

審 査 の 結 果 の 要 旨

論文提出者氏名 山根 克

本論文は「Realtime Interactive Dynamics Computation of Structure-Varying Kinematic Chains and Its Application to Motion Generation of Human Figures」(構造可変リンク系のインタラクティブな実時間動力学計算とそのヒューマンフィギュアの運動生成への応用)と題し、11章からなっている。

ヒューマンフィギュアとは人間型のヒューマノイドロボットやコンピュータグラフィックスやアニメーション製作の中で使われる人間のモデルを表している。ヒューマノイドロボットの機構・制御系設計および動作設計において力学的シミュレーションの必要性が高まっている。ここでは従来の汎用の機構解析ソフトウェアでは出せなかった計算の高速性が重要な技術課題となっている。実時間計算が可能になれば、設計者がインタラクティブに運動を評価しながら機構や制御系や動作の設計を行うことができるため、現在よりも効率的でさらに高次元設計が可能になる。アニメーションの人間の運動生成においても力学シミュレーションによって力学的に整合性のある運動を作ることができれば、アニメーション製作者を支援することができ、その生産性を高めることができる。本論文はこのような技術課題に対して重要ないくつかの計算法を新たに開発し、それを実装して有効性を実証したものである。

本論文の第1章は序論で、動力学計算法についての従来の研究と、ヒューマノイドロボットなどで求められている動力学シミュレーションについて述べている。さらに運動のインタラクティブな生成の重要性を指摘して、この論文の目指す方向、ならびに内容と特徴を概説している。

第2章では、開リンク閉リンクを問わず一般的なリンク系の連鎖条件を計算する方法を提案し、それを用いた順逆動力学計算法について述べている。従来の機構解析ソフトウェアで採用されているアルゴリズムのように高次元で運動を表現し拘束を計算時に評価して解くのではなく、連鎖条件を用いて運動を低次元に落とした上で計算することができるため効率性の高い計算法となっている。

第3章では、運動中にリンク構造が変化するリンク系の動力学計算法について述べている。ヒューマノイドロボットが両足で立つとき、片足で立つとき、手すりを持つとき、ジャンプするときなどでは、構造が変化するリンク系として計算することが、計算の効率性から望ましい。本章では、このような問題にリンク系の結合解析計算を必要としない動力学計算法を展開している。

第4章は新たな順動力学計算法を提案した章となっている。これは単一の処理装置ではリンク数に比例した計算量( $O(N)$ )をもち、処理装置をリンク数 $N$ に比例した数だけ並列に接続すれば、計算時間がリンク数の対数に比例する( $O(\log N)$ )までになるという特徴をもつアルゴリズムである。

第5章、および第6章では接触運動の計算法を扱っている。第5章ではヒューマノイドロボットの足と地面の接触時の運動を、剛体接触モデルに基づいて、運動量保存則と反発計数を用いることによって効率的に計算する方法を提案している。また、第6章では、接触運動をバネ質量モデルを仮定して計算する方法を議論している。このモデルでは接触力の時間変化が激しいため従来は積分時間刻みを極端に短くすることが必要であった。ここでは陰積分方を用いることで積分時間を比較的長く取ることができる計算法を開発している。

第7章では、第2章で展開した動力学計算法を6自由度の平行マニピュレータの制御系に実装した結果について述べている。加速度パターンの再現を目的とした実験を行い、動力学の実時間計算を利用した制御系の有効性を確認している。

第8章では、順動力学の高速計算の応用として、時系列的に与えられた必ずしも動学的に正しくない目標運動パターンを動学的な整合性をもつ運動パターンに変換する方法を論じている。

第9章と第10章は特にコンピュータグラフィックス上の人間のアニメーションの動作生成法を開発したものである。第2章、第3章で論じた運動拘束の表現法を利用して、アニメーション製作者が運動拘束を自由に追加・削除できるインターフェイスを開発し、過拘束や特異点問題を緩和する計算法を採用することで、生産性の高いアニメーション製作環境を実現している。

第11章は結論であり以上の研究を要約したものである。

以上を要するに、本論文は、複雑なリンク系の拘束や動力学の計算を効率的に行う計算法を確立し、それを用いてヒューマノイドロボットやコンピュータグラフィックスの人間の運動生成などに応用したものであり、機械工学ならびにロボティクスに寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。