

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	人型ロボットの運動生成のためのモデル構築と解析
Title(English)	Modelling and Analysis for Humanoid Motion Generation
著者(和文)	大西祐輝
Author(English)	Yuki Onishi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12848号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:三平 満司,倉林 大輔,中尾 裕也,山北 昌毅,石崎 孝幸
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12848号, Conferred date:2024/9/20, 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

(博士課程)

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	大西 祐輝	
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	三平 満司	教授	審査員	石崎 孝幸	准教授
	審査員	倉林 大輔	教授			
		中尾 裕也	教授			
山北 昌毅		准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「人型ロボットの運動生成のためのモデル構築と解析」と題し、全5章から構成されている。

第1章「序論」では、本論文の研究と目的、論文の構成について述べている。人型ロボットの開発史と、人型ロボットの研究開発の社会的および科学技術的な意義について触れた後、人型ロボットの運動生成における理論的・技術的課題について論じ、実現したい運動に対して適切なモデルを構築する必要性を主張している。

第2章「鉛直運動を許容する重心・ZMPモデルの解析と安定化制御への応用」では、重心の3次元的な運動を統一的に記述可能な線形モデルについて解析している。まず初めに、人型ロボットを単一の剛体とみなし、剛体の運動方程式から重心・ZMPモデルと呼ばれる支配的な挙動を表すモデルを導出している。このモデルでは、重心まわりの回転運動が十分に小さいという二足歩行運動において妥当な仮定のもと、環境からロボットに作用する力を、ZMP (Zero Moment Point) と呼ばれる3次元空間上の点の位置として表現している。次に、近年提唱された、3次元的なZMPの動きによって重心の任意の運動を線形に表現する理論を解析し、既存理論との対応を明らかにしている。あわせて、重心の3次元加速度を表す仮想的な反発点の存在やパラメータ不変性といった、このモデルに付随する性質を新たに示し、応用可能性を広げている。さらに、このモデルを用いた、人型ロボットの立位におけるバランス維持のための制御器を、線形制御理論に基づいて提案し、シミュレーションによってその有効性を示している。

第3章「時間軸変換を用いた幾何学的運動系列からの二足歩行運動生成」では、ロボットに与えられた幾何学的な要求と、ロボットが持つ物理的な拘束を結びつけ、動力学的整合性を担保するための軌道計画の手法を提案している。ここではまず、運動方程式を考慮しない幾何学的な運動系列を作成し、その後軌道最適化によって運動方程式を満たす運動に変換している。幾何学的運動系列とは、ロボットと環境点の接触の位置やロボットの位置・姿勢といった、位置の次元のみで記述できる幾何学的な条件から設計されている。そして、この幾何学的運動系列を実行可能な運動に変換するために、システムの時間軸変換と呼ばれる、状態方程式の時間軸を伸縮する理論を応用することにより、ロボットを支配する重心運動の状態方程式を、時間に関する微分方程式から、空間に関する微分方程式へと書き換える方法を提案している。さらに、この変換を離散化することにより、幾何学的運動系列と、物理的に実行可能な運動軌道の紐付けを行っている。設計した幾何学的運動系列と得られた空間発展の離散化モデルを用いて、有限時間最適制御問題を定式化し、微分動的計画法によって解くことにより、動力学的な整合性のあるロボットの二足歩行運動を得ている。最後に、この運動をシミュレータ上でロボットに追従させることで、動的な二足歩行を実現している。

第4章「有限状態機械の動的結合による複数独立タスクの即応的調停」では、ロボット自身や環境の状態をもとに、複数の有限状態機械を結合することで、多腕を持つロボットの全身運動をオンラインで生成する計算モデルを提案している。この章では、多腕を有するロボットにおいて、右手や左手のような複数の効果器のそれぞれに対して、タスクを与え、同時に実行させる問題を考えている。まず、全身の運動を単一の離散状態で表現しようとする、各効果器の離散状態の組み合わせ分だけ数が生じるという、タスクの並列実行における問題を指摘している。そして、この問題の解決策として、複数のタスクの並列実行を実現するために、効果器毎に定義された複数の状態機械から、全身の有限状態機械を自動的に構築する枠組みを提案している。この枠組みは、各効果器のタスクを自動的に階層化・並列化することにより、大規模な有限状態機械の設計コストを緩和している。提案手法においては、各タスクに優先度が割り振られており、優先度付き逆運動学のアルゴリズムが各効果器間のタスクを非干渉化することで、並列実行におけるタスクの競合を回避している。その結果として、実行可能なものから適宜実行するという意思決定を誘発している。最後に、動く障害物が存在する環境を模擬したシミュレーション環境上で、双腕を有するロボットが、実行可能なタスクから順に取り組み動作を実現し、提案手法の有効性を確認している。

第5章「結論」では、本論文の内容をまとめ、今後の展開について議論している。

以上を要するに、本論文は、二足歩行ロボットの重心運動を表す低次元モデルの解析、時間軸変換の理論に基づく離散モデルの構築、複数の腕の独立したタスクの調停と並列実行を可能にする計算モデルの構築を行い、それぞれのモデルを応用した運動計画法や制御則を提案することで、人型ロボットの運動生成法が抱える理論的・技術的制約を緩和するものであり、その工学上・工業上の貢献は大である。よって本論文は、博士(工学)の学位論文として十分価値のあるものとして認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大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。