



Title	Studies on an Actuation Module with Inter-module Connection Constraints and Its Application for Human-like Robot Movements
Author(s)	于, 士琪
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/96120
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (于 士 瑛)	
論文題名	Studies on an Actuation Module with Inter-module Connection Constraints and Its Application for Human-like Robot Movements (モジュール間連結拘束機能を有するアクチュエーションモジュールと人間らしいロボット動作への応用に関する研究)
論文内容の要旨 Humanoid robots possess multiple degrees of freedom (DOFs) to facilitate human-like behavior, essential for interaction with people. Structuring and controlling these multi-DOF robots is a fundamental challenge in robotics engineering. As complexity and DOFs increase, controlling multiple DOFs concurrently becomes increasingly difficult. Conversely, simplifying the robot structure often results in reduced movement diversity, challenging the achievement of human-like movements. Recent studies have considered robotic structures and actuation methods aimed at managing the complexity of control while realizing desired movements. Inspired by the coordinated constraints of movements in human joints through multiple muscles, this dissertation introduces a novel approach of actuation in humanoid robots through the actuation modules with incorporated fluidic pressure actuators. These combined modular structures not only form the robot's physique but also create an interconnected system where force can be transferred seamlessly between actuators without the need for complex control, thanks to the physical connections by tubes and other means. The Actuator Network System (ANS), is designed to ensure that external forces applied to one actuator propagate through the network, constraining the robot joint movements. By determining the connections within the ANS, we can replicate the constrained joint movements of a human, thus minor-adjusting the robot's movements to appear more human-like. The first part of the study introduces the actuation module as a basic design for connection constraints. The modular structure with built-in inter-connectable actuators simplifies the design and control of humanoid robots. Using these modules, we constructed a structure mimicking a human spine. The second part explores the response of interconnected actuation modules. A physical interconnection mechanism for force transmission among the modules was developed, manipulable using solenoid valves. A simple spinal structure composed of five serially connected modules was constructed with the proposed mechanism. Experiments demonstrated the movement response to external force for all possible connection patterns, revealing actual trace variations when switching between these patterns. The third part extends to applying connection constraints to a whole-body humanoid robot comprised of actuation modules. This study was conducted in simulation environment. Building on joint synergy control methods, which reduce the control dimensions of a multi-DOF humanoid robot, we introduce a fascia-inspired non-linear constraint. Experimental results show that our connection constraint enables the robot to execute motions more akin to human movements and with reduced errors compared to those relying solely on linear joint synergy. Overall, the robot modularized by actuation modules enables diverse coordinated movements through the switching of connection patterns. Furthermore, we introduced an implementation method of the principle of configuring these patterns to generate movements that resemble those of humans. The superiority of the modular structure and the connection constraints simplifies both construction and control, making it easier to build multiple DOFs humanoid robots and to simplify the control mechanisms. In the future, 3-D movements and mobile robots will be studied, along with their selective responses toward practical applications in society scenarios.	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (于 士 瑛)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教 授	石 黒 浩
	副 査	教 授	原 田 研 介
	副 査	教 授	佐 藤 宏 介

論文審査の結果の要旨

本論文では、人型ロボットにおいて、人間らしい振る舞いを実現するために必要とされるロボットの構造設計と動作生成手法を提案し、応用例とその検証結果について報告している。これまでの人型ロボットは多くの自由度を持つ一方で、人間らしい動きを再現しようとする、制御の単純化と生成動作の人らしさの間のジレンマが生じている。そのため、本論文における提案手法では、物理的に相互連結可能なモジュール構造を提案し、それらを組み合わせ、さらに、モジュール間の連結による拘束パターンを切り替えることにより、人間らしい動作を再現する。

本論文で得られた成果は以下である。まず、連結拘束メカニズムの基本構造として、流体圧駆動のアクチュエーションモジュールの構造を提案した。本モジュールによって、人間の脊椎を模倣した構造を構築し、様々な姿勢を再現できることを確認した。次に、人間の脊椎を模倣した構造についてモジュール間の接続状態を切り替え、外部入力に対する応答を探索的に実験で調査した。接続状態の違いによって、脊椎のロボットの先端の応答が変化することが確認された。さらに、上記メカニズムを実装した、全身の人型ロボットのシミュレーションモデルを作成した。実際の人間の動きを主成分分析によって低次元化してモデルを動作させる際に、モジュール間の連結で実現されるような非線形の拘束手法導入した。導入する場合では、導入しない場合と比較して、基となった人間の動きに近い動きが実現された。この拘束は、物理的な接続としてハードウェアで実現されるため、制御が複雑化を抑えられる。

以上のように、本論文では、物理的な拘束を用いたモジュールシステムを提案し、人型ロボットの動作生成と制御の単純化の問題に対する新たな仕組みを提供した。提案手法は、新しいハードウェアコンポーネントの提案と動作生成に必要な基本的な問題を扱っており、これらの成果を基に更なる発展が期待される。よって、本論文は、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。