

三次元環境における複数移動ロボットによる搬送計画 (第3報：大型物体搬送作業の実現)

○山下 淳¹⁾ 中村 智久¹⁾ 鎌田 和博¹⁾ 太田 順¹⁾ 新井 民夫¹⁾ 浅間 一²⁾
¹⁾ 東京大学 ²⁾ 理化学研究所

Motion Planning for Transport System by Multiple Mobile Robots in a 3D Environment (3rd Report: Realization of a Large Object)

*Atsushi YAMASHITA¹⁾, Tomohisa NAKAMURA¹⁾, Kazuhiro KAMATA¹⁾,
Jun OTA¹⁾, Tamio ARAI¹⁾ and Hajime ASAMA²⁾

¹⁾ The University of Tokyo ²⁾ The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN)

Abstract: In this paper, we propose a new motion planning method for cooperative transportation of a large object by multiple mobile robots in a 3 dimensional environment. We divide a motion planner into a local manipulation planner and a global motion planner, and design these two planners respectively. And we integrate two planners. The effectiveness of our method is shown by simulations and experiments.

Key Words: Multiple Mobile Robots, Motion Planning, Cooperative Transportation, Manipulation

1. 序論

小型移動ロボットが協調して大型物体を搬送する作業に対する期待は大きい。従来の協調搬送問題では、障害物回避のための経路計画問題や、目標軌道追従制御問題等、二次元平面内における研究が中心であった。しかし、物体を目的地まで搬送する場合には、通路の幅、ドアの高さなど三次元での物体の挙動を決定する必要がある (Fig. 1)。この例では、上下どちらの経路を選択するか、どの程度障害物から離れれば良いかを求めなくてはならない。狭い場所を通り抜ける前には、予め物体の姿勢を変化させておく必要があり、その際どのように物体の姿勢を変化させる操作を行えば良いかも考慮すべきである。そこで本報では、三次元環境における移動ロボット群による協調搬送計画手法を構築する。

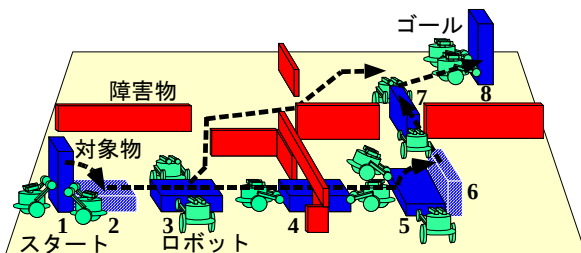


Fig. 1 三次元環境における大型物体協調搬送

2. 研究の目的

従来研究で解決不可能な問題点を以下に示す。

- (1) 動作計画内容には、幾何的問題 (障害物回避) と物理的問題 (安定操作) が含まれる
- (2) 物体及び物体を操作するロボットの動作を計画する必要がある、高次元の問題となる
- (3) マニピュレータによる物体操作手法は、移動精度が悪い移動ロボットに直接適用不可能

(1)の問題を同時に解決することは、問題の複雑さから現実的ではない。そこで筆者らは、問題を分割して考え、(2)に対応するために高次元に対応可能な搬送経路計画手法²⁾、(3)に対応するためにロボットの移動誤差や環境の不確定性を考慮した物体操作計画手法¹⁾をそれぞれ構築してきた。

本報では、これらを統合し、移動ロボット群による物体操作を伴う搬送計画手法を構築する。

3. 動作計画手法の概要

3.1 問題設定

障害物の位置、搬送対象物の形状・質量等が既知であるときの対象物軌道と各ロボットの動作を計画する。搬送形態については、移動ロボットが対象物の端部を把持して協調搬送を行うこととする。狭い場所を通り抜けるために、各ロボットは対象物の把持位置を変化させることが可能である (Fig. 1中 3→4 等)。また、対象物を操作して姿勢を変化させることも可能であるとする (Fig. 1中 1→2 等)。

3.2 動作計画器の構成

移動距離は短い、頻繁に物体をおこしたり倒したりする必要のある対象物軌道と、移動距離は長い、姿勢変化をさせずに目的地まで搬送可能な対象物軌道を比較すると、後者の方が手間・安全性ともに優れている。従って、搬送に必要な時間が最短となる対象物軌道を求めることが重要となる。

しかし、前述の通り問題が高次元かつ複雑であるため、対象物軌道を最初から厳密に求めることは非常に困難である。そこで、大まかな搬送軌道を求める大域的計画器と、詳細な物体操作の手順や把持位置変更時のロボットの動作を求める局所的計画器をそれぞれ構築する。

4. 計画手法の構築

4.1 大域的計画器

大域的計画器では、搬送対象物の軌道を求める。具体的な計画内容は、どの場所をどんな姿勢で通れば良いか、その際各ロボットの把持位置はどうすれば良いか、どのタイミングで対象物の姿勢を変化させれば良いかである。計画手順を以下に示す。

- ① 環境・物体・ロボットを octree (近似セル分解法の一つ) を用いて表現する。
- ② 移動ロボットによる協調搬送特有の問題 (例えば、不安定な状態を保ちつつ物体の位置を変化させるようなことは現実的ではないことな

ど)を制約条件として、解探索空間を構成することにより、考慮すべき自由度を縮退させる(問題点(2)に対応)。

- ③ 探索空間を離散化し、ノード(物体の位置・姿勢・ロボットの把持位置が変化する特徴的な状態)とアーク(ロボットの動作に必要な時間)から構成されるグラフで表現する。
- ④ グラフでの経路探索問題に帰着させ、A*アルゴリズムで最短経路を求め、最短時間で対象物を搬送可能な経路(ノード遷移順番)を生成する。
- ⑤ A*のコストには、作業に必要な時間を採用する。ゴールまでの見積もりコストには、目的地からの引力・障害物からの斥力ポテンシャルを時間の単位に正規化したものを用いる。

