

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

高濱孝安(岡山大) 永谷圭司(岡山大) 田中 豊(岡山大)

Motion Planning for Dual Manipulator with Consideration of Size and Payload

*Takayasu TAKAHAMA(Okayama University), Keiji NAGATANI(Okayama University),
Yutaka TANAKA(Okayama University)

Abstract—In this paper, we describe a cooperative motion planning for dual manipulator with consideration of size and payload. One of the evaluation function is “manipulability” for the motion planning to enable smooth motion. We applied the motion planning method to two motions, “transferring a small object between manipulators” and “stirring coffee with a spoon”, and demonstrated an effectiveness by experiment.

Key Words: Dual 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、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。

このような背景をふまえ、本研究では、人が存在する屋内環境における、ロボットによる複雑な作業の実現を目指し、知能移動ロボット搭載用双腕マニピュレータの協調動作の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⁾。これらの研究では、同サイズの据置型マニピュレータを使用したものが多い。しかしながら、作業内容によっては、2つのマニピュレータの性能が同じである必要はない。特に、搭載スペースの小さい移動ロボット上に2つのマニピュレータを搭載することを考慮すると、これらは同サイズである必要はない。

そこで、本研究では、サイズとペイロードの異なるマニピュレータに仕事を分担させることとし、これを考慮した動作計画手法を構築することとした。本稿では、この動作計画手法を解説し、さらに、計画した動作を実機上で動かすことで、本手法の有用性を確認したのでここに紹介する。

2. タスクの設定と分析

本研究では、サイズとペイロードが異なるマニピュレータに行わせるタスクとして、

- 1 小物体の受け渡し
- 2 コーヒーのかき混ぜ動作
- 3 文字書き動作

の3つを設定した。タスク1は、片方のマニピュレータに小物体を把持させ、もう片方のマニピュレータにその物体を受け渡すというものである。タスク2は、片方のマニピュレータにコップを把持させ、もう片方のマニピュレータにスプーンを把持させて、かき混ぜを行うものである。タスク3は、片方のマニピュレータ

に色紙を把持させ、もう片方のマニピュレータにペンを把持させて、文字を書くものである。

それぞれのタスクについて分析してみると、タスク1は、受け渡し作業を行っている間、両方のマニピュレータの手先の位置と姿勢をほとんど変化させる必要がない。これをタイプA動作とする。これに対し、タスク2では、片方のマニピュレータ(コップ把持側)の手先の位置と姿勢を変化させる必要はないが、もう片方のマニピュレータ(スプーン把持側)は、手先を常に動かす必要がある。これをタイプB動作とする。タスク3は、作業中、両方のマニピュレータとも動作させる必要がある。これをタイプC動作とする。

本研究では、このうちタイプA動作とタイプB動作に対する動作計画手法を対象とすることとした。

3. 動作計画

マニピュレータが大きくなると一般的に作業域が広くなり、トルクも高くなる。しかしながら、マニピュレータを動かす際の危険性も高くなる。逆にマニピュレータが小さくなると操作性が良くなり、危険性も低くなるが、作業域は狭くなる。

そこで、本研究では、マニピュレータの手先の位置が変化するタイプB動作の場合、サイズの大きいマニピュレータの役割を固定側とし、サイズの小さいマニピュレータを動かすという方針で動作計画を行うこととした。一方、タイプA動作の計画については、作業点のみを決定すれば良い。これらをふまえ、以下に示す手順に沿って動作計画を行う。

3-1 作業空間の決定

まず、両方のマニピュレータが協調作業を行うことができる作業空間を特定する必要がある。そこで、両方のマニピュレータの手先の姿勢を一定として、それぞれのマニピュレータの3次元の可動範囲を計算する。この2つの可動範囲の重なる部分を作業空間とした。

タイプA動作は、両方のマニピュレータの手先の位置と姿勢を変化させる必要がないので、作業空間内であればどこでも作業を行えるはずである。しかし、タ

タイプB動作では、片方のマニピュレータの手先の位置が変化するため、そのマニピュレータの手先の動かしやすさ(操作性)を考慮する必要がある。

3.2 マニピュレータの操作性の指標

マニピュレータの操作性は、マニピュレータで作業を行う際に考慮すべき重要な項目である。特に、移動マニピュレータでは、ベースロボットに生ずる位置誤差に伴い、マニピュレータの手先の位置、姿勢にも誤差が生ずる。これを修正するためにも、マニピュレータが操作性の高い姿勢で作業を行うことは、非常に重要である。

