

## 審査の結果の要旨

氏名 万 偉偉

本論文は、対象物体のコンフィギュレーションスペース( $C^{obj}$ )とエンドエフェクタフォーメーションのコンフィギュレーションスペース( $C^{fm}$ )を用いて、ケーシングを計画する手法を提案したものである。論文では、ケーシングが、物体が動かない状態(イモビライゼーション)の緩やかな形態であることを明らかにし、それゆえケーシングが、ロボットの認識誤差や制御の不確定性に対処するのに適していることを示している。具体的には、ケーシングを計画するアルゴリズムを実現しその有効性をシミュレーションと実ロボット実験により検証している。

論文は、8章より構成されている。第1章では、まず、分散型のエンドエフェクタをもつロボットにとってケーシングがもつ利点を整理し、次に、ケーシング計画を実現するために解かねばならない問題として、ケーシングテストと、ケーシング最適化の問題があることを述べている。

第2章では、ロボットマニピュレーションのこれまでの研究を整理することで、ケーシングを従来の把持(グラスピング)研究と結びつけるとともに、ケーシングがグラスピングの一般系であると結論づけている。

それに続く第3章から第6章では、ケーシング計画アルゴリズムを2つの方法、つまり  $C^{obj}$  と  $C^{fm}$  の二つのコンフィギュレーションスペースにおいて、並列的に扱っている。まず、第3章では、 $C^{obj}$  において2Dの凸多角形とその境界上の2つの接触点が与えられた時、第三番目のエンドエフェクタがとるべきケーシング領域を求める従来アルゴリズムを再実装し、それに基づいて、一般のケーシングを並進と回転の制約条件に分解することで計算時間を節約しながら、3つのエンドエフェクタのケーシング領域を順に求める処理法を提案した。この提案手法によれば、2Dの凸物体に対するケーシング計画問題を解くことが可能になる。第4章では、その不確定性へ対処できる効果を、シミュレーションと、分散エンドエフェクタによるマニピュレーションやマルチ移動ロボットでの実験により検証している。次に、第5章では、 $C^{obj}$  では解けなかった凹物体をふくめ、任意の2D形状物体に対するケーシング計画を可能にする、 $C^{fm}$  におけるアルゴリズムを提案している。具体的には、 $C^{fm}$  の全スペースを効率的に更新できるスペースマッピングの考え方を示し、それによって更新された  $C^{fm}$  に基づけばケーシング候補をすばやく発見でき、最適ケーシングコンフィギュレーションを決定でき、これらによってケーシング計画問題が解けることを示している。また、これに基づく計画システムの構成についても論じている。第6章は、提案アルゴリズムの有効性をグリッピングロボットハンドの設計と実験によって示している。

第7章では、提案した各アルゴリズム間の関係と選択法を提示している。 $C^{obj}$  は、可能なキャプチャポイント(エンドエフェクタが物体と接触する点)が多く、広く分散している状況でのケーシング計画には向いているが、物体形状は凸物体に限られる。逆に  $C^{fm}$  は、任意の形状の2D凹形状を含む物体のケーシング計画に向いているが、扱えるエンドエフェクタのフォーメーション数に限度がある。

第8章は結論である。ここでは本研究で実現されたアルゴリズムと実装したロボット及び得られた知見について整理して提示するとともに、アルゴリズムやアプリケーションの将来課題について論じている。

以上、これを要するに本論文は、ケーシング問題を理論的かつ体系的に分析し、対象物体と指配置の二つのコンフィギュレーション空間を用いることで、不確かさを扱える新たな効率的計画アルゴリズムを提案し、それらの適用条件や特性を明らかにしている。また、これらのアルゴリズムの有効性をシミュレーションと実ロボットにより検証し、ロボットの認識誤差や制御の不確定性のもとでも実際に有効なケーシングを達成できることを示している。以上の成果は、情報理工学分野の発展に寄与するところ大である。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。