

走行しながら物体を把持する移動マニピュレータに関する研究

— 第3報：動作の実装 —

単 万里(岡山大) 永谷 圭司(岡山大) 田中 豊(岡山大)

Mobile Manipulator to Pickup Objects with Base's Moving —3rd report: Motion Implementation—

*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. In our previous paper, we plan a path of mobile base by evaluating “manipulability” of mounted manipulator. In this paper, we refer the motion planning algorithm, and introduce details of the implementation issues.

Key Words: Mobile manipulator, Manipulability, Motion planning, Coordination control

1. はじめに

近年、走行機能とマニピュレーション機能を同時に有する移動マニピュレータの研究が盛んに行われている [1]~[10]。これらの研究では、特に移動マニピュレータのダイナミクスや安定性に関する制御の研究が多い。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。筆者らは、移動マニピュレータによる複雑な動作の実現を目指すため、ダイナミクスについては考慮せず動作計画に関する研究を行うこととした。

ロボットが走行中にマニピュレータによる作業ができれば、時間的な効率を上げるうえでも、停止及び発進に費やされるエネルギーを省くうえでもメリットがある。そこで、本研究では「走行しながら物体を把持する動作」という具体的な動作を設定し、この動作を移動マニピュレータに行わせることを目指すこととした。

第1報では、マニピュレータの手先の位置修正を行うことができる姿勢をマニピュレータが保つために、可操作度[11]を評価関数とする「可操作度を考慮した移動マニピュレータの動作計画手法」を提案し [12]、シミュレータ上でこの動作計画の有効性を検証した。しかしながら「可操作度を考慮した動作計画」では、マニピュレータの先端の速度を直接評価することができないため、ベースロボットの最高走行速度を定量的に決定することができないという問題があった。そこで、第2報において、手先の実現可能速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考案し [13]、シミュレータ上でその動作確認について報告した。

本報では、この動作を実ロボットに搭載し、実環境における動作を実現したのでこれを報告する。まず、提案した動作計画手法の概要について説明し、続いて実ロボットへの実装について詳しく述べる。

2. 走行しながら物体を把持する動作計画

走行しながら物体把持を行う動作を、冗長性を有する移動マニピュレータに行わせるためには、動作計画

の段階で、その冗長なパラメータを決定しておく必要がある。このパラメータを決定するため、本研究では、第1,2報で報告した動作計画を利用することとした。以下に、この動作計画の概要を紹介する。

2.1 前提条件

走行しながら物体を把持する動作を実現するに当たり、次のような条件設定を行うこととした。

1. 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。
2. 目標物体の周囲には、障害物が存在する可能性があるものと仮定する。

2.2 動作設計

走行しながら目標物体を安定して把持するためには、把持動作中、マニピュレータの手先が目標物体に対して相対的に静止していることが望ましい。また、ベースロボットに生じる走行誤差のために生ずる手先位置の誤差を修正するためには、マニピュレータの手先に視覚センサを搭載し、目標物体に対するマニピュレータの手先の相対位置を修正する必要がある。そこで、本研究では、ベースロボットが走行中、マニピュレータの手先を目標物体の上方に静止させることとした。以下に具体的な動作を示す。

1. ベースロボットとマニピュレータの協調制御を行い、マニピュレータの手先を目標物体に対して相対的に静止させる。
2. 手先に搭載した視覚センサを用いて目標物体のXY方向の位置偏差を検出し、手先の位置修正を行う。
3. マニピュレータの手先を目標物体の上方に位置させたまま、目標物体を把持できる位置まで手先を下ろす。
4. マニピュレータの手先を目標物体に対して静止させたまま、ハンドで目標物体を挟む。
5. 目標物体を持ち上げる。

2.3 動作計画の概要

上述の動作を行うため、マニピュレータの操作性を一定以上に保つ必要がある。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、この中で設計した動作を行うこととした。なお、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。Fig.1 に本研究で利用する移動マニピュレータを用いた場合の可操作エリアの例を示す。

