



ロボットマニピュレータの自律的動作計画に関する研究

比留川, 博久

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

1987-03-31

(Date of Publication)

2009-03-04

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲0673

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1000673>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・（本籍）	比留川 博 久（京都府）
学位の種類	学 術 博 士
学位記番号	学博い第97号
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
学位授与の日付	昭和62年 3 月31日
学位論文題目	ロボットマニピュレータの自律的動作計画に関する研究

審 査 委 員	主査 教授 北 村 新 三
	教授 松 本 治 彌 教授 平 井 一 正

論 文 内 容 の 要 旨

ロボットマニピュレータは、フレキシブルなマニファクチャリングツールとして大きな期待を集めているが、現在の産業用ロボットのほとんどは自律的に動作を計画する能力を持たないため、必要な動作は全て人間が教示しなければならない。この教示には非常に時間がかかり、大きな問題となっている。この問題に対処するためには、ロボットをよりインテリジェントにしなければならない。本研究は、この自律的な動作の計画の実現を目的として行った。尚、本研究の背景と目的については、第 1 章で詳しく論じた。

動作を自律的に計画するためには、まずそのためのアルゴリズムが必要である。マニピュレータの動作の中で作業対象との相互作用がない自由動作の場合、唯一の制約は障害物であるので、障害物回避アルゴリズムがあれば自由動作は自律的に計画可能である。そこで、本研究ではまずこの問題について検討を行った。これまでに提案されている障害物回避アルゴリズムは、解を発見的に探索するポテンシャル法と、マニピュレータと障害物が干渉しない空間をマニピュレータの関節空間において陽に求めてから解を探索する自由空間法に大きく分けられるが、何れも一長一短がある。ここでは作業空間の大局的な情報に基づいて解を発見的に探索する方法について検討した。まず、障害物回避のためのポテンシャル場を、各障害物と障害物の中間面上で 0 となるように定義した。次に、このような面上でエンドイフェクタの目標軌道を計画した。そして、これらに基づいてマニピュレータの障害物回避のためのポテンシャル関数を定義し、それに最急降下法を適用することによって動作を計画した。本手法の有効性についてはシミュレーションスタディにより確認した。本手

法の特徴をまとめると、次の様になる。まず、一般のポテンシャル法と比較すると、

- ・目標位置に到達するためのポテンシャルと障害物を回避するためのポテンシャルとの相互干渉が出来るだけ小さくなるように、大局的な見地からポテンシャル場を定義しているので、停留や障害物との衝突による解の探索の失敗が起こりにくい。
- ・エンドイフェクタの目標軌道を大局的に計画しているので、これに基づく解の探索の再試行が可能である。

また、自由空間法と比較すると、

- ・必要な計算量がマニピュレータの自由度数に対して線形にしか増加しない。
- ・対象とするマニピュレータの機構学的な特徴に依存せずに適用可能である。

この2つの特徴により、本手法は冗長自由度を持つような一般の多自由度マニピュレータに適用可能である。以上の方法については、第2章で述べた。

次に、このような自律動作計画に必要な演算処理が膨大になってしまうという問題点に対処するために、動作計画の結果を学習することにより、同じ動作あるいは似た動作を再び計画することなしに実行することを可能にし、これによって必要な演算処理を少なくしようという試みを行った。ここでは、知識ベースシステムの一つである適応プロダクションシステムをフレームワークとして用いて、そのための基礎的な検討をした。得られた結果を以下にまとめる。

- ・適応プロダクションシステムの特徴とその動作学習過程記述に対する適合性について論じた。
- ・適応プロダクションシステムに基づいて獲得知識を表現・利用する方法について示し、その際、弁別ネットが効率の良い知識の想起に対して有効に働くことを述べた。
- ・獲得知識の一般化と特化について述べ、これらによって獲得知識の有効範囲が学習されることを示した。
- ・動作学習過程全体について考え、ここで考えたモデリングにおいては、学習前の動作は演算処理に基づく閉ループ制御であったのが学習後は経験によって獲得した知識の想起に基づく開ループ制御になることを述べた。
- ・適応プロダクションシステムをインプリメントし、学習過程のシミュレーションを行った。

以上の結果は、第3章で論じた。

最後に、実際にマニピュレータの動作を自律的に計画するために必要な全ての基本的な要素を備えたプロトタイプシステムを開発した。マニピュレータの作業を知的に計画するためには、まず、作業対象や障害物などから成る作業環境の情報を取得しなければならない。ここで問題となるのが、この作業環境に関する情報を如何にして計算機に入力するかである。現時点ではこれを計算機に全く自動的に認識させるのは極めて困難であり、逆に逐一人間が記述するのはあまりにも煩雑である。本研究では、グレイコード状の光パターンを用いた距離計測法と対話を組み合わせて、対象物体の3次元形状とその位置・姿勢の情報を得るシステムを試作した。この作業環境のモデルに基づいて、マニピュレータの動作を計画するのであるが、この際、計画された動作が所期の目的を達成しているかどうかを検証する必要がある。この検証を行うことなしに実機を動作させてしまうと、動作目

