

移動しながら物体を把持する移動マニピュレータの動作計画

単 万里(岡山大) 永谷 圭司(岡山大) 田中 豊(岡山大)

Motion Planning for Mobile Manipulator to Pickup Objects with Base's Moving

*Wanli SHAN(Okayama University), Keiji NAGATANI(Okayama University),
Yutaka TANAKA(Okayama University)

Abstract— Our research goal is to realize a motion planning for an intelligent mobile manipulator to pick up an object while mobile base is moving. This motion is very easy for human, however it includes many technical challenges for robotic research. We plan a path of mobile base by evaluating “manipulability” of mounted manipulator. In this paper, we describe our motion planning algorithm, and introduce an example of planned motion by 3 dimensional motion viewer.

Key Words: Mobile Manipulator, Task Oriented Approach, Manipulability, Motion Planning

1. はじめに

近年、マニピュレータの作業空間を拡大するために、移動マニピュレータの研究が盛んに行われている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。しかしながら、現在、実環境において、知的で複雑な作業を移動マニピュレータに行わせるまでには至っていない。このため、人間のマニピュレーション技能を理解し、それに基づく動作計画手法を構築することが移動マニピュレータ研究における重要な課題の一つであると考えられる。

さて、「移動しながら物体を把持する動作」は、人間にとって実現が容易なタスクの一つである。しかしながら、実環境において、自律移動ロボットがこの動作をロバストに実現した例は見当たらない。

そこで本研究では、このタスクを例とした移動マニピュレータの動作計画手法の構築を行い、実環境内でこの動作の実現を目指す。本稿では、動作計画手法の解説とそれをういた動作計画の具体例を紹介する。

2. タスクの設定

本研究の目標タスクは、移動マニピュレータによる「移動しながら物体を把持する動作」である。

ここで、目標物体の位置や姿勢、サイズなどの情報は既知であり、移動マニピュレータの初期位置や姿勢も既知であるものとする。ただし、目標物体の周囲(真上を除く)には、障害物が存在する可能性があるものと仮定する。例えば、整理されていない机上に目標物体が存在する場合に、この仮定は有効である。

3. 動作計画

3.1 タスクの分析と動作の方針

目標タスク「移動しながら物体を把持する動作」では、走行中にロボットの自己推定位置に生じる誤差が累積し、手先の推定位置にも誤差が生ずるといった問題がある。このため、目標物体の位置や走行開始時のロボットの位置、姿勢が既知でも、ロボットの手先が正確に目標物体にアプローチできるとは限らない。したがって、目標物体を把持するためには、センサフィードバックを用いた手先の位置修正が不可欠である。こ

の修正には、手先に搭載した CCD カメラによるマニピュレータの手先の位置修正が一般的である。

一方、目標物体の周囲には、障害物が存在する可能性がある。このため、目標物体を横方向から把持する動作は、これらの障害物に衝突する恐れがある。そこでロボットの手先は、目標物体の上面からアプローチを行い、把持後に真上に持ち上げる必要がある。

以上の分析から「移動しながら物体を把持する動作」を実現するためには、ロボットが移動中、目標物体に対して、手先が相対的に静止していることが必要である。そこで、本研究では、移動ロボットが移動中、マニピュレータの手先が目標物体の上方に静止する動作を行うこととした。この際、手先位置の修正動作を行うため、手先の操作性を保つ必要がある。また、作業を行う間の走行距離は、できるだけ長い方が望ましい。そこで、これらの2つの評価を満たす動作計画を以下示す手順で行うこととした。

3.2 マニピュレータの操作性

本研究では、マニピュレータの操作性の指標として、可操作度を用いることとした。

可操作度 ω の一般的な定義は、次式で表される⁵⁾。

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

ここで、マニピュレータの位置修正を行う動作では、手先の姿勢を変更する必要はない。そこで、位置に関する可操作度 ω_p を 3 行 6 列のヤコビ行列 $J_p(q)$ を用いて計算し、これを本研究におけるマニピュレータの操作性とした。