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。

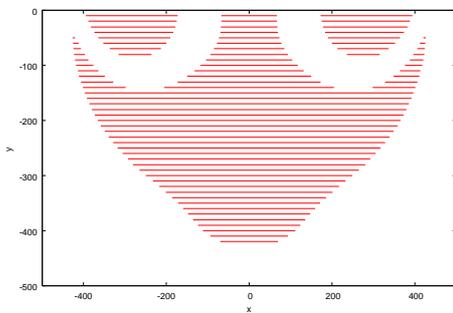


Fig.1 Manipulability area

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ため、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.2 に示す。これより、スムーズな動作が実現されていることがわかる。

3. 計画した動作の実装

シミュレータ上で確認した動作計画を実装する上で必要となるのが、ハードウェア、ソフトウェア、物体の認識や手先位置の修正である。本章では、これらについて述べる。

3.1 ハードウェア

本研究で対象とする移動マニピュレータ RON は屋内作業を想定し、ベースロボットに2輪駆動車輪型ロボットを採用した。このベースロボット上に1kgのペイロードを有する6自由度マニピュレータを搭載した。このマニピュレータの先端には、対象物を認識・把持するためのカメラを搭載したハンドが設置されている。ロボットの概観を Fig.3 に、マニピュレータの軸配置を Fig.4 に示す。

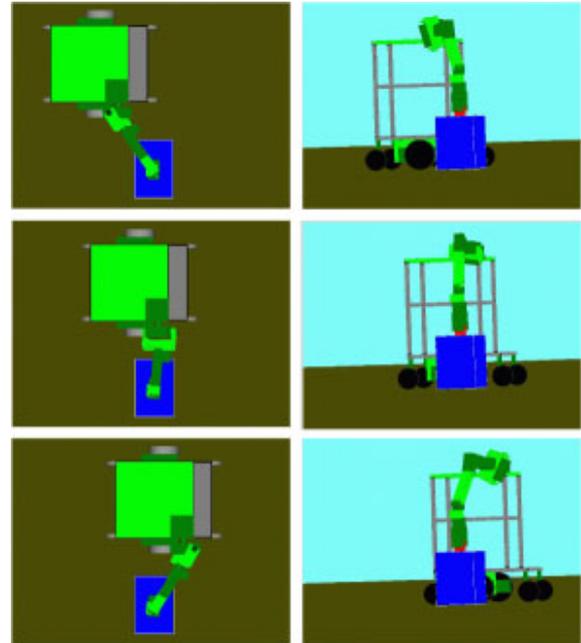


Fig.2 Animation of planned motion



Fig.3 Target robot

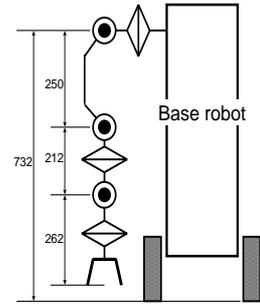


Fig.4 Joints allocation

3.1.1 ベースロボット

ベースロボットは左右に備え付けられた駆動輪を用いて、段差のない屋内環境を走行する能力を有する。また、左右の駆動輪の回転差を用いて進行方向を操航する差動ステアリングを有する。駆動輪の駆動モータにはロータリエンコーダが搭載されているので、これを用いたオドメトリによる自己位置推定を行うことができる。

3.1.2 マニピュレータ

ベースロボットに搭載したマニピュレータは、筆者が所属する研究グループで開発した汎用マニピュレータである。各関節に、ハーモニックドライバを用いることで、同サイズの小型マニピュレータと比較し、マニピュレータの精度や剛性を向上させることができた。このマニピュレータの軸配置及びサイズを Fig.4 に示す。

各関節のモータには、ロータリエンコーダが搭載されているため、運動学を用いて手先の位置を計算することができる。また、ピュマ型マニピュレータの軸配置を採用したため、手先軌道の各点における位置や姿勢から、逆運動学を用いて各関節の角度を計算することが可能である。

3.1.3 ハンド

手先には、筆者が所属する研究グループで開発したハンドを搭載した。このハンドには、視覚フェードバック用のカメラを2指ハンドの内側(手の平の位置)に搭載している、このカメラは、把持動作の際、スライド機構によって上方に移動することで、把持後にもカメラの視界を確保することができる。[14]

