

可操作性を考慮した移動マニピュレータの動作計画

Motion Planning of Mobile Manipulator Based on Manipulability

○学 平山 智信(岡大院)

正 永谷 圭司(岡大院)

正 五福 明夫(岡大)

Tomonobu Hirayama, Okayama Univ.3-3-1,Tsushima-Naka,700-8530 Okayama

Keiji Nagatani, Okayama Univ

Akio Gofuku, Okayama Univ

Keywords : Mobile Manipulator, Manipulability, Kinematic, Denavit-Hartenberg, Motion Planning

1 はじめに

現在、筆者らは、小型マニピュレータの設計、製作を行っており、このマニピュレータを小型移動ロボットに搭載し、小物体の取得や、受渡し等の複数台の移動マニピュレータの協調動作に関する研究を行っている。

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ロボットとマニピュレータの制御を同時に行う必要であるが、マニピュレータの制御系(位置姿勢の制御)と、移動台車の制御系(走行の制御)では、制御方法が異なるので、同列に扱うのは困難である。

そこで必要に応じて移動台車の制御系と、マニピュレータの制御系を独立に制御する必要があると考えられる。そこで本研究ではマニピュレータの操作が行いやすい位置にロボットを移動させる方針で、移動マニピュレータの動作計画を行うこととした。

さて、本研究ではマニピュレータの手先座標系に固定したペン(筆ペン等)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マニピュレータの制御と移動台車の制御の選択方法および、それらを用いた移動マニピュレータの動作計画について述べる。

2 マニピュレータの可操作性

マニピュレータが与えられた作業を、作業空間内でどのような位置、姿勢で行えば最適であるかということを求めるのは容易ではなく、各関節にかかるトルクや、角速度、角加速度、などさまざまな要素を考慮しなければならない。

しかし、その中でも、マニピュレータの手先の動かしやすさというものは、どのような作業をおこなう際においても、重要であると考えられる。

そこで、本研究では、操作能力の一つの指標として、マニピュレータの手先の動かしやすさである、可操作性を用いることとし[1]、この可操作性を、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 w は、マニピュレータの各関節の角度より求められる一般の $n \times m$ 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。

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

$n=m$ のとき、つまり冗長性を持たないマニピュレータでは

$$w = |\det J(q)| \quad (2)$$

となる

3 移動マニピュレータの仕様

本研究で使用する移動マニピュレータは、本研究室で所有している小型の車輪式移動ロボットの前部に、昨年度より本研究室で、設計、製作を行っている小型マニピュレータを搭載する。

小型マニピュレータは、作業空間内で任意の位置、姿勢をとれるように6自由度を有している。

Fig.1に移動マニピュレータの外観を示し、またマニピュレータの初期姿勢および、Denavit-Hartenberg法に基づいた座標系の設定をFig.2に示す。[2]

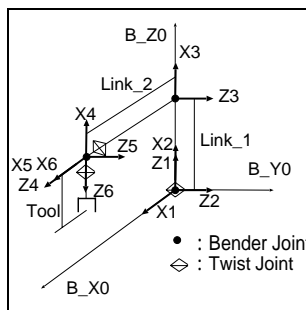


Fig. 1: Coordinate System

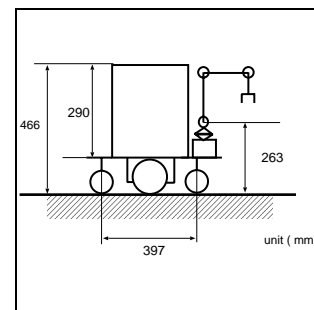


Fig. 2: Mobile Manipulator

4 可操作性の分布の導出

ここでは、作業空間内におけるマニピュレータの手先の可操作性の分布を、以下のような方法で導出する。

まず、はじめにグローバル座標とマニピュレータのベース座標をFig.3のように設定し、マニピュレータの手先位置を z 軸上の任意の点に設定する。

そこで、手先位置を一定と姿勢を一定にし、逆運動学を随時解くことによりマニピュレータの根本(ベース座標)を XY 平面の任意の間隔、範囲で移動させ、その各ベース座標の位置におけるマニピュレータの手先の可操作性を計算する。(Fig.3, Fig.4参照)

