

A-29 幾何学的相互作用を用いた未知環境における群ロボットの分散移動制御手法

柿内隆成*, 李根浩**, 渡辺拓哉**, 石川陽太**

(*宮崎大学工学部, **宮崎大学大学院工学研究科)

1. 緒言

近年、タンカー事故による海洋汚染が問題となっており、迅速な対応が求められる。この状況に対して、コストや耐故障性に優れた多数台のロボットによる協調動作が有効な解決策となる。こうした協調動作には、個々のロボットが環境に適応し、進行することが重要である[1]。

本研究は、自律分散制御により、未知環境におけるロボットの群行動を実現する。各ロボットが隣接する三台と相互作用し、幾何学的に単純な正四面体の配置を維持することで、障害物に合わせて分裂・統合し、未知環境を進むことが可能となる。本稿では、この手法を提案し、シミュレーションと定量的評価からその有効性を示す。

2. 分散移動制御手法

本手法のフローチャートを図1に示す。入力はいずれも各時間における任意のロボットに対して、その観測範囲から得られる他ロボットの位置と障害物の情報である。まず、ロボットは観測範囲内の障害物や他群を検知し、Goal detectionを実行して障害物または他の群れに適応するよう進行する方向を決定する。次に、Neighbor selectionを実行して目標位置に対して先頭であるかを判断し、隣接ロボットを選択する。最後に、Local interactionを実行して選択された三台の隣接ロボットと自身の位置から、図2に示すような正四面体を構成するように目標位置を計算し、その位置へ移動する。これらの動作を再帰的に繰り返すことで、群れは任意の間隔の正四面体配置を維持しながら目標に向かって移動する。

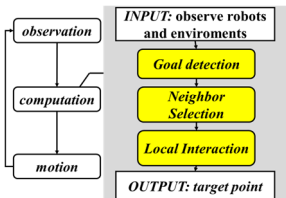


図1 分散的移動制御手法のフローチャート

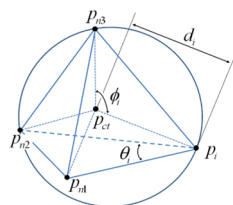


図2 ロボットが構成する正四面体

3. 分散移動制御手法における Motion Control

次に四台のロボットが正四面体の各頂点へ移動するMotion controlについて述べる。まず、図2に示すように目標とする正四面体 $p_i p_{n1} p_{n2} p_{n3}$ とその外接球を重心が p_{ct} 、半径が d_r 、ロボットの間隔が d_c と定義する。正四面体の幾何学的性質により位置 p_i にあるロボットの動作を生成するために p_{ct} から p_i までの距離 d_i と $\overline{p_{n1}p_i}$ と $\overline{p_{n2}p_i}$ 間の角度 θ_i 、 $\overline{p_i p_{ct}}$ と $\overline{p_{n3}p_{ct}}$ 間の角度 ϕ_i について次の式により制御する。

$$\dot{d}_i(t) = a(d_r - d_i(t)) \quad (1)$$

$$\dot{\theta}_i(t) = b(\theta_r - \theta_i(t)) \quad (2)$$

$$\dot{\phi}_i(t) = c(\phi_r - \phi_i(t)) \quad (3)$$

このとき、 $d_r = \frac{\sqrt{6}}{4} d_c$, $\theta_r = \frac{\pi}{3}$, $\phi_r = \cos^{-1}\left(-\frac{1}{3}\right)$ である。上記の式(1)、式(2)、式(3)により s_i は平衡状態 $X_e = [d_r \ \theta_r \ \phi_r]^T$ に収束する。

4. 評価シミュレーション

本章では、提案した分散移動制御手法の有効性を検証した。評価シミュレーションは、距離の尺度をunitとし、主に2つ実施した。1つ目は、Local interactionにより各ロボット間が等間隔となる正四面体を構成するかを評価した。ここでは、目標とする各ロボット間の間隔を $d_c = 10$ unitに設定した。2つ目のシミュレーションでは、提案手法によりロボット群が障害物や他ロボット群を検知したときに、分裂・統合が行われるかを評価した。

1つ目のシミュレーションの結果を図3に示す。隣接するロボット間の距離が目標の $d_c = 10$ unitに、面の角度が 60° に収束しており、各ロボットが正四面体のそれぞれの頂点に移動していることが確認された。

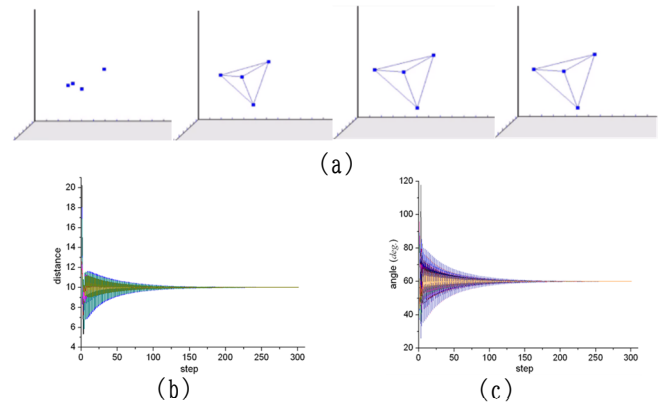


図3 シミュレーション結果

(a)ロボットの移動過程, (b) d_c の推移, (c) θ_i の推移

2つ目の実験結果を図4に示す。提案手法を用いる事により、ロボット群が未知環境下において障害物や他ロボット群に対応し、分裂・統合を行いながら目標方向へ移動することが確認された。

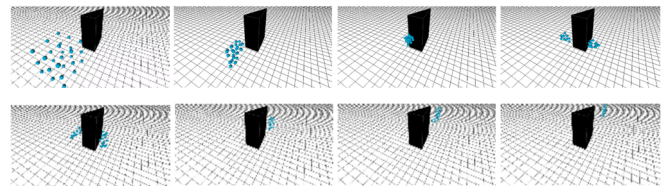


図4 障害物が存在する場合のシミュレーション

5. 結言

本稿では、三次元空間の未知環境に適応する分散移動制御手法を提案し、シミュレーションにより、自己組織化と障害物に対する分裂・統合を伴う群移動の有効性を確認した。今後は、規則的配置手法と組み合わせ、移動ロボットへの実装により、海上やインフラ未整備環境下でのごみや汚染物質の回収など実用的応用を目指す。

6. 参考文献

[1] T. Amorim, T. Nascimento, P. Petracek, G. de Masi, E. Ferrante and M. Saska, "Self-Organized UAV Flocking Based on Proximal Control," 2021 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), pp. 1374-1382, 2021.