

## 1 はじめに

現在までに複数ロボットによる物体の協調搬送に関しては多くの研究が行われている。その代表的な手法は、1台のロボットが要求を持つリーダーとなり、他のロボットはそれに従うフォロワーとなるリーダー・フォロワーアルゴリズムである。この手法は、リーダーが障害物情報等を全て知っており、安全な経路を設定できる場合には有効であるが、未知環境では、リーダーが必ずしも全ての障害物を検知できないので安全な経路を設定できるとは限らない。また、全てのロボットが要求を持つことのできる同等制御による手法も提案されている。この手法では、障害物を発見したロボットがリーダーになることで未知・動的環境にも対応できるが、異なる要求を複数のロボットが持った場合は要求の競合が起こる。その競合を解消するために明示的通信を用いるのが一般的であるが、その場合ロボットの台数が増えると通信量が増加し実時間での制御が困難になる。

そこで本研究では、未知環境に対応できる汎用性の高い物体協調搬送を目的として、ロボット間の明示的通信を行わずに、複数同等ロボットがそれぞれ異なる要求を持っている場合の分散制御アルゴリズムを提案する。

## 2 分散協調アルゴリズム

### 2.1 前提条件

各ロボットは、搬送する物体の情報(形状・質量・重心位置)を知っており、物体の位置・速度を計測可能である。また、物体に対して実時間で任意の力・モーメントを加えることができ、すべてのロボットは同じアルゴリズムで行動する。

### 2.2 物体協調搬送における目的

目標位置に物体を搬送する

物体の位置が  $x \in R^n$  であるとき、各ロボット  $R_i$  は自分の持つタスクによって、 $x$  の目標位置  $x_{id} \in R^n$  とその重み行列  $W_i \in R^{n \times n} (0 \leq W_i \leq I)$  を設定する。この設定方法は、タスクによって異なるので、ここでは考えない。また、各ロボットは互いの目標・重みは知らないものとする。このとき物体を移動する目標は、各ロボットの異なる目標位置  $x_{id}$  の重みつき平均をとった合成目標位置  $x_d \in R^n$  とする。

$$x_d = \left( \sum_{i=1}^N W_i \right)^{-1} \left( \sum_{i=1}^N W_i x_{id} \right) \quad 0 \leq W_i \leq I \quad (1)$$

重要なタスクの場合は重みを大きく、比較的重要なタスクでは重みを小さくすることにより、様々な状況に対応することができると思われる。

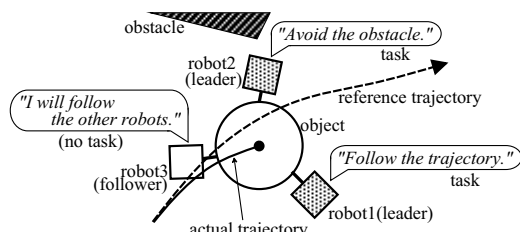


図1: 異なる要求を持つ複数のロボットによる協調搬送通信の抑制  
実時間制御のため協調制御に明示的通信を用いないようにする。

## 2.3 協調アルゴリズム

$$M_o(x)\ddot{x} + C_o(x, \dot{x})\dot{x} + D_o(x)\dot{x} + N_o(x) = \sum f_i \quad (2)$$

$x$ :物体の位置,  $f_i$ :ロボット  $i$  が物体に与える内力,  $M_o$ :物体の慣性行列,  $C_o$ :物体のコリオリ行列,  $D_o$ :物体の粘性摩擦行列,  $N_o$ :物体に働く重力

以上によってその運動が表されるロボットの協調制御アルゴリズムを上位・下位の階層からなる制御器を用いて実現する。

### • 上位レベル:

ロボット  $i$  の目標位置  $x_{id}$  と物体の現在位置  $x$  の加重平均点からロボット  $i$  の補正目標位置  $u_i$  を求める。

$$\dot{u}_i = \alpha \{ (I - W_i)(x - u_i) + W_i(x_{id} - u_i) \} \quad (3)$$

### • 下位レベル:

補正された目標位置  $u_i$  に物体の位置  $x$  を近づけるための制御を行う

$$f_i = K_{pr}(u_i - x) - K_{dr}\dot{x} \quad (4)$$

ただし,  $K_{pr}, K_{dr} \in R^{n \times n}$ :位置・速度フィードバックゲイン行列。

## 2.4 特徴

本研究における制御則の特徴は、

- 搬送する物体が、各ロボットの目標位置  $x_{id}$  の重みつき平均をとった目標位置  $x_d$  に収束することを証明した。
- 明示的な通信を必要としない。

## 3 シミュレーション

シミュレーションでは、二次元平面内の運動について考える。3台のロボットで1つの物体を搬送する。そのうち1台に目標軌道  $x_{id}$  を与えシミュレーションを行った。経路付近には障害物をおき、障害物を感知したロボットは障害物から離れる方向へ目標位置をずらすと同時に作業に対する重みを1にする。シミュレーションの結果、物体の軌道は図2のようになった。

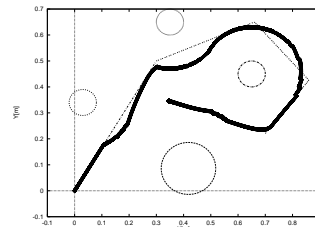


図2: 物体の軌道(4つの円は障害物)

これによって、物体の協調搬送において本アルゴリズムの有効性が確かめられた。

## 4 おわりに

本研究では、複数のロボットが異なる要求を持ち、かつ互いの要求が分からない場合でも明示的通信を用いずに物体を搬送できる分散協調アルゴリズムを提案し、シミュレーション、実験によりその有効性を確かめた。