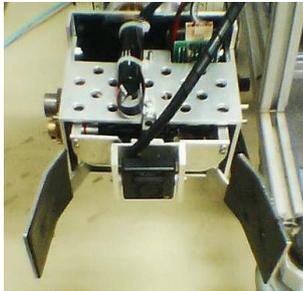


Fig.5 Camera hand

3.2 ソフトウェア

移動マニピュレータ RON には、筆者が所属する研究グループで開発したロボット制御ソフトウェア「Mon-Kit」を搭載し、走行系とマニピュレータのモータ制御や各センサからの情報獲得を行う。

このソフトウェアは、システムプログラムとユーザプログラムの2階層に分かれている。システムプログラムは、主にロボットのハードウェアを制御するプログラムであり、走行制御やマニピュレータの制御を行う。一方、ユーザプログラムは、ロボットの行動を記述するものであり、各センサ情報を獲得するコードもこの中に含まれる。これら2つのプログラムは、shared memory を介して通信を行う。

システムプログラムには、ロボットの走行に必要な直線・旋回・停止などの動作やマニピュレータの姿勢の制御を行うコマンドが実装されている。これらのコマンドを用いてベースロボットを目標走行経路に沿って走行させ、マニピュレータにその地点に対応する姿勢を順に指示することで、ベースロボットとマニピュレータの協調を実現することができる。

3.3 物体の認識

移動マニピュレータによって移動しながら物体を把持するには、目標物体の位置を外界センサから求めることが必要となる。予め目標物体の位置情報をロボットに与えておいても、車輪のスリップ等によるロボットの自己位置の推定誤差等により、正確に目標物体に手先を持って行くことは困難である。そこで、外界センサを用いて目標物体の位置を測定することが必要となる。

本研究では、マニピュレータの手先に搭載した視覚センサを利用することにした。この視覚センサを用いて目標物体を認識し、その位置を求める。ただし、本研究では、目標物体の周囲に誤認識を行う模様が無い環境を対象とする。

目標物体の認識は以下に示す手順で行う。

1. 手先に搭載したカメラより原画像を獲得 (Fig. 6)
2. 適当な輝度値を用いて原画像を2値化 (Fig. 7)
3. 物体の重心位置を検出 (Fig. 8)



Fig.6 Original Image

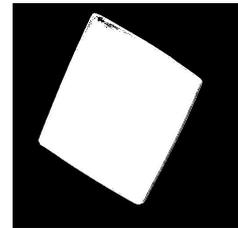


Fig.7 Binarize Image

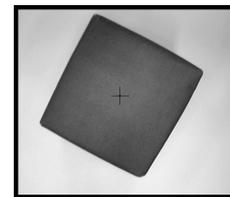


Fig.8 Barycentric Position

3.4 手先位置の修正

物体の設置高さやハンドに搭載したカメラの高さが既知であるため、前節で求められた目標物体の画像中の重心位置から、手先と目標物体との間の位置誤差を計算することができる。この誤差をマニピュレータにフェードバックし、手先の位置修正を行うことで、把持動作をロバストに行うことが可能となる。

3.5 動作検証

動作計画ならびに、上述の動作修正手法を移動マニピュレータに搭載し、動作検証を行った。Fig.9 にこの動作の連続写真を示す。ロボットは、目標物体の上方にてハンドを静止させ、ベースロボットが走行しながら把持動作を行うことができた。しかしながら、このハンドを静止させるための手先の移動速度が遅いため、動作計画の段階でベースロボットの速度を、現在 3cm/sec と設定してある。このため、実際の動作速度は非常に遅い。一方、視覚フェードバックを用いた動作修正については、まだ有効に動作していないため、目標動作の成功率はまだ低いというのが現状である。

4. まとめと今後の課題

本研究では、走行しながら物体を把持する動作の実現を目指し、第1報で提案した「マニピュレータの可操作度を評価関数とした移動マニピュレータの動作計画」を利用し、「走行しながら物体を把持する」動作の実装を行った。

