

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 —

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 —2nd report: Motion Planning Using Possible Velocity of End Effector—

*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. However, the velocity of end effector can not be directly evaluated in the planning method. In order to solve this problem, we plan a path of mobile base by evaluating “Possible velocity of end effector” 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, Possible velocity of end effector, Motion planning

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^{3)~5)}。この移動マニピュレータの台車(ベースロボット)とマニピュレータとの協調動作には、手先の位置誤差の問題や冗長自由度の問題がある。このため、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。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。

一般に車輪で走行する移動ロボットは、車輪の回転を計数することで自己位置を推定するため、車輪のすべりや地面の凹凸によって、推定位置には誤差が累積する。このため、目標動作を行うためには、この誤差のために生ずる手先の位置誤差を修正する必要がある。そこで、本研究では、マニピュレータの手先に視覚センサを搭載し、これらの誤差を修正することとした。このため、目標動作の実現のためには、マニピュレータの姿勢ができるだけ修正動作を行いやすいことが望ましい。

前報⁶⁾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¹⁾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」を提案した。さらに、シミュレータや実機でこの動作計画の有効性を検証した。しかしながら、本研究において実機に搭載したマニピュレータは、市販のマニピュレータと比較し、各関節の最高回転速度が遅いため、マニピュレータとベースロボットとの協調動作を行うためには、ベースロボットの走行速度を遅く設定する必要があった。また、「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。さらに、可操作度は、マニピュレータの機構を過小評価してしまうという可能性も報告されている⁷⁾。

そこで、本研究では、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た。この手法を「走行しながら物体を把持する」というタスクに適用し、シミュレータを用いてこの動作計画の有効性を確認した。本稿では、これらについて報告する。

2. タスクを実現するための動作

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て、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。このため、マニピュレータの手先は、ベースロボットが走行中、目標物体の上方に制御されることが望ましい。そこで、本研究では、この動作を次のように設計した。

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

3. 動作計画

設計した動作より、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に対して相対的に静止させることが重要である。そのため、マニピュレータの手先移動速度をベースロボットの走行速度の逆向きと等しくする必要があるのである。そこで、筆者らは、マニピュレータの手先が実現できる最高速度がベースロボットの走行速度を越えている区域を動作可能エリアと呼ぶこととした。このエリア内でベースロボットが作業することで、マニピュレータの動作が保証される。以下に、動作可能エリアの導出手順を示し、それをを用いた具体的な移動マニピュレータの動作計画手法について説明する。

3.1 手先の実現可能速度の計算

マニピュレータがある姿勢をとった際の手先の実現可能速度は、制御周期 T 内に手先が移動可能な距離であり、次の手順で計算する。

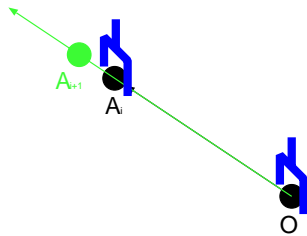


Fig.1 Possible velocity of end effector (P.V.E.E.)

1. マニピュレータの第 i 関節の最高回転速度を \dot{q}_{imax} とする
2. Fig.1 に示すように、マニピュレータの手先が O 点にいる時の各関節の角度 q_{io} を逆運動学を用いて計算する。さらに、仮想的な移動先の点である A 点に手先が到達した時のマニピュレータの各関節の角度 q_{ia} を逆運動学を用いて計算する
3. 制御周期 T 内に、 O 点から A 点までの各関節の回転速度 $\dot{q}_i (= \frac{q_{ia} - q_{io}}{T})$ を計算する
4. $\forall i (\dot{q}_i < \dot{q}_{imax})$ のとき、 \vec{OA} を増やして、2,3,4 を繰り返す
5. ある i 番目の関節の回転速度 \dot{q}_i が \dot{q}_{imax} と等しくなるとき、 \vec{OA} は求められる手先の実現可能速度となる

3.2 手先の実現可能速度の分布の導出

次に、ベースロボットの位置を変数とする手先の実現可能速度の分布を以下の手順で導出する。ただし、目標物体は x, y 平面の原点、高さは一定とする。

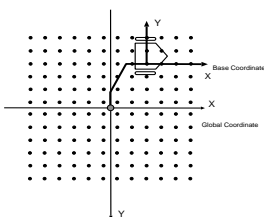


Fig.2 Upper view

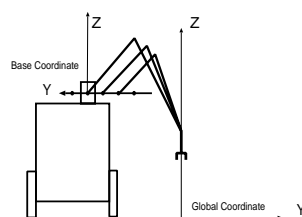


Fig.3 Side view

1. グローバル座標に対するベースロボットの位置の候補を Fig.2 に示す点のように設定する
2. ベースロボットの各位置の候補において逆運動学を解き (Fig.3) マニピュレータの各関節角を決定する
3. ベースロボットの各位置の候補におけるマニピュレータの手先の実行可能速度を導出する
4. ベースロボットの位置の候補を順次更新し、2, 3 を繰り返す

