

移動マニピュレータの協調行動に関する研究

函館高専 ○山本 裕人 浜 克己

要 旨

本研究では、特定空間内に存在する物体を複数の移動マニピュレータが協調して目的地まで搬送を行うことを目的としている。各移動マニピュレータの行動は、自身のセンサ情報に基づいて自律的に決定されるが、特定の状況に対してのみそれぞれの持つ情報を共有し、スムーズな問題解決を行う。移動マニピュレータの構造、使用センサ、あらかじめ設定する行動ルールなどは、実機によるタスクの実現を前提としている。

1. 緒 言

近年、ロボット技術の発展に伴い、製造業ばかりでなく医療、福祉、娯楽、災害救助、宇宙開発など多種多様な分野でロボットが導入されてきている。その中でも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、作業性が優れていることから、人間による作業が困難な環境においてその作業を代行させることに有効である¹⁾。

そこで本研究では、棒状物体を複数の移動マニピュレータが協調して搬送するタスクを設定し、移動マニピュレータそれぞれが周囲の状況を把握し行動ルールに基づく分散制御を行う。また、タスクを効率的に遂行させるために、必要に応じてロボット間で通信を行う方式を導入し、実機による協調タスクの実現に向けた基礎づくりを行う。

2. モデルの設定

本研究で取扱う移動マニピュレータのモデルを図1に示す。ここで取り扱う移動マニピュレータは、実環境での行動を前提としており、移動ロボット部、関節アーム部ともに、簡単な構造になっている。ここでは、前後の車軸からなる水平面上に、それぞれから等距離で平行になるようにx軸、左右車輪から等距離で、移動ロボットが進む方向をy軸、両軸に垂直で上方がz軸となるように基準座標系xyzを取る。移動は左右のキャタピラで行い、各アームはx軸周りの回転となる。このとき、ハンド先端の位置と各関節角との間には次のような関係がある。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_1 & \sin\theta_1 & 0 \\ 0 & -\sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_2 & \sin\theta_2 & 0 \\ 0 & -\sin\theta_2 & \cos\theta_2 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ L_2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

一般に、各関節角を定めればハンド先端座標は一意に求められるが、実際には対象物までの距離に基づき、対象物の把持位置となるハンド先端座標からアームの姿勢を決定することとなる。この各関節角を求めるには式(1)の逆変換が必要となる。

移動ロボットには、前方と左右直角方向にそれぞれ対象物の存在と距離を計測できる超音波センサを3つ搭載した(図1)。センシングした距離は数値情報として、一方その方向に存在しているものが対象物、壁、ロボットのいずれかであることを認識することができることとする。また、アーム先端部には、物体の把持状況を知るためにひずみゲージを2つ取り付けた。

移動マニピュレータおよび搬送対象物は以下のように定式化

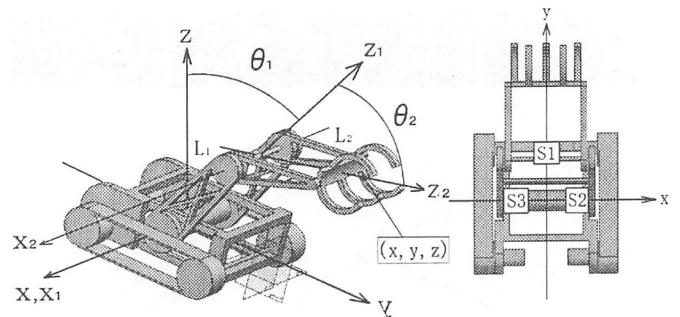


Fig.1 Model of Mobile Manipulator

される。実際の制御では相対関係のみを使用している。

1) 移動マニピュレータ:

$$M_i = \{p_i, v_i, \alpha_i, \Gamma_i, \theta_i, E_i\} \quad (2)$$

p_i : 移動ロボットの位置, v_i : 移動ロボットの速度,

α_i : 移動ロボットの方向, Γ_i : 各アーム長,

θ_i : 各アーム関節角, E_i : 各センサ情報,

2) 棒状物体:

$$O = \{p, l, \theta\} \quad (3)$$

p : 位置, l : 長さ, θ : 方向

3. 行動選択方法

各移動マニピュレータは、自身のセンサによって周囲の情報を獲得し、その状態に応じてあらかじめ設定された状態-行動ルールから実際の行動を選択して実行する。しかし、このルールをすべての状況において共通に設定する方式では、移動ロボットと多関節アームの連携を含め、酷似した状態では望ましいルールの設定が困難で誤った行動を起こす場合が生ずる。そこで、目標タスクを達成するまでの状況をいくつかに分け、それぞれの状況に応じて必要な状態-行動ルールを個別に用意することとした。これにより、各移動ロボットはセンサで自身の現在の状況を認識し、同じ状態に対しても状況によって異なる行動の設定が可能となり、よりスムーズな行動の選択を行うことができるようになる。

ここでは、以下の4つの状況($S_1 \sim S_4$)を設定し、これを含む移動マニピュレータの内部構造を図2に示す。

1) 物体探索状況(S_1): 超音波センサの情報に基づいて、各移動マニピュレータは物体を見つけるまで独立して移動を続ける。見つけた物体が他のロボットか壁だった場合は回避行動を取り、対象物だった場合は次状況に移る。

