

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 中村 明生

中村 明生 (なかむら あきお) 提出の本論文は「移動ロボット群操作システムの開発」と題し、全8章よりなり、未知環境において小型・複数の移動ロボットを一人の人間が操作し、作業を実行させるためのシステムの開発問題を扱っている。

第1章では、複数移動ロボットの必要性、従来研究及び本研究の目的を述べている。人間とロボット・システムの適度な役割分担、また的確な情報の共有が重要となることを述べ、研究の目的を一人の人間が複数台のロボットを操作し作業を実行させるための手法の提案を行い、実際のシステムを構築し評価を行うこととした。

第2章ではロボット群操作システムの概念設計を行っている。ロボット群の「操作」に焦点をあて、実環境に適用可能なロボット群操作システムの要件として以下を挙げた。

- (A) 複数ロボットを対象とした操作システムに関しては研究例が少ない。また、操作指令の設計及びロボットに付与する自律機能が天下一の的である。操作者対ロボット群という一対多問題のもとで操作者からの指令及びロボット群の自律機能の設計が必要である。
- (B) 従来研究は予め環境に関する情報が獲得されてモデル化されている場合が殆どである。設計初期からその獲得を念頭においた研究例は少ない。操作者に情報を提示するためには環境中の物体の位置・姿勢・形状といった情報の獲得が不可欠であり、ロボット群を投入するのみで環境情報を獲得可能なことが望ましい。また、環境の全ての情報を知る必要はなく、情報を大局的情報、作業指向大局的情報、局所的情報に分類し、作業に必要な部分、すなわち作業指向大局的情報を獲得すれば十分である。
- (C) 操作性を向上させるためにはロボットが作業している環境の情報提示が不可欠である。また、意思伝達を容易とするインタフェースが必要である。

第3章では、(A)の操作指令に関して、ロボット言語における分類を参考とし、搬送作業を「移動」「対象物把持」「環境認識」といった局面に分割し、それぞれの局面に対して移動ロボット群の指令・自律機能の分類を行った。その結果、以下の結果が得られた。

- 指令対象、指令内容に基づき分類を行うことにより、各レベルにおいて必要とされる指令について明確化できた。
- さらに、各レベル間の機能の差を補完するよう機能を導入することで、必要となる自律機能が判明した
- 最も単純かつ直感的な操作が可能であると思われる単体ロボットからボトム・アップ的に議論を進行させた結果、系統だった分類が可能となった。

次に指令分類に基づき、実際の操作指令の設計を行った。実際にプロトタイプシステムを構築し、挿入作業実験を行った。実験の結果、操作者がロボット群を操作する際に複数ロボットを群として扱い、群に対して指令を与えること、また、操作者からの指令とロボットの自律機能の妥当性が確認できた。反面、複数ロボットを群として扱うため、特にロボット群を直接操作する場合には移動により占有する領域が大きくなり、狭隘空間における細かい操作性の欠如が見受けられた。

第5章では、(B)の環境情報獲得に関して、ロボット群を環境に投入するのみで作業を可能とするための環境情報獲得手法、及びロボット群の相互位置同定手法について説明した。

環境情報は個々のロボットの上に搭載したCCDカメラを用い、2台のロボットがステレオ視を行うことで獲得した。対応点問題については、別のロボットの上に搭載したレーザポインタを操作者が操作して、明示的に計測対象物上の一点を示すことで行う。ロボットの相互位置同

定についてはロボット上に位置・姿勢計測に適したマーカを搭載し、カメラでそれを計測することで計算可能とした。環境情報獲得といった局面においても操作者が作業に必要なと思われる部分を選択的に指示することで冗長な情報獲得を省略可能であり、自律的には困難な情報獲得が可能となった。すなわち作業指向大局的情報の獲得がなされた。

第6章では、(C)の情報提示に関して、第5章で提案した手法で獲得した作業指向大局的情報を操作者に提示するために仮想環境を構築し、操作を容易とするためにGUIを設計・実装した。仮想環境は視点を自由に変更可能であり、また操作者が操作に必要な情報を把握する上で有効な手段である。また、GUIは文字ベースのインタフェースに比較して理解が容易であり、習得が短期間で済むという利点がある。それぞれ汎用性、ユーザとの親和性を考慮し、Windowsアプリケーションとして実装した。

第7章では、提案した手法を統合し、一つのシステムとして稼動することを確認し、有効性を評価するため、未知環境において搬送作業を行った。その結果、以下の点が確認できた。

- 指令レベル分類に関して、微調整のような即応性、精度を要求される作業は逐次指令的な直接操作、把持位置への移動、対象物持ち上げ後の搬送のような自動化が可能な部分は目標位置を与える間接操作といった指令レベルの使い分けが有効であることがわかった。
- 未知環境においてロボットの位置・姿勢を同定し、対象物情報を獲得し、形状モデルを生成可能なことを確認した。作業成功を期して最も安全性の高い高精度で環境の情報を獲得するか、あるいは移動が保証されるレベルの精度におさえ、操作者が介入するか、という問題がある。持ち上げ搬送作業における対象物の把持といった局面では高精度のモデルが必要であり、移動が保証されるレベルの精度では失敗する可能性があるが、操作者の介入によりモデルの誤差を補償可能であり、操作者がシステムに介入している利点を確認できた。これにより、情報獲得に関して大局的情報、作業指向大局的情報、局所的情報に分類し、作業指向大局的情報の獲得を保証し、それ以上の精度(局所的な動作に必要な精度)は操作者が必要に応じて介入することで補償する、本研究のアプローチの有効性を確認できた。
- 操作者に対して、作業指向大局的情報は仮想環境にて、局所的情報はロボット搭載カメラ画像にて情報提示を行った。操作者は通常、作業環境周囲の必要情報が提示された仮想環境を監視しつつ作業を行い、対象物把持の際など局所的情報が必要な場合はカメラ画像を見る。このように情報の詳細度により提示手法を変化させることで操作者の情報把握が容易となることを確認できた。
- システム全体として作業遂行能力があることを確認できた。

第8章では、結論として、ロボット群の「操作」を念頭においたシステムを構築したことを述べた。構築したシステムはプロトタイプであり、ロボットの踏破性能の向上・通信の安定性の確保、マニピュレータ機構の改良等、実際の使用に供するためには問題点も残っているが、上記(A)～(C)の3点が重要であることは実用面においても同様である。

以上を要約するに、本研究では、災害現場や建設現場、原子力発電所等、環境変化の激しい、ある意味劣悪環境においても、センサの種類が少数で、低機能のロボットでも作業を実行可能とする、適切な指令を下す人間を取り込んだ人間-ロボット群系アーキテクチャの基本概念の提案が行われ、実機実験において実環境への適用可能性が示された。これは、精密機械工学のみならず工学全体の発展に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士(工学)学位請求論文として合格と認められる。