

# 道具を用いた複数移動ロボットの協調による物体搬送

## Transferring Tasks by Cooperation of Multiple Mobile Robots with Tools

山下 淳 (東京大学)      佐々木 順 (東京大学)      正 相山 康道 (東京大学)  
正 太田 順 (東京大学)      正 新井 民夫 (東京大学)

Atsushi YAMASHITA, Jun SASAKI, Yasumichi AIYAMA, Jun OTA and Tamio ARAI  
The University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo

We propose methodology that multiple mobile robots use *tools* to accomplish tasks. The robots make use of characteristics of tools and transfer objects easily and efficiently. In this paper, we adopt sticks and strings as tools: by using sticks, objects can be lined up simultaneously and by using strings, objects can be divided into some groups. We built the system that mobile robots use tools. The effectiveness of the proposed methodology is shown with the experiments of the robots equipped with sticks and strings.

*Key Words* : Tool, Multiple Mobile Robots, Cooperation, Transportation

### 1. 序論

移動ロボットは、工場内・建築現場での搬送作業等、様々な分野への応用が期待されている。また、作業の柔軟性や耐故障性が向上することから、複数移動ロボットによる協調作業を行うことが考えられる。

そこで、協調を円滑に行い、かつ多様な作業に対応するために、移動ロボットが道具<sup>1)</sup>を用いて作業を行う手法を提案する (Fig. 1)。

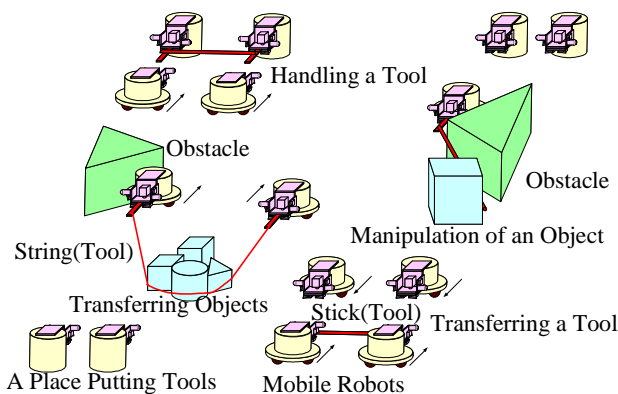


Fig. 1 Multiple mobile robots accomplish tasks by using tools

本報では、複数移動ロボットが道具を用いることにより、複数対象物を同時に取り扱うことが可能となることに注目し、複数対象物を同時に取り扱うための移動ロボットの動作計画手法を構築する。

### 2. 棒を用いた作業

棒のように形状が一定である道具を用いることにより、対象物に強い幾何的制約を加えることが可能である。従って、対象物の位置・姿勢を制御することは比較的容易であると言える。そこで、この特徴を利用し、複数対象物の姿勢を同時に制御する手法を提案する。本報では、形状が一定である道具のうち直線形状の棒を用いて、複数対象物を同時に整列させる (Fig. 2)。

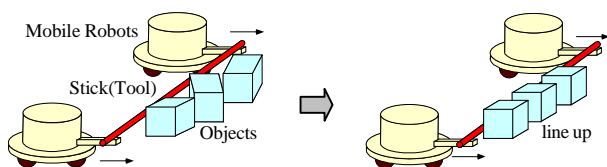


Fig. 2 Robots line up objects by using a stick

複数対象物を同時に整列させつつ搬送する作業につい

て、棒の角度  $\theta$  と棒の進行方向  $\alpha$  を設計パラメータとし、解析を行う。

例として、正方形形状の対象物 1 (一辺の長さは 500[mm]、棒と対象物間の静止摩擦係数  $\mu_1 = 0.25$ ) と、正六角形形状の対象物 2 (一辺の長さは 500[mm]、棒と対象物間の静止摩擦係数  $\mu_2 = 0.80$ ) が配置された状態を考える (Fig. 3)。ここで、目的状態を対象物 1 の辺 2 と対象物 2 の辺 3 が整列された (対象物 1 の辺 2 と対象物 2 の辺 3 が平行となった) 状態であるとす。また、搬送目的方向  $\theta_{dir} = 30[\text{deg}]$  とする。

