

無限定環境に適応可能なスワームロボット型協働物体搬送システムの開発

兵庫県立大学大学院 工学研究科 工学専攻 機械工学分野

角田 祐輔

(1) 1. 本研究の学術的背景

土砂災害現場における土砂の除去といった復旧作業や、震災現場での瓦礫除去は、従来人間と機械の共同により行われてきたが、このような過酷な環境で人間が作業することは二次災害のリスクがあり、常に危険が伴う。そのため近年では、人間ではなく完全自律制御型ロボットにより作業を代替することが求められている。しかし、災害現場というのは、通常ロボット実験で用いられる屋内の綺麗な環境とは異なり、「物理法則に従い、時事刻々と予測不可能に変化する環境」である。我々は従来のロボット・制御の研究で想定されてきた屋内環境を「限定環境」と呼ぶのに対して、屋外の過酷な環境を「無限定環境」と呼んでいる。本研究では、この無限定環境におけるロボットによる物体搬送の実現を目指す。無限定環境でロボットが物体搬送を行う場合、まず前提として、ロボットはスタート位置からゴール位置まで無限定環境を移動(ナビゲーション)し、搬送ルートを形成することが求められる。屋外環境でのロボットナビゲーションに関する先行研究では、ある目的地に移動する際、カメラやLiDARなどの視覚・測距センサを用いて環境地図作成および自己位置推定を行いながら、障害物等を避けた経路を生成しつつ移動する方法(SLAM(Simultaneous Localization and Mapping))が主流である。ロボットの制御に関しては、物理シミュレーションを用いた強化学習により、シミュレーション上でロボットの誘導戦略を学習させ、それを実際のロボットに移植する研究(Sim-to-Real)が近年盛んに行われており、ロボットでの実証例も出てきている。また、ロボットの物体搬送に関する先行研究では、主に2~3台のロボットがグリッパ等で物体を把持・支持しながら共同で搬送する制御方法の研究がある。

(2) 本研究の目的

本研究では、無限定環境でロボットはスタックしてしまうことをむしろ受け入れて、ロボットがスタックしている事実を活用して、ロボットの数の利により環境からの外乱に負けない群ロボットシステムの搬送ルート形成法を構築する。我々は先行研究で、無限定環境を踏破する原始的な群ロボットアルゴリズム“BYCOMS (BYpassing COmpanions Method for Swarm robot navigation)”を提案した[1]。この方法では、各ロボットはスタックした他ロボットを避けつつゴールへ向かうというシンプルなルールのみで、少なくとも1台のロボットは有限時間内にゴールへ辿り着けるアルゴリズムである。改めて本研究では、ロボットのスタックを活用したミニマルアプローチによる無限定環境でのスワームロボットナビゲーション及び搬送ルート形成法を提案する。そして、搬送ルート形成が達成される条件(必要なロボットの台数、ロボットの回避半径、移動速度などの関係)を明らかにする。また、環境の動的変化やセンサノイズに対してロバストかつ適応的にルート形成ができることを、数値シミュレーションおよび実際のロボットでの実機検証により示す。

(3) 本研究の内容

無限定環境に適応するスワームロボット型物体搬送法の構築手順を以下に示す。

1. **数理モデルの構築:** 本研究では(A. 1) N台のロボット群がスタート地点から出発し、ゴールとスタートを結ぶロボットレーン形成し、その場で停止して作業機の柔軟湾曲型ベルトコンベアで物体搬送を行う協働搬送法を提案する。ここでスタートとゴールの間は無限定環境であり、ロボットが認識できないスタック領域がランダムに分布しているとする。また、各ロボットはグローバル情報として現在位置から見たゴールの方向を、ローカル情報として周囲の他ロボットとの相対位置を観測できるとする。先述のように既に(A. 2)無限定環境での群ロボットナビゲーションのシミュレーションモデルは構築済みである[1]。この結果に基づき搬送ルート形成のアルゴリズムを設計する。
2. **数値シミュレーションによる解析:** 1. で得られた数理モデルをもとに、(B. 1) ゴールまでの経路の最小幅の大きさやロボットの回避半径の大きさが、誘導到達率・レーン形成成功率・レーン形成維持率・必要なロボットの台数に与える影響を解析する。また、(B. 2) センシングノイズに対するアルゴリズムのロバスト性、スタック領域の形状が動的に変化する場合でのゴール到達性とレーン形成・維持率に関して数値解析を行い、システムパラメータとの関係を求める。
3. **実機検証:** 1, 2 で得られた結果をもとに、ロボット群による実機検証により提案方法の妥当性と実世界実現可能性を示す。本申請研究では(C. 1) 作業機・移動機を合体させた物体搬送用ロボットの小型化・増産化を行う。そして、(C. 2) 障害物の数や配置、ゴールの位置、ロボットの位置などを急激に変化させた場合に搬送が達成できるかを検証する。10台以上のロボットを開発し実験予定である。

参考文献

[1] Yusuke Tsunoda et al., “Power in Numbers: Primitive Algorithm for Swarm Robot Navigation in Unknown Environments”, Robotics and Autonomous Systems, Volume 198, 2026.