可操作性と回避可操作性を考慮した 冗長自由度マニピュレータの障害物回避動作計画

Motion planning of redundant manipulator for obstacle avoidance considering its manipulability and avoidance manipulability

非 道木 加絵 (愛工大), 非 近藤 聡士 (愛工大), 非 道木 慎二 (名大)
非 舟洞佑記 (名大), 非 鳥井昭宏 (愛工大)

Kae Doki, Aichi Institute of Technology, doki@aitech.ac.jp

Satoshi Kondou, Aichi Institute of Technology, p12722pp@aitech.ac.jp

Akihiro Torii, Aichi Institute of Technology, torii@aitech.ac.jp

Shinji Doki, Nagoya University, doki@nagoya-u.jp

Yuki Funabora, Nagoya University, funabora@nagoya-u.jp

We propose a new motion planning method of a 7-DOF redundant manipulator. In this method, motion planning for obstacle avoidance is executed with the configuration space considering the actual range of joint motion. In addition, the manipulability and avoidance manipulability of the redundant manipulator are considered in the proposed motion method.

Key Words : 7-DOF redundant manipulator, Manipulability, Avoidance manipulability, Arm angle, Configuration Space

1 はじめに

近年、産業分野において汎用性の高い冗長マニピュレータが導入されはじめているが、冗長マニピュレータのティーチングは作業員に対して大きな負担となるため、冗長マニピュレータの動作計画手法が望まれている。そこで、本研究では7自由度冗長マニピュレータを対象とした動作計画手法を検討する。

冗長マニピュレータの動作は手先位置、手先姿勢、腕姿勢から構成される。見浪ら [1] は手先位置を与えたときの腕姿勢の計画を目的とし、手先および腕の動きやすさについて検討した。また、近藤 [2] は手先の目標位置を与えたときにマニピュレータの手先および腕が障害物と衝突せずに目標位置に至る動作を計画した。障害物との衝突や手先及び腕の動かしやすさは冗長マニピュレータの作業能力を左右する重要な評価指標であるが、従来手法の動作計画手法では個々に利用されてきた。そこで、本研究では腕および手先の動かしやすさと障害物回避の両方を考慮し、手先及び腕の動かしやすさを保ち、障害物を回避しつつ手先位置を与えられた目標位置へ移動させる冗長マニピュレータの動作計画手法を提案する。また本稿では実ロボットの関節の可動範囲を考慮することで実機で実現可能な動作計画を実現する。

2 障害物回避と動作性能を考慮した冗長マニピュレータの動作計画手法

2.1 問題設定と動作計画手法の概要

本研究では図 1(a) に示す安川電機製 7 軸マニピュレータの MOTOMAN-SIA10D を使用する。このロボットを DH 記法で表したモデルを図 1(b) に示す。本研究では手先姿勢を常に一定とする。これは、作業内容に応じて手先姿勢は決められた一定値を取ることが多いためである。その上で初期位置から障害物を回避しつつ与えられた目標位置に至る一連の動作を計画する。7 自由度冗長マニピュレータは手先位置を表す 3 パラメータ、手先姿勢を表す 3 パラメータ、冗長自由度を表す 1 パラメータの計 7 パラメータが決定するとマニピュレータの逆運動学により各関節角を求めることができる。よって、初期位置から目標位置までに至る一連のこれらのパラメータを計画することでマニピュレータの動

Fig.1 Target manipulator for motion planning

作計画を行うことができる。本研究では手先姿勢は一定であるため、提案手法では手先位置と腕姿勢からなるコンフィギュレーション空間を構成し、コンフィギュレーション空間内でポテンシャル法に基づき経路計画を行うことで動作計画を行う。

2.2 コンフィギュレーション空間

コンフィギュレーション空間（以降 C 空間）を用いたマニピュレータの動作計画は佐藤 [3] により提案されている。従来手法ではマニピュレータの各関節角を軸とした C 空間内でポテンシャル法を用いて動作計画を実現している。この手法を適用する場合、7 軸マニピュレータでは 7 次元の C 空間を構成することになるため、動作計画が複雑になることが考えられる。そこで、本稿では各関節角を軸とするのではなく、手先位置、手先姿勢、腕姿勢を軸とした C 空間を構成する。ここで、腕姿勢を表すパラメータとしてアームアングル [4] を導入する。アームアングルは肘関節の傾きであり、腕姿勢を表すパラメータである。この表現方法では、手先位置、手先姿勢、腕姿勢のすべてを計画するには従来手法を適用した場合と同様の 7 次元空間が必要となる。しかし、本研究で想定するような手先姿勢を一定とする作業の場合は手先姿勢を表す 3 パラメータが省略でき、結果として手先位置とアーム

