

動作経験の蓄積データを用いた多関節アームの動作計画の効率化

○守屋佑亮 山崎公俊（信州大学）

要旨：本論文では、多関節アームの動作計画手法について述べる。本来大きな計算負荷がかかる経路探索を、あらかじめ取得しておいた学習データを用いることで効率化する手法を提案する。また、シミュレーションにより手法の性能評価を行ったことについて報告する。

キーワード：多関節アーム、動作計画、学習データ

1. はじめに

今日、アームに関する動作計画問題は数多く解かれている^{[1][2]}。しかし、動作計画の実問題を解くには周囲にある物体との衝突を避けることが必要になる。そのため、アームの各リンクの形状と、周囲の物体の形状を取得し、新たな関節角度が与えられる度にそれらを用いた干渉チェックを行う必要がある。すなわち、リンクの数や障害物が増えるほど、また計画された関節角度列の量が多いほど、動作計画にかかる計算負荷が大きくなる。

本研究の目的は、そのような計算負荷を軽減する方式を示すことである。アームの初期姿勢と手先の目標姿勢のみが与えられたとき、周囲の物体に衝突することなく目標手先姿勢を実現するようなアーム関節角度列を得る。このとき、過去の動作経験を用いることでアームと障害物との干渉チェックを省略する方式を提案する。

提案方式では、様々な障害物の配置パターンに対してあらかじめ動作計画を行った結果を利用する。障害物配置マップとそれを回避する関節角度列を1セットとし、それを大量に集めたものを学習データとする。実際の動作計画では、現在の障害物配置が過去のどのデータと似ているかを検索し、その検索結果に紐づけされた関節角度列を読み出すことで、衝突を起こさない動作を得る。すなわち、動作計画では関節角度列計算と干渉チェックを一切行わないため、障害物配置の検索処理のみに依存したアームの動作計画が可能になる。

以下に論文の構成を示す。第2章で、動作計画の概要、第3章で、学習データを取得するための動作計画手法、第4章では、データを使用した経路探索、第5章で結果を示し、第6章でまとめとする。

2. 障害物配置マップを用いたアーム動作計画

本研究では、動作計画を行う際の障害物配置の表現に2.5次元マップ（エレベーションマップ）を適用する。アームの動作計画では、マップとアームとの干渉を避けるような関節角度列を出力する。

2.1 障害物配置マップの生成

テーブル上に複数の物体が置かれている状況を想定し、それらの物体を障害物とみなして障害物配置マップを生成する。本研究ではマップはシミュレーションにより仮想的に生成するが、実環境を対象にした場合であっても、3次元距離画像センサなどで得たデータを用いれば、同様のマップを得ることは容易である。

シミュレーションによるマップ生成では、まずテーブル天板と同じ高さに基準平面を定義し、それを格子状に分割してグリッド表現を得る。そして、ランダムにいくつかの座標を選び、その座標を内包するグリッドを隆起させる。ただし、本研究では隆起の高さは全て同じとす

る(図1)。

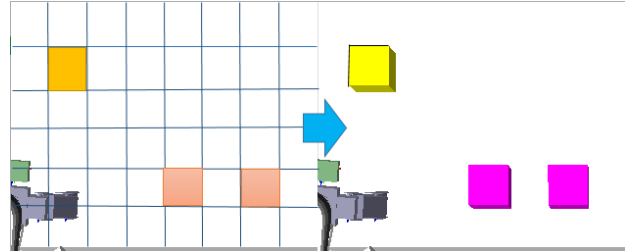


Figure 1

2.2 関節角度列の生成

アームは多関節構造とし、各リンクや手先の幾何形状は既知であるとする。まず、障害物配置マップを生成したのち、目標とする手先姿勢を決める。そして、障害物の配置を利用して、それらに当たらないような経路点を定め、経路点間を動く途中にも障害物との干渉がないことを確かめる。これを目標となる手先姿勢まで繰り返して、最初の位置、経路点、目標位置でのそれぞれの関節角度列を得る。

