Osaka University Knowledge Archive

Title	MUSCLE SYNERGIES : EXTRACTION AND IMPLEMENTATION IN UPPER LIMB MOVEMENT CONTROL
Author(s)	Pham, Hang Thi Thu
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/27497
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

【71】

氏　　名	PHAM HANG THI THU（ファム ハン スィ スゥ）
博士の専攻分野の名称	博　士（工学）
学　位　記　番　号	第　２６１０２　号
学位授与年月日	平成25年３月25日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 基礎工学研究科機能創成専攻
学　位　論　文　名	MUSCLE SYNERGIES: EXTRACTION AND IMPLEMENTATION IN UPPER LIMB MOVEMENT CONTROL （上肢運動制御における筋シナジーの抽出と実装）
論　文　審　査　委　員	（主査） 教　授　宮崎　文夫 （副査） 教　授　田中　正夫　　教　授　新井　健生

論　文　内　容　の　要　旨

Robotics plays an important role in many areas of human life. One of its important applications is in rehabilitation. Solving the redundancy problem is a key issue to improve the dexterity and stability of robots' performance so that they can work compliantly and safely with humans. This requires an understanding of the neuro-mechanical control of limb movements, which is necessary to integrate biological information with the mechanical system into a single architecture that is more flexible and more adaptive to a variety of environments. This understanding is also needed for the effective design of interfaces to transfer the skillful movements of humans to robots.

The synergy hypothesis suggests muscle synergies as a solution to the redundancy problem. On the other hand, the equilibrium point hypothesis is a promising hypothesis in motor control to interpret the physiology of movements. Inspired by the synergy hypothesis and the equilibrium-point hypothesis, we proposed two concepts, the agonist-antagonist (A-A) ratio and A-A activity, as variables to investigate muscle synergies. The derivation of the A-A

ratio and A-A activity concepts was based on the analogy between the biological system and a robot system with antagonistic artificial muscles. The A-A ratio is directly and linearly related to the equilibrium joint angle for a desired motion. The A-A activity is directly and linearly associated with the joint stiffness at any equilibrium joint angle. We expected that these concepts would be applicable to the biological system, providing variables to extract muscle synergies from muscle activities.

We then provided a method to extract and implement muscle synergies from the human electromyography (EMG) for human upper limb movements. We conducted a hand-force production task to investigate the mechanisms of the human's skillful hand-movement at producing force while manipulating objects. Using principle component analysis (PCA) algorithm, we reduced the dimension of the EMG dataset. Furthermore, using a linear regression analysis, we estimated the hand-force deviation in response to the reduced data of the measured EMGs with the constraint that all muscle contractions were isometric. A high correlation between the EMGs and the hand-forces was observed. From the regression model, muscle synergies can be extracted. While other methods cannot clarify the mechanisms of how the synergies generate forces, we can explain physical meanings of the extracted muscle synergies. Considering a polar coordinate frame centered on the shoulder joint, one synergy seemed to generate hand-forces in the angular direction, while the other synergy seemed to create hand-forces in the radial direction. This interpretation suggests a simple method to generate desired movements through two synergies resulted from a unique combination of multiple muscles.

Based on the human analysis results of the hand-force production task, we hypothesized a framework for motor control of the human upper limb. The framework suggests a simple and unique solution to generate upper limb movements. To implement the framework to musculoskeletal robot control, we proposed a synergy-based control method using two synergies as manipulated variables. This synergy control method is simple and flexible to be applicable to more complicated musculoskeletal robotic systems and for a wide range of tasks.

Finally, we conducted experiments to observe the performance of two human subjects in a coordinated task. The observed role sharing would be helpful to improve the performance of musculoskeletal robots that involve in interaction tasks with human.

論文審査の結果の要旨

ヒトは関節まわりに拮抗的に配置された多数の筋群を巧みに制御することで、生物特有のしなやかな運動を実現している。中枢神経系からこれらの抹消筋群へ送られる運動指令には、ヒトの意図する運動学情報や剛性情報が含まれていると考えられる。これらの情報を明らかにすることが「ヒトの運動制御」分野の主要な研究目的の１つとなっているが、未だに明確な答えは見出されていない。 本研究は、骨格筋の活動電位を記録したEMG（筋電図）からこれらの情報を抽出する方法を提案するとともに、ヒトと同様な筋骨格構造を持つロボットの運動制御に適用する方法を示したものである。

研究の核となるのが、平衡点仮説に基づく拮抗駆動の生体筋と空気圧ゴム人工筋のアナロジーである。 1対の空気圧ゴム人工筋によって拮抗駆動される１関節モデルに対して、筋拮抗比と筋活性度を定義すると、これらがそれぞれ平衡点である関節角度と関節剛性に対応することを理論的に示すとともに、この関係が多関節モデルにも拡張できることをまず示した後、同様の概念をEMGに適用することにより、EMG信号からヒトの意図する運動学情報（平衡点）と剛性情報を抽出し、それらが実際の計測値と高い相関があることを示している。

研究のもう１つの核は、多数の拮抗筋群の協調的な振る舞いを筋シナジーとしてEMG信号から抽出する点にある。上肢の運動中のEMGから抽出した筋拮抗比と筋活性度をそれぞれ主成分分析することにより、 中枢神経系から抹消筋群へ送られる運動指令が少数の筋シナジー（拮抗筋群の組み合わせ）の重み付き線形和で表現できることを明らかにするとともに、その結果を空気圧ゴム人工筋駆動の上肢筋骨格ロボットに適用し、上肢を手先座標で直接的に制御できることを示した。

以上のように本研究は、未だに十分解明されていないヒトの運動制御の理解を深化させ、ヒトと同様な筋骨格構造を持つロボットの制御技術を大きく進展させる可能性大であり、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。