

論文の内容の要旨

論文題目	拘束切り替えを利用したヘビ型ロボットの2平面移動と2点同時制御に関する研究
学 位 申 請 者	中島 瑞

ヘビ型ロボットは豊富な関節自由度をもつため、生物のヘビを模倣した推進だけでなく、生物を超えるような動作の実現や物体運搬のような作業への応用が期待できる。従来研究では、ロボットの重心や先頭の一点が制御点として扱われており、想定環境も一様な単一平面としたものがほとんどであった。しかしながら、制御点が単一、環境が一様、といった制限を取り除くことができれば、より多様な環境での移動や作業が可能となる。本論文では、ヘビ型ロボットが達成可能なタスク、および活動可能な範囲の拡大を目的とし、2制御点の同時制御、2平面間の移動制御、の2つの制御手法とその応用動作を提案している。本論文は全5章で構成されており、その概要は以下のとおりである。

第1章「序論」では、序論として研究の背景や目的について述べ、ヘビ型ロボットの運動制御について他の制御手法に対する本研究の位置づけを説明する。

第2章「制御対象のモデリング」では、車輪拘束ヘビ型ロボットの数式モデルを導出する。まず、車輪による摩擦の異方性を速度拘束として表現したモデルを導出し、このモデルに基づいてロボットを制御する場合の特異姿勢について触れ、特異姿勢の条件について述べる。そして、このモデルに対して車輪の微小持ち上げによる拘束条件の変化を導入したモデルと、この際に生じるロボットの運動学的冗長性とその活用方法について示す。次に、2制御点同時制御のためのモデルを導出する。このモデルでは、第2制御点の運動学関係をモデルに導入することにより、先頭と第2制御点の両方が被制御量として表現されている。続けて、2平面間の移動のためのモデルを導出する。このモデルでは、ロボットと環境との相対関係をモデルに取り入れることで、環境との相対関係が陽に扱われている。そして、ロボットと環境が適切に接触を維持するための条件を示す。

第3章「2制御点同時制御」では、2つの制御点を同時に制御する制御則と、そ

の応用であるいくつかの作業を提案する。例えば、ロボット先頭と最後部の2点を同時に制御することで、自走する双腕マニピュレータのような運動が可能となり、ロボット単独で実現可能な作業の大幅な拡大が期待できる。ロボットは車輪による速度拘束を利用して推進するが、2つの制御点を同時に制御する際は速度拘束が第2制御点の制御と干渉し、運動を阻害することがある。このような2点同時制御特有の特異姿勢とその条件について明らかにする。そして、車輪の微小持ち上げによるロボットの拘束変化を用いてこの特異姿勢を回避し、2つの制御点を同時に目標軌道へと追従させる制御則を提案する。適切な拘束条件の選択の際には計算量の大きさが問題になるが、モデルから導かれる被制御量の収束条件や必要な冗長自由度を考慮し、選択可能な車輪の接地/非接地の組み合わせを削減することにより、拘束条件選択の計算コストの増大化を抑える。そして、シミュレーションと実機実験により提案制御則の有効性を確認する。また、提案制御則を応用し、ケージング運搬と台車操舵、バネ付き扉開け動作を実現する。

第4章「2平面間の移動制御」では、非平行な2平面間の移動を実現する制御則を提案する。非平行な2平面にまたがった状態で推進するには、各平面に対してロボットが適切に接触するように姿勢を維持しなくてはならない。また、推進に伴って車輪の接地面を変化させる必要があり、環境に依存して拘束条件が変化する。そこで、ロボットと環境との相互関係と拘束条件の変化を考慮したモデル化によりこれらの課題を解決する。この制御則は第2章で導出されたモデルをもとに設計されており、環境平面とロボットとの相対関係を制御することで車輪の適切な接触を維持できるほか、適切なタイミングで車輪の接地状態を切り替え平面間の遷移動作を実現できる。提案制御則の有効性は実機実験により確認される。

第5章「結論」では、本研究のまとめと課題、今後の展望について述べる。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 中島 瑞

