

# 人間型ロボットによる内発的動機に基づく 物体理解のための行動選択

鈴木 智也<sup>†</sup> 鈴木 健嗣<sup>†</sup>

<sup>†</sup>筑波大学大学院システム情報工学研究科

## 1 はじめに

近年、ロボットが環境との相互作用を通じて新たな知見を獲得し、自身の行動計画を行うシステムモデルの研究が盛んに行われている。我々は、特に人間の乳幼児期において彼らの行動を引き起こし発達を促す、内発的動機の一つである好奇動機に着目し、人間型ロボットによる物体理解のための行動への応用について検討している。Oudeyer らは予測誤差の減少を内部報酬として好奇動機をモデル化し、実ロボットによる実験を行った [1]。また、山本らは予測誤差の低減に加え、長時間探索を行っていない領域に価値を付加するモデルを提案し、シミュレーション上で有効性を示した [2]。本稿では、我々が提案したシステム (図 1) [3] に物体間の類似性を評価する指標を導入し、物体特性及び把持行動に関する知見の獲得が可能であることを示す。

## 2 物体間非類似度の導入

過去に行った探索行動の結果を、新規な物体の探索時における予測に活用することで、より効率の良い探索が期待される。そこで、ここでは静的物体間非類似度  $OD_s$  と動的物体間非類似度  $OD_d$  によって決まる物体間非類似度  $OD$  を導入する。 $OD_s$  はカメラ画像から得られる物体の静的特徴量  $s_s(j)$  より、 $OD_d$  は物体  $O_j$  に対する行動  $a_n$  によって最も生じやすいクラスターの平均センサパターン  $\bar{s}_t(n, j)$  より求める。その上で  $OD$  をパラメータ  $\alpha, \beta$  を用いて以下のように定義する ( $\alpha = 1.0, \beta = 10.0$ )。なお、初見の予測時は  $OD_d(O_j, O_k) = 0$  とする。

$$OD_s(O_j, O_k) = (|s_s(j) - s_s(k)|^2)^{1/2} \quad (1)$$

$$OD_d(O_j, O_k) = \left( \sum_n |\bar{s}_t(n, j) - \bar{s}_t(n, k)|^2 \right)^{1/2} \quad (2)$$

$$OD = \frac{\alpha OD_s + \beta OD_d}{\alpha + \beta} \quad (\alpha < \beta) \quad (3)$$

さらに、過去の経験を利用した対象物体の挙動予測  $P(C_i | a_n, O_j)$  を重み  $w_j$  から求める。

$$w_j(a_n, C_i) = \sum_{\mathbf{k}=\{k|C_{max}(a_n, O_k)=C_i\}} e^{-OD(O_j, O_{\mathbf{k}})} \quad (4)$$

$$P(C_i | a_n, O_j) = \frac{w_j(a_n, C_i)}{\sum_l w_j(a_n, C_l)} \quad (5)$$

## 3 評価実験

### 3.1 システム構成

実験に用いる人間型ロボット Genie (図 1 左上) は 7 自由度の右腕、3 指それぞれに角度センサ及び力覚セ

Curiosity-driven action selection for understanding dynamics of objects

Tomoya SUZUKI<sup>†</sup> and Kenji SUZUKI<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Graduate School of Systems and Information, Engineering, University of Tsukuba.

