

審査の結果の要旨

氏 名 池上 洋介

本論文は、モーションキャプチャー、床反力計、筋電計などの非侵襲的運動計測データから身体内部の筋活動の推定を行う際に必要になる、被験者固有の身体モデルや外界との接触モデルを作成する問題について、幾何学的特徴を基礎とした方法を研究した成果をまとめたものである。

第1章は「Introduction」であり、C. Darwinの進化論、J. Wolffによるウォルフ理論、さらに1960年のH. Frostによるメカノスタット理論などから説明される骨形状と運動機能・力学の関係を指摘し、被験者固有の身体モデルを作成する際に幾何学的特徴を基礎とすることの正当性を述べている。その上で、本論文の研究の目標を関連研究との位置づけとともに説明している。

第2章は「Subject Specific Musculoskeletal Modeling Based on Geometric Morphing of Skeleton」と題し、標準モデルと被験者の骨形状の違いを骨固有の名前が付けられた特徴点の関係として捉え、CGアニメーションの幾何モーフィング技術を応用して、それらの間の変換を関数として表す方法を与えている。

第3章は「Subject Specific Inertia Modeling Based on Geometric Morphing of Skin」であり、体格を表した皮膚形状から、高自由度モデルで表した被験者固有の質量パラメータを得る方法を議論した。まず、一連の運動から骨格モデルのリンク長を推定する。次に皮膚形状を、日本人の体格データベースの主成分分析の結果を用いて、数点の被験者計測値から推定する。続いて、皮膚内界の格子点に質点を分布し、質点の帰属するリンクと帰属度を決定するというものである。

第4章は「Motion Analysis with Contact Force Estimation」と題し、外界との接触力を推定するための接触モデルとそれを用いた推定を論じている。(1) ヒューリスティックスを用いた単純な接触モデルを導入することで接触力が安定に推定できること、(2) 従来法では接触力の推定と筋張力の推定を階層的に行っていたものを、同時最適化することで筋電情報を接触力推定にも使えること、などを主張している。

第5章は、「Analysis of Masters' Skill from Musculoskeletal Estimation」と題されている。上記の3つの章で提案した各方法を実装したシステムを、演奏者やアスリートなどの高度身体技能者の運動解析に用いることで各方法の有効性を示すとともに、解析結果から技能者の技能の特徴を説明している。高度身体技能者とは、太極拳の名人、著名タップダンサー、柔道のオリンピックメダリストたちである。

第6章は「Musculoskeletal Morphing Between Different Species of Mammals, from Human to Mouse」と題し、ヒトとマウスの異種哺乳類間で骨格の変換を行う関数を求めている。この関数を用いてヒトの筋の付着情報をマウスの骨格に写像し、ヒトの筋モデルからマウスの筋骨格モデルを比較的簡単に作成できた。マウスの下肢の筋付着点を与えた先行研究と写像で得た下肢モデルを比較し検証を行った。この方法は哺乳類や異種動物の筋骨格モデルを簡便に作成する方法として有効なだけでなく、絶滅動物や化石人類の筋骨格モデルを作り運動を再現するなどへの展開が期待される。

第7章は「Muscle Force Estimation for the Behavioral Analysis of Mutant Mice」と題して、マウスの筋骨格モデルを用いてマウスの遺伝子変異体で、特異的な歩行を見せる、ハガーマウスの筋張力解析を行っている。マウスの質量パラメータを第3章の方法を簡略化した方法で推定し、鉛直成分の接触力を計測するロードセルを各段にもつ階段を開発して、マウスモデルの筋張力解析を行った。筋活動の推定結果は今後の検証が待たれるものの、このような大自由度筋骨格モデルによるマウスの筋活動解析は世界で初めてのものである。

第8章は、「Conclusion」であり、以上説明した本論文の成果をまとめ、結論を述べている。

以上を要するに、本論文は、被験者固有の大自由度の筋骨格モデルを作成する問題に対して、幾何形状に基礎をおいて少ないパラメータで筋モデルや質量モデルを簡便に作成するための基盤的な技術を開発したものであり、単にヒト被験者モデルの作成だけでなく、ヒトモデルから異種哺乳類のマウスモデルを作成することで広い応用を展望させた。このように本論文は、知能機械情報学に貢献するところが大きい。

よって本論文は、博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。