

操作性を考慮した双腕移動マニピュレータの動作計画に関する研究 (双腕を用いた本の持ち上げ動作計画と動作の実現)

Motion Planning for Dual-arm Mobile Manipulator based on Manipulability
(Motion Planning and Experiment of lifting up a Book by Dual-arm)

○ 高濱 孝安 (岡山大学) 正 永谷 圭司 (岡山大学) 正 田中 豊 (岡山大学)

Takayasu TAKAHAMA, Okayama University, 3-1-1, Tsushima-naka, Okayama
Keiji NAGATANI, Okayama University Yutaka TANAKA, Okayama University

Recently, a target environment for research of robots are extending from industrial environment to humans' indoor environment. In such environment, it is necessary for robots to have an ability to carry out complex tasks and to deal with unforeseen circumstances. Therefore we aim to develop a motion planning algorithm for a dual-arm mobile manipulator, particularly focusing on "operability of the hand". The manipulability is used for a variable of the operability, in our approach.

In this article, we explain about the availability of the algorithm by a simple experiment that is applied to a task of lifting up a book.

Key Words: mobile manipulator, manipulability, motion planning

1 はじめに

現在、ロボット研究が対象とする環境は、工場などロボットのために整備された環境から、家庭やオフィスなどの人が存在する屋内環境へ拡張が行われている。このため、これまで以上に複雑な作業を行う能力や、予定外の状況に対応する能力がロボットに求められる。

そこで本研究では、人が存在する屋内環境下で、ロボットによる複雑な作業の実現を目指し、双腕移動マニピュレータの動作計画に関する研究を行うこととした。双腕マニピュレータの動作計画に関する研究については、幾つか報告されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

本研究では、双腕移動マニピュレータによる動作の実現を目標とし、発見-把持-運搬という一連の動作の実現を目指している。この目標を実現する際、双腕のマニピュレータに仕事を分担させることとし、片方のマニピュレータをもう片方のマニピュレータの補助的な形で用いることとした。そこで、これらのことを考慮した動作計画手法を構築し、実機上で動作確認を行うこととした。本稿では、この動作計画手法を解説し、さらに、計画した動作を3次元表示ツールを用いて、動作を確認したので、これについて報告する。

2 タスクの設定と分析

本研究では、動作させるタスクとして「机の上にある本を把持する」こととした。机の上の本を把持する際、机から本がはみ出している場合を除き、1つのマニピュレータで把持することは難しい。

そこで、本研究では、双腕を利用して把持動作を行うこととした。具体的には、机の上の本を片方のマニピュレータで本を押し、もう片方のマニピュレータで本を把持するという動作をロボットに行わせることとした (Fig.1)。

この動作を行う際、本を把持する側のマニピュレータの手先位置と姿勢は変化させる必要はないが、本を押し側のマニピュレータの手先の位置と姿勢は常に変化させる必要がある。また、本を把持しやすいように本を押し側のマニピュレータの手先の位置は、本を把持す

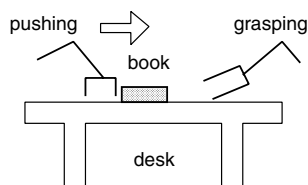


Fig. 1 image

るマニピュレータの手先の位置に対し、直線的に移動することが望ましい。これらのことをふまえた把持動作を行うための動作計画を構築することとした。

3 動作計画手法

本研究では、把持動作を行うために、ある対象物を片方のマニピュレータを用いて移動させながら、もう片方のマニピュレータで把持する動作を行う。この動作計画アルゴリズムを以下に説明する。

3.1 可操作度

移動マニピュレータの動作計画を行う際、マニピュレータの手先の操作性の指標として可操作度⁽⁴⁾を用いることとした。

本研究では、マニピュレータの各関節の角度より求められるヤコビ行列 $J(q)$ ではなく、各関節の減速比を考慮したヤコビ行列 $J'(q)$ を用いている。2つのヤコビ行列の関係は、次のようになる。

$$J'(q) = J(q)Gr^{-1} \quad (1)$$

また、可操作度 w は、以下の式で表される。

$$w = \sqrt{\det(J'(q)J'^T(q))} \quad (2)$$

これにより、マニピュレータの各アクチュエータの速度に対する可操作度を求めることができる。

3.2 可操作を用いた動作計画手法

3.1で示した可操作度が一定値以上であれば、マニピュレータの手先は一定の操作性が保証される。そこで、この範囲内でマニピュレータの動作を行うこととした。まず、把持側のマニピュレータの可操作度が一定値以上の範囲を求める。この求めた把持側の手先の位置から手先の姿勢方向にあり、かつ物体を押し側のマニピュレータの可操作度が一定値以上となる手先の位置を求める。最後に、この中から手先間の距離が把持する対象物の大きさ以上の距離をもつものを求める。これが作業領域となり、この中で、この距離が一番長いものを選択する。これにより、2つのマニピュレータの手先の位置と姿勢が決まる。具体的には、

1. 対象物を把持するマニピュレータの可操作度がある値以上となるマニピュレータの手先の位置 \vec{p} と姿勢ベクトルの 1 つである \vec{a} を求める。この \vec{a} は、手先の座標系の z 軸成分単位ベクトル (手先方向のベクトル) である。この求めた手先の位置の集合が把持側の操作範囲である。
2. \vec{a} の水平成分を手先の位置 \vec{p} より延長する。この延長線上に対象物を押す側のマニピュレータの手先があり、かつ可操作度がある値以上のものを求める。この得られた手先の位置の集合が押す側の操作範囲である。
3. 対象物を把持することを考え、この 2 つのマニピュレータの手先の位置の間の距離がこの距離が対象物の大きさ以上となるものの集合が作業領域となる。
4. 作業領域の中で手先間の距離が一番長いものを選択する。これが物体を把持する側のマニピュレータの移動経路となる。これにより、マニピュレータの手先の位置と姿勢が決まる。