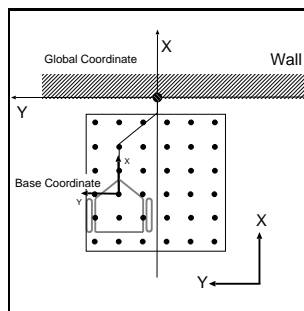


Fig. 3: Moving of Manipulator Base

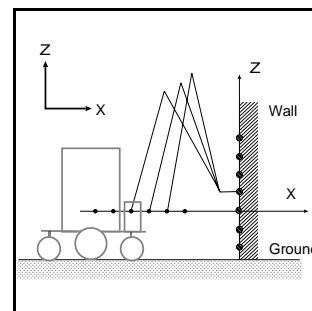


Fig. 4: Moving of Z coordinate

これにより得られた可操作性の分布の例を、手先位置の座標 $Z=30.0, Z=10.0, Z=-10.0, Z=-30.0$ (単位は cm) について Fig.5から Fig.8に示す。

ここで、 X 軸方向の移動範囲は $x = -15cm \sim x = -55cm$ 、 Y 軸方向の移動範囲は $y = 0cm \sim y = 55cm$ であり、分割数は X 軸方向、 Y 軸方向それぞれ 50 である。

また、手先の姿勢としては、マニピュレータのベース座標系の X 軸の方向を向いているものとする。

また可操作性の単位は、表示の見やすさのために、 10^3 で除算を行っている。

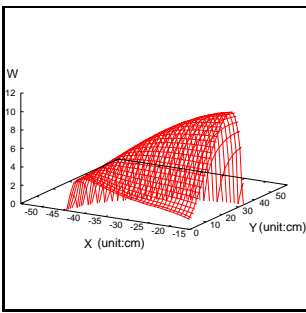


Fig. 5: Distribution of Manipulability $Z=30\text{cm}$

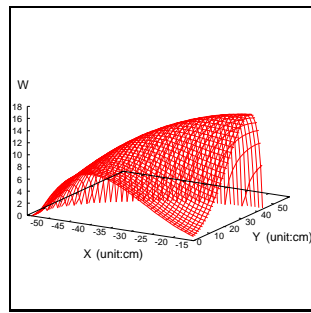


Fig. 6: Distribution of Manipulability $Z=10\text{cm}$

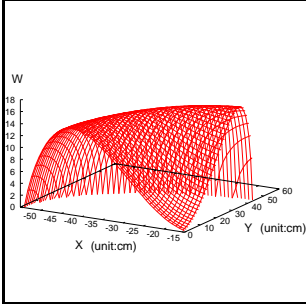


Fig. 7: Distribution of Manipulability $Z=-10\text{cm}$

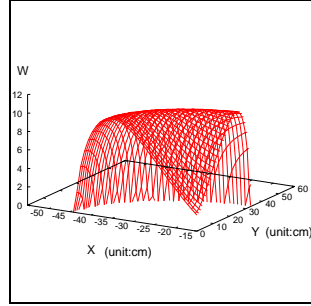


Fig. 8: Distribution of Manipulability $Z=-30\text{cm}$

5 直線の描画

つぎに、前章で求めたマニピュレータの手先の可操作度の分布をもとに、垂直な壁面に任意の始点から終点まで、直線を描画する時に、マニピュレータの制御による描画と、移動ロボットの制御による描画の選択方法を述べる。

まず描画する直線の始点から終点まで一定間隔毎に、ある閾値以上の可操作度をもったベース座標系の位置のXY平面上での分布を求める。以後、この可操作度の分布を表した領域を可操作エリア (Manipulability Area : W_A) と呼ぶこととする。

もし、始点から終点まで、すべてのベース位置で、 W_A の集合の論理積、つまり、 W_A の重なりがあれば、移動ロボット自身は、マニピュレータのベース座標が W_A の論理積の集合内に位置するように移動し、その場所で、マニピュレータを制御することにより、直線の描画を行う。(Fig.9 参照)

しかし、始点と終点において論理積がとれる場合でも W_A の集合によっては、描画途中で W_A の論理積がとれない場合も存在する。この場合は、移動台車が適当な移動を行い修正を行う。(Fig.10 参照)

