

# 人間と小型移動ロボットによる協調掃引

## Human-Cooperative Sweeping Robot

小林 一樹\*<sup>1</sup>      山田 誠二\*<sup>1\*2</sup>  
Kazuki KOBAYASHI      Seiji YAMADA

\*<sup>1</sup>総合研究大学院大学      \*<sup>2</sup>国立情報学研究所  
The Graduate University for Advanced Studies      National Institute of Informatics

In this paper we describe a Human Robot Interaction for effective cooperative sweeping by human and small mobile robot. Human's task is to pick up the objects and the robot's task is to sweep the flat surface. Our robot is designed to receive the signal which is human's behavior of picking up a object. When the human pick up a object, the robot goes and sweeps the region of under the object. So, it needs no explicit communication between human and the robot.

### 1. はじめに

掃除ロボットをはじめとして、ペットロボットの域を越えて実際に人間の役に立つロボットが登場してきている。しかしながら、これらのロボット単体では本当に人間の望む動作を行えるようになるのに技術的な課題が多い。本研究では、ロボットが人間と協調的に作業を行うことで自律ロボットの限界を克服できると考え、ロボットと人間との間で適切なインタラクション設計をするアプローチをとる。

ここでは掃除タスクに着目し、人間とロボットによる協調的な掃除タスクの達成を目標とする。たとえば、人間2人による掃除を考えたとき、ひとりには掃除器を、もうひとりには物を移動する役割を担えば効率的な作業が可能である。こうした作業を人間とロボットで実現させるために、本研究では図1のような協調的な掃除タスクの達成を目標とする。ロボットの移動した個所は清掃され、自律的に移動して床面の掃除を行っているものとする(図1-a)。このとき、人間が物を移動するとロボットがすばやく空いた領域を清掃する(図1-b)。これにより、人間とロボットが協調的に効率的な作業が可能となる。

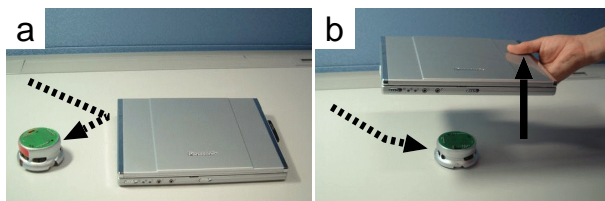


図1 人間とロボットによる協調タスク

### 2. インタラクション

HAI (Human Agent Interaction) [山田 02] の観点から本研究における人間とロボットのインタラクションを設計する。人間のタスクは物体の移動であり、ロボットのタスクは清掃である。人間とロボットがそれぞれのタスクを協調して実行することにより、特定個所の掃除が達成される。

ここで、協調的にタスクを実行する枠組として、ロボットに人間のタスクの実行自体を信号として受け取る仕組みを導入する。つまり、人間が物体を移動すること自体がロボットにとって信号であり、ロボットの行動を決定する要因となる。これに

連絡先: 小林一樹, 国立情報学研究所 (総合研究大学院大学), 東京都千代田区一ツ橋 2-1-2, Tel:03-4212-2000, e-mail: kazuki@grad.nii.ac.jp

より、人間はロボットに明示的な信号(命令など)を送らなくてよく、自分のタスクを実行するだけでよい。

また、人間はロボットの行動を見て適応することができるため、人間とロボットがそれぞれのタスクを実行するだけで良い。よって、効率の良い協調作業の達成が期待される。

### 3. 実験環境とタスク

机の上などの掃除を想定した実験環境を図2に示す。床は平面で、周囲は壁で囲われており、その中を小型ロボットが掃除を行う。小型移動ロボットの他に動く物体としては人間の手と人間が動かした物体があるものとする。

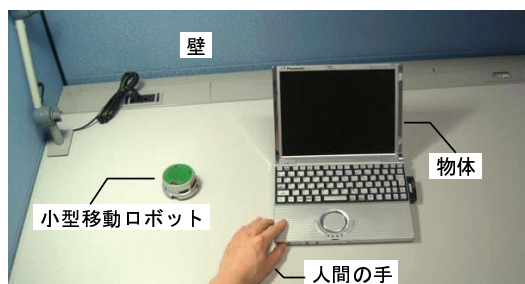


図2 実験環境

移動ロボットのタスクは、環境の床の掃引(Sweeping)であり、ロボットの通過した個所が掃除されるものとする。ロボットは、図1-aのように自律的に掃引を行い、物体に近づいたときに進行方向を変化させる。図1-bのように人間が物体を持ち上げたとき、その物体の下の領域を優先的に掃引する。

