

クローラーモジュールロボットにおける モジュール配置最適化による負荷分散改善

三矢 達彦^{†1} 佐久間 拓人^{†2} 加藤 昇平^{†2}

^{†1} 名古屋工業大学 工学部 情報工学科

^{†2} 名古屋工業大学 大学院工学研究科 工学専攻

1 はじめに

近年、災害現場等の不整地で主に使われている地上走行ロボットは、車輪型と比較して不整地において安定した走行が可能であるクローラーロボットである [1]。しかし、クローラーロボットは、ベルトが破断した場合、直ちに移動能力を失うため冗長性に欠ける。この欠点を解決すべく、クローラーロボットにモジュールロボット [2] の概念を導入したクローラーモジュールロボット [3] を提案する。モジュールロボットの、モジュールの一部が故障した場合は該当モジュールを切り捨て、残りのモジュールで機能を維持する自己修復機能により耐故障性能を向上させ、モジュール配置最適化アルゴリズムにより故障の発生頻度の低下を図ることで冗長性を増強する。

2 クローラーモジュールロボット

クローラーロボットの構成単位であるモジュールは、図1左のようにクローラーの機能を持つクローラーブロックを2つのフレームでそれぞれ挟み込んだ構造である。クローラーブロックでは、オーバル外周の面をクローラーベルトが回転する。各フレームは3つの接合面を持ち、モジュール同士を接合する。各フレームはクローラーブロックとの接続軸周りに ± 90 度の範囲で独立に制御できる。2個以上の複数モジュールが結合することで、図1右のようにクローラーロボットとして機能する。

3 モジュール配置最適化アルゴリズム

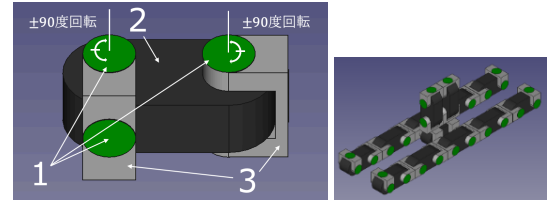
クローラーモジュールロボットでは、モジュールの配置パターンによって走行中の各モジュールへの負荷が変化し、負荷が偏ってしまった場合は特定のモジュールに大きな負荷がかかることになり故障頻度が増加すると考えられる。モジュール配置最適化アルゴリズムは図2に示すように、最も負荷が高いモジュールを再配置する方針で、ロボット全体の各モジュールへの負荷を平準化することによる負荷分散を目的とする。終了条件については、負荷分散スコアが目標スコア内に収まる以外にも、配置生成回数上限の超過でも終了とな

Improved load balancing by optimizing module placement in crawler module robots

Tatsuhiko MITSUYA^{†1}, Takuto SAKUMA^{†2}, Shohei KATO^{†2}

^{†1} Dept. of Computer Science, Nagoya Institute of Technology

^{†2} Dept. of Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology



1: 接合面 2: クローラーブロック 3: フレーム

図1: クローラーモジュールロボット

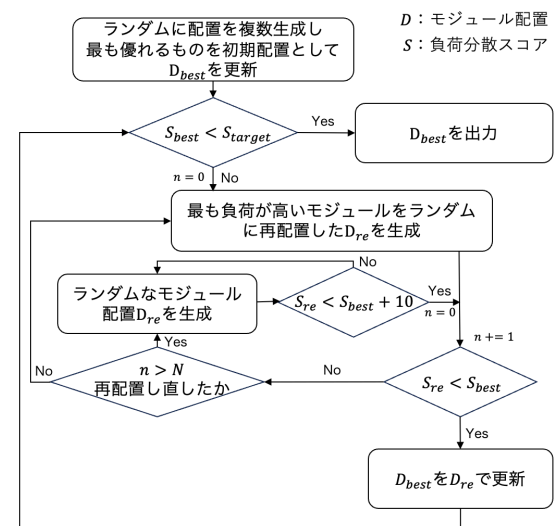


図2: モジュール配置最適化アルゴリズム

る。地形情報を入力することで、入力された地形において負荷分散に優れたモジュール配置を出力する。

先行研究 [4] では、アルゴリズム全体が初期配置の影響を受けやすいにもかかわらず、ランダムに初期配置を生成していたため、アルゴリズムの出力したモジュール配置の負荷分散スコアが安定せず分散がランダムアプローチよりも大きくなっていった。そのため、提案手法では図3に示すように、少ないモジュール数から負荷が高いモジュールに隣接させてモジュールを追加していくことで初期配置を生成するように変更した。

4 評価実験

4.1 実験概要

提案する初期配置生成方法を採用したモジュール配置最適化アルゴリズムの有効性を確認するために評価実験した。ランダムなモジュール配置生成と先行研究のアルゴリズムの2手法と性能を比較した。アルゴリズムの性能比較においては、各アルゴリズムを50回実行