2.3 学習データの構成

障害物配置の座標とアームの関節角度列を紐付けし、ひとつの学習データとする。これを様々な障害物配置のもとで生成し、学習データを蓄積する。

3. 手先動作計画

2.1節に記述したマップから、2.2節で記述した関節角度列を求めるためには経路探索が必要となる。本章ではその経路探索手法について述べる。提案手法は可視グラフ法^[3]を参考にしている。

3.1 前提条件

障害物を回避するための手先の経路点は、基準平面から一定の高さに設置するものとする。図2に示すように障害物とみなされたグリッドがあった場合、このグリッドを、アームが確実に干渉しないような距離まで拡張して、仮想的な障害物領域を考える(図2, a'-d')。

この仮想領域の頂点のいずれかを経路点とする。

3.2 提案手法の利点

利点を述べる前に、おおまかな経路探索の手順を述べる。まず、障害

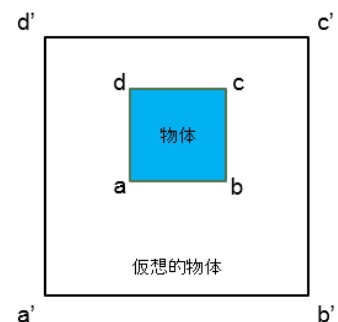


Figure 2

物の存在を考えずに手先を現在位置から目標地点まで動かす。障害物と接触した場合、その障害物を回避する経路を探索する。回避が成功した場合、回避後の手先位置から再度目標地点を目指す。この障害物回避の処理を目標地点に到達するまで繰り返す。

この方針の特徴は、初期位置で全ての経路を探索し、最良の経路を発見してその経路を進むのではなく、まず、手先が目標地点を目指す、障害物と接触する毎に経路を探索する点である。すなわち、手先と目標地点との間の状況が途中で変化しても、最初から経路探索をし直す必要がないという利点がある。

3.3 手先動作アルゴリズム

経路探索の具体的な手順を示す。目標地点の座標を定め、障害物の存在を考えずに目標地点に手先を動かす。途中で障害物と接触した場合、元来た経路に沿って、障害物と干渉しない十分な距離になるまで手先を戻す。

障害物を回避する方法として、左回り、右回りの回避が可能であるため、先に、障害物を左回りに回避し目標地点を目指す。回避するために経由点を設けなければならないが、経由点を定めるにあたって、3.1節に記述したように、仮想的な障害物の頂点を使用する。現在の手先の座標に近い2つの頂点を探し、そのうち回り方に適した方を次の経由点とする。経由点まで移動し、その点から直接目標地点に移動可能か判断したのち、直接目指せなければ仮想的な障害物の4つの頂点を左回りに、直接目標地点を目指す点まで移動し続け、その点から再度目標地点を目指す。右回り回避も、左回り回避同様に仮想的な障害物の頂点を右回りに移動し続け、直接目標点まで移動できる点を見出す。また、移動中も更に他の障害物に干渉するかどうか確かめる。

2通りの回避の試行後、結果は両方の方法とも成功、片方の方法で成功、両方で失敗の3種類のパターンが現れる。両方で成功した場合、それまでに経由した道の距離が短い方を採用し、片方で成功した場合は成功した回避方向を採用する。両方で失敗した場合は、別の障害物との接触が原因であるから、接触した障害物に関して更に左回り、右回り回避の試行をする。障害物との接触をしないで目標に到達するまで回避行動を繰り返すが、最終的に一定回数アームが障害物に接触した場合、経路探索を打ち止め、どの回り方でも経路が発見できなかった場合完全な失敗、それ以外を成功とし、成功した複数の経路の中で最も道程が短い経路を採用する。

