

Title	超多自由度マニピュレータの実形状とその動的制御に関する研究
Author(s)	楠本, 淑夫
Citation	
Issue Date	1999-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1244
Rights	
Description	Supervisor: 藤田 政之, 情報科学研究科, 修士

超多自由度マニピュレータの実形状とその動的制御に関する研究

楠本 淑夫

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

1999年2月15日

キーワード: 超多自由度マニピュレータ, 実形状, 拡張 Frenet-Serret, 拡張空間曲線, 曲線パラメータ推定.

超多自由度マニピュレータは、通常のマニピュレータに比べて、多くの運動学的自由度を持つマニピュレータである。巻き付き把持作業や複雑な障害物回避作業といった、その豊富な自由度を活かした作業を達成することが期待できる。このような高度な作業達成には手先だけではなくマニピュレータの全体を使うために、ダイナミクスを考慮して超多自由度マニピュレータの形状を制御する必要がある。従来の超多自由度マニピュレータの形状制御では、形状を制御する際に空間曲線が用いられていた。しかし、その空間曲線には超多自由度マニピュレータのリンクの向きを含んでいない。つまり、完全に超多自由度マニピュレータの形状を記述していない。そのために、超多自由度マニピュレータの特徴である全体を使って作業を行なうこと、つまり、リンクと作業環境と直接相互作用がある作業に対して、この形状の不完全な記述は好ましいとはいえない。本研究では、実際の超多自由度マニピュレータの持つ形を実形状と呼び、改めて目標実形状として与える表現を問い直す。そして、その動的制御を可能にする制御則を提案する。

本研究で扱う制御対象は1つの関節に3つの自由度を持つ超多自由度マニピュレータを扱う。関節が2自由度のマニピュレータの場合、形を決めるとマニピュレータのリンクの長さ方向まわりの回転が一意に決まる。関節の自由度3の超多自由度マニピュレータは同じ形状でもマニピュレータのリンクの長さ方向まわりの回転を任意の方向に与えることが可能になり、リンクの長さ方向まわりを陽に制御することができる。また、超多自由度マニピュレータの目標実形状には接線方向を軸とした回転量を通常空間曲線に加えた新しい空間曲線、拡張空間曲線を使用する。通常空間曲線は超多自由度マニピュレータのマニピュレータのリンクの長さ方向まわりの回転の情報が含まれず、これを制御目標として与えることができない。しかし、新しく1つのパラメータを通常空間曲線に加えたこと

で、その曲線がマニピュレータのリンクの長さ方向まわりの回転の情報を持つことが可能になる。拡張空間曲線と幾何的な量との関係を表す拡張 Frenet-Serret の公式を示す。

拡張空間曲線で与えられた目標実形状に超多自由度マニピュレータの実形状を一致させる実形状レギュレーション制御則を示す。この制御則を導くにあたり、実形状に対応した曲線パラメータ推定のアイデアを取り入れる。このアイデアにより、ある種の非線形連立方程式を解く問題、実形状逆問題を解かずに超多自由度マニピュレータの実形状の制御が可能となる。この実形状レギュレーション制御則はマニピュレータのダイナミクスに基づいたあるエネルギー関数を減少させるという観点から、LaSalle の定理で制御則が与えられる。この時に目標実形状に対応した曲線パラメータを推定する曲線パラメータ推定則も同時に導かれる。この推定則の特徴はリンク位置に関する項とマニピュレータのリンクの長さ方向まわりの回転に関する項に分離している。実形状ヤコビアンや運動方程式の性質を利用することで、得られた制御則の再帰的な表現を得る。この表現により、隣合うリンク・関節の関係が分かり易い制御則となり、また、コンピュータ上に実装する際に、ラグランジュの運動方程式から直接導かれた制御則の計算の困難さをこの表現は減少することができる。3次元グラフィカルシミュレーションにより、得られた制御則の有効性を確認する。

さらに実形状レギュレーション制御則の導出の成果を拡張し、時間によって変化する拡張空間曲線で与えられた実形状に超多自由度マニピュレータの実形状を追従させる2つの実形状トラッキング制御則を提案する。1つは逆動力学に基づいた方法である。これは制御則をフィードフォワードの部分とフィードバックの部分にわけて、マニピュレータの非線形なダイナミクスを線形なダイナミクスに変換する方法である。もう1つはリアプノフ法に基づいた方法である。これは直接目標実形状にマニピュレータの実形状を合わせようとするのではなく、目標実形状に関連したスライディング面に持っていくことで間接的に制御目標を達成させる方法である。トラッキング制御則に対しても実形状レギュレーション制御則と同様に実形状トラッキング制御則の再帰的な表現を導く。