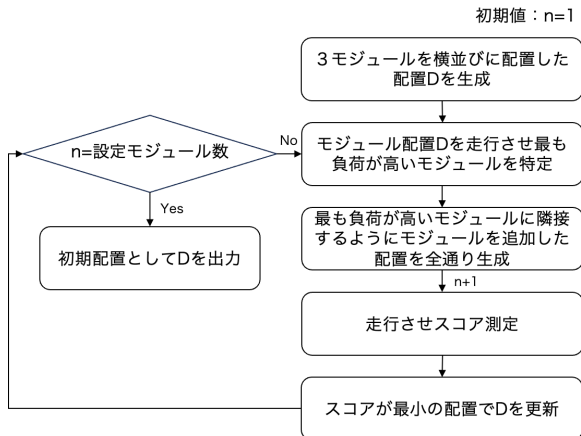


図 3: 初期配置生成アルゴリズム

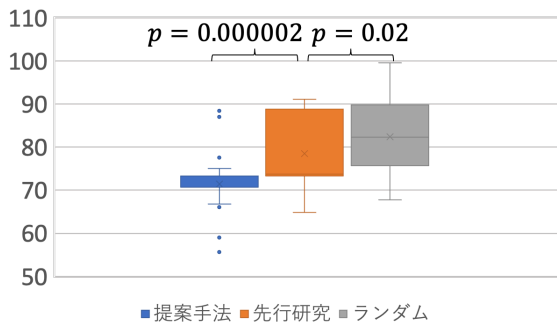


図 4: 各アルゴリズムで得られたスコア群の箱ひげ図

し、得られたサンプルサイズ 50 のモジュール配置のスコア群に有意な差があるか有意水準 0.05 の t 検定で検証する。

負荷分散は各モジュールにかかった負荷の値の標準偏差を取ることによりスコア化している。そのためスコアは小さいほど負荷分散に優れることを示す。各モジュールの負荷値は走行中に地面から受けた垂直抗力を 32ms 間隔で計測した値の合計である。

実験におけるアルゴリズムのパラメータ設定は、モジュール数を 25 個、配置生成回数上限を 100、N を 10 とした。またアルゴリズムに「細かい段差の連続」「なだらかな段差の連続」「大きな段差」の 3 種類の地形情報を入力した。

4.2 結果

図 4 に負荷分散スコアの箱ひげ図を、表 1 に各アルゴリズムでの負荷分散スコアの平均と分散の数値を示す。

先行研究と提案手法のアルゴリズム間では、提案手法での平均が 71.41 と先行研究での平均 78.55 よりも小さく、p 値も 0.000002 と有意水準 0.05 以下であるため提案手法が先行研究よりも有意に優れることが示された。分散についても提案手法のアルゴリズムは 34 であり、比較した 3 手法の中で最小となった。

4.3 考察

提案手法では先行研究から初期配置生成方法を変更したことで、アルゴリズムの出力したモジュール配置

表 1: 各アルゴリズムで得られたスコア群の平均と分散

	提案手法	先行研究	ランダム
平均	71.41	78.55	82.39
分散	34	65.32	57.94

の負荷分散スコアの分散をランダムなモジュール配置生成より小さくできただけでなく、スコアの平均についても先行研究より優れた結果となった。これは、先行研究では初期配置生成方法がランダムであり、生成された初期配置は入力された地形情報を考慮したものでなかったため、初期配置のスコアの分散が大きくなるだけでなく、平均して負荷分散に優れていない配置が生成されていたためと考えられる。

また、提案する初期配置生成方法はモジュール数に比例して配置生成回数が増加するのに対して、モジュールの全配置パターンは指数関数的に増加する。したがって、モジュール数が増加するほど、提案する初期配置生成方法はランダムアプローチよりも優れた結果を導くと考えられる。

5 まとめと今後の展望

本稿では、先行研究のモジュール配置最適化アルゴリズムから初期配置生成を改良したアルゴリズムを構築し、ランダムアプローチと先行研究の 2 手法と比較してアルゴリズムの出力結果の分散を小さくすることが出来ただけでなく、性能においても有意に優れた結果が見られた。今後の研究では、アルゴリズムの安定した挙動をある程度実現できたため、ハードウェアの制作に着手する。

謝辞

本研究は、一部、文科省科研費 (JP19H01137, および, JP20H04018), ならびに, NICT 委託研究の助成により行われた。

参考文献

- [1] 大野和則: レスキューロボットにおけるテレロボティクス, 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.6, pp.571-573 (2012).
- [2] 神村明哉, 村田智, 吉田英一, 黒河治久, 富田康治, 小鍛冶繁: 自己組立可能なモジュール型ロボットシステムに関する研究 (複数ユニットによる変形・移動実験), 日本機械学会論文 (C 編), 68 巻, 667 号 (2002).
- [3] 三矢達彦, 加藤昇平, 佐久間拓人: クローラーロボットのモジュールロボット化による冗長性増強, 令和五年度 電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会, pp.D3-1(2-pages) (2023).
- [4] 三矢達彦, 佐久間拓人, 加藤昇平: 高い冗長性を備えたクローラーロボットの提案, 第 21 回情報学ワークショップ (WiNF2023), pp.2A-3 (2023).