最後に、3種類のパターンで採用させた経路の初期位置、経由点、最終位置でのそれぞれの関節角度列を、障害物の座標のデータとともにまとめ学習データとする。

4. 適切な経路の探索

学習データを使った動作計画手法について説明する。どの蓄積データを使うべきか判断するために、実際の状況と蓄積データの“近さ”を数値化する。地図データを、隆起しているグリッドを1、それ以外を0とした行列表現に置き換える。また、実際の状況と蓄積データの地図が完全に合致する事は稀なので、実際の状況の行列表現には図3のようなマスクをかける。具体的な処理を述べる。実際の状況の行列表現が、成分を a_{ij} と表せる $n \times m$ 行列であり、マスクの処理後、同じ $n \times m$ 行列で成分が a'_{ij} となるものとする。 $a_{ij} = 1$ なら、 $a'_{kl} = a_{kl} + b_{kl}$ という処理を施す。ここで、 $(i-1) \leq k \leq (i+1)$ 、 $(j-1) \leq l \leq (j+1)$ であり、 i, j が行列の範囲を超えるよ

うなら、超える分に関しては計算しない。この処理を、行列で1となった成分の周り全てで行い、新しい行列表現を得る。

$b_{(i-1)(j-1)}$	$b_{(i-1)j}$	$b_{(i-1)(j+1)}$
b_{ij}	b_{ij}	$b_{i(j+1)}$
$b_{(i+1)(j-1)}$	$b_{(i+1)j}$	$b_{(i+1)(j+1)}$

Figure 3

マスクの処理後、蓄積データの行列表現から1つを取り出して、新しい行列表現と同じ行、列の成分同士を掛け算し、和をとった値をそれぞれの地図の“近さ”を表す数値とする。他の蓄積データについても同様の処理を行い、値が最も大きくなった蓄積データを最も近い地図とする。その後、実際の状況下で、最も近い地図データに紐付けされた関節角度列の姿勢を、アームが順に行い目標を目指す。

5. 手法の検証

テーブル天板を模した幅400mm、奥行き250mmの平面を、50mm四方のグリッド40個に切り分け、環境を手先が届く範囲に限定した。その上で、4つのグリッドを隆起させ、2章で説明したような学習データを3章の手法で1000セット集めた。それを更に限定し、それぞれのデータ数でどの程度の信頼性があるかを、4章の方法で300回試行し、成功率を調べた。結果は図4に示す通りである。蓄積データ数が100~300個の間は成功回数100~140回の間を行き来し、データ数300個以上では成功回数140前後をほぼ横這いに移動している。すなわち、本来、隆起が4つある場合の障害物配置パターンを与えただけでも、約半分の割合で動作計画が成功することが分かった。

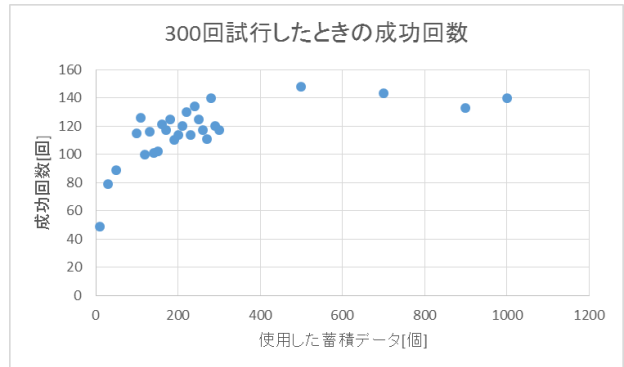


Figure 4

6. まとめ

本稿では、多関節アームの動作計画を、事前に蓄積したデータにより効率化するための方法を提案した。シミュレーションにより、データ数1000個では、約半分の割合で成功する事が明らかになった。

今後の課題として、三次元空間でも適用できるよう手法を拡張することがある。また、蓄積データを用いた動作計画の成功率を上げることも必要である。

参考文献

- [1]磯部大吾郎, "ロボットアームの強制的危険性を回避する動作計画法", 日本機械学会論文集(C編)78巻 793号, pp136~151, 2012
- [2]嶋井良介, "迷路探索法に基づく6自由度アーム型ロボットの動作計画", 日本ロボット学会誌 Vol.28 No.8, pp915~922, 2010
- [3]太田順, 知能ロボット入門, コロナ社, pp34~39, 2001