

# 複数の小型移動ロボットによる協調的箱押し行動の経路計画

大谷 隆浩<sup>†</sup> 越野 亮<sup>‡</sup>

石川工業高等専門学校

電子機械工学専攻<sup>†</sup> 電子情報工学科<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

複数のロボットが協調して行動する複数ロボット系では、単一ロボット系に比べ、より複雑な作業の実現が期待できる。そのため、複数ロボット系における経路計画問題を解くことは非常に重要である。

本研究では、RRT (Rapidly-exploring Random Tree) [1]を用いた複数の小型移動ロボットによる協調的箱押し行動の経路計画手法を提案する。RRTはランダムサンプリングを用いた高次元空間探索手法の一種であり、ロボットの動作計画や経路計画に広く用いられている。

シミュレーション環境における提案手法の性能評価実験と、実環境における小型移動ロボット e-puck を用いた実験を行った結果、提案手法は高い確率で実行可能な計画を生成でき、また生成した計画は実環境で実行できることがわかった。

## 2. 対象とする問題

本研究では、2 台のロボットが箱を初期位置から目標位置まで協調的に搬送する作業を対象とする。これは 1 台のロボットが箱を動かす、途中で他方のロボットに箱を受け渡すことで、搬送を継続するものである。図 1 に本研究で用いる環境を示す。右上の位置にある箱を、左下のロボットがある位置まで搬送することを考える。

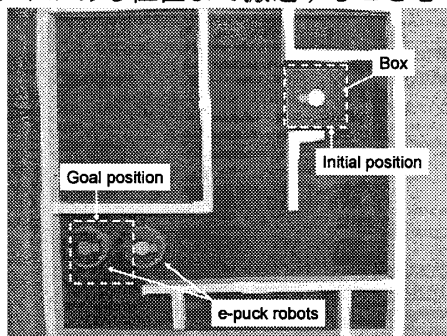


図 1 本研究で用いる環境

Planning cooperative box-pushing behavior for multiple mobile robots

<sup>†</sup> Takahiro Otani, Electronic and Mechanical Engineering Course, Ishikawa National College of Technology

<sup>‡</sup> Makoto Koshino, Dept. of Electronics and Information Engineering, Ishikawa National College of Technology

搬送を行うロボットとしては小型移動ロボット e-puck を用いる。このロボットには 8 個の赤外線近接センサと、ステッピングモータに直結された車輪がある。また、Bluetooth を通じて PC から遠隔操作を行える。ただし、箱を引っ張るための機構は備えていない。

## 3. 提案手法

本研究では、RRT を用いた複数の小型移動ロボットによる協調的箱押し行動の経路計画手法を提案する。この手法は RRT の拡張手法である RRT-ConCon [2] を使用している。提案手法を図 2 に示す。この手法は次の 3 つの処理から構成される。

### (1) 搬送経路の作成とサブタスクの導出

箱  $b$  の初期位置から目標位置までの搬送経路を作成し、箱押しを開始する位置であるサブスタートと、他のロボットに箱を受け渡す位置であるサブゴールを求める。その後、サブスタートからサブゴールまでの箱押し作業であるサブタスクのリスト  $T$  を生成する。

### (2) サブタスクの割り当てと経路計画の作成

$T$  から 1 つのサブタスクを順に選び、ロボット集合  $R$  内のロボット  $r$  に割り当てる。そして、RRT-ConCon を用いて  $r$  の現在位置からサブスタートまでの経路計画を作成し、 $r$  の行動リストに登録する。

### (3) 作成した計画の実行

作成した計画に従って各タスクを実環境で実行する。ロボットは現在位置からサブスタートまでの移動行動と、サブスタートからサブゴールまでの箱押し行動を行う。

```

PLAN_MULTI-ROBOT_BOX-BUSHING( $b, R$ )
if PLAN_BOX-PUSHING( $b$ ) = Success
   $T :=$  GET_SUB_TASKS()
  for  $i = 1$  to  $|T|$  do
     $r :=$  ALLOCATE_TASK( $R, T, i$ )
    if CREATE_ACTION( $r, T, i$ ) = Success
      Add new action to  $r$ .actions
    else
      return Failure
EXECUTE_PLAN()
return Success
else
  return Failure
  
```

図 2 提案手法のアルゴリズム

#### 4. 実験

実験環境のシステム構成を図 3 に示す。このシステムはカメラと 2 台の PC、そしてロボットからなる。カメラと 1 台の PC は、ロボットと箱の位置検出、および障害物の検出に用いられる。なお、カメラ画像の解像度は 640×480 ピクセルである。他方の PC では搬送計画の作成と、その計画に従ったロボットの行動制御を行う。