3.3 可操作エリアの構築

本研究で目指す動作では、移動マニピュレータが走行する際に生ずる走行系の誤差やマニピュレータの制御誤差を修正するため、可操作度 ω_p が一定以上となる姿勢で作業を行うことが望ましい。そのような姿勢を取ることができるベースロボットの位置は、移動マニピュレータの冗長性のため一意に決まらない。そこで、ある値以上の可操作度をマニピュレータが有する場合のベースロボットの位置の集合を可操作エリア (Manipulability

Area) と定義した．ベースロボットが可操作エリア内に存在すれば，その地点におけるマニピュレータの操作性は確保される．

3.4 走行経路及びマニピュレータ動作の決定

可操作エリア内において，できるだけ長い移動距離を確保することが，目標タスクを実現する上で重要である．ただし，車輪型ロボットの移動を考えると，走行経路は直進走行が望ましい，そこで，本研究における走行経路は，可操作エリア内の最も長い線分とした．なお，マニピュレータの手先は，目標物体の上方に位置しているため，マニピュレータの各関節角は，ベースロボットの位置が決まると一意に決定する．

4. 動作計画例

前章の動作計画手法を本研究室で所有するロボットに適用した，本章では，このロボットのモデルを用いた具体的な動作計画例を紹介する．

4.1 対象とするロボット

本研究で利用する移動マニピュレータは，車輪型移動ロボットに 6 自由度のマニピュレータを搭載したものである．移動マニピュレータの概観を Fig.2 に，関節配置を Fig.3 に，各部寸法を Fig.4 に示す．

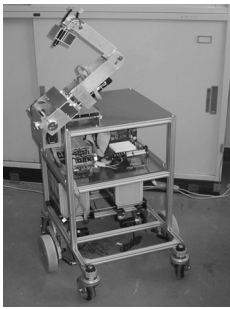


Fig.1 Target robot

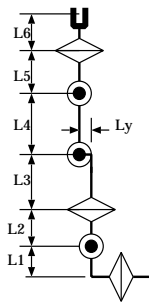


Fig.2 Joints allocation

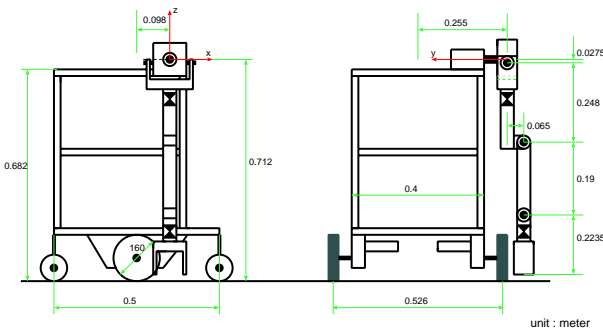


Fig.3 Parameters of target robot

4.2 目標動作の設定

本研究で目標とするタスクは，ロボットによる「移動しながら物体を把持する動作」の実現である．まず，Fig.1 に示す通り，ロボットの動作開始位置を絶対座標の原点にとる．このときの目標物体の位置は $a=2.0\text{m}$ ， $b=0.5\text{m}$ ， $h=0.3\text{m}$ ，目標物体のサイズは

$0.05\text{m}\times 0.05\text{m}\times 0.05\text{m}$ とした．ロボットは原点から 4m 先まで走行する途中に目標物体を把持する．

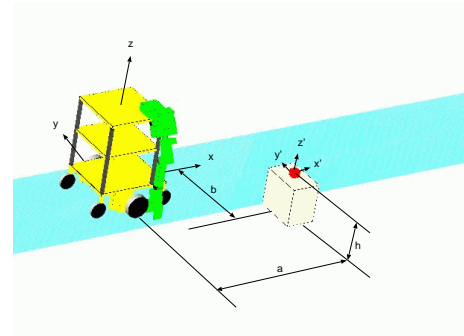


Fig.4 Target environment

4.3 可操作エリアの構築とベースロボットの経路計画

Fig.5 は，手先の位置が目標物体の高さ $z=0.3\text{m}$ の場合の可操作度 ω_p の分布である．この分布に基づいて構築した可操作エリアを Fig.6 に示す．ただし，可操作度 ω_p のスレッシュホールドは，ヒューリスティックに決定した ($\omega_p \geq 0.035$)．

