

審査の結果の要旨

氏 名 田中 一敏

本研究では、不確定な突発事象に即応した全身ダイナミック動作を行うことで危機回避等を達成可能なヒューマノイドロボットの実現に向けて、その代表例として、事前に確定していない軌道とタイミングで飛来するボールに即応し、跳躍し空中で打撃する腕付脚式ロボットの構成法を扱っている。主な課題は、(1) 極めて短時間での適切な跳躍・打撃動作計画、(2) 計画に沿った全身跳躍・打撃動作の実現、(3) 確実なボール打撃のための運動中の誤差補償、である。これについて本研究では、(1) 軽量大ストローク空気圧駆動系とそれを用いた腕付脚式ロボットの設計法、(2) 同駆動系の特性を考慮した全身動作学習・生成法および運動中の誤差補償のための高速な過渡的動作の調節法、を中心とする解決策を提示している。論文は全7章より構成されている。

1章では、腕付脚式ロボットへの社会的要請、同ロボットが人間を含む環境において即応的でダイナミックな全身動作を行う必要性、および即応的でダイナミックな全身動作を行う腕付脚式ロボット構成法の必要性について論じている。

2章では、即応的でダイナミックな全身動作の代表例としての跳躍打撃動作の問題設定、およびそれに必要とされる運動と情報処理について論じ、これに関連するロボットの身体設計法、動作生成法、および運動調節法に関する従来研究を検討している。その上で、即応的でダイナミックな全身動作を行う空気圧ロボット設計法の不在、および空気圧ロボットに適した状況適応的なダイナミック運動の生成法と調節法の不在を指摘し、本研究で取り組む課題として論じている。

3章では、即応的でダイナミックな全身動作を行う空気圧ロボットの駆動系設計法として、ストロークの大きい軽量小型ケーブルシリンダアクチュエータの開発と、その速度と加速度を最大化する設計パラメタの選択法を論じている。まず、ナイロン製造形部品による重量部品の代替と構造一体化による軽量化、頑健でコンパクトなワイヤ固定法やワイヤ経路決定法等の工夫を提示し、それらの効果を典型的なシリンダとの比較により示している。次に、空気圧の動的変化を考慮した設計パラメタ選択法を提案し、シミュレーションにより運動性能に与える効果を確認している。最後に、提案した設計法により軽量のロボット四肢を製作し、腕の振り上げ動作や脚の跳躍動作を計測し、目的とする跳躍打撃動作のシミュレーションから求めた要求仕様と比較した結果、上記設計法によって跳躍打撃動作を行うロボット四肢が実現できることを示している。

4章では、空気圧駆動系の特性を考慮した動作学習・生成法と運動調節法を提示している。前者については、モンテカルロ探索、運動類似性とサポートベクトルを用いた分類、サポートベクタ回帰による補間等からなる新たな手法を提案し、これを空気圧ロボットアームの振り上げ動作や脚ロボット跳躍シミュレーションなどに適用し、最近傍法等の従来手法より高精度なことを示している。後者については、運動指令切り替えタイミング修正による方法を提案し、ボール位置誤差に応じて同調節法を適用して跳躍打撃動作の誤差を補償可能なことをシミュレーションで確認している。また、初期姿勢の重要性を示し、加速度を最大化する初期姿勢生成法、初期内圧調節法、待機動作生成法を提案している。

5章では、4章で提案した動作学習・生成手法と運動調節法を、多自由度の腕付脚式ロボット実機による跳躍打撃動作に適用するための改良を提示している。高次元化と少数訓練サンプルに起因する過学習の問題を回避するため、まず運動指令から状態への順モデルとしての写像を実訓練データから学習し、これを用いて多数の指令・状態ペアを生成することで訓練データを疑似的に増やす処理を加えた。この結果、手先位置誤差は他のどの手法より小さくなることを跳躍打撃動作シミュレーションで示している。次に、より少ない試行で動作生成と運動調節の学習を行うために、運動指令、状態遷移時間、運動指令切り替えタイミング修正量を同時に学習する手法を提案している。跳躍打撃動作シミュレーションで手先位置誤差を評価し、同学習・生成、調節手法によって少ない試行で学習し、適切な指令を生成し、誤差を補償できることを示している。

6章では、8自由度腕付脚式ロボット全身実機的设计、製作を提示し、異なる軌道で飛来するボールに対応した跳躍、打撃動作を実現している。さらに、このロボットによる跳躍打撃動作学習と、それによる実時間で未知軌道のボールに対する位置・軌道推定、運動予測、打撃位置・動作開始タイミング決定、予測誤差を補償する運動調節、を実現し、効果を実験的に示している。

7章では、以上の結果を総括し、跳躍打撃動作に要求される身体仕様が、提案した空気圧ケーブルシリンダを用いて実現可能であること、また、運動軌道の類似性に基づく分類を特徴とする学習を用いた動作生成と、運動指令の切り替えタイミング修正による運動調節、およびこれらの学習を多自由度実機に適用するための疑似訓練データ生成法等の改良により、跳躍打撃動作が達成可能であることを述べている。

以上これを要するに、本論文は腕付脚式ロボットの即応的な跳躍打撃動作に焦点を絞って実現方法を具体的に示し、即応的でダイナミックな全身動作を行うヒューマノイドロボットの実現への端緒を拓いた。

以上の理由から、本論文は情報理工学上重要な貢献と見なされる。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。