今後はハードウェア、ソフトウェア共に改良を加えて、動作の成功率の向上並びに把持動作の実行速度の向上に取り組む計画である。

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, pp.93-101, 1993.
- [2] Y.Yamamoto and X.Yun: “Coordinating locomotion and manipulation of a mobile manipulator”, IEEE Trans. on Automatic Control, vol.39, no.6, 1994.
- [3] Q.Huang, S.Sugano and I.Kato: “Stability Control for a Mobile Manipulator Using a Potential Method”, Proc. IROS '94, pp.839-846, 1994.
- [4] 見浪 護, 富川久男, 藤原直史, 西山強志: “ころがり抵抗を考慮した斜面を走行する移動マニピュレータの重力補償”, 日本ロボット学会誌, Vol.12, No.2, pp.94-103, 1994.
- [5] 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, pp.44-51, 1997.
- [6] 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, pp.111-121, 1999.
- [7] 羽多野 正俊, 大住 剛, 小原 治樹, 見浪 護: “移動マニピュレータの凹凸路面走行時における外乱の影響”, 日本ロボット学会誌, Vol.20, No.8, pp.105-114, 2002.
- [8] 羽多野 正俊, 大住 剛, 小原 治樹, 見浪 護: “抗力規範による移動マニピュレータの安定化制御-第1報, モデルの導出, ZMP 規範との比較および安定化運動の効果-”, 日本ロボット学会誌, Vol.21, No.1, pp.63-71, 2003.
- [9] 見浪 護, 吉村 不二陽: “未知凹凸路面を走行する 1 リンク移動マニピュレータのニューロ適応制御実験”, 日本ロボット学会誌, Vol.21, No.1, pp.72-80, 2003.
- [10] 羽多野 正俊, 大住 剛, 小原 治樹, 見浪 護: “移動マニピュレータの未知凹凸路面走行時における軌道追従制御性能の改善-学習的手法を用いた路面形状同定とトルク補償-”, 日本ロボット学会誌, Vol.22, No.1, pp.93-102, 2004.
- [11] 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, 1984.
- [12] 単 万里, 永谷圭司, 田中 豊: “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”, 日本ロボット学会 創立 20 周年記念学術講演会, 3B33, 2002.
- [13] 単 万里, 永谷圭司, 田中 豊: “走行しながら物体を把持する移動マニピュレータに関する研究第2報: 手先の実現可能速度を評価関数とする動作計画”, 日本ロボット学会 第 21 会学術講演会, 2I14, 2003.
- [14] 永谷圭司, 白木 扶, 田中 豊: “ファンクショナルエンドエフェクタの構築”, 日本機械学会誌 (2004 年掲載予定).

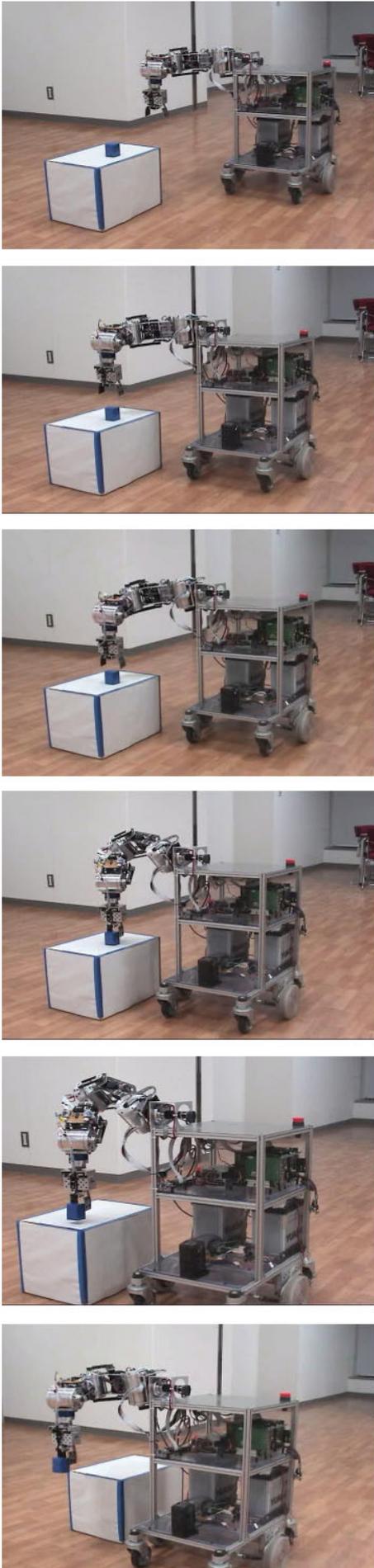


Fig.9 Motion Sample