なお，上方からの物体の把持動作を考慮すると，マニピュレータの手先は $z=0.4$ より $z=0.3$ まで移動させる必要がある．そこで， $z=0.4, z=0.35$ の各地点においても可操作エリアを計算した．これらの結果を Fig.7 および Fig.8 に示す．

この可操作エリアの論理積を取り，その中で横方向に最も長い線分をベースロボットの走行経路とした．計画した走行経路を Fig.9 に示す．

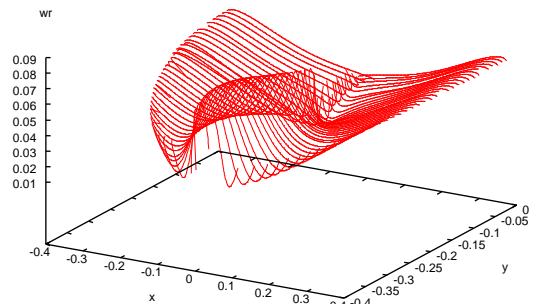


Fig.5 Distribution of manipulability ($z=0.3$)

4.4 動作例の 3 次元表示

マニピュレータの手先の位置は，目標物体の上方に固定されているので，ベースロボットが直線移動する際の各地点におけるマニピュレータの姿勢は計算できる．この結果より，計画した動作を動作ビューワ (ベースロボットの位置と姿勢およびマニピュレータの姿勢を 3 次元表示するソフトウェア) でアニメーション表示した．この動作の連続写真を Fig.10 に示す．これより，本研究で構築した動作計画手法を用いて，スムーズな動作が実現されていることがわかる．

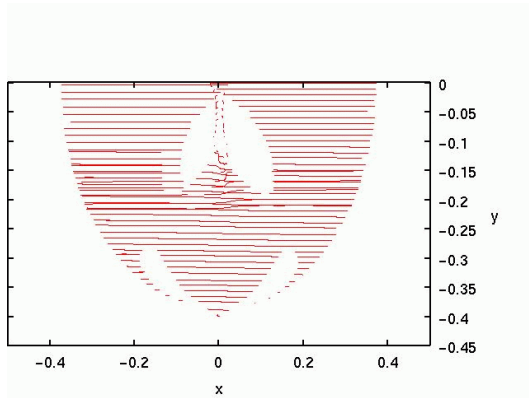


Fig.6 Manipulability area ($z=0.3$)

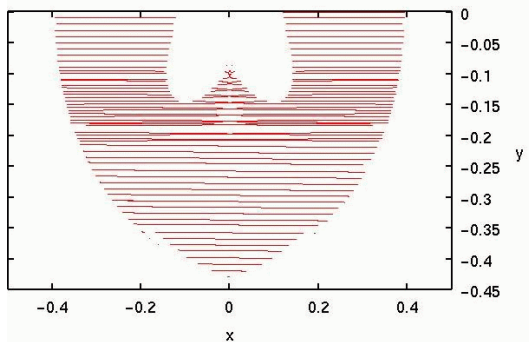


Fig.7 Manipulability area ($z=0.35$)

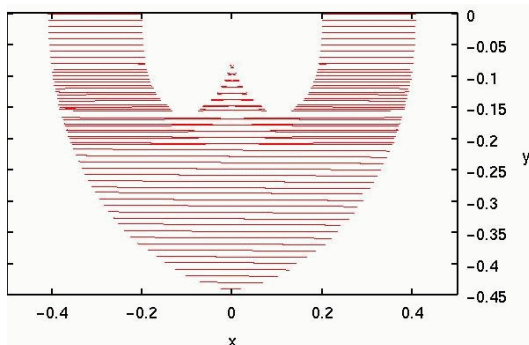


Fig.8 Manipulability area ($z=0.4$)

