

審査の結果の要旨

氏 名 熊谷 伊織

本研究は「積算状態推定に基づくヒューマノイドロボットの継続的タスク実行システムの構成法」と題して、ヒューマノイドロボットが未知環境で異なるタスクを連続して遂行するためのロボットシステムの構成法を、積算状態推定に着目した継続的タスク実行システムとして示したものであり、全7章からなる。

従来のヒューマノイドロボットのシステムでは移動行動や物体操作行動といったタスク毎にシステムを構築することが一般的であった。そこではタスク毎に定められた動作モデルから推定された状態に基づき認識・動作制御が行われていたが、ロボットが継続して異なるタスクを実行していく上ではタスク間での状態の再利用性が課題となっていた。そこで本研究では、変化がタスクに依存する状態を時間積算することでタスクに依存しない状態として使用すると共に他のタスクで再利用可能な形で記憶する積算状態推定により長時間のタスク実行中や異なるタスク間における認識・動作制御の継続性を確保し、ロボットによる継続的なタスク実行を可能にしている。

第1章「序論」では研究背景として近年のヒューマノイドロボット研究を俯瞰し、未知環境において移動行動や物体操作行動等の複数タスクを人間の指示を受けながら継続して実行していくための基盤となるロボットシステムが災害対応行動をはじめとした実環境におけるヒューマノイドロボットの運用に重要であることを述べている。

第2章「積算状態推定に基づく継続的タスク実現可能なロボットシステム」では継続的タスク実行に必要な要素を時間、タスク、及び処理の継続性として整理し、災害対応ロボット競技会を題材に長時間のタスク実行中や異なるタスク間の認識・動作制御においてタスクに変化が依存する状態を積算し、タスクに非依存な状態として推定・記憶する積算状態推定が重要であることを述べている。その上で積算状態推定に基づく自律系と遠隔指示系を統合した継続的タスク実行システムの具体的な要素として、負荷軽減制御、自己位置推定、周囲環境積算および遠隔指示系の概要を論じている。

第3章「関節トルク積算による温度推定を用いた関節負荷制限制御法」ではヒューマノイドロボットが長時間高負荷タスクを実行するための関節負荷軽減制御法について述べている。ヒューマノイドロボットが高負荷タスクを行う上で事前に計画することが困難な外乱や内力に対する適応行動を行うために、関節トルクを積算することで得られる関節の熱モデルから関節温度が上限温度を超えないための関節出力上限を動的に決定する手法を提案している。更に関節トルク制御器を用いて上限トルクを超えないような負荷軽減制御を行うことで関節の故障なく長時間及び瞬間の高負荷行動が可能となることを示し、着座行動実験や乗り込み動作実験により有用性を実証している。

第4章「自己位置推定と周囲環境積算の細粒度相補的統合法」ではヒューマノイドロ

ボットの自己位置推定と周囲環境点群積算の統合法について論じている。周囲環境点群積算に求められる実行周期と必要精度に応じて、自己位置推定を速度誤差モデルに基づく高速なセンサ統合と高精度な 2 次元SLAMによる位置姿勢補償に細分化し、自己位置推定と周囲環境点群の積算を相補的に行うことで移動中においても高精度で密な積算周囲環境地図生成を可能にする手法を提案し、これを実ロボットで実証している。

第 5 章「自己状態を提示する認識補助機能を備えた遠隔指示システム」では災害環境をはじめとした劣悪な通信環境下においても使用可能な認識補助機能を備えたヒューマノイドロボットの遠隔指示システムについて述べている。タスクレベルの定性的な遠隔指示に基づきロボットが自律的にタスクを実行するシステムにおいてオペレータの操作負担を軽減し、転倒などの致命的な失敗を回避するために現在の状態に加えて未来の自己状態・動作計画を提示する認識補助機能を提案し、車の運転操作行動における経路計画の提示を例としてその有用性を実証している。

第 6 章「積算状態推定を用いたヒューマノイドの継続的タスク実現」では統合実験を通して未知環境下における積算状態推定を用いた移動経路計画・動作計画手法の補正による継続的タスク実行システムの有用性評価を行っている。自己状態と周囲環境点群の積算によって移動中の認識・動作計画の精度が向上することで移動中認識実行モデルによる適応的な動作補正が可能となり、停止時間を削減するとともに、積算・記憶された環境状態情報を再利用することで複数のタスクを継続して行うことが可能となったことが実環境での評価実験により実証されている。

第 7 章「結論」では本研究の成果をまとめ、学術的貢献として内力の蓄積による関節故障や不正な遠隔操作の防止による時間の継続性の実現、異なるタスク間の状態推定の再利用性向上によるタスクの継続性の実現、及び認識補助機能を用いた定性的指示と移動中認識動作モデルによる処理の継続性の実現を達成したことを述べている。

以上、これを要するに本論文は未知環境においてヒューマノイドロボットが長時間継続して複数のタスクを行うための適応行動システムを、タスクに応じて変化する状態を積算しタスクに非依存な状態として推定・記憶する積算状態推定の考え方に基づいて、関節温度に基づく負荷軽減制御手法、速度分布の積算に基づく異なる移動形態に対応可能な自己位置推定手法、周囲環境認識の相補的統合による局所的点群の積算に基づいた環境記憶、及びロボットが遠隔指示者に自己の行動計画を提示することで操作性を向上した遠隔指示システムの要素から明らかにしたものである。

提案した手法により長時間のタスク実行中および異なるタスク間において推定した状態が再利用可能となり、ヒューマノイドロボットが異なる種類のタスクを統一的に扱うことが可能になるとともに、遠隔指示に基づいて移動しながら認識・動作計画・動作制御を同時に行うことが可能な継続的タスク実行システムの構成法を示したことは、ヒューマノイドロボットの実用性向上と知能機械情報学へ貢献するところ少なくない。

よって本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。