3.3 動作可能エリアの導出

ある手先の高さに対して、手先の実現可能速度の分布を導出し、その中におけるベースロボットの走行速度を越える点の集合を水平面内の動作可能エリアと呼ぶ。さらに作業内容に応じて手先の高さを変更することで、この水平面内の動作可能エリアを複数計算することができる。本研究では、これらの水平面内の動作可能エリアの理論積を動作可能エリアとする。このエリア内にベースロボットが存在すれば、マニピュレータの手先の速度は、作業中、常に保証される。

3.4 走行経路とマニピュレータの手先軌道の決定

動作可能エリア内において、できるだけ長い移動距離を確保することが、修正動作を可能とし、目標タスクを実現する上で重要である。また、車輪型ロボットの走行を考えると、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、求めた動作可能エリア内で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される。

4. 動作計画例

4.1 移動マニピュレータ

本研究で使用する移動マニピュレータは、車輪型移動ロボットをベースロボットとして6自由度マニピュレータを搭載したもので、概観を Fig.4 に示す。ただし、図に示したマニピュレータの替わりに、新たに6軸のマニピュレータを搭載する予定であり、その関節配置を Fig.5 に示す。本研究では、新規に搭載するマニピュレータに対して、シミュレータ上での動作計画を行った。

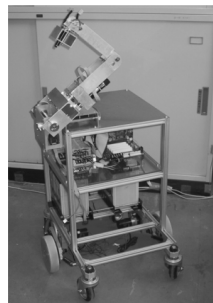


Fig.4 Target robot

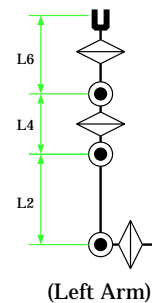


Fig.5 Joints allocation (Left Arm)

4.2 タスクの設定

本研究における具体的なタスクを以下のように設定した。まず、Fig.6 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座標を $(2.0\text{m}, 0.7\text{m}, 0.3\text{m})$ とする，また，目標物体のサイズは $0.05\text{m} \times 0.05\text{m} \times 0.05\text{m}$ とする．ロボットは原点から走行する途中に目標物体を把持することとする．

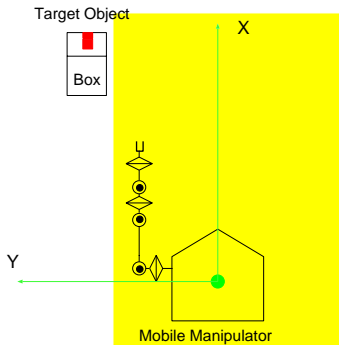


Fig.6 Assumption of environment

4.3 手先の実現可能速度の計算

目標タスクは，マニピュレータの手先が移動マニピュレータの走行方向へ移動するだけではなく，下に下ろす動作や修正動作も含まれる．そこで，3.1節におけるA点をFig.7に示すように複数方向として手先の実現可能速度を計算することとした．ここで， V_d は手先を下ろす速度であり， V_m は手先の位置修正に必要とされる速度， V_e は-x方向の手先の実現可能速度である．

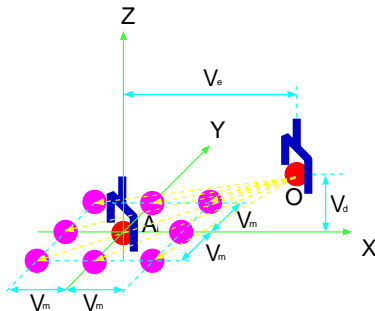


Fig.7 P.V.E.E. for this experiment

4.4 手先の実現可能速度の分布と動作可能エリア

設定したタスクでは，マニピュレータの手先が高さ 0.4m の点から高さ 0.3m の点まで移動する．そこで，本研究では，マニピュレータの手先が通る高さ $0.4\text{m}, 0.35\text{m}, 0.3\text{m}$ 三つにおける，手先の実現可能速度の分布を計算した (Fig.8~Fig.10)．

次に，移動マニピュレータの走行速度を閾値として各水平面内の動作可能エリアを計算した (Fig.11~Fig.13)．

これら三つの動作可能エリアの理論積を取り，目標動作の動作可能エリアを決定した (Fig.14 内の灰色のエリア)．

4.5 走行経路やマニピュレータ手先軌道の決定

本研究における走行経路は，求めた動作可能エリア内で最も長い線分とした (Fig. 14 中の太線)．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

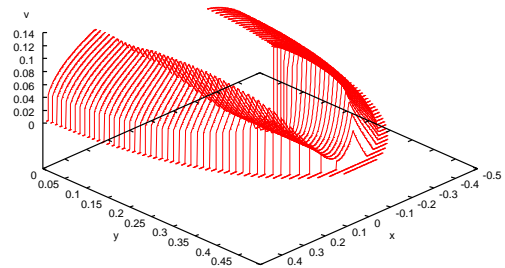


Fig.8 Distribution of P.V.E.E.(z=0.4)