5. まとめと今後の課題

本稿では、可操作度を評価関数とする移動マニピュレータの動作計画手法を提案し、この手法を「移動しながら物体を把持する動作」に適用した。また、その計画した動作を動作ビューワを用いて検証した。

今後の課題としては、マニピュレータの手先に搭載したカメラを用いた手先の位置修正がある。このような課題を克服し、実機で目標タスクを実現することが、本研究の目標である。

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費 補助金「若手研究(B)」(課題番号:13750223)の補助を受けて行われた。ここに深く感謝する。

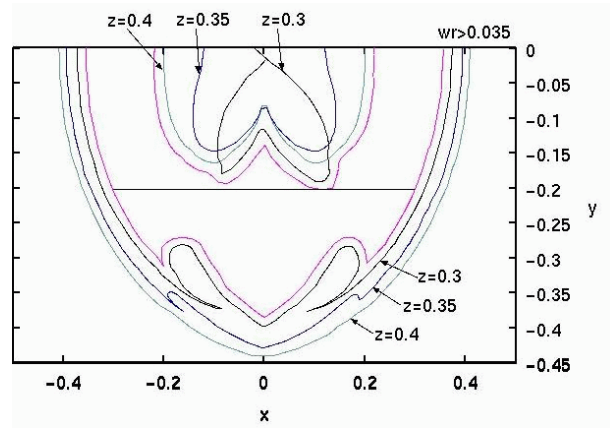


Fig.9 Planned path

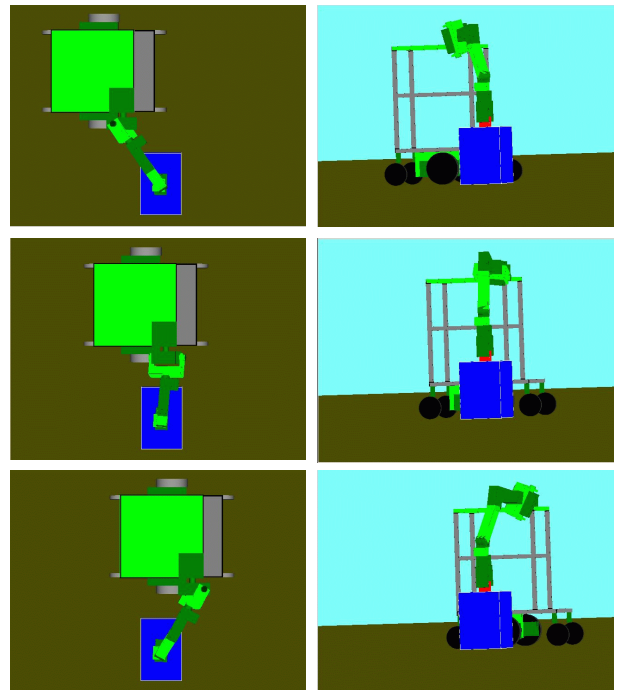


Fig.10 Animation of planned motion

参考文献

- 1) 見浪 護・藤原直史・柘植広志: カメラフィードバックを用いた自律移動マニピュレータの位置・速度制御, 日本ロボット学会誌, Vol.11, No.2, p. 93-101 (1993).
- 2) 辻 敏夫・Pietro G. Morasso・重橋 薫・金子 真: 収束時間を調節可能な人工ポテンシャル法によるマニピュレータの動作計画, 日本ロボット学会誌, Vol.13, No.2, p. 125-130 (1995).
- 3) 見浪 護・羽多野正俊・朝倉俊行: 未知凹凸路面を走行する移動マニピュレータの走行中の作業- 適応制御とニューラルネットワークによる軌道 追従制御 -, 日本ロボット学会誌, Vol.15, No.7, p. 44-51 (1997).
- 4) 永谷圭司, 油田信一: タクスオリエンテッドアプローチによる自律移動マニピュレータの研究- ドアの通り抜けを含む室内の自律走行の実現, 日本ロボット学会誌, Vol.17, No.6, p. 865-875 (1999).
- 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, p. 63 (1984).