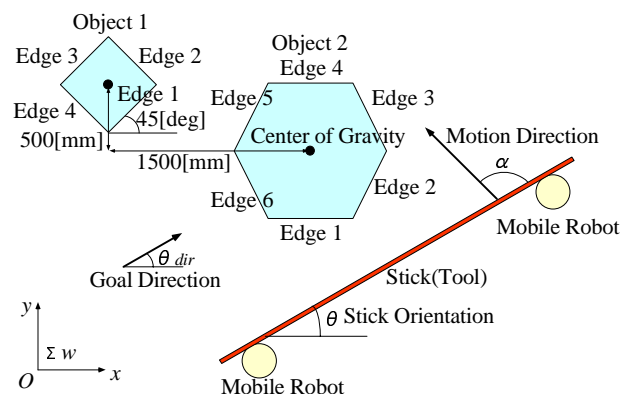


Fig. 3 Initial configuration of objects

棒の角度  $\theta$  及び進行方向  $\alpha$  を求める手順を以下に示す。

- (1) 目的状態と同等の状態を算出する。Fig. 3では、対象物 1 の辺 4 と対象物 2 の辺 6 を整列させた状態も目的状態と等価であるため、この状態も目的状態とする。
- (2) 目的状態を満たす  $\theta$  及び  $\alpha$  の範囲を求める。ここでは、棒の進行方向と各対象物の重心位置、棒と各対象物との間の静止摩擦係数より、 $\theta$  及び  $\alpha$  を求める<sup>2), 3)</sup>。
- (3) 搬送目的方向  $\theta_{dir}$  と棒の配置が最も近くなるような  $\theta_{des}$  及び  $\alpha_{des}$  を決定する。ここで、各対象物間に干渉が生じる場合については、対象物の運動が予想困難である。従って、対象物間に干渉が生じる可能性がある  $\theta$  及び  $\alpha$  については、候補から除外する。各対象物の運動については、目的状態になるまでの棒の移動距離を算出し<sup>4)</sup>、その場合の棒と各対象物の接触点での滑り量を求める。
- (4) (1) ~ (3) の手順について、静止摩擦係数  $\mu_i$ 、棒の角度  $\theta$  及び棒の進行方向  $\alpha$  に誤差が生じた場合を仮定し、同様の解析を行い、誤差がある場合の解  $\theta_{error}$  及び  $\alpha_{error}$  を求める。

(5)  $\theta_{error}$  及び  $\alpha_{error}$  が得られた場合には、誤差に堅固な解として、これらの解を採用する。また、得られなかった場合には、 $\theta_{des}$  及び  $\alpha_{des}$  を解とする。

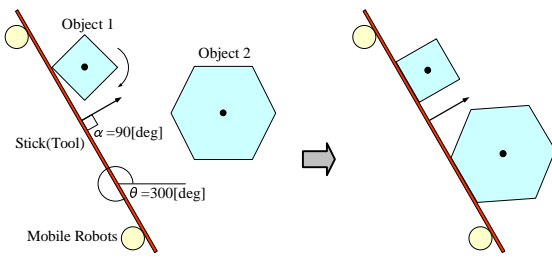


Fig. 4 Result of our proposed analyses

以上の手順を用いることにより、Fig. 3の状態においては、Fig. 4に示す解 ( $\theta = 300[\text{deg}]$ ,  $\alpha = 90[\text{deg}]$ ) が得られる。

### 3. 紐を用いた作業

紐のように形状を自由に变化させることができる道具を用いることにより、道具が対象物に接触する際の形状を自由に变化させ、柔軟な作業を行うことが可能である。そこで、この特徴を利用し、複雑に配置された複数対象物を同時に搬送する手法を提案する。本報では、形状が自由に变化する道具のうち紐を用いて、複数対象物の仕分け搬送作業を行う (Fig. 5)。