本研究では、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³⁾を用いることにした。

一般に、可操作度 w 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 $J(q)$ で定義され、以下の式で表される。

$$w = \sqrt{\det(J(q)J^T(q))} \quad (1)$$

これにより、マニピュレータがある姿勢をとった場合の操作性は、スカラー値のパラメータとして定義できる。

3.3 可操作エリアの構築と作業位置の決定

3.1節で定義した作業空間内において、マニピュレータの可操作度が一定値以上となる3次元領域を可操作エリアと定義する。このエリア内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。

通常、双腕マニピュレータの可操作度を考える場合、それぞれのマニピュレータについて可操作度を計算しなければならない。しかし、タイプB動作を考える場合、サイズの大きいマニピュレータを固定し、サイズの小さいマニピュレータのみが動く。よって、この動作では、サイズの小さいマニピュレータの可操作度のみを考慮することとした。

さて、タイプB動作における動作計画では、サイズの小さいマニピュレータの一連の動作姿勢が全て可操作エリア内に入っていることが望ましい。そこで必要となる動作が可操作エリア内に含まれる位置を見つけ出すことで作業位置を確定することとした。

4. 動作実験

3章で示した動作計画の有用性を確かめるため、実機を対象とした動作計画と、実機を用いた動作実験を行った。

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.1に示した双腕移動マニピュレータである。ベースロボットは車輪にメカナムホイールを使用しており全方向に移動可能である。サイズの大きいマニピュレータとして、三菱電機社製 MOVEMASTER EX RV-M1、サイズの小さいマニピュレータとして、自作の小型マニピュレータを搭載している。また、このロボットのコントローラには、PC/AT互換機を使用し、OSはART-Linuxを採用している。なお、本研究では、ベースロボットの走行は行わない。

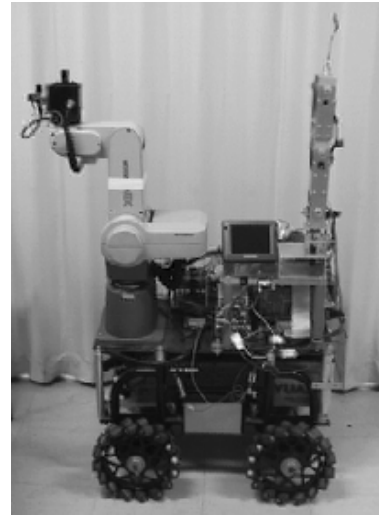


Fig.1 Target robot

4.2 マニピュレータの配置

2つのマニピュレータの各関節配置を Fig.2, Fig.3に、ベースロボットへの取り付け位置を Table1に示す。ここで、座標系はベースロボットの中心を原点としている。また、各マニピュレータのパラメータを Table2, Table3に示す。

ただし、サイズの小さいマニピュレータの6軸部分およびハンド部分については、現在製作中であり、実装できていない。

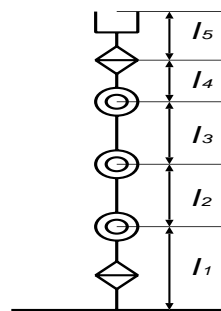


Fig.2 Large size manipulator

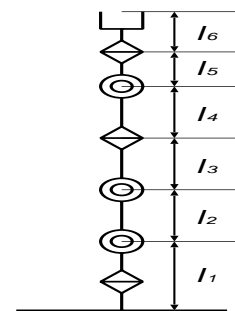


Fig.3 Small size manipulator

Table 1 Manipulators' location

symbol	large size[m]	small size[m]
x	0.230	0.275
y	0.085	0.195
z	0.430	0.655

4.3 小物体の受け渡しの動作計画

まず、実機による小物体の受け渡しについて考える。これはタイプA動作であり、作業を行っている間、両方のマニピュレータは、手先の位置と姿勢を変化させる必要はない。

Table 2 Link parameters for large size manipulator

symbol	length [m]	joint	rotational axis
l_1	0.300	1	z
l_2	0.250	2	y
l_3	0.160	3	y
l_4	0.072	4	y
l_5	0.075	5	z