審査委員主査 田中 基康

委員 明 愛国

委員 田中 一男

委員 横井 浩史

委員 金子 修

ヘビ型ロボットは豊富な関節自由度をもつたため、生物のヘビを模倣した推進だけでなく、生物を超えるような動作の実現や物体運搬のような作業への応用が期待できる。従来研究では、ロボットの重心や先頭の一点が制御点として扱われており、想定環境も一様な単一平面としたものがほとんどであった。しかしながら、制御点が单一、環境が一様、といった制限を取り除くことができれば、より多様な環境での移動や作業が可能となる。本論文では、ヘビ型ロボットが達成可能なタスク、および活動可能な範囲の拡大を目的とし、2制御点の同時制御、2平面間の移動制御、の2つの制御手法とその応用動作を提案した。本論文は全5章で構成されており、その概要は以下のとおりである。

第1章「序論」では、序論として研究の背景や目的について述べ、ヘビ型ロボットの運動制御について他の制御手法に対する本研究の位置づけを説明した。

第2章「制御対象のモデリング」では、車輪拘束ヘビ型ロボットの数式モデルを導出した。まず、車輪による摩擦の異方性を速度拘束として表現したモデルを導出し、このモデルに基づいてロボットを制御する場合の特異姿勢について触れ、特異姿勢の条件について述べた。そして、このモデルに対して車輪の微小持ち上げによる拘束条件の変化を導入したモデルと、この際に生じるロボットの運動学的冗長性とその活用方法について示した。次に、2制御点同時制御のためのモデルを導出した。このモデルでは、第2制御点の運動学関係をモデルに導入することにより、先頭と第2制御点の両方が被制御量として表現されている。続けて、2平面間の移動のためのモデルを導出した。このモデルでは、ロボットと環境との相対関係をモデルに取り入れることで、環境との相対関係が陽に扱われている。そして、ロボットと環境が適切に接触を維持するための条件を示した。

第3章「2制御点同時制御」では、2つの制御点を同時に制御する制御則と、その応用であるいくつかの作業を提案した。例えば、ロボット先頭と最後部の2点を同時に制御することで、自走する双腕マニピュレータのような運動が可能となり、ロボット単独で実現可能な作業の大幅な拡大が期待できる。ロボットは車輪による速度拘束を利用して推進するが、2つの制御点を同時に制御する際は速度拘束が第2制御点の制御と干渉し、運動を阻害することがある。このような2点同時制御特有の特異姿勢とその条件について明らかにした。そして、車輪の微小持ち上げによるロボットの拘束変化を用いてこの特異姿勢を回避し、2つの制御点を同時に目標軌道へと追従させる制御則を提案した。適切な拘束条件の選択の際には計算量の大きさが問題になるが、モデルから導かれる被制御量の収束条件や必要な冗長自由度を考慮し、選択可能な車輪の接地/非接地の組み合わせを削減することにより、拘束条件選択の計算コストの増大化を抑えた。そしてシミュレーションと実機実験により提案制御則の有効性を確認した。また、提案制御則の応用事例としてケージング運搬と台車操舵、バネ付き扉開け動作を実現した。

第4章「2平面間の移動制御」では、非平行な2平面間の移動を実現する制御則を提案した。非平行な2平面にまたがった状態で推進するには、各平面に対してロボットが適切に接触するように姿勢を維持しなくてはならない。また、推進に伴って車輪の接地面を変化させる必要があり、環境に依存して拘束条件が変化する。そこで、ロボットと環境との相互関係と拘束条件の変化を考慮したモデル化によりこれらの課題を解決した。この制御則は第2章で導出されたモデルをもとに設計されており、環境平面とロボットとの相対関係を制御することで車輪の適切な接触を維持し、適切なタイミングで車輪の接地状態を切り替え平面間の遷移動作を実現できる。そして、実機実験によって提案制御則の有効性を確認した。

第5章「結論」では、本研究のまとめと課題、今後の展望について述べた。

以上のように、本論文はヘビ型ロボットを対象に2つの制御点を同時に制御する手法と非平行な2平面間を移動するための制御手法を提案している。提案手法を用いることにより、従来手法では達成が困難であった作業や踏破が困難であった環境の移動が実現可能となり、ヘビ型ロボットが単体で達成可能なタスク、および活動可能な範囲が拡大されたと言える。その新規性および有用性は高く、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認める。