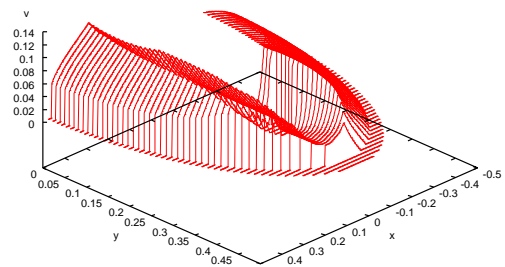


Fig.9 Distribution of P.V.E.E.(z=0.35)

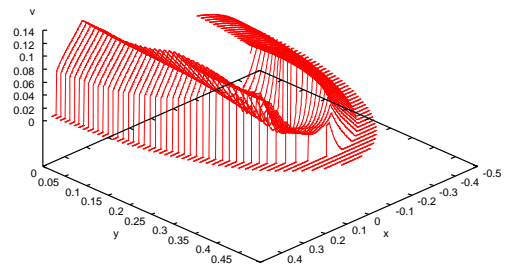


Fig.10 Distribution of P.V.E.E.(z=0.3)

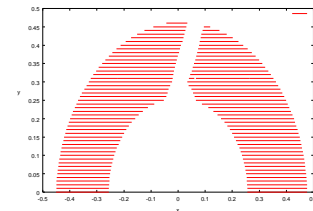


Fig.11 Possible area (z=0.4)

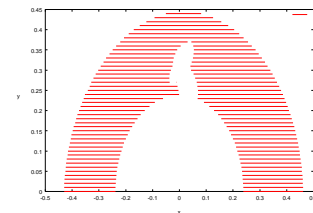


Fig.12 Possible area (z=0.35)

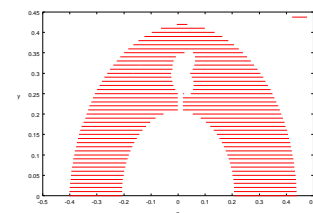


Fig.13 Possible area (z=0.3)

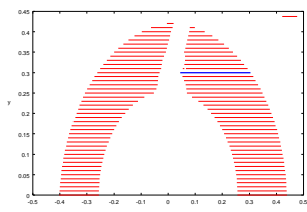


Fig.14 Possible area

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される。

4.6 動作例の3次元表示

計画した動作の検証を行うため「動作シミュレータ」上で、移動マニピュレータの動作を実行した。この動作シミュレータは、実ロボットの動作を行うプログラムと同一のプログラムをコンピュータ内で実行し、そのロボットの動作シミュレーションを3次元表示できるものである。

この動作の連続写真を Fig.15 に示す。これにより、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。

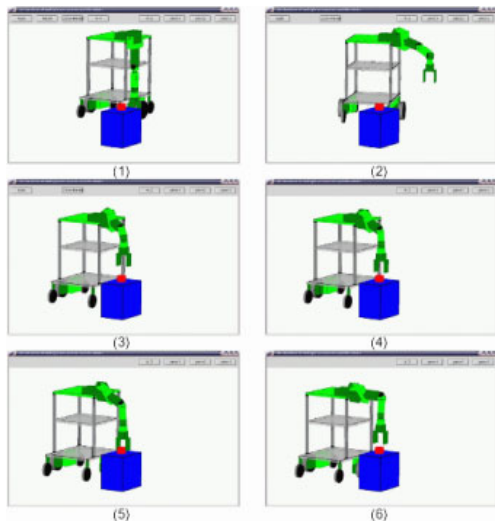


Fig.15 Animation of planned motion

5. まとめと今後の課題

前報の可操作度を考慮した動作計画には、ベースロボットの走行速度を直接に計算することができないため、ヒューリスティックな最高走行速度の決定を行っていた。本稿では、手先の実行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提案した。これにより、マニピュレータの先端の速度を直接に評価できるため、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る。また、動作シミュレータ上でこの動作計画の有効性を検証した。

今後は、移動マニピュレータの実機の整備を行い、実環境下において「走行しながら物体を把持する動作」を行う予定である。

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。

参考文献

- 1) 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)
- 2) 山本 元司, 黒田 創明, 毛利 彰: 複数台ロボットによる協調作業経路計画, 日本ロボット学会誌, Vol.11, No.2, pp.217-226 (1993)
- 3) 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.263-271 (1993)
- 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, pp.111-121 (1999)
- 5) 武田宏樹, 小菅一弘, 平田泰久: 単一物体を搬送する複数移動ロボットによる機能分散型障害物回避システム, 日本機械学会 論文集 (C 編), 68 (669), 111-117 (2002)
- 6) 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)
- 7) 牧田 忍, 古荘純次: ロボットの機構評価に関する一考察-最終効果器の実現可能速度を表す多面体を用いた場合-, 日本ロボット学会誌, Vol.20, No.7, pp742-750 (2002)