

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	設備自動点検のための異種ロボット群タスク割り当て最適化
Title(English)	Optimal Task Assignment for Automatic Equipment Inspection with Heterogeneous Robots
著者(和文)	岡田優也
Author(English)	Yuya Okada
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第266号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:畑中 健志,早川 朋久,三平 満司,倉林 大輔,山北 昌毅
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第266号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	岡田 優也	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	畑中 健志	教授	山北 昌毅	准教授
	審査員	早川 朋久	准教授		
		三平 満司	教授		
		倉林 大輔	教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「設備自動点検のための異種ロボット群タスク割り当て最適化」と題し、全6章から構成されている。

第1章「序論」では本論文の背景と動機について述べている。まず、工場の設備点検に関する社会課題と、複数ロボット群を使用した設備点検導入の意義を論じている。つぎに、ロボット群の作業分担を考える際に必須となる、複数ロボット群タスク割り当て問題 (Multi-Robot Task Allocation: MRTA) について紹介し、その代表的なアプローチや最適化手法について概観している。また、工場における実際の制約を考慮するため、タスク完了の時間制約とロボットのエネルギー残量を考慮したMRTAの必要性について論じている。最後に、本論文の目的が、工場のような大規模な環境に対して効率的に求解可能な異種ロボット群タスク割り当て最適化の提案と検証であることを述べている。

第2章「工場モデルと数学的準備」では工場の設備点検を数理的にモデル化し、本論文で中心的な役割を果たす命題論理とその不等式への変換、さらに混合論理動的システムに関する既存の結果を導入している。はじめに、本論文を通して使用する工場設備点検モデルについて、工場の領域、ロボット、ターゲット、タスクなどの用語、記号、パラメータを定義し、それらの関係を説明している。つぎに、工場における制約を記述するために必要となる論理の表現と、論理表現を不等式制約に変換する補題を導入している。最後に、2つのモードが切り替わる区分線形システムの混合論理動的システムへの等価変換について紹介している。

第3章「異種ロボット群タスク割り当て最適化」では、異種ロボット群タスク割り当て問題の提案と検証を行っている。はじめに、工場における点検作業やロボットの仕様をもとに遵守すべき規則と制約を、ロボットの割り当てを意味する論理変数を用いて論理式によって表現している。つぎに、論理の真偽を表現するバイナリ変数を用いて、これらの論理式を不等式条件に変換している。さらに、変換した不等式を制約とし、すべての点検項目の早期達成を意図した目的関数を最小化するタスク割り当て最適化問題を提案している。最後に、実際の工場の一区画を模したシミュレーションによって、定式化したタスク割り当て最適化問題の解の妥当性を確認している。一方、工場の大規模化にともない、タスク割り当て最適化問題の求解が困難となることを指摘している。

第4章「階層型異種ロボット群タスク割り当て最適化」では、大規模問題に対してもタスク割り当て最適化問題の実行可能解を実用的な計算時間で算出する最適化手法を提案している。まず、ロボットの作業空間を複数の領域に分割し、ロボットに領域とタスクを割り当てる上層と、割り当てられた領域ごとにロボットを点検箇所に割り当てる下層に分割した階層型のタスク割り当て最適化問題を定式化している。ここで、上層ではロボットの領域間での移動を最小化し、下層ではすべてのタスクがより早期に終了することを意図した目的関数を設計している。つぎに、単純な問題の分割では、下層の最適化問題が実行不可能となる場合があることを例示している。これを回避するため、上層の最適化問題に追加する新たな制約条件を提案している。さらに、シミュレーションによって提案手法が与える解の妥当性を確認するとともに、第3章の最適化と比較し、求解効率の向上を明らかにしている。

第5章「作業効率の差異を考慮したタスク割り当て最適化問題」では、異種ロボットの性能差を考慮したタスク割り当て最適化を考察している。まず、ロボットの速度差から、単位時間内に点検可能な設備数を作業効率パラメータとして定義し、そのパラメータを先に提案した階層型タスク割り当て問題に組み込んでいる。つぎに、このアドホックな修正では、階層型最適化の実行可能解が存在しない場合があることを例証している。これを回避するために、実際にロボット群が実行するタスクの数を追跡する変数を用意し、新たな最適化問題を提案している。このとき、新たな変数を導入することによって、タスク割り当て最適化問題がハイブリッドシステムの動的最適化、さらには整数計画問題に帰着できることを示している。最後に、第3章、第4章よりも大規模な数値シミュレーションによって提案手法が与える解の妥当性を確認している。

第6章「結論」では、本論文の研究成果についてまとめ、今後の研究の発展方向を議論している。

以上を要するに、本論文は、工場における異種ロボット群タスク割り当て最適化問題について、領域分割による階層化手法と可解性を担保する新たな制約条件を提案し、その有効性を実際の工場を模したシミュレーションによる検証で示しており、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士 (工学) の学位論文として十分な価値があると認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東京科学大学リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容

で作成してください。