

審査の結果の要旨

氏名 藤井 紀輔

「移動ロボット群による多数物体再配置作業」は、現実の多くのアプリケーションに含まれる基本的な作業であり、その遂行手法の構築が求められてきた。一方で、多数物体再配置作業は、多数の物体やロボットの自由度が関わる非常に複雑な作業であり、移動ロボティクス分野の従来手法を直接適用することは困難であるとされてきた。これに対し本論文では、従来研究とは異なる指標に基づく問題分割手法、ハードウェア構成までを含めた実世界での作業実現手法を構成することによって、再配置作業遂行手法を提案した。具体的には、以下のことを実現した。

多数物体再配置問題に対する計画立案手法の構築。問題分割の新たな指標として、“環境の偏在性”を提案し、再配置問題における環境の偏在性が“ロボット通過空間の偏り”と“物体配置の偏り”で構成されていることを分析した。ロボット通過空間の偏りに影響されない問題への置換え処理として、ロボット移動経路が交差する可能性を排除する観点からの従来手法の調査を行い、領域法の基本概念が再配置問題に適用可能であると判断した。領域設定が総作業時間へ与える影響を考慮することによる、効率的な領域設定手法を構築した。物体配置の偏りを顕在化するための概念として、再配置問題における順序制約の定義付けを行なった。物体配置の偏りに影響されない問題への置換え処理として、再配置問題における順序制約を遵守する、搬送順序生成手法を新たに構築した。また、実環境における多数物体再配置作業に対して、環境の動的変動への対応手法を、再計画まで含めた形で整備した。

また本論文では、以上の提案手法をシミュレーション実験と、実機実験によってそれぞれ評価した。その結果、以下の結論が得られた。提案した問題分割手法による、計画立案手法の高速性。提案した問題分割の構造により、複雑な再配置問題は、比較的単純な構造を持つ部分問題に分けて処理することができた。それにより、一つの実行可能解を得るまでの計算時間を3分以下（1.08GHzのCPU使用時）に、計画に修正を施し、作業を効率化する段階を含めた場合でも、1分以下（2.8GHzのCPU使用時）に計画立案を完了することができた。こ

れによって、現実のアプリケーションで求められる、ロボットの動作開始までの時間短縮を実現することができた。領域設定手法による、作業効率の向上。作業効率に与える影響を考慮して領域を設定する新たな手法の提案により、作業効率の高い計画を立案することができた。具体的には、以下の点で従来手法に優越した。領域を仮定することによる、手法の適用範囲の向上。領域を仮定し、ロボットの移動経路が交差する可能性を排除した。そのアプローチにより、再配置作業に対する従来手法より多様な環境に対して、実行可能解を出力することができた。具体的には、偏在性を表す *sparcity* という指標を用いた評価を行った。その結果、従来手法が偏在性の影響が軽度である環境に対してのみ有効であったのに対し、提案手法は偏在性がより厳しい状況においても適用可能であった。受渡し位置修正により、全余裕時間を 60%削減し、ロボット間の作業量の隔たりを是正した。作業効率に与える影響を考慮したうえで受け渡し位置を細かく設定する手法を提案し、その結果、ロボット間の作業量の隔たりを表す指標である全余裕時間を、作業効率を考慮しない場合と比較して 60%削減した。その点で、領域法の従来手法より定性的に優越する手法を構築することができた。ただし、提案手法は、物体搬送順序を初期値から変化させない範囲での受け渡し位置修正を行っており、作業効率化の観点からは、なお手法改善の余地がある。順序制約の解決。提案した搬送順序生成手法は、予定した通りの機能を示し、物体配置に伴うデッドロックを回避することができた。従来研究において扱われていなかった順序制約に対する解決手法を提案したため、本論文で得られた知見は、ロボティクス以外のプランニングの分野にも貢献することができると考える。再計画手法による、環境の動的変動への対応能力。提案した再計画手法により、環境の動的変動のうち、作業環境の構造変化には柔軟に対応することができた。

また、移動誤差やセンシング誤差などの、ロボットのハードウェアに起因する誤差について、実験室内の環境においては、提案手法で対応可能な範囲に収まることが確認できた。

以上の内容によって、移動ロボットにとって基本的な作業である多数物体再配置作業に対して、偏在性が存在する環境であっても、移動ロボット群により効率的に作業遂行ができる手法を構築した。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。