

審査の結果の要旨

氏名 鮎澤 光

本論文は、一般的な脚型移動機構に共通する、浮遊基礎リンクをもつ大自由度多体系の動力学問題に関して計算論的な基礎研究を行い、その具体的な応用として人間の身体やヒューマノイドの身体の質量特性の同定についての研究成果を含めてまとめたものである。本文は全8章から成る。浮遊する基礎をもつリンク系の動力学における質量分布特性に関する理論的考察によって、リンク系の全質量特性が浮遊基礎リンクの運動方程式のみから同定可能であることを初めて証明した。本論文で提案する同定法がロボットのみならず人間の各部位の質量特性にも適用できることを示し、リアルタイム同定法として基礎力学パラメータの同定法を実装し、実験による検証を行った。また、質量の有限質点分布モデルという概念を提案することによって、基礎力学パラメータだけでなく物理的意味の明確な質量パラメータの形で同定する方法を明らかにした。さらに有限質点分布モデルを有限点分布モデルへと概念の一般化を行い、有限点分布モデルの高次モーメントを用いた新しい逆運動学の解法を提案している。

第1章は、「Introduction」であり、ヒューマノイドロボットや人間の身体の質量パラメータの同定問題についてその必要性を述べ、その計算法についてこれまでに先行する多くの関連研究の成果を説明している。

第2章は、「Inertial Parameters and Finite Distribution Model」と題し、質量パラメータと有限分布モデルの関係を述べ、有限質点分布モデルでは物理的整合性条件が、凸多面体条件で表されることを示した。さらに運動量が保存される場合には、非可同定質量パラメータが存在することを示し、その物理的な理由を説明した。

第3章は、「Finite Distribution Model of Feature Points and their High-Order Moments Applied to Inverse Kinematics」と題し、幾何学的な逆運動学の問題を、幾何学的な特徴点の有限分布モデルとして扱うことを提案している。特徴点群の高次モーメントを用いることによって、リンク系の全体的な形状特性をとらえて逆運動学を解く新しい解法が提案された。

第4章は、「Identifiability of Inertia Parameters from Unactuated Base Link Dynamics」と題し、非駆動浮遊基礎リンクの運動方程式のみから、全リンク系の運動方程式を特徴付けるすべての基礎力学パラメータを同定できることを証明している。

第5章は、「Identification of Base Parameters of Legged Mechanisms」と題し、4章の結果を実装し、小型ヒューマノイドロボットの同定へ適用し検証している。また、空中浮遊するシステムや、ジャンプ状態の動作データからでは、床反力計などの力計測情報がない場合であっても、全質量を除く全基礎力学パラメータが同定可能であることを導いている。

第6章は、「Identification of Standard Parameters with Physical Consistency」と題し、基礎力学パラメータとして同定されない力学パラメータの部分空間を、CADデータなどの付加的な知識を用いて埋め合わせるとともに、有限質量分布モデルと最適化計算を用いることによって全リンクの質量、質量中心位置、慣性テンソルなどの物理的意味が明確な力学パラメータを推定する方法を説明している。

第7章は、「Identification of Human Mass Properties in Realtime」と題し、開発した同定法

を人間の質量パラメータの推定に適用することを提案している。実時間推定問題として実装し、同定の進展をリンクの色で表すユーザ・インタフェースと組み合わせることによって、同定に必要な複雑な軌道を計算する必要はなくなり、人間がリンクの色を見て自ら必要なリンクの運動を作ることができるようになった。実験を通じて検証されその有効性が示された。

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、一般的な脚型移動機構に共通する、浮遊基礎リンクをもつ大自由度多体系の動力学問題に関して計算論的な基礎研究を行い、その具体的な応用として人間の身体やヒューマノイドの身体の質量特性の同定についての研究成果を含めてまとめたものであり、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。