4 動作実験

3 章で示した動作計画手法の有用性を確かめるため、実機を対象とした動作計画を行い、計画した動作を 3 次元表示ツールを用いて確認し、さらに実機による実験を行っている。

4.1 対象とするロボット

本研究で使用するロボットは、Fig.2 に示した双腕移動マニピュレータである。特徴として、5 軸と 6 軸の性質が異なる 2 つのマニピュレータを搭載している。

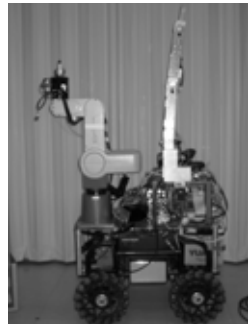


Fig. 2 Target robot

4.2 前提条件

前提条件として、縦 20cm、横 15cm、厚さ 3cm の本が高さ 70cm の机の上に本を置いてあるものとする。把持側のマニピュレータの手先の角度を、水平方向より下斜め 60 度に固定した。押す側のマニピュレータの手先は、下向きから ± 30 度とした。このような条件のもとで、5 軸のマニピュレータで本を把持し、6 軸のマニピュレータで本を押すこととした。ただし、ハンドの側面を用いて本を押すものとし、本を移動させる際、把持側の手先に対し、本は直線的に動くものとした。

4.3 本の把持動作計画

まず、把持側のマニピュレータの可操作度がある値以上の手先の位置 (\vec{p}) と姿勢 (\vec{a}) を求め、把持側の操作範囲を求める。

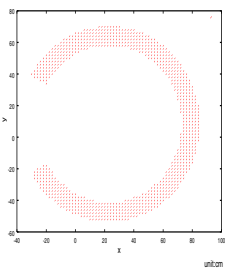


Fig. 3 Grasping range

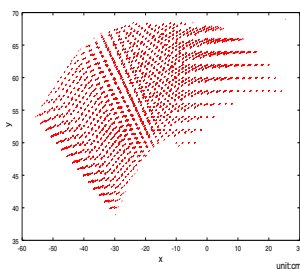


Fig. 4 Pushing range

今回は、可操作度をヒューリスティックに 3.1×10^{-8} とした (Fig.3)。次に、求めた手先の位置から \vec{a} 方向に延長していき、

本を押す側マニピュレータの可操作度が 3.2×10^{-18} 以上の手先の位置と姿勢を求める (Fig.4)。さらに、2 つのマニピュレータの手先間の距離が本の大きさ以上 (今回は、25cm) になる範囲を求める。これが作業領域となり、この中から 2 つの手先の位置の距離が一番長くとれるときの 2 つのマニピュレータの手先の位置と姿勢を求める。

4.4 本の把持動作実験

4.4.1 3 次元表示ツールによる動作確認

対象とするロボットをもとにコンピュータにモデルを構築し、3 次元表示ツールを用いて、計画した動作の確認を行った。結果は動作計画により求めた直線上を、本を押す側のマニピュレータの手先が動くことが確認された (Fig.5)。

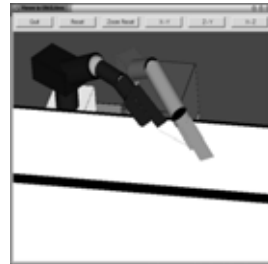


Fig. 5 3-D viewer

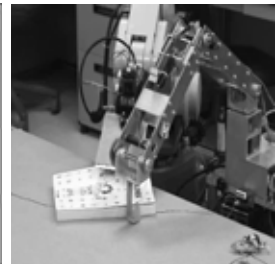


Fig. 6 Experiment

4.4.2 実機による動作確認

次に、動作計画を実機を用いて動作実験を行うこととした。現在、視覚を用いた机の上の本の認識が実現できていない。また、ハンドも現在制作中である。このため、動作計画により求めた直線上に本を置かれているものと仮定し、現在実験を行っている (Fig.6)。

4.5 実験の考察

3 次元表示ツール上では、操作性を確保しつつ、人の腕の動きと同じように、滑らかな動作が実現できた。また、実機上では本の位置認識を行うまでには至っていないが、比較的自然的な動きを行っているように見受けられる。

5 まとめと今後の課題

本稿では、双腕移動マニピュレータによる動作の実現を目指し、本研究で進めている本の把持動作の実現について動作計画手法を中心に解説した。また、この動作計画手法により構築した動作を 3 次元表示ツールについて実現し、実機上での実現について報告した。

今後は、視覚を用いた本の位置の認識を行い、この動作をもとに目標である「発見-把持-運搬」という一連の動作の実現を目指す。

【参考文献】

- (1) 松野文俊, 前田朋彦, 双腕型宇宙ロボット最適軌道計画, “日本ロボット学会誌”, Vol.12, No7, (1994), pp.120 - 124
- (2) 毛利彰, 圓島信也, 山本元司, 2 台のマニピュレータの衝突回避軌道計画 (Virtual Coordination Space を用いる場合), “日本ロボット学会誌”, Vol.10, No7, (1992), p.98-103
- (3) 高濱孝安, 永谷圭司, 田中 豊, サイズとペイロードの異なる双腕マニピュレータの協調動作計画と実機による協調動作の実現, “日本ロボット学会創立 20 周年記念学術講演会”, (2002)
- (4) 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, (1984), p.63