

審査の結果の要旨

氏 名 山 川 雄 司

本論文は、「柔軟物体の変形・操作モデルを用いた高速マニピュレーション」と題し、9章より構成されている。本論文は、高速ロボットシステムによる柔軟物体の高速マニピュレーションのための新しい操り戦略や制御手法を提案し、それらを軸とした多様な柔軟物体のマニピュレーションを実現している。

第1章は「序論」であり、ロボットマニピュレーション技術の現状を概観し、従来の剛体を対象としたマニピュレーションと比較しながら、柔軟物体の動的マニピュレーションの課題を俯瞰した上で、本研究の背景と目的について述べている。

第2章は「柔軟物体の高速マニピュレーション」と題し、柔軟物体のマニピュレーションの難しさを「柔軟物体のモデル」と「柔軟物体のマニピュレーション手法」の観点から考察し、従来手法の問題点を明らかにしている。「柔軟物体のモデル」に関しては、従来のモデルでは、モデルの導出、パラメータの推定、モデルの解析等が困難であり、戦略・制御の提案もなされておらず、「柔軟物体のマニピュレーション手法」に関しては、従来の方法では、静的なマニピュレーションが主流であるため、高速性の実現が困難であり、柔軟物体の変形の予測が難しいため、ダイナミクスの記事が困難といった問題点が存在していた。そこで、ロボットの高速性を利用することにより、柔軟物体の変形モデルをシンプルなものとし、柔軟物体の“変形モデル”を利用した戦略、並びに柔軟物体への操作手順を決定する“操作モデル”を利用した戦略を提案している。さらに、これらの戦略に基づき、実現するタスクの設定を行い、簡単な応用例を示している。

第3章は「高速ロボットマニピュレーションシステム」と題し、軽量高速多指ハンド、5自由度高速ロボットアーム、1 自由度高速スライダ、高速触覚センサ、アクティブビジョンシステム、高速カメラ、リアルタイム制御システム等から構成される高速ロボットマニピュレーションシステムについて説明している。

第4章は「高速ロボットアームを用いた柔軟紐の動的結び動作」と題し、「柔軟物体の変形モデルを利用した戦略」に基づいて、高速ロボットアームによる柔軟紐の動的結び操作を実現している。ロボットの高速動作を利用することにより、柔軟物体の変形モデルがロボットの軌道から算出される代数方程式で記述できることを示し、シミュレーション結果と実験結果を示すことにより、提案する代数モデルの有効性を確認した。この代数モデルを用いることで、与えた紐の目標形状に対するロボットの軌道を計算することができ、様々な形状生成が可能となり、結果として、動的結び操作に必要な要素を実現するロボットの軌道生成に関して、シミュレーションにおいて、その軌道の有効性を確認するとともに、実機実験により軌道生成の妥当性を確

認し、動的結び操作を実現している。また、動的結び操作を実現するには紐同士の衝突を利用して、衝突後の紐の挙動について単振り子モデルを用いて解析を行い、結び目生成の可能性について、ロボットの動作条件を明らかにしている。

第5章は「2台の高速多指ハンドを用いた布の動的折りたたみ動作」と題し、布や紙のような面状柔軟物体に対して、高速多指ハンドと高速スライダ、高速視覚フィードバックを利用した布の動的折りたたみ操作を実現している。ここでは、1次元的な代数モデルを布のような2次元的な代数モデルに拡張し、布の動的折りたたみ操作を実現する軌道生成を行い、得られたロボットの軌道の妥当性をシミュレーションにより検討するとともに、布を折りたたむ操作を3重振り子モデルにより解析し、慣性による布の折りたたみの可能性を確認している。また、折りたたまれた布の把持タイミングに対しては、高速ビジョンを用いた高速視覚フィードバックによる把持戦略を提案し、ロボットの軌道生成と高速視覚フィードバックを用いることにより、高速かつロバストな布の動的折りたたみ操作を実現した。

第6章は「柔軟紐の結び操作の動作計画」と題し、「柔軟物体の操作モデルを利用した戦略」に基づいて、柔軟紐の高速片手結び操作を実現している。人間の紐結び動作を解析し、輪の作成・紐の入替・紐の引抜の3つの操りスキルが結び操作に必要であることを見いだしている。さらに、結び目理論との対応について考察し、結び目の構造や解析に用いられる結び目の記述方法を提案している。これらに基づき、操りスキルの特徴を明らかにし、結び目の動作計画を行うための操作モデル(解き動作・結び操作に対する解析方法)を提案することにより、任意の結び目の生成が可能であることを明らかにしている。

第7章は「高速多指ハンドを用いた柔軟紐の片手結び操作」と題し、得られた結び操作計画を実際に実現するためのロボットハンドの操りスキル(輪の作成、紐の入替、紐の引抜)に対して、操りスキル戦略と制御手法を提案・実装することにより、止め結びとひと結びの実験結果を示している。

第8章は「将来展望」と題し、本論文で明らかとなったマニピュレーションの実際の応用例を考察している。

第9章は「結論」であり、本研究の成果がまとめられている。

以上要するに、本論文は、柔軟物体を対象とした高速ダイナミックマニピュレーションにおいて、柔軟物体のシンプルな変形モデルを提案することにより、柔軟物体の形状をロボットで制御することが可能であることを示すと同時に、柔軟物体に対する操作をいくつかの基本操作に分解し、その組み合わせで表現する操作モデルを提案することにより、柔軟物体に対する様々なマニピュレーションが実現可能であることを示したものである。さらに、実際の高速ロボットシステムを用いて、実験によって、その有効性を実証したものである。本論文の成果は、柔軟物体に対する高速マニピュレーション技術を飛躍的に向上させ、様々な応用を可能とするものであり、関連する分野の発展に貢献するとともに、システム情報学の進歩に対して寄与することが大であると認められる。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。