2) 把持位置探索状況(S_2): 対象物に沿って進み、センサ

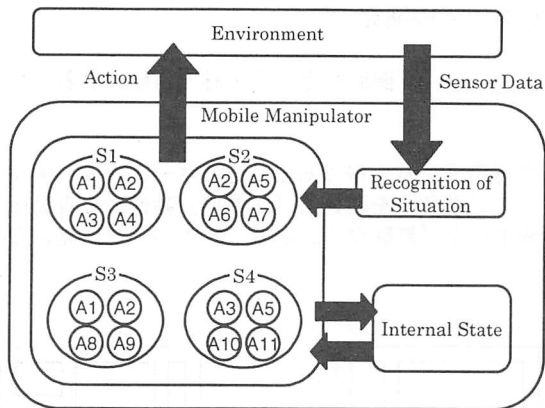


Fig.2 Internal Structure of Mobile Manipulator for Action Selection

が対象物の途切れる位置に移動して反応が途絶えたら、対象物の反応が再び現れる位置まで後退し、その位置を棒の端点とする。その後、対象物の方向を向きアームの姿勢を決定する。

- 3) 把持行動実行状況 (S₃) : 先に S₂ の状況を完了したロボットは、自身の位置を通信機能を用いて他のロボットに知らせる。それを受けたロボットが同様に対象物を感知したら S₂ の状況に移って必要な行動をし、その完了を他方のロボットに知らせ、各ハンドが把持行動を取る。
- 4) 搬送状況 (S₄) : 対象物の搬送位置はあらかじめ与えてあるので、時間ステップごとに現在位置との関係から回転運動の中心位置を求め、移動方向と速度を決定する。対象物の両端が目標範囲内に入ればゴールとみなす。一例として、物体探索状況における具体的な状態 S と行動 A の関係を以下に示す。

- S1: 移動ロボットのセンサに反応がない
- A1: 前進と旋回を繰り返す
- S2: センサが壁、他のロボットを捕らえた
- A2: 衝突しないように、回避行動をとる
- S3: センサが対象物を捕らえた
- A3: 対象物に向かってゆっくりと直進する

全体の処理の流れを図3に示す。

4. 計算機実験

以上の方式に基づき、移動マニピュレータが2台の場合について計算機実験を行った。実験条件を以下に示す。

- ・フィールドの大きさ: 700(cm)×600(cm)
- ・棒状物体の長さ: 220(cm)
- ・1STEPでの移動量:
 - 通常時 10.0(cm/step)
 - 物体発見状況, 把持位置探索状況: 1.5(cm/step)
 - 搬送状況: 最大6.0(cm/step), 最小1.5(cm/step)
- ・前方, 左右センサ:
 - 距離範囲は100.0cm, スポットによるセンシング

2台の移動マニピュレータに対して得られた搬送経路を図4に示す。図中のTはその位置におけるステップ数を、○印は物体を把持するまではロボットの位置、把持後はその位置をそれぞれ示している。まず、1台が226ステップで把持位置探索を

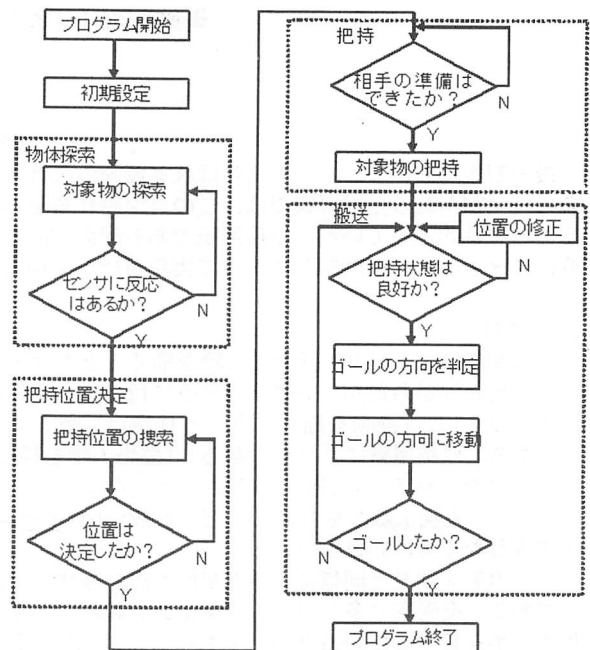


Fig.3 Flow of Overall Processing

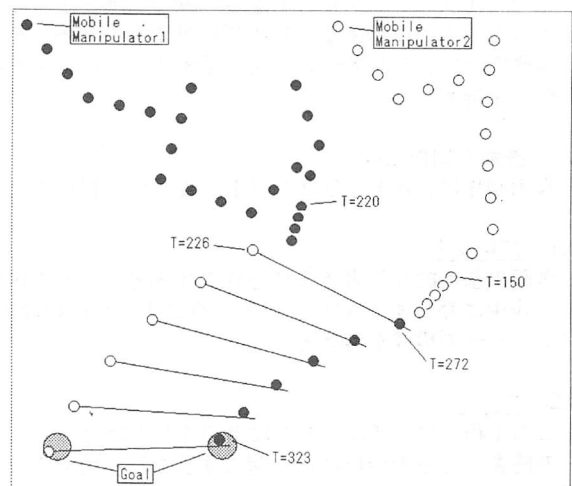


Fig.4 Trajectory of Transportation

完了し、その後もう1台に自身の位置情報を知らせ、もう1台も272ステップで同様の探索を完了している。その後、搬送行動に移り、323ステップでタスクを達成した。

5. 結言

本研究では、複数の移動マニピュレータによる棒状物体の協調搬送を実環境下で行うことを前提とし、状況に応じて状態から行動を決定する状態-行動ルールに基づく分散制御方式を用いて、計算機実験によってその有効性を確認した。今後は、実環境下での協調行動の獲得に向けて、実機の製作を中心に、より効率的な行動を獲得するための学習機能の導入、新ルールの考案なども検討していく予定である。

参考文献

- 1) Abou-Sanah, M. and Krovi, V., IMECE2002-32691