

# 可操作性を考慮した移動マニピュレータの動作計画

平山智信(岡山大学) 永谷圭司(岡山大学) 五福 明夫(岡山大学)

## Motion Planning for Mobile Manipulator Based on Manipulability

Tomonobu Hirayama (Okayama univ), \*Keiji Nagatani(Okayama univ),  
Akio Gofuku(Okayama univ)

**Abstract**— This paper describes a motion planning algorithm for mobile manipulator. A problem is to take care of redundancy of manipulator. Our approach is to plan the mobile robot's path with keeping a manipulability at the top of the end-effector. We apply it to line drawing task on a wall, and simulation result verifies a validity of this algorithm.

**Key Words:** Mobile Manipulator, Manipulability, Kinematic, Motion Planning

### 1. はじめに

移動マニピュレータが、その作業空間内で、与えられた作業をスムーズに行うためには、移動台車とマニピュレータの制御を同時に行う必要がある。この協調動作を行うためには、移動台車をマニピュレータの自由度の1つと考え、冗長マニピュレータの問題として考えることが多い。<sup>2)</sup> しかしながら、「マニピュレータの手先の位置・姿勢制御」と「移動台車の走行制御」は、制御方法が異なるため同列に扱うのは困難である。そこで筆者らは、動作計画段階において、移動台車の走行経路とマニピュレータの姿勢を独立に考えるアプローチをとることにした。具体的には、マニピュレータの操作性をできるだけ大きく保ちつつ、移動台車の移動距離をできるだけ小さくするという方針で移動マニピュレータの動作計画を行うこととした。

本研究では、この動作計画の有用性を確かめるため、マニピュレータに固定したペンを用いて、垂直な壁面に任意の図形(文字等)を描くタスクを設定した。本稿では、このタスクを実現するための移動マニピュレータの動作計画について、直線の描画を中心に述べる。

### 2. マニピュレータの可操作性度

本研究では、マニピュレータの手先の動かしやすさを保つことが重要である。そこで、マニピュレータの手先の動かしやすさを表す「可操作性度」<sup>2)</sup>を用いることとし、この可操作性度をマニピュレータの動作計画を行う際の評価関数とすることにした。

可操作性度  $w$  は、マニピュレータの姿勢によって決定する。これは、マニピュレータの各関節の角度より求められる  $n \times m$  のヤコビ行列  $J(q)$  で定義されており、以下の式で表される。

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

### 3. 可操作性度の分布の計算

移動マニピュレータの動作計画を行う際の方針を以下のように設定した。

- 1 移動台車の移動距離を小さくする
- 2 マニピュレータの手先の可操作性度を一定以上に保つ

この方針に沿って動作計画を行うため、マニピュレータの手先の位置・姿勢を決定したときの、マニピュレータのベース座標  $(x, y)$  をパラメータとする可操作性度の分

布を、以下の手順で導出することにした。ただし、移動台車の向きが与える影響を考慮しなくても良いように、搭載するマニピュレータの第1関節の軸は地面に垂直なものと仮定する。

- 1 グローバル座標とマニピュレータのベース座標を Fig.1 に示す通りに設定
- 2 マニピュレータの手先の位置、姿勢を一定にしたままマニピュレータのベース位置を XY 平面上で動かし、その各位置において逆運動学を解く
- 3 各位置のマニピュレータの姿勢より、可操作性度を導出

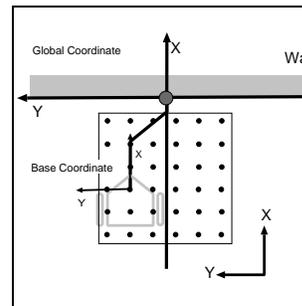


Fig.1 Calculation Method of Manipulability Distribution

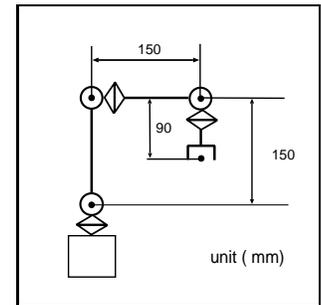


Fig.2 Manipulator

例として、Fig.2 に示す 6 軸マニピュレータの可操作性度の分布を計算し、3次元グラフで表すと Fig.3 になる。ここで、目標の手先位置は、マニピュレータのベース位置より 10mm 上部、姿勢は手先の向きは、地面に平行とした。ただし  $x, y$  軸がマニピュレータのベース座標、 $z$  軸が可操作性度を表す。

### 4. 可操作性エリアの設定

次に固定した手先の位置、姿勢において、ある閾値以上となる可操作性度の領域を切り出す。これを可操作性エリア (Manipulability Area : MA) と呼ぶが、これは可操作性度を一定以上に保つための、マニピュレータのベースが位置すべき領域である。