Fig.2 Image of constructed C-Space

アングルを表す 4 次元の C 空間を構成することになる。このように、手先位置、手先姿勢およびアームアングルにより C 空間を構成することで、作業内容により計画の必要があるパラメータ数に応じた次元数の C 空間を構成し、動作計画に必要な計算量を削減する。

図 2 に本研究で用いる C 空間の概略図を示す。C 空間は手先位置およびアームアングルから構成される 4 次元空間であり、8 パターン必要となる。これは、第 2、第 4、第 6 関節の正負の組み合わせにより一つの手先位置およびアームアングルに対して 8 パターンの関節角が存在するためである。そこで各パターンごとに C 空間を構成することで関節角を一意的に決定する。また、図のようにこれらの C 空間はそれぞれ共有点と呼ばれる点で繋がっている。共有点は第 2、第 4、第 6 関節角のいずれかがゼロとなる点であり、その組み合わせにより繋がる C 空間が異なる。また、C 空間内には障害物と衝突する領域と関節の可動範囲外となる領域からなる進入禁止領域が存在し、C 空間内において初期位置から C 空間内の進入禁止領域を回避しつつ目標位置に至る経路を生成することで初期位置から目標位置までの動作計画が得られる。

2.3 ポテンシャル法を用いた経路計画

文献 [3] の手法に基づき、極小点のないポテンシャル場 E を C 空間内に生成する。ポテンシャル場 E では初期位置と進入禁止領域が最も高いポテンシャル、目標位置が最も低いポテンシャルとなる。このように生成したポテンシャル場に対し、提案手法では可操作度 [5]、回避可操作度 [1] を考慮することで手先および腕が動きやすい動作での障害物回避動作を計画する。具体的には、C 空間内の各点におけるマニピュレータの可操作度を V 、回避可操作度を W とすると、(1) 式となる。ここで、 K_V 、 K_W は重みである。

$$P = E + K_V \frac{1}{V} + K_W \frac{1}{W} \quad (1)$$

このように生成されたポテンシャル場 P において、初期位置から P が小さくなる方向に経路を計画することで障害物を回避しつつ可操作度、回避可操作度を高く保つ動作が計画を得ることができる。

3 シミュレータを用いた動作計画実験

本実験では、静止障害物がある環境で提案手法に基づきマニピュレータの動作を計画し、計画された動作から提案手法の有

Fig.3 Planned motion

Fig.4 Planned joint angle

効性を検証する。ここで、マニピュレータの太さや障害物に対する安全領域を確保するため実際に障害物が占有する空間より 50[mm] 広い範囲を進入禁止領域と設定した。関節の可動範囲は対象とする実機ロボットと同じ第 1、第 3、第 5、第 7 関節が $-175 \sim +175[\text{deg}]$ 、第 2、第 4、第 6 関節が $-105 \sim +105[\text{deg}]$ である。

提案手法により計画された動作を図 3 に示す。図 3 は初期位置から目標位置までのマニピュレータの動作を順に表している。これらの結果から、障害物に干渉することなく手先が目標位置に到達していることがわかる。計画された動作の可操作度の遷移を図 4 に示す。障害物回避のみを行うと局所的に可操作度が低下する動作計画が得られるが、提案手法では可操作度を高く保つ動作計画が得られていることがわかる。

4 まとめ

本稿では、マニピュレータの動作性能を表す可操作性、回避可操作性及び各関節の可動範囲を考慮しながら障害物を回避するためのマニピュレータの手先位置および腕姿勢を同時に計画する手法を提案した。動作計画実験では、静止障害物のある環境において提案手法により障害物を回避しつつ可操作度を高く保つ動作が計画できることを確認した。

文献

- [1] 見浪 護、他、"冗長マニピュレータの回避可操作性", 日本ロボット学会誌, Vol.17, No.6, pp.133-141, 1999
- [2] 近藤 浩一, "ヒューリスティックなグラフ探索にもとづく自由空間算出法による障害物回避動作計画", 日本ロボット学会誌, Vol.6, No.6, pp.21-30, 1988
- [3] 佐藤 圭祐, "極小点のないポテンシャル場を用いたロボットの動作計画", 日本ロボット学会誌, Vol.11 No.5, pp.702-709, 1993
- [4] 清水 晶幸、他, "関節の可動範囲を考慮に入れた 7 自由度冗長マニピュレータの解析的逆運動学", 日本ロボット学会誌, Vol.25, No.4, pp.606-617, 2007
- [5] 吉川 恒夫, "ロボットアームの可操作度", 日本ロボット学会誌, Vol.2, No.1, pp.63-67, 1984