

経路生成ポテンシャルを用いた 移動ロボットのフォーメーション制御

首都大学東京 知能機械システムコース B4 本山 耕大 (児島研究室)

1. はじめに

- ・極限環境下などで人間の代わりに作業できるロボットの適用が期待されている[1].
- ・複数台のロボットに対し、安全に移動できる経路を生成・協調的に作業させることは重要な課題である.



Fig. 1 : Khepera IV

研究目的

- ・複数のロボットによるフォーメーション形成を達成する.
- ・双曲線型ポテンシャル関数による経路生成を行う.

2. フォーメーション形成

仮想ロボットモデル[2] (Fig. 2) を利用し、二輪移動ロボットの速度拘束を表現する.

移動ロボットモデル[2]

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

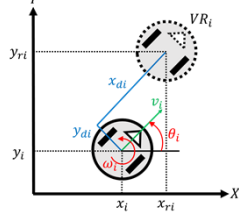


Fig. 2 : 仮想ロボットモデル

仮想ロボットモデル[2]

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{ri} \\ \dot{y}_{ri} \\ \dot{\theta}_{ri} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_i \\ B_\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i \\ \omega_i \end{bmatrix}$$

$$\cdot B_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -x_{di} \sin \theta_i - y_{di} \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & x_{di} \cos \theta_i - y_{di} \sin \theta_i \end{bmatrix}$$

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

★フォーメーション形成→全ての仮想ロボットの状態が一致
i 番目の仮想ロボットについて、以下のように \hat{r}_i を設定する.

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

・ r_i^* : フォーメーション形成時の目標位置

ロボットのフォーメーション制御は以下の仮想ロボットの合意問題になる.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|\hat{r}_i(t) - \hat{r}_j(t)\| = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} |\theta_{ri}(t) - \theta_{rj}(t)| = 0$$

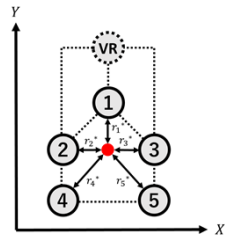


Fig. 3 : フォーメーション形成

制御則①[2]

ここでは、ロボット間で位置と速度の情報が交換可能として、以下のような制御則を設定する.

$$u_i = B_i^{-1} v_{ri} \quad \cdot u_i = [v_i \quad \omega_i]^T, \quad v_{ri} = [\dot{x}_{ri} \quad \dot{x}_{ri}]^T$$

$$\dot{v}_{ri} = -k_{vr}(v_{ri} - v_i^*) - \sum_{j \in N_i} (k_i(\hat{r}_i(t) - \hat{r}_j(t) + k_v(v_{ri} - v_{rj})))$$

・ k_i, k_v, k_{vr} : フィードバックゲイン

3. 障害物回避

ポテンシャル法[3]

障害物と目標位置の座標にポテンシャル関数を定義し、その関数の勾配(座標成分ごとの偏微分)からロボットの進行方向に人工的な斥力・引力を発生させる方法.

なお、ここでは目標位置にのみポテンシャル関数を定義することにする.

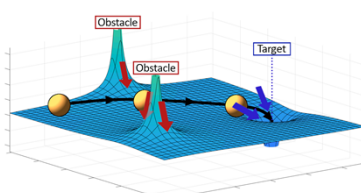


Fig. 4 : ポテンシャル場のイメージ

制御則②

今回は次式のポテンシャル関数を用いる.

$$U_i^t = b \sqrt{\left(\frac{\|r_i^R - r_i^t\| * (\alpha / \|r_i^o - r_i^t\|)}{a} \right)^2 + 1}$$

・ r_i^R : 現在位置, r_i^o : 初期位置, r_i^t : 目標位置

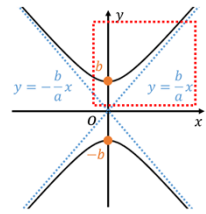


Fig. 5 : 双曲線のグラフ

制御則①の目標速度 v_i^* を以下のように定める.

$$v_i^* = -\nabla_{r_i} U_i^t$$

- ・ ロボットが目標位置から離れているとき
→ グラフの傾き一定 → 速度一定で移動する
- ・ ロボットが目標位置に近いとき
→ 傾きが0に近づく → 徐々に速度が小さくなり、停止する

4. シミュレーション・実機実験

2台のKhepera IVに対し、シミュレーションと実機実験を行い提案手法の実装性を確認する.

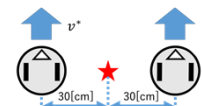


Fig. 6 : 目標フォーメーション

Table 1 : 初期位置

	x [cm]	y [cm]	θ [rad]
Robot 1	22.8	66.7	1.53
Robot 2	117.7	62.6	1.46

Table 2 : パラメータ

(x_{di}, y_{di}) [cm]	r^t [cm]	k_i	k_v	k_{vr}	a	b	α
(10, 0)	(150, 150)	0.1	0.1	5	1	250	10

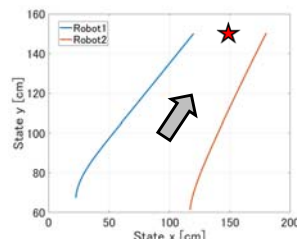


Fig. 7 : シミュレーション結果

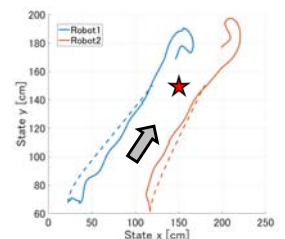


Fig. 8 : 実験結果

- ・ シミュレーションでは目標位置で停止しているが、実験では通り過ぎている.
- ・ 1台で同様の実験を行ったところ、停止はしないものの、目標位置の周辺で留まっていることが分かる.
- ・ フォーメーション形成の制御入力とポテンシャル関数による速度入力がかさねている可能性がある.

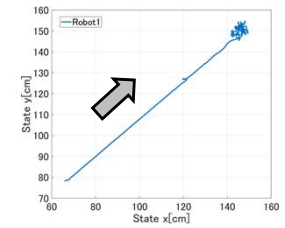


Fig. 9 : 実験結果 (1台)

5. まとめと今後の方針

- ・ フォーメーションを形成と目標位置までの経路生成を両立し、一定の速度で移動させることに成功した.
- ・ 双曲線の形状を用いた速度の調整がうまくいかなかったため、目標速度の設定方法を改善する.

参考文献

- [1] 滑川: "分散型モデル予測制御に基づくマルチUAVのフォーメーション制御", システム/制御/情報, Vol. 61, No. 2, pp. 69-75, 2017
- [2] Yoshioka, Namerikawa: "Formation control of nonholonomic multi-vehicle systems based on virtual structure", Proceedings of 17th World Congress The International Federation of Automatic Control, pp. 5149-5154, 2008
- [3] O. Khatib: Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots, International Journal of Robotics Research, 5, 1, pp.90-98 (1986)