

局所情報を用いた複数の実ロボットによる箱押し行動の実現

○齋藤 淳也 山田 誠二
東京工業大学 大学院総合理工学研究科

Box Pushing by Multiple Mobile Robots with Local Information

○Jun'ya Saito Seiji Yamada
Tokyo Institute of Technology

1 はじめに

移動ロボットに要求されるタスクの一つに、物体を目標地点まで押し移動させる押し行動がある。押し行動では、ロボットの機構を簡略化することができ、さらにロボット本体より大きなものを運搬できるという利点がある。また、複数の移動ロボットによる押し行動の実現によって、単体では移動させにくい物体に対しても対処できる。

複数の移動ロボットによる押し行動は、中央制御によるもの 4),5) や、ロボット間の通信を行い分散制御で実現したもの 2) がある。しかし、これらの方法はロボットの数が多くなると通信コスト等の問題が生じる。したがって、各ロボットがホストや他のロボットから通信によって情報を得ることをせずに行動を制御することが望ましいが、このとき利用できる情報は、局所的なものである。

以上のような背景より、複数のロボット間で通信を行わず局所的な情報のみを利用して、押す物体を箱とした箱押し作業を実現することが本研究の目的である。本研究での移動ロボットの制御は、行動ベースで動作決定を行うこととする。そして、極めて低い能力のセンサーを用いてどの程度の行動が可能になるかを実証する。

2 実験環境

本研究で利用する移動ロボットは KheperaTM(Fig.1) と呼ばれ、大きさは直径 55mm、高さ 32mm、重さ 70g である。周囲には 8 つの近接センサーと光センサーを兼ねたセンサーを装備している。ロボットには 2 つの車輪が取り付けられ、インクリメンタルエンコーダー付きの DC モーターによってコントロールされる。こ

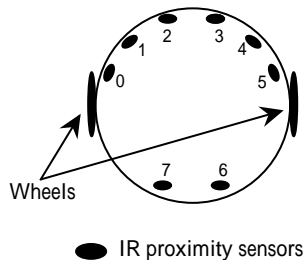
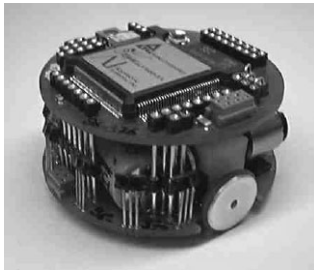


Fig.1 移動ロボット KheperaTM

のロボットの近接センサーは、3cm 以上離れた環境についての情報は得られない。なお、センサー値は 3 値に変換され、最大 3mm 程度の誤差で同じ値をとるように調整した。光センサーは、すべてのセンサー値の

中で最大値を返すセンサーを光源方向とする。

実験環境は、168cm×78cm の大きさの白いプラスチック板で囲んだ領域に、透明なプラスチック板で作られた幅 26cm、奥行き 10cm、高さ 4cm の箱および移動ロボットのみが置かれ、障害物は存在しない。光源には白熱球を用い、領域の端に位置している。床と箱の底面全体の摩擦力は、移動ロボットが箱を押す力に比べ十分に小さい。また、ロボットは透明な箱を通して光源方向を感知できるが、近接センサーで箱を感知できる距離は 10mm 程度である。

3 箱押し行動手続き

本研究での箱押し行動とは、「箱を探索し、光源の方向に押し進み、光源まで押したら再び箱を探索する」というものである。この一連の行動を行動ベースによって実現するために、近接センサーと光センサーのパターンに対応した速度を車輪に与えることを基本にしている。

次に、箱押し行動の手続きを示すための用語の定義をする。ロボットにおける“前方”を Fig.1 のセンサー 0 から 5 の範囲、“後方”センサー 6,7 の範囲とし、“左”をセンサー番号 0、“右”をセンサー 5 の方向とする。そして、“近接センサーの前後左右に反応がある”とはその範囲のセンサーの近傍に物体が存在することをいい、“近接センサー n に反応がある”とは、センサー n の近傍に物体が存在することをいう。なお、光源方向は、センサー番号で表現される。また、“直進”とはその時点で向いている方向にまっすぐ進む動作、“回転”とはその場を動かずにロボットの向きを変える動作であり、“旋回”とは片方の車輪を止め、もう一方の車輪を前進させて、止めた車輪を中心にロボットの向きを変える動作である。

これらを用いて、以下に箱押し行動の手続きを示す。

```
1: turn(){ /* 方向転換動作 */
2:   回転;
3:   while(1){
4:     if (後方のセンサーに反応がある) then break;
5:   }
6: }
7:
8: while(1){ /* メイン */
9:   if (すべての近接センサーに反応がない [条件 A]){
10:    直進;
11:    if (車輪が駆動していない) then turn();
12:   }
13:   else if (前方の近接センサーに反応がある [条件 B]
14:            and 前方に光源がある [条件 C]){
15:     while(1){ /* 箱を光源方向へ押す動作 */
16:       if (近接センサー 1 に反応がある) then 右回転;
17:       else if (近接センサー 4 に反応がある)
18:         then 左回転;
```

```

17:     else 直進;
18:     if (条件Bを満たさない
19:         and 条件Cを満たさない) then break;
20:     if (車輪が駆動していない) then turn();
21: }
22: else if (条件Bを満たす and (左に光源がある [条件D]
23:     or センサー6に光源がある [条件E])){
24:     while(1){
25:         右旋回; wait;
26:         if (条件Bを満たさない or 条件Dを満たさない
27:             or 条件Eを満たさない) then break;
28:         左回転; wait;
29:         if (条件Bを満たさない or 条件Dを満たさない
30:             or 条件Eを満たさない) then break;
31:         if (車輪が駆動していない) then turn();
32:     }
33: }
34: else if (条件Bを満たす and (右に光源がある [条件F]
35:     or センサー7に光源がある [条件G])){
36:     while(1){
37:         左旋回;
38:         if (車輪が駆動していない) then turn();
39:         wait;
40:         if (条件Bを満たさない or 条件Fを満たさない
41:             or 条件Gを満たさない) then break;
42:         右回転; wait;
43:         if (条件Bを満たさない or 条件Fを満たさない
44:             or 条件Gを満たさない) then break;
45:     }
46: }
47: }
48: }
49: }
50: }

