いた動的障害物との衝突回避, 平成30年電気学会全国大会, pp.204-205 (2018)