始点と終点において W_A の論理積がとれなければ、始点と終点の W_A の集合の外側の領域では、移動台車が移動をしながら描画を行う必要がある。(Fig.11 参照)

5.1 W_A の論理積がとれる時 (その1)

Fig.9 に示すように、 $Z = -10\text{cm}$ として、 Y 値を -35cm から 35cm まで、 Z 値を一定にして直線を描く。この時、始点から終点までの全ての W_A の論理積が図中の黒点の部分にとれるので、移動台車はこの地点にベース座標を移動させ、ここでマニピュレータを制御して直線の描画をおこなう。

5.2 W_A の論理積がとれる時 (その2)

Fig.10 に示すように、 $Z = 10\text{cm}$ として、 Y 値を -35cm から 35cm まで Z 値を一定にして直線を描く。この時、始点と終点の W_A の論理積は存在しているが、Fig.9 の場合と異なり、全ての W_A の論理積がとれない。手先が $Y = 0$ にある付近)。

したがって、この直線を描画するためには、まずはじめにマニピュレータのベース座標を図中の中心の黒線上に移動させ、そこでマニピュレータによる描画を開始する。

そしてその後、 W_A の論理積がとれなくなると、始点と終点の W_A 以外での W_A の論理積がとれる領域 (図中下部の黒点)

$Z = -10.0 \quad W_A = 8.0$

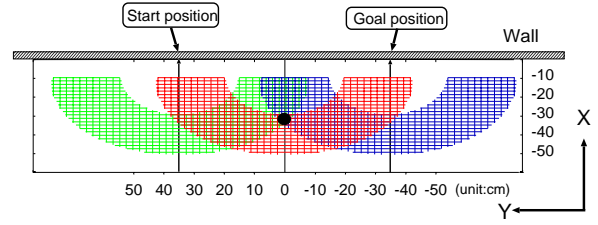


Fig. 9: Overlap Manipulability Area $Z = -10, -35 < Y < 35(\text{unit:cm})$

との間で往復運動をおこないながら描画を行い、その後また黒線上に静止して、マニピュレータによる描画を行う。

$Z = 10.0 \quad W_A = 8.0$

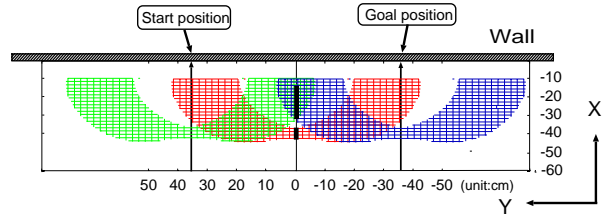


Fig. 10: Overlap Manipulability Area $Z = 10, -35 < Y < -35(\text{unit:cm})$

5.3 W_A の論理積がとれない時

Fig.11 に示すように、 $Z = 10\text{cm}$ として、 Y 値を -45cm から 45cm まで Z 値を一定にして直線を描く。始点と終点の W_A の論理積が存在しないので、始点の W_A と終点の W_A の間を移動台車が移動することにより描画を行う。

この移動台車が移動する経路の取り方は、一意に決まる物ではないが、ここではその一つの経路として、図中の黒点間を直線的に移動する経路を取る。

これは、始点の W_A の領域および、終点の W_A を除いた領域において、 W_A の論理積がとれる範囲内で、かつ移動台車の移動距離が最も短くなる経路である。

$Z = 10.0 \quad W_A = 8.0$

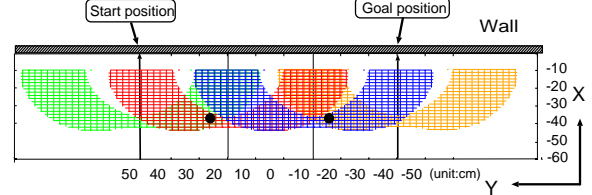


Fig. 11: Overlap Manipulability Area $Z = 10, -45 < Y < 45(\text{unit:cm})$

6 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の検討を行った。

今後の課題としては、可操作エリアの閾値の決定法の検討や、移動経路の決定方法の検討を行う必要がある。

参考文献

- [1] 吉川恒夫” ロボット制御基礎論”1988, コロナ社
- [2] 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