```

14~20行, 23~30行, 32~39行はそれぞれ箱を光源へ押す, 箱を右回転させる, 箱を左回転させるという動作手続きである。箱を光源へ押す手続きには, 箱の向きを変えずに押すことができる点に移動しようとする性質がある。また, 箱を回転させようとする手続きには, 右回転ならば箱に対して左の方向へ, 左回転ならば箱に対して右の方向へ移動しようとする性質がある。

各動作手続きは, 指定された速度通りに車輪が駆動していない場合は方向転換の動作手続きに移行する。これは壁と箱を判別するための処置であると同時に, お互いに押し合うなどの状態が変化しなくなるを防ぐためである。

この手続きにより, 1台の移動ロボットによる一連の箱押し行動が可能になる。

4 複数のロボットへの実装と実行例

上述の箱押し行動の手続きをそのまま2台のロボットに実装し行動させると, 次のような状況が起こる。

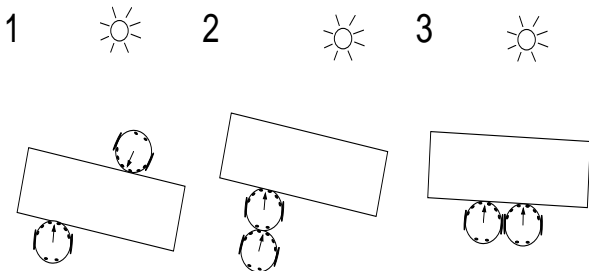


Fig.2 問題となる状況

1. Fig.2-1の場合: 箱を光源方向へ押す動作を妨げるばかりでなく, 箱を不必要に回転させてしまう。
2. Fig.2-2の場合: 一方のロボットがもう一方のロボットの後部を押し続ける。

これらは, 箱を光源まで移動させるという目標に対して非効率である。そこでこの状況の解決策として, 次のように箱押し行動の手続きを修正した。

- 箱回転動作時に後方に光源がある場合には, 方向転換の動作手続きに移行する。
- 箱を光源へ押す動作と箱回転動作を行っているときに後方の近接センサーに反応があれば, 停止する。

この修正により, 互いの行動の干渉を避けることと箱押し行動の効率化を図ることができる。

Fig.3に実機による箱押し行動の例を示す。

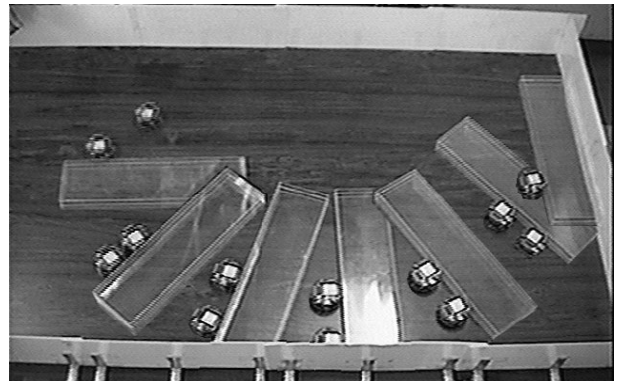


Fig.3 複数台の箱押し行動の例

5 まとめ

極めて単純なセンサーのみを持つ行動ベースの移動ロボットによって, 2台で箱押し動作が可能であることを実証することができた。しかし, さらにロボットの数を増やしたときに起こりうる問題には, まだ取り組んでいない。

今後の課題としては, さらにロボットの数を増やしたときに生ずる問題の発見と対処法の模索, さらには一台では押せない物体を複数台で押すという, 少数ではこなすことが困難なタスクを多数で可能にするような手続きを実現することが考えられる。

参考文献

- 1) R. Beckers et al.: "From Local Actions to Global Tasks: Stigmergy and Collective Robotics", A-Life IV, pp. 181-189, 1994.
- 2) M. J. Mataric et al.: "Cooperative Multi-Robot Box-Pushing", Proc. of IROS-95, 1995.
- 3) C. R. Kube and H. Zhang: "The Use of Perceptual Cues in Multi-Robot Box-Pushing", Proc. of IEEE ICRA-96, pp. 2085-2090, 1996.
- 4) H. Sugie et al.: "Pushing an Object by Cooperative Mobile Robots", 3rd International Workshop on Advanced Motion Control, pp. 405-414, 1994.
- 5) Z. Wang et al.: "Realizing Cooperative Object Manipulation using Multiple Behavior-based Robots", Proc. of IROS-96, pp. 310-317, 1996.