的を達しないことがあるだけでなく、場合によっては作業環境やマニピュレータを破損する可能性もある。既に、幾つかのオフラインシミュレーションシステムが開発されているが、センサシステムと結合されているものは少ない。本システムでは、作業環境教示システムによって得た実環境のモデルに基づいて、マニピュレータ動作のグラフィックアニメーション、数値計算によるマニピュレータと障害物の間の干渉チェックを行えるオフラインシミュレータを開発した。以上の方法により計画された動作は、開発した7自由度多関節型のマニピュレータにより実行する。前述したオフラインシミュレータ中のマニピュレータのカイネマティクスは、この実機に合わせてある。ここでは、制御アルゴリズムとして各関節独立のPID制御を用いた。また、自由動作の自律的計画を対象として、実際に作業環境教示・動作計画・シミュレーション・実機による実行という全過程の運用をすることにより、本システムの有効性を確認した。以上については、第4章で詳しく述べた。

本研究で得られた結果は、結論として第5章にまとめて示した。

論文審査の結果の要旨

ロボットマニピュレータは近年、生産工程で重要な役割を果たすツールとなりつつある。しかし、現状のロボットマニピュレータはその動作を人間により直接に教示されることを基本としており、その点で柔軟性を欠くと共に、教示に要する労力が大きな問題となっている。この論文は上の観点より、マニピュレータの動作計画の自律生成について考察したものである。

まず、第一章において、本研究の背景と研究目的について述べている。

第二章では、マニピュレータが三次元作業空間で動作する際、空間内に存在する障害物の回避の問題を扱っている。従来、障害物回避問題はポテンシャル関数による方法と関節自由空間の算出による方法が提案されているが、これらにはそれぞれ、長所・短所があり、未だ実用化されていない。本論文では、作業空間におけるマニピュレータの手先の軌道として、まず、安全第一グラフと名付けた軌道の集合を定義し、同時に、このグラフの算出アルゴリズムを考案している。次に、この安全第一グラフ内での最短軌道に取った手先の移動のための目標点と現在位置間に関するポテンシャル関数と、障害物と手先との距離に関するポテンシャル関数の両方を定義し、これに最急降下法を適用して、逐次、各関節角を算出し、これに従って制御を行うことにより、所望の動作を生成する方法を提案している。とくに、ここでの方法は2つのポテンシャル関数の相互干渉をできるだけ小さくするところに特長がある。これにより、従来のポテンシャル法のもつ局所性を改善し、大局的な動作生成が可能であり、また、演算量はマニピュレータの自由度に比例する程度に抑制でき、それはマニピュレータの機構には依存しないことを示している。その有効性はシミュレーションでも確認されている。

第三章はマニピュレータの動作の学習に関する基本的考察である。動作計画はどうしても計算機の負荷が重くなる。そこで、同じ動作あるいは類似動作については制御アルゴリズムの知識を蓄積したものより検索し、これにより演算量を減少させることが有効となる。これは学習における知識

の獲得・表現・利用に関係するもので、その一般的展開は困難であるが、本論文では知識表現にプロダクションルールを用い、これに適応機能を付加する手法（適応プロダクションシステム）の利用を図っている。これにより、知識の一部については一般化あるいは特化を可能とすると共に、知識の検索に弁別ネットを導入することによりこれを高速化できることを示している。この方法により、学習後のマニピュレータの動作は知識の想起に基づく開ループ制御系を構成する。このシミュレーション結果も与えている。

第四章はマニピュレータの動作自律生成のための実験システムの開発と実験結果に関するものである。目的達成のために、作業環境（作業対象と障害物）の自動計測教示システム、マニピュレータ動作のグラフィックアニメーションと干渉チェック機能をもつシミュレーションシステム、および多自由度マニピュレータの関節角制御系の各システムを開発した。環境計測教示システムは光パターンによる空間コード法による距離計測法と人間との対話による作業環境モデル構築のためのシステムである。以上の開発したマニピュレーションシステムに、第二章の障害物回避アルゴリズムを埋め込むことにより、多自由度のマニピュレータに関し、障害物回避動作の自律生成が可能であることを実験的に確認している。このことは、従来の煩雑な教示を必要とすることなく、人間とコンピュータとの簡単な対話により、マニピュレータに障害物回避動作を行わせることが可能であることを基本的に示したことになる。すなわち、ロボットの作業計画をアームや関節の動作レベルから作業レベルへ一段引き上げたものと判断してよい。

第五章は結論である。

以上のように本論文はロボットマニピュレータの自律的動作計画について、とくに、障害物回避問題を対象として、動作生成のアルゴリズム、動作の学習的制御につき研究し、さらに、これらを環境モデルの生成システムと組合せることにより、その有効性について実験的にも確認したものであり、ロボットマニピュレータの知能化について重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって論文提出者比留川博久は学術博士の学位を得る資格があると認める。