Table 3 Link parameters for small size manipulator

symbol	length [m]	joint	rotational axis
l_1	0.185	1	z
l_2	0.150	2	y
l_3	0.035	3	y
l_4	0.120	4	z
l_5	0.030	5	y
l_6	0.100	6	z

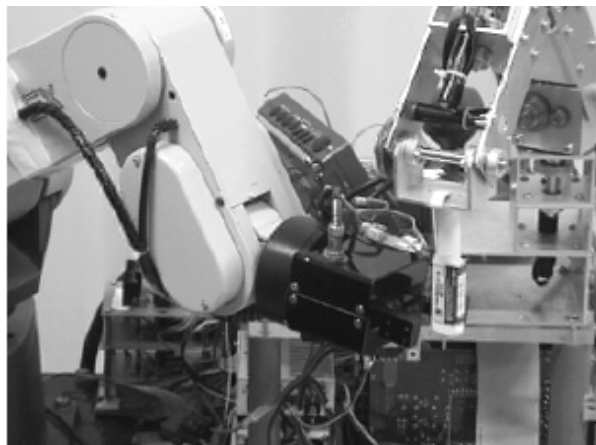


Fig.5 Transferring between manipulators

まず、両方のマニピュレータの動作範囲の重なる部分である作業空間を求めた (Fig.4 参照) . ただし、手先の姿勢については、サイズの大きいマニピュレータは真横、サイズの小さいマニピュレータは真下とした .
 タイプ A 動作は、この作業空間内であれば、どの位置でも作業を行わせることができると考えられる . そこで、本研究では、作業空間の重心を作業位置とした .

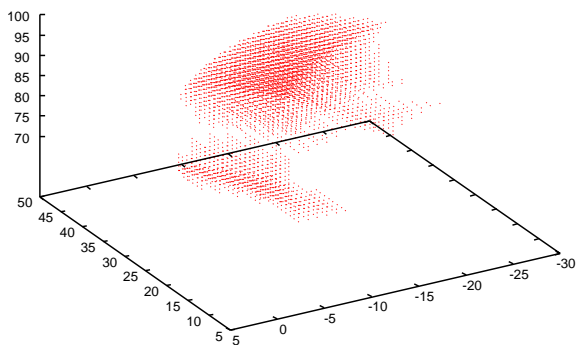


Fig.4 Work space

4.4 小物体の受け渡し実験

受け渡しの位置を作業空間の重心 $(x, y, z) = (-16.8, 36.5, 72.0)$ として動作を行ったところ、受け渡しが成功した . Fig.5 に小物体を受け渡している様子を示す .
 この位置以外においても、作業空間内において受け渡し動作を行ったところ、どの位置でも問題なく動作は成功した . これにより、タイプ A 動作の計画は、作業空間内であれば操作性を考慮しなくてもあまり問題ないことがわかる .

4.5 コーヒーのかき混ぜ動作の動作計画

次に、コーヒーのかき混ぜについて考える . これはタイプ B 動作であり、サイズの大きいマニピュレータ (コップ把持側) の手先の位置と姿勢を変化させる必要はないが、サイズの小さいマニピュレータ (スプーン把持側) は手先の位置を常に変化させる必要がある .

この動作計画の前提条件として、コップの大きさは直径 8cm、深さ 8cm、スプーンは長さ 16cm、かき混ぜの動作は、サイズの小さいマニピュレータの手先で、地面に平行な一辺 3cm の正方形を描かせることとした .
 タイプ B 動作を考える場合、マニピュレータの手先の操作性を考慮する必要があるため、ここでは可操作エリアを求めることとした . このエリアを求めるための閾値として、今回は、ヒューリスティックに $w = 0.0040$ とした (Fig.6 参照) . ただし、手先の姿勢は、サイズの大きいマニピュレータは真横、サイズの小さいマニピュレータは真下とした .