4.2 局所的計画器

局所的計画器は、大域的計画器で離散化表現されたノード間を遷移する場合の実際の動作と、ノード間を遷移する(=その動作を行う)ために必要な時間を計算する。また、作業範囲も求める。

従って、局所的計画器は、各ノード間の詳細な動作を求めることとなる。ノード間の遷移のうち、ロボットで対象物を操作して横から見た姿勢を変化させる動作は、対象物を安定して操作することを考える必要があるため問題が複雑である。従って、以下の動作計画手法を構築した。

- ① ある物体の姿勢において、安定に姿勢を保つことができる接触位置の範囲を求める(ロボットに生じるであろう位置誤差等を考慮してこの範囲を求めておく、問題点(1)に対応)。
- ② この解析を繰り返し、物体のすべての姿勢において、同様に安定に姿勢を保つことができる接触位置を求める。
- ③ 上記で求めた安定操作可能な接触位置の情報(連続量)を離散化し、ノード(特徴的な操作切り替えの瞬間)とアーク(ノード間の距離:操作の困難さを意味)から構成されるグラフで表現する。
- ④ グラフでの経路探索問題に帰着させ、最短経路を求めることにより、操作手順(状態遷移動作)を生成する。

5. 計画器の統合及び実作業の実現

局所計画器と大域計画器の統合方法をFig. 2に示す。大域的計画器において、ノード間の遷移をすべて列挙し、その情報を局所計画器に渡す(I)。局所計画器では、それぞれについて、詳細な動作(状態遷移動作・Fig. 3等)に加え、その動作を遂行するために必要な時間(作業時間)と、動作を行う上で必要な空間(作業空間)を求める(II)。局所的計画器で得られた作業時間と作業空間は、大域的計画器に渡し(III)、それぞれ最適解を探索するためのコストと障害物との干渉チェック用に利用して(IV)、最短経路(ノード遷移順番)を決定する(V)。大域的計画器で得られた最短経路(ノード遷移順番・Fig. 4)と局所的計画器で得られたノード間を接続する行動(状態遷移動作)を接続することにより、搬送に要する時間が最短となる対象物軌道及び各ロボットの動作が決定される(VI)。

また、Fig. 5に示す実機移動ロボットを用いて、

協調搬送実験を行う。

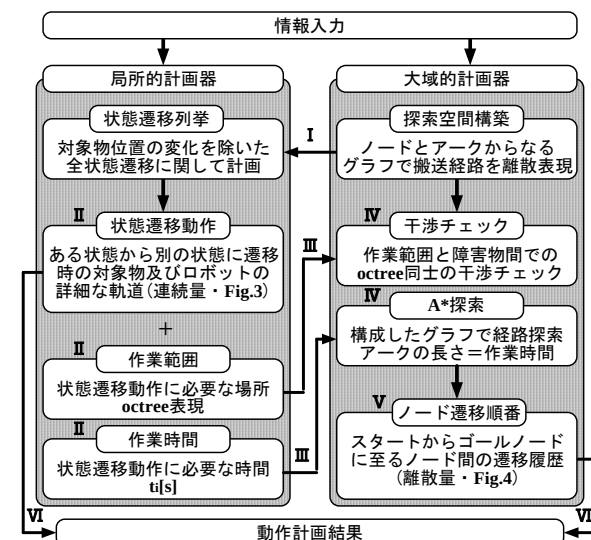


Fig. 2 計画手法の統合方法

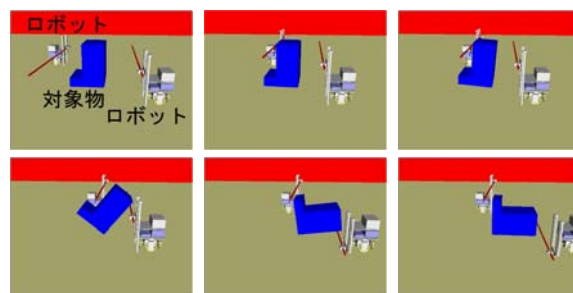


Fig. 3 物体操作計画結果例

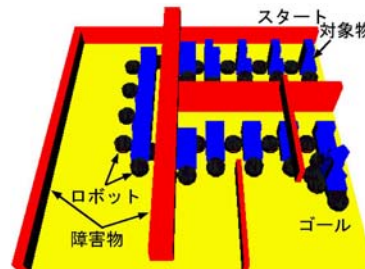


Fig. 4 動作計画結果例



Fig. 5 移動ロボット

6. 結論

本報では、三次元環境での移動ロボット群による大型物体協調搬送計画手法を構築した。高次元に対応可能な搬送経路計画手法とロボットの移動誤差や環境の不確定性を考慮した物体操作計画手法をそれぞれ構築して統合を行い、整合性のある動作計画手法を提案した。計画結果については、構築した実機移動ロボットシステムを用いて協調作業実験を行い、有効性を検証する。

参考文献

- 1) 山下 淳 他: "三次元環境における複数移動ロボットによる搬送計画(第1報:誤差に対してロバストな物体操作計画)", 第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.1025-1026 (1999).
- 2) 福地 正樹 他: "三次元環境における複数移動ロボットによる搬送計画(第2報:近似セル分解とポテンシャルを用いた大域的経路計画)", 第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.1027-1028 (1999).