例として、可操作性度の分布が Fig.3 となるときの、可操作性エリアを Fig.4 に示す (閾値  $W = 2.5 \times 10^6$ )。

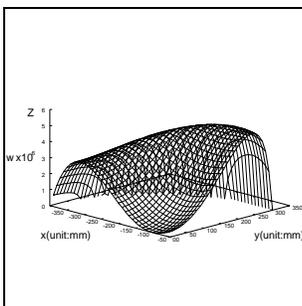


Fig.3 Example of Distribution Manipulability

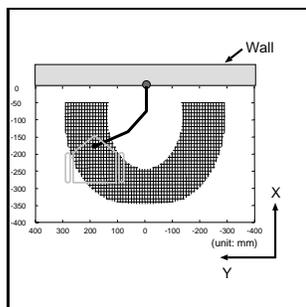


Fig.4 Manipulability Area

## 5. 描画を行う動作計画アルゴリズム

先に設定した可操作エリア  $MA$  をもとに、垂直な壁面に、任意の直線の描画を行うための移動マニピュレータの動作計画について述べる。

まず、描画対象となる線分を 3 次元空間中に定義し、これを  $N$  点に分割し、それぞれを手先の目標点とする。次に各点において、可操作エリア  $MA$  を計算する。仮に、手先の目標位置を線分の始点から終点まで動かした時の、可操作エリア  $MA_i$  の論理積が空でない場合、つまり、 $MA_i$  の重なりがあれば、移動台車はマニピュレータの作業中に動作する必要がない。そこで、移動台車は、マニピュレータのベース位置が  $MA_i$  の論理積の集合内に位置するように移動し、その場所で、マニピュレータのみを制御することにより、線分の描画を行う。

一方、 $MA_i$  の論理積がとれなければ、移動台車が移動を行いながら描画を行う必要がある。そこで、手先の始点における可操作エリアの重なりが最も大きくなる領域内の点と、手先の終点における  $MA_i$  が最も多く重なっている領域内の点を移動台車の始点と終点とし、この 2 つの点を結んだ線分を移動台車の走行経路とする。この際、マニピュレータの動作については、移動ロボットの始点で停止している間にできるだけ動作を行うものとする。

## 6. 線分の描画への適用

ここでは、上述の動作計画手法を、単線分の描画に適用した例を 2 つ示す。ただし、描画対象となる壁が  $y$  軸上にある環境を想定する。

### 6.1 適用例 1

$Y$  値が  $-200\text{mm}$  から  $250\text{mm}$  となる地面に平行な線分(ただし、手先位置がベース位置より  $10\text{mm}$  上部)を描く動作を考える。手先方向は壁に垂直とする。

提案した動作計画アルゴリズムを適用すると、手先の始点から終点までの全ての  $MA_i$  の論理積がとれる。そこで、移動台車は、論理積がとれた点にマニピュレータのベース位置を移動させ、ここでマニピュレータを制御して線分の描画を行う。

Fig.4 に示した  $MA_i$  を重ね合わせたものを Fig.5 に示す。黒い部分が重なり大きいところである。

### 6.2 適用例 2

次に、 $Y$  値が  $-200\text{mm}$  から  $600\text{mm}$  となる地面に平行な線分(ただし、手先位置がベース位置より  $10\text{mm}$  上部)を描く動作を考える。手先方向は壁に垂直とする。

Fig.5 Overlaped Manipulability Area Ex.1

この例では、始点と終点の  $MA_i$  の論理積が存在しないので、始点における  $MA_i$  と終点における  $MA_i$  の間を移動台車が移動する。

Fig.6 は、これを示したものである。この図からもわかる通り、重なり大きい部分が線分となり、この部分が移動台車の走行経路となる。マニピュレータの動作としては、始点においてできるだけ描画動作を行い、次に走行系との協調動作を行う。

Fig.6 Overlaped Manipulability Area Ex.2

## 7. 3Dビューワと実験

動作計画の検証のため、OpenGL を用いた移動マニピュレータの 3D ビューワを製作した。これは、計画したマニピュレータの関節角および、台車の走行位置を入力することで、ロボットの動作を画面に表示するものである。これにより先に述べた線分の描画例において、期待した動作の確認をとることができた。

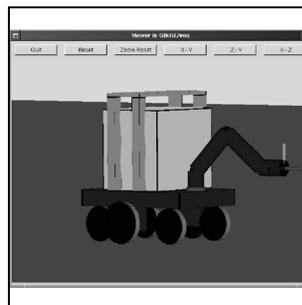


Fig.7 3Dviewer

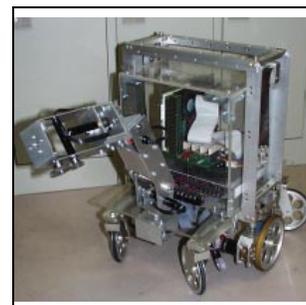


Fig.8 Mobile Manipulator

## 8. 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線分の描画を例にとり紹介した。現在、実機の移動マニピュレータを製作中であり、本稿のアルゴリズムで計画した動作を実環境中で行う予定である。(Fig.8)

また、現段階では、計画段階においてマニピュレータの各関節の可動範囲や、移動台車のノンホロノミック性を考慮していないので、今後検討する必要がある。

### 参考文献

- 1) 江川純司” 移動系の自由度も用いて物体を操作する小型移動マニピュレータ, ロボティクス・メカトロニクス講演会'00 講演論文集 2A1-45-055
- 2) 吉川恒夫” ロボット制御基礎論”1988, コロナ社
- 3) J.J.Craig 著 三浦宏文, 下山勲 訳 ” ロボティクス 機構・力学・制御”1988, コロナ社