

# 移動マニピュレータの遠隔制御に関する基礎研究

函館高専 ○三谷豪右 中村尚彦 浜 克己

## 要 旨

本研究では、ロボットとの共存によるライフスタイルを実現するため、移動型の多関節アームロボットをさまざまな環境下で作業させることを想定し、そのための遠隔操作を併用したロボット制御システムの作成を目的とする。

## 1. 緒 言

ロボット技術の発展とともに、その市場も製造業から生活支援、公共福祉等の非製造業へと需要が拡大しようとしている。しかし、ロボットと生活をともにするライフスタイルの実現には、遠隔操作や自律制御によって目的の作業を行うロボットの実用化が必要であり、そのためにも、ネットワークとロボットの融合は必要不可欠と考えられる。

このような状況下で、移動ロボットに多関節アームを搭載した移動マニピュレータは、機動性、作業性に優れ、さまざまな環境における作業に有効であることから、これまでも多くの研究が行われている<sup>1)</sup>。しかし、移動マニピュレータが、その作業空間内で与えられたタスクをスムーズに行うためには、移動ロボットとアームの協調動作に加え、その作業指示の問題がある。前者では、移動マニピュレータの有する冗長性を解決するために可操作度を用いた協調制御を導入し<sup>2)</sup>、後者では遠隔操作を併用することとした。

そこで本研究では、移動マニピュレータによる対象物の探索および把持行動タスクに対して、遠隔操作を併用するロボット制御システムの作成を試みた。

## 2. 移動マニピュレータ

本研究で使用した移動マニピュレータは、移動ロボット部には前面に超音波センサ8個を配置した車輪型で2輪独立駆動型の ActivMedia 社製の Pioneer2 を、また多関節アーム部には実験プラットフォーム用であるリバスト社製の6軸小型アームをそれぞれ使用した。制御用ノートパソコン、無線カメラ、および無線モジュールを搭載した全体の概観を図1に示す。多関節アームは、手首のひねりと先端部の開閉を含めて6自由

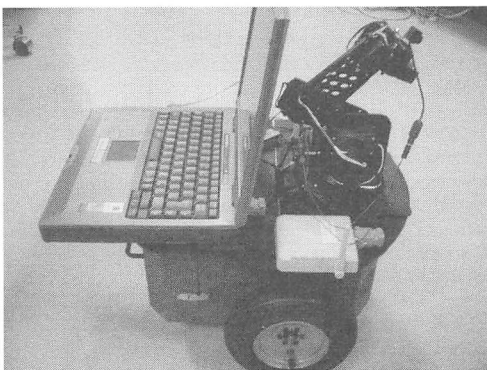


図1 移動マニピュレータの概観

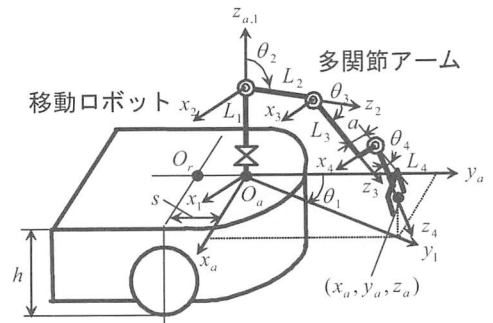


図2 多関節アームの座標系

であり、その2つを除き、原点を  $O_a$  とする各リンクの座標系の設定を図2に示す。なお、 $y_2, y_3, y_4$  は、それぞれ  $x$  軸  $z$  軸と右手系をなすように設定されるがここでは省略する。また、移動ロボットの原点  $O_r$  は、車軸を通る垂直面と上面の交線の中央位置に取った。このとき、アーム先端の位置と各関節角との間の関係は以下である。

$$\begin{bmatrix} x_a \\ y_a \\ z_a \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 & 0 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ L_4 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$A_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & W \\ 0 & \cos \theta_i & \sin \theta_i & 0 \\ 0 & -\sin \theta_i & \cos \theta_i & L_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (i=2,3,4)$$

$$W = \begin{cases} -a & i=4 \\ 0 & i=2,3 \end{cases}$$

## 3. システム構成

移動マニピュレータのシステム構成を図3に示す。このシステムは、移動ロボット、無線カメラを搭載した多関節アームを含む移動マニピュレータ、カメラ情報を取込んで画面上に表示し、それを見ながら移動マニピュレータに指示を与える操作パソコン、さらに操作パソコンからの指示と移動ロボットのセンサ情報のもとに、移動ロボットと多関節アームを制御する制御コンピュータからなる。