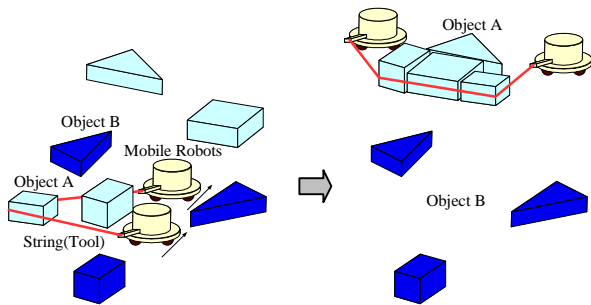


Fig. 5 Robots divide objects into groups by using a string

複数対象物の仕分け搬送作業については、2 台の移動ロボットを用い、各ロボットの動作計画を行う。

例として、種類 A の対象物 (1,2,5,7,9,10) と種類 B の対象物 (3,4,6,8) が配置された状況を考える (Fig. 6)。

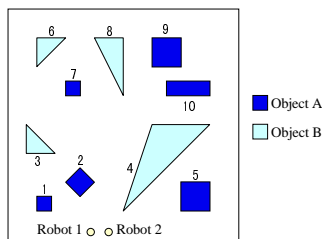


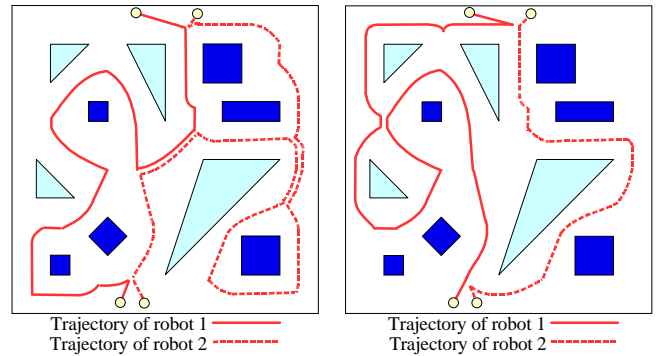
Fig. 6 Initial configuration of objects and mobile robots

種類 A と B の対象物を仕分け搬送するための動作計画を以下の通りを行う。

- (1) ボロノイ図を用いて作業環境のグラフ化を行う。また、各移動ロボットはボロノイ辺上を移動する。
- (2) すべての種類の対象物について、同じ種類の対象物を同時に搬送する経路をグラフ上で求める。ここでは、種類 A と B の対象物について、それぞれを同時に搬送する最短経路を求める (Fig. 7)。
- (3) (2) で得られたそれぞれの経路のうち、各移動ロボット

の移動距離の総和が小さい経路を解とする。

- (4) ルールを用いて経路上で移動ロボットが衝突する状態を回避し、サンプリングタイム毎における各移動ロボットの位置を求める。



(a) Object A

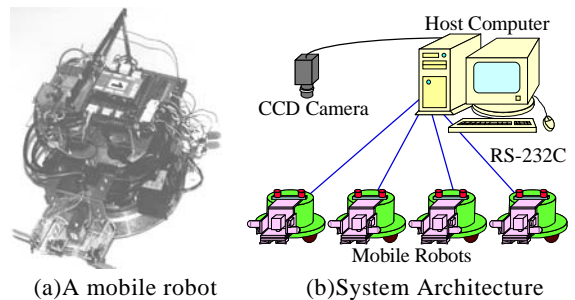
(b) Object B

Fig. 7 Paths of mobile robots

以上により、移動距離の総和が小さい経路は Fig. 7(b) であるため、この経路上で移動ロボットが移動することとし、各時刻のロボットの位置を計画する。

### 4. 実験

実機ロボットを用いて実験を行った。ここでは、位置計測用カメラを天井に設置して各移動ロボットを監視し、移動誤差の修正を行うシステムを構築した (Fig. 8)。



(a) A mobile robot

(b) System Architecture

Fig. 8 Experimental system

構成した実験システムにより、整列作業及び仕分け作業を行い、作業が遂行されることを確認した。

### 5. 結論

本報では、道具を用いることにより、複数移動ロボットが複数対象物を同時に取り扱うことが可能となることに注目し、複数対象物を同時に取り扱うための移動ロボットの動作手法を構築した。具体的には、棒を用いた整列作業と、紐を用いた仕分け作業についての解析を行い、実機ロボットにおいて提案手法の有効性を確認した。

### 参考文献

- 1) 山下淳, 佐々木順, 相山康道, 太田順, 新井民夫: "道具を用いた移動ロボットによる物体操作 (第 1 報: 紐を用いた協調搬送)", 第 15 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.327-328, 1997.
- 2) Matthew T. Mason: "Mechanics and Planning of Manipulator Pushing Operations", The International Journal of Robotics Research, Vol.5, No.3, pp.53-71, 1986.
- 3) Randy C. Brost: "Automatic Grasp Planning in the Presence of Uncertainty", The International Journal of Robotics Research, Vol.7, No.7, pp.3-17, 1988.
- 4) Michael A. Peshkin and Arthur C. Sanderson: "The Motion of a Pushed, Sliding Workpiece", IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol.4, No.6, pp.569-598, 1988.