

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	力学的拘束を満足するデータ写像に基づいたロボットの運動設計
Title(English)	
著者(和文)	宮寄哲郎
Author(English)	Tetsurou Miyazaki
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9446号, 授与年月日:2014年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:岡田 昌史,岩附 信行,武田 行生,三平 満司,山浦 弘
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9446号, Conferred date:2014/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

# 論文要旨

## THESIS SUMMARY

専攻： Department of	機械物理工学	専攻	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested	Doctor of	( 工学 )
学生氏名： Student's Name	宮寄 哲郎		指導教員 (主)： Academic Advisor(main)		岡田 昌史
			指導教員 (副)： Academic Advisor(sub)		岩附 信行

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

本論文は、「力学的拘束を満足するデータ写像に基づいたロボットの運動設計」と題し、以下の7章からなる。

第1章「序論」では、福祉工学における人の運動解析やロボットの運動生成において、運動実現のための条件や力学特性の異なる対象間での運動の比較が容易に行える必要があるが、運動は身体、環境、制御の相互作用から生成されるため、これらを統合的に扱う必要があることを述べる。特に、これらを同時に扱える、場に基づいた運動設計では非線形な力学系を扱いやすく、これまでに提案された軌道アトラクタに基づく自律制御系設計手法の有用性を述べるとともに、これを発展させるためには人の運動を利用可能とするモーションキャプチャが有効であり、得られたデータをロボットなどの他の力学系に利用するために力学特性の違いをつなぐ変換が必要であることから、力学的な拘束のもと、運動の変換手法を与えることが本論文の目的であると述べる。

第2章「軌道アトラクタに基づいた自律制御系の設計」では、自律制御系の設計手法を適用するにあたり、先に実現可能な運動データが必要であることを問題点として指摘し、そのために、制御系はロボットごと、運動ごとに設計しなければならず、これには多くの計算を必要とすること、さらに、非ホロノミック系の場合には実現可能な運動データが得にくいことを指摘し、すでに設計した自律制御系の情報や人の運動データを利用することが有効であるとともに、そのためには、もとの運動をロボットの力学特性に合致させる変換が必要であると述べる。

第3章「非線形状態空間写像による力学構造の一致を利用したロボットの運動生成」では、すでに得られているロボットの運動を状態空間内のベクトル場でモデル化し、場に基づいて新たなロボットの運動を実現するコントローラを写像によって求める手法を提案する。これはロボットの力学構造を考慮し、コントローラが生成する場がロボットの運動方程式を満たすことを拘束条件として写像関数を得る手法であり、ロボットが足踏み動作を行う場合に適用し安定な運動を生成することでその有効性を検証する。

第4章「非線形状態空間写像を用いた力学的整合を持つ運動変換」では、第3章で提案した手法が極めて多くの計算量を必要とするため、適用できるロボットの自由度が制限されること、写像関数の選択によっては拘束条件が満たされにくいことを問題点として指摘し、運動データ(関節角度と角速度のデータ)を変換する状態空間写像を求める手法を新たに提案する。これにより、計算が簡易化されること、拘束条件を満たしやすくなることを示し、複数のロボットが足踏み動作を行う場合の運動に適用することで、有効性を検証する。

第5章「位置・速度・加速度の微分関係と力学的整合性を満たす運動パターンの生成」では、さらに計算量を減らすために、床反力が正であるといった運動を満たすべき少数の条件を与え、設計パラメータを関節角度データとし、主成分分析を用いた運動の低次元化を加えた運動変換手法を提案する。特に、関節角度と角速度、角加速度の関係を擬似微分と零位相フィルタによって与えることで、これらの関係が伝達関数とのたたみ込み積分を表す行列の乗算で表されることを示し、関節角度の設計のみで運動方程式を満たすための拘束条件が考慮できる

こと、また、任意の運動について変換可能であることを示す。また、モーションキャプチャによって得られた人の運動データをロボットの運動へ変換する例を示すことで有効性を検証する。

第 6 章「力学的整合を満たす加速度運動パターン設計」では、第 5 章で提案した手法が、零位相フィルタを用いることで 4 階微分可能な関節角データとなること、さらに、これが歩行のように状態が切り替わる運動において、角加速度の不連続性を許容せず、適切な運動を生成しない場合があることを問題点として指摘するとともに、関節の角加速度を設計パラメータとした新たな運動変換手法を提案する。関節角加速度の不連続性が許容されることから関節角度データは 2 階微分可能なデータに留まり、また、第 5 章の方法と同様に、積分器の伝達関数とのたたみ込み積分を表す行列の乗算により、関節角加速度を角速度、角度に変換することで閉回路条件のような関節角度に関する拘束条件を与えられることを述べる。さらに、この方法を用いて人の歩行をロボットの歩行に変換した結果を示し、提案する手法の有効性を検討する。

第 7 章「結論」では、本論文における提案手法、および成果をまとめ、さらに提案する運動変換手法の展望として、制御系と身体の同時設計、および人の運動教示と運動補助器具の開発への応用可能性について述べる。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	機械物理工学	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 (工学) Doctor of
学生氏名 : Student's Name	宮寄 哲郎		指導教員 (主) : Academic Advisor(main)	岡田 昌史
			指導教員 (副) : Academic Advisor(sub)	岩附 信行

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words )

This thesis proposes a robot motion design method based on data mapping satisfying dynamical constraints. In this method, a motion transformation between different dynamical systems is proposed, and is utilized in a robot motion generation. However, a robot motion is generated according to a vector field which is formed from a body, an environment and a controller. Therefore, these elements have to be treated simultaneously in the robot motion generation. An autonomous control system based on orbital attractor gives an appropriate model of motion, and forms the vector field, which attracts a state vector to a target motion pattern, in a state-space. However, to design the autonomous control system, it is necessary to obtain the feasible target motion pattern, which is used to design the vector field. To obtain the feasible target motion pattern, a human motion data is measured by a motion capture system, and it is transformed to the robot motion data which satisfies the dynamical constraints. The thesis proposes 2 methods as follows. (i) First method is a vector field transformation. 2 different dynamical systems are uniformed each other by using a non-linear state-space mapping, and the vector field which is obtained from an existing controller is transformed to other vector field which is utilized to generate a new robot motion. (ii) Second method is a motion pattern transformation. The human motion data is transformed to the feasible robot motion data satisfying the dynamical constraints. The design parameters are trajectories of motion (angle, angular velocity, etc.) and input (force, torque, etc.). These are optimized to satisfy given motion requirements which contain 'motion conditions', 'dynamical consistency i.e. satisfaction of dynamic equation and constraints of contact force', 'limitations of design parameters'. To verify the effectiveness of the proposed method, motions of tap dancing robots and a moon-walk motion of a planar bipedal robot are obtained. As the result of experiments and calculations, these obtained motions satisfied the given motion requirements.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).