



Title	Studies on control methods for musculoskeletal robots using muscle synergies
Author(s)	Fu, Kin Chung Denny
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/59624
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (FU KIN CHUNG DENNY)	
Title	Studies on control methods for musculoskeletal robots using muscle synergies (筋シナジーを用いた筋骨格ロボットに対する制御法の研究)
Abstract of Thesis	
<p>Musculoskeletal robots have flexible and compliant structure inspired by biological creatures. They are capable of performing a variety of tasks, and can enhance dexterity and safety in various situations, such as replacing human jobs to perform dangerous and tedious tasks, and environments where robots work in close proximity with human. However, technical difficulties of controlling the complex structure that having many joints and muscles hinders development to practical applications. In biological studies, it has been suggested that the central nervous system of vertebrates simplifies control complexity by coordinating groups of muscle co-activations, namely muscle synergies, to produce movements, instead of controlling muscles independently. This research studies control methods using muscle synergies for musculoskeletal robots. First, in a case of controlling a musculoskeletal robot using an optimal control theory, analysis of several sets of muscle synergies arising from optimizing muscle activations according to different optimization objectives is carried out. Results show that muscle synergies can reduce control dimensionality while maintaining control performance. Moreover, the analysis demonstrates that the muscle synergies for performing a specific task can be extracted from muscle activations optimized according to an energy-related optimization objective function that does not include task-related variables. Second, the problem of how to extract muscle synergies given a data sample of parameterized muscle activations that are randomly initialized, without prior knowledge of robot dynamics is investigated. Most literature assumes that muscle synergies can be directly extracted from a given data sample of muscle activations that have inherent statistical regularities. A data preprocessing method is proposed to estimate a set of muscle activations that produces the same set of end-effector accelerations with minimum control efforts, from the randomly initialized parameterized muscle activations, based on system identification of the robot dynamics using a kernel-based regression technique. A data-driven controller is also designed using sliding mode control technique to perform task space tracking control task. Results show that muscle synergies can be extracted from the estimated set of muscle activations, and can be utilized to control a musculoskeletal robot in a reduced control dimensionality. The proposed method contributes to enabling extraction of muscle synergies from data sample without statistical regularities. Third, the problem of enabling a musculoskeletal robot to obtain muscle synergies by itself is studied. Inspired by the motor skill learning in human infants, a data collection method is proposed based on a goal-directed exploration strategy. During exploration of designated targets spreading over an unknown task space, the robot is controlled in a reduced control dimensionality using muscle synergies and the data-driven task space tracking controller established from a local data sample. Results show that the proposed method can enable the robot to obtain muscle synergies and to establish a low-dimensional controller by itself, making a step forward to the development of autonomous musculoskeletal robots. Finally, this thesis concludes with several current limitations and future directions. The main contribution of this thesis is the investigation of the feasibility of control methods utilizing muscle synergies for a musculoskeletal robot. This research would be the first step to the realization of robots that can work in daily life.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (FU KIN CHUNG DENNY)		
論文審査担当者	(職)	氏 名
	主査 教授	石黒 浩
	副査 教授	新井 健生
	副査 教授	細田 耕

論文審査の結果の要旨

近年、人が日常的に活動する空間で動作するロボットの研究が盛んに行われており、レスキューロボットなど人間が作業するには危険な状況でのタスクなどに大きな期待が寄せられている。これらのロボットは様々な障害物や人など、雑多な物体が存在する実環境に柔軟に対応する必要がある。このような環境において、適忯的で汎用的な機能を持つ例は自然界で容易に見つけることが可能であり、例えば人間は様々な環境で多種多様な動作を行い、与えられたタスクを達成することができる。このような観点から、生物の身体構造を模した筋骨格ロボットの研究が盛んに行われている。筋骨格ロボットは、サーボモータなどのバックドライブリバビリティを持たない駆動システムや、与えられたタスクに特化した構造を持つロボットとは異なり、柔らかい駆動システムや冗長性を持つなど多様な環境やタスクへの柔軟性や汎用性を期待されている。しかし、複雑な構造を持つロボットの制御は容易ではない。本研究は、特にアクチュエータの冗長性により生じる困難を生物がその複雑な身体を制御する際に利用していると言われている筋シナジーの考えに基づき、解決しようとしているものである。

筋肉への制御指令である筋電位を計測すると、生物は多種の筋を利用して運動しているにも関わらず、その運動指令の次元の実効的な次元が筋の数よりも少ないことが示唆されている。すなわち、すべての筋を独立に制御しているのではなく、複数の筋を同期的に動作させることで運動指令を低次元空間に写像していると考えられる。このような筋の活性化のパターンを筋シナジーと呼ぶ。本論文ではこの筋シナジーという考えを筋骨格ロボットの制御に取り入れた。

本論文では、はじめに筋シナジーの有用性の調査として、ロボットの数理モデルが与えられた条件の下で、最適制御法によって生成される制御指令の有効な次元と制御のための計算コストについての比較検討を行っている。冗長なアクチュエータにより駆動されるロボティックアームの制御において、与えられたコスト関数を最小化する制御信号を解析することで、制御信号の実効的な空間を低次元化する写像（筋シナジー）を抽出した。この写像を用いて制御信号を低次元化した場合に、制御の質（コスト）を維持しながら、最適制御に必要な計算コストを減らすことができる示した。さらに、その低次元化において、動作のエネルギー効率や運動軌道のスムーズさなどを基準とした指標を用いることで、厳密な数理モデルを必要とする最適制御に依存しない筋シナジーの抽出が可能であることを示唆した。次に、カーネル法と組み合わせたシステム同定手法を利用することで、ロボットの数理モデルが与えられない条件の下で筋シナジーの考えを利用した制御手法を導出し、冗長なアクチュエータにより駆動される筋骨格ロボットに対するデータ駆動型の制御手法を提案し、その評価を行った。

本研究では、筋シナジーの考えを利用して実効的な制御空間を低次元化することで、冗長なアクチュエータを持つ筋骨格ロボットの制御を実現する方法を提案している。厳密な数理モデルを得ることができない冗長で複雑な構造を持つ筋骨格ロボットを制御する上で、筋シナジーを導入することで制御を簡便化できることを示唆したことは、今後、複雑化するであろう筋骨格ロボットの制御を実現するための一歩として重要なものであり、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。