### 4. アーキテクチャ

#### 4.1 小型移動ロボット

小型移動ロボットとして KheperaII を用いる。図3のように KheperaII は周囲に8つの赤外線センサと光センサが一体となったセンサを備える。

#### 4.2 行動

小型移動ロボットの行動選択には行動ベースアプローチを採用し、(1)障害物回避、(2)掃引、(3)インタラクションの3つの行動(behavior)で構成する。

これらの行動は服属アーキテクチャ[Brooks 86]を用いて図4のように3層構造を成す。服属アーキテクチャにより各階層

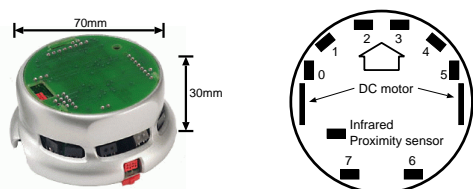


図3 小型移動ロボット KheperaII

の行動が非同期に実行され、上位の階層が下位の階層の行動を抑制するなどの制御を行う。下位の階層ほど基本的な行動をとるようにしている。

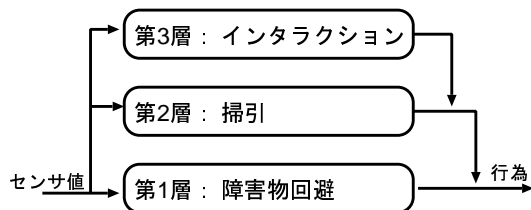


図4 ロボットの行動

### 4.3 行為選択ルール

服属アーキテクチャをルールにより構築する。以下に各階層におけるルールを列挙する。IF-THEN ルールの条件部にはロボットの状態が記述され、結論部にはロボットの行為が記述されている。

ルール記述の記号は図3の右に基づき、forward は赤外線近接センサ {1,2,3,4} を、left はセンサ 0, right はセンサ 5, back はセンサ {6,7} を表す。

#### 第1層：障害物回避

以下に障害物回避のルールを示す。障害物回避では主に静止した障害物に衝突しないようにすることと、動く物体が近づいてきたときにそれを回避する行動をとる。

- B-01 IF going-ahead  $\wedge$  forward-object THEN stop  
前進しているとき前方に物体があれば停止
- B-02 IF going-back  $\wedge$  back-object THEN stop  
後進しているとき後方に物体があれば停止
- B-03 IF going-right  $\wedge$  (forward-object  $\vee$  right-object) THEN stop  
右折しているとき、前方または右方向に物体があれば停止
- B-04 IF going-left  $\wedge$  (forward-object  $\vee$  left-object) THEN stop  
左折しているとき、前方または左方向に物体があれば停止
- B-05 IF staying  $\wedge$  forward-approach THEN go-back-up  
前方から物体が近づいてきたとき、加速して後進
- B-06 IF staying  $\wedge$  back-approach THEN go-ahead-up  
後方から物体が近づいてきたとき、加速して直進
- B-07 IF staying  $\wedge$  left-approach THEN go-right-up  
左方向から物体が近づいてきたとき、加速して右折
- B-08 IF staying  $\wedge$  right-approach THEN go-left-up  
右方向から物体が近づいてきたとき、加速して左折

#### 第2層：掃引

掃引層ではインタラクションが無い場合には環境中を自走して掃引を行う行動と、インタラクションが発生した後に、人間が掃引してほしい個所の物体を持ち上げることを前提として、その物体の下の領域中を優先的に掃引する行動をとる。掃引の戦略として様々な方法が提案されているが [Choset 01], 本研究

では簡単にロボットの壁への入射角に基づいて次の進行方向への反射角を決定する方法を採用する。

- B-09 IF  $\neg$  forward-object THEN go-ahead  
前方に障害物が無ければ、前進
- B-10 IF forward-object THEN reflect  
前方に障害物があるとき、反射する方向へその場で回転
- B-11 IF going-ahead  $\wedge$  upper-leave THEN reflect  
直進していて上方の物体が離れたら、反射する方向にその場で回転

#### 第3層：インタラクション

インタラクション層では、人間からロボットへのインタラクションが発生したときの行動を定義する。ここでは人間からのインタラクションとして人間が物体を持ち上げるという動作を想定する。そのため、ロボットの行動としては物体がロボットから離れたとき(センサの反応ありから反応なしへの変化) その方向へ移動する行動をとる。

ロボットが直進している状態では、赤外線センサの情報は物体が離れているのか状況なのかロボット自身が移動した状況なのかは区別ができない。そのため、前方のセンサ以外で判断する場合は停止している場合に限定している。

- B-12 IF forward-leave THEN go-ahead  
前方の物体が離れたとき、加速して直進
- B-13 IF staying  $\wedge$  left-leave THEN turn-left, go-ahead  
停止していて左方向の物体が離れたとき、左回転して直進
- B-14 IF staying  $\wedge$  right-leave THEN turn-right, go-ahead  
停止していて右方向の物体が離れたとき、右回転して直進
- B-15 IF staying  $\wedge$  back-leave THEN turn-180, go-ahead  
停止していて後方の物体が離れたとき、180°回転して直進

## 5. 評価実験

上述した行動を実装したロボットを用いて、インタラクションの有効性を検証する被験者実験を行う。評価の対象として、掃引効率(領域のカバー率など)による検証を計画している。

第3層のインタラクションを採用したロボットと採用しないロボットを用いて、被験者との協調掃引実験を行う。その際、被験者にはインタラクションを採用したかしないかは伏せておき、それぞれの掃引効率を比較する。この実験によって設計したインタラクションの有効性を評価できるものと考えている。

## 6. まとめ

このように適切なインタラクションの設計によって、ロボットが人間からの非明示的な指示を受け取ることで効率的な作業が可能になると考えられる。また、協調作業はロボットに対する人間の信頼感にも影響を与えられ、今後研究を進めていきたい課題である。

## 参考文献

- [Brooks 86] Brooks, R. A.: A Robust Layered Control System for a Mobile Robot, *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. 2, No. 1 (1986)
- [Choset 01] Choset, H.: Coverage for robotics - A survey of recent results, *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, Vol. 31, pp. 113-126 (2001)
- [山田 02] 山田 誠二, 角所 考: 適応としての HAI, 人工知能学会誌, Vol. 17, No. 6, pp. 658-664 (2002)