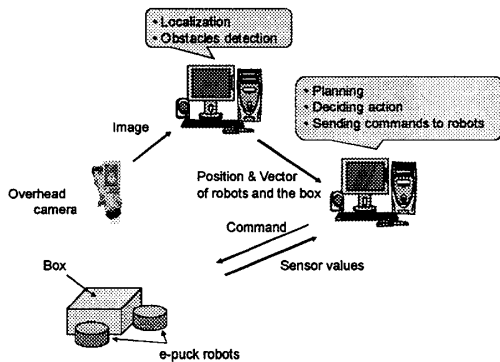


図 3 システム構成

##### 4. 1 経路計画の評価

提案手法の性能を評価するために、図 1 に示す環境における実験を行った。RRT-ConCon における反復回数の制限は 100000 回とした。試行は 1000 回行い、提案手法の成功率を調べた。

表 1 に提案手法の成功率を示す。この結果より提案手法は、本研究で用いた環境においては高い確率で実行可能な計画を作成できることがわかる。また、表 2 に実行可能な計画の実験結果、図 4 に箱の搬送経路の例、そして図 5 にロボットの経路計画の例を示す。

表 1 成功率

	割合
成功	98.7%
搬送計画の作成に失敗	0.1%
経路計画の作成に失敗	1.2%

表 2 経路計画の実験結果

	平均	標準偏差	最小値	最大値
経路長 (pixel)	2041.6	68.2	1843.4	2350.4
サブタスク数	3.0	0.1	3.0	5.0
搬送計画の計算時間 (ms)	1082.9	5220.9	36.0	67200.0
経路計画の計算時間 (ms)	54.0	14.7	25.0	128.0

##### 4. 2 計画実行の評価

作成した計画を実環境で実行できるか確かめるために、図 4, 5 に示す計画を用いて実験を行った。10 回の試行を行い、実際の経路長と実行時間を確認した。

表 3 に計画実行の実験結果を示す。また、実際の経路の例を図 5 に示す。

表 3 計画実行の実験結果

	平均	標準偏差	最小値	最大値
経路長 (pixel)	2178.0	23.2	2140.7	2212.9
作業時間 (s)	177.6	4.1	168.0	183.3

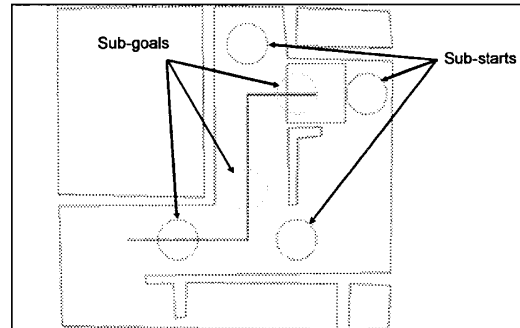


図 4 搬送計画の例

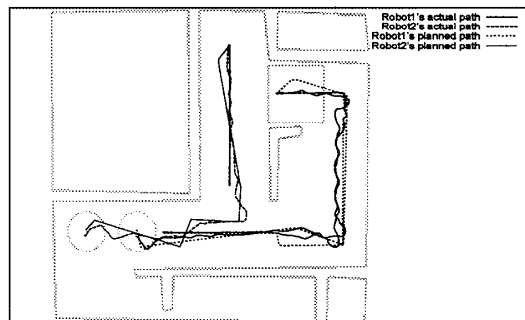


図 5 経路計画と実際の経路

#### 5. おわりに

本研究では、RRT を用いた複数の小型移動ロボットによる協調的箱押し行動の経路計画手法を提案し、実環境での実験を行った。実験結果より、提案手法は高い確率で実行可能な計画をできることがわかった。また、生成した計画は実環境で実行できることがわかった。

今後の課題としては、広大で障害物が多い、より複雑な環境において実験を行うことや、より多くのロボットを用いた際の性能を評価することがある。

#### 参考文献

- [1] S.M. LaValle and J.J. Kuffner, "Rapidly-exploring random trees: Progress and prospects," Algorithmic and Computational Robotics: New Directions, ed. B.R. Donald, K.M. Lynch, and D. Rus, pp. 293-308, A K Peters, Wellesley, MA, 2001.
- [2] J. Kuffner and S.M. LaValle, "RRT-Connect: An efficient approach to single-query path planning," Proc. IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation, pp. 995-1001, 2000.