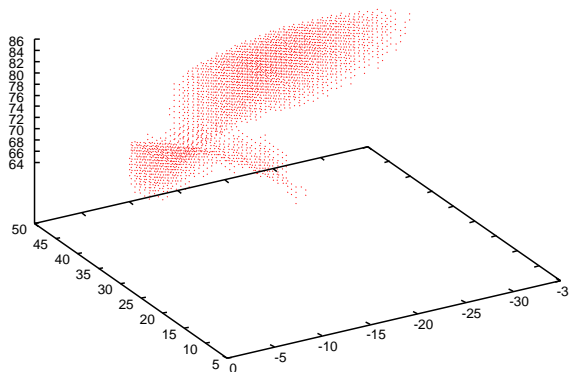


Fig.6 Manipulability area ($w > 0.0040$)

最後に、作業位置を決定するため、可操作エリアとサイズの小さいマニピュレータのかき混ぜ動作との論理積がとれる分布を確定した (Fig.7) . この分布内であれば、サイズの小さいマニピュレータの操作性は保たれる . そこで本研究では、この分布の重心を作業位置とした .

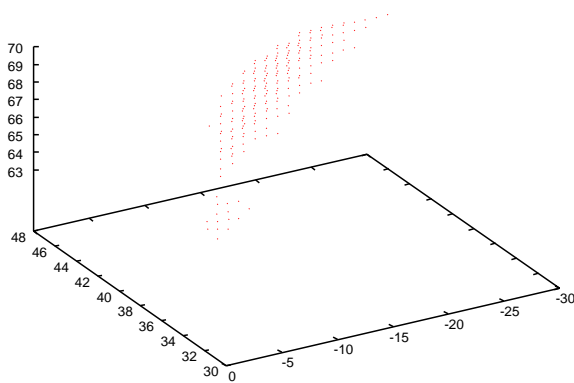


Fig.7 Available area for stirring

4.6 コーヒーのかき混ぜ動作の実験

4.5 節で求めた作業位置で、コーヒーのかき混ぜ動作を行った。その結果、サイズの小さいマニピュレータは、スムーズに動き、動作は成功した。Fig.8 にコーヒーをかき混ぜている様子を示す。

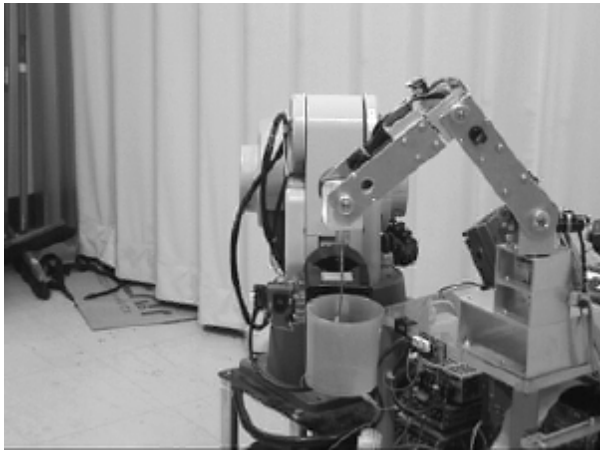


Fig.8 Stirring coffee with a spoon

コーヒーのかき混ぜ動作の予備実験として、タイプ A 動作と同様に、可操作度を考慮せず、作業空間のみを考慮した動作計画および動作実験を行った。この際、サイズの小さいマニピュレータの 2 軸目と 3 軸目の関節が他の関節より大きく動き、スムーズな動作ができなかった。このことから、タイプ B 動作については、操作性を考慮する必要があることを確認した。

5. まとめと今後の課題

本研究では、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手法を構築した。また、小物体の受け渡し及び、コーヒーのかき混ぜの動作を例にとり、実機を用いて協調動作の実現を行った。小物体の受け渡しでは、マニピュレータの手先の位置と姿勢を変化させる必要がないため、操作性を考慮する必要はなかった。これに対し、コーヒーかき混ぜでは、片方のマニピュレータを動作させる必要が生ずるため、可操作度を考慮して動作計画を行う必要があった。

今後の課題は、タイプ C 動作である、「文字書き動作」に対する動作計画を行い、この動作を実機で実現することである。また、ナビゲーションを含んだ双腕移動マニピュレータによる知的動作についても、実現を目指す予定である。

謝辞

本研究は (財) ファナック FA ロボット財団研究助成金により実施された。ここに感謝します。

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, 12, 7, p.120 - 124 (1994) .
- 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, 10, 7, p.98 - 103 (1992) .
- 3) 吉川恒夫: ロボット制御基礎論, pp. 109 - 131, コロナ社 (1988) .