操作パソコンでは、無線カメラからの画像情報の表示と、押しボタンにより移動ロボットおよび多関節アームに取付けたカメラの操作が可能である。

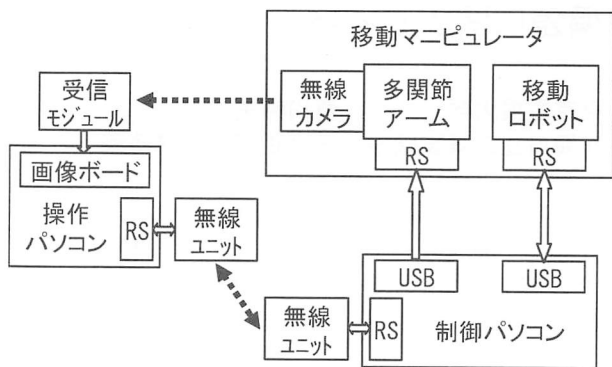


図3 システム構成

#### 4. 協調制御

与えられたタスクに対して、移動マニピュレータの行動計画を行う際には、移動マニピュレータが有する冗長性を解決し、さらにアーム先端の動かしやすさを保つことが重要である。すなわち、アームはその姿勢に応じて動かしやすい方向、動かしにくい方向がある。また、特定の方向に動けなくなる特異姿勢も存在する。ここでは、その指標として可操作度を用いることとし、これを動作計画の評価関数とすることにした。

可操作度  $w$  は、多関節アームの姿勢によって決定する。これは、式(1)で示したアームの各関節角度より求められる  $m \times n$  のヤコビ行列  $J(\theta)$  で定義されており、以下の式で表される。

$$w = \sqrt{\det J(\theta) J(\theta)^T} \quad (2)$$

ここで、 $\det$  は行列式を意味する。

ヤコビ行列はアームの微分関係を示す重要な行列であり、式(1)に対しては以下のように表される。

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_a \\ \dot{y}_a \\ \dot{z}_a \end{bmatrix} = J(\theta) \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \\ \dot{\theta}_4 \end{bmatrix}, \quad J(\theta) = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{13} & J_{14} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} & J_{24} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} & J_{34} \end{bmatrix} \quad (3)$$

これより、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) 移動ロボットの移動距離を少なくする。
- 2) 多関節アーム先端の可操作度を一定以上に保つ。

この方針にしたがって動作計画を行うため、アーム先端の位置、姿勢を一定にし、多関節アームのベース座標  $(x_a, y_a)$  をパラメータとする可操作度の分布を求めてみた。ここで、目標のアーム先端位置はベース位置と同じ高さにし、姿勢は地面に平行な水平面から下  $45^\circ$  の向きとした。この結果を3次元グラフで表したものが図4であり、この可操作度がある閾値以上となる領域を設定して、アームの先端位置がその領域内に入るところまで移動させて望ましい姿勢を取らせた。なお、各アームの長さは以下の通りである。

$L_1=L_2=90\text{mm}$ ,  $L_3=120\text{mm}$ ,  $L_4=78\text{mm}$ ,  $a=20\text{mm}$   
 対象物の探索は、多関節アームに取付けたカメラと

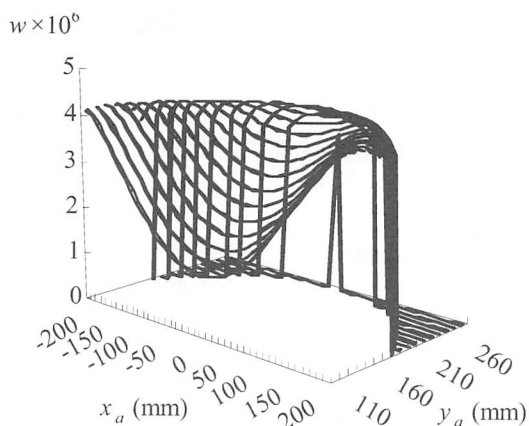


図4 可操作度の分布

移動ロボットを操作画面の操作によって行うこととし、このときおおよその距離と位置を把握する。続いて、超音波センサを使って距離を求め、アーム先端が上述の指定領域に入る位置まで移動するとともに、アームにその距離に応じた姿勢を取らせて把持動作を行う。

#### 5. 動作実験

上記のロボット制御システムを用いて、移動マニピュレータによる台上の対象物の探索・把持動作を実環境で行った。

この動作を複数回行った結果、把持動作にややバラツキはあるものの概ね成功した。これにより、非常に簡単なタスクではあるが、目標動作を実現することができ、移動ロボットと多関節アームの協調制御を含め、遠隔操作を併用した基本的なロボット制御環境が生成された。

#### 6. 結言

本稿では、ロボットとの共存によるライフスタイルを実現することを目的として、遠隔操作を併用したロボット制御システムを作成し、移動マニピュレータによる台上の対象物の探索・把持動作を設定して、実環境で動作の実験を行った。その結果、簡単なタスクに対する実行ではあるが、本システムが移動マニピュレータの動作計画に有効であることが確認された。

今後は、複雑なタスクにも対応できるように、様々な環境情報を統合した動作の実現、アーム部分の改良、装着型制御装置による作業指示の方法などについて検討を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) Yoshio Yamamoto and Xiaoping Yun, Effect of the Dynamic Interaction on Coordinated Control of Mobile Manipulators, IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol.12, No.5, 816-824 (1997)
- 2) 平山智信, 永谷圭司, 五福明夫, 可操作度を考慮した移動マニピュレータの動作計画, 第19回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 201-202 (2001)