

学位論文内容の要旨

報告番号	先端科学技術甲第 176 号	氏 名	山岸 航平
論文題目	未知の環境およびタスク群における群ロボットの自律運用に関する研究		

本論文はロボット個々では解決できないタスク群に対して、複数のロボット群を並列分散的に運用することで解決する複数ロボット群制御について述べる。群ロボットシステムの応用事例として、ロボット個々の並列分散行動や単一ロボット群の集団協調行動を用いて、多数搬送や重量物搬送といった単一タスクを解決することができるアプリケーションが実現している。しかし、タスクベースのシステムは、タスクの条件変化に対応することができず、本来の群ロボットシステムの活躍が期待される未知環境における未知のタスク群に従事することができない。そこで、本論文は環境内のタスクを発見しそれを解決可能な集団を構築する自己組織化と群を保って移送し、集団構造を保って移動する機能別のロボット群集団行動手法を提案する。そして、この制御を適用した複数のロボット群を同環境で運用するための衝突回避手法を提案する。

本論文は全 7 章から構成されている。

第 1 章は序論であり、本研究の背景である群ロボットシステムについて説明するとともに、群ロボットアプリケーションの課題について述べる。これらを通じて研究の目的を明確にするとともに、目的を達成するための要素技術についてまとめている。

第 2 章はロボット群を目的地へ届ける移送手法を開発する。本章は移送中の環境構造に適応する柔軟な集団形状と開環境で集団密度を高く、少ない占有面積で移動する強硬な集団形状の 2 つの状態を使い分ける制御を実現するために、熱力学の量状態を再現する新たな群制御手法を提案する。自律分散的にロボットの移動と制御状態の遷移を制御するために、本提案手法は隣接ロボットや障害物に対する相対位置に基づく制御を考え、隣接ロボットに対する距離ポテンシャルと障害物に対する斥力ポテンシャルで構成される。この提案手法がもつ強硬性と柔軟性について数値計算を通じてその性能と有効性を確認する。

第 3 章は散らばったロボット群から集まったロボット群を形成する自己組織化手法を開発する。本章は集団で解決するタスクの規模や形状、密度に適した規則的に配置された(負荷が均一な)ロボット群を提供するために、結晶成長を応用した新たな自己組織化手法を提案する。ロボットの自己組織化集団発見前の環境探索行動とその集団発見後の吸着箇所探索行動の滑らかな遷移のために連続的な反応拡散モデルと目的のロボット群を同期的に構築する組織化判断のために離散的なセルオートマトンを適用することで、ロボットは自律

分散的に規則的なロボット群を組織する。この提案手法について、実際の結晶成長過程を再現した手法と本手法の同期成長を比較し、本手法が同期的な集団形状を構築できることを検証する。

第4章はタスクに適したフォーメーションを保持する集団移動手法を開発する。第3章で開発したタスクに適した集団構造のロボット群の位置関係を保持して移動するために、位置ポテンシャルを適用した集団移動手法を提案する。本手法で提案する位置ポテンシャルは第2章で用いた距離ポテンシャルに対して、集団構造の格子数に応じた簡素な角度ポテンシャルを適用することで組織化した集団構造を保持する。この提案手法について、各集団構造で構築した多様なフォーメーションを保持しながら集団移動できることを数値計算と実機を用いて評価する。

第5章は複数の強硬なロボット群を同時並列的に運用する複数集団移動を開発する。第4章で開発した単一ロボット群の集団移動に対して、他ロボット群を避けながら目的地へ移動するための回避行動のために、ロボット群の規模に応じた回避量とカオス理論に基づく迂回方向に基づくロボット群個々に独立した回避を生成する手法を提案する。第4章の提案手法で構築可能な集団構造のロボット群に対して、この提案手法を適用したロボット群が接触することなくすれ違えることを数値計算で評価する。接触条件は多岐にわたるが、その元になる頂点同士の接触と辺同士の接触についてすれ違えることを確認する。

第6章は上述の群制御をロボットに実装し、自律分散制御するためのロボットのセンシング/通信デバイスを開発する。そのために、局所通信(センシング)で問題になる干渉を回避するための集団同期手法を提案する。本章はLiDARのようなデバイスで通信することを考え、ある時刻において送信方向を一致させるように隣接ノード間の送信方向位相差を0に近づける非線形振動子モデルを導入する。この手法について、ネットワーク構造にかかわらず機能することを数値計算で評価し、提案手法を実装した実機を用いてその動作を確認する。

第7章は結論であり、各章で提案した群制御について要約し、総括する。本論文で提案したロボット群の制御を統合することによって実現可能な新たな群ロボットアプリケーションを示し、その応用性を述べる。本研究のさらなる展望として、探索ミッションについて考え、それを実現するために必要な技術についてまとめる。