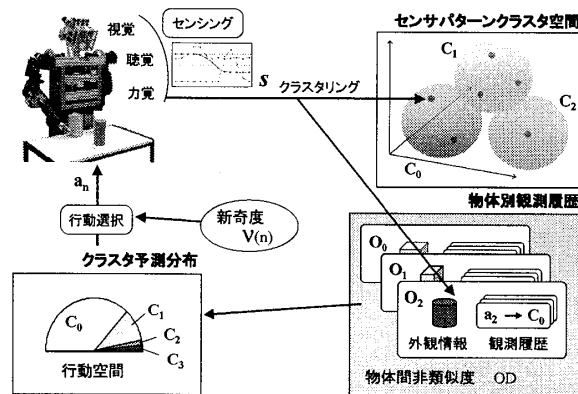


図 1: システム概要

ンサを搭載したハンド、頭部に CCD カメラ、胸部にマイクロフォンを持つ。以下の実験では、これらのセンサから 0.1 秒毎に取得した時系列データを用いる。

### 3.2 複数物体に対する探索実験

まず色と材質が異なる物体を用いて、ロボットが外観のみでなく材質の相違を識別可能であることを示す。

#### 3.2.1 実験環境

実験環境を図 2 に示す。ロボットは、水平面に置かれた積み木に対し、探索行動を行う。対象として、6 種類の物体  $O_1 - O_6$  を用いる (図 3)。 $O_1, O_3, O_5$  及び  $O_2, O_4, O_6$  はそれぞれ材質が同一であり、また全ての物体について形状は類似している。右腕の初期姿勢と物体の初期位置を予め定め、物体とは第 3 指のみが接触するものとした。探索時における右腕の挙動は水平面からの仰角  $0 \sim 180[\text{deg}]$  を 30 等分割した離散値  $\theta$  により定める。探索行動は、指先を  $\theta$  方向に 1.0 秒動かす、元の方向に 0.2 秒戻す、0.8 秒その場にとどまる、という 3 段階の動作からなる。

物体の外観情報は、物体初見時にカメラ画像より算出する、物体の画像中心、主軸方向、面積及び色相とする。一方、探索行動時に物体挙動等を表す時系列情報として、初期位置からの画像中心の差分、主軸方向の差分、面積の差分、音圧、第 3 指関節角度及び張力を用いる。

#### 3.2.2 実験結果

上記の条件で各物体に対し順次 50 回の探索行動を行った。物体  $O_1 - O_5$  探索後に物体  $O_6$  を対象とした探索時における  $O_6$  と他の物体との物体間非類似度 OD の推移を図 4 に示す。探索行動を行う前の状態では、 $O_6$  の外観情報のみで非類似度の評価が行われる。今回、特に色相の違いが支配的であることが見てとれる。

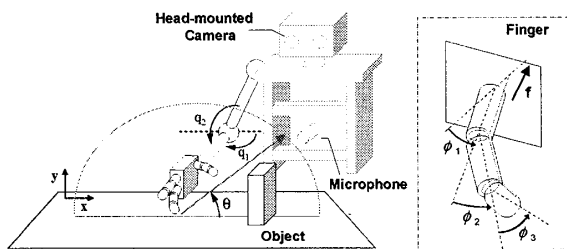
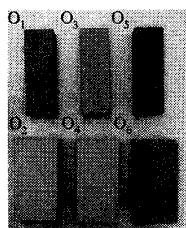


図 2: 物体挙動探索の実験環境



(a) 物体外観

	材質	重量[g]	形状	色
O <sub>1</sub>	ブナ材	97	直方体	緑
O <sub>2</sub>	発泡素材	28	直方体	緑
O <sub>3</sub>	ブナ材	97	直方体	赤
O <sub>4</sub>	発泡素材	28	直方体	赤
O <sub>5</sub>	ブナ材	97	直方体	青
O <sub>6</sub>	発泡素材	28	直方体	青

(b) 物体特性

図 3: 使用物体

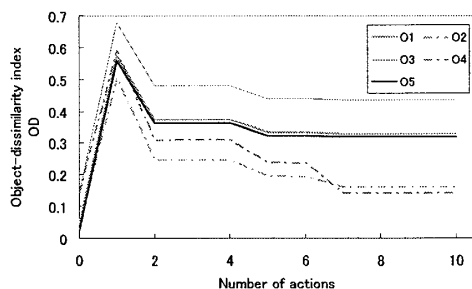


図 4: 物体 O<sub>6</sub> と他の物体との物体間非類似度の推移

一方、探索開始後は得られた O<sub>6</sub> の物体挙動も考慮して逐次的に類似性の評価が行われる。10 回の探索を行った時点で、O<sub>6</sub> と同じ材質からなる O<sub>2</sub>、O<sub>4</sub> が、他の物体に比べて類似した物体であると見なされた。すなわち、物体とのインタラクションを通じて得られた情報を用いることで、ロボットがその材質や重さの違いも踏まえた物体間の評価が可能であると言える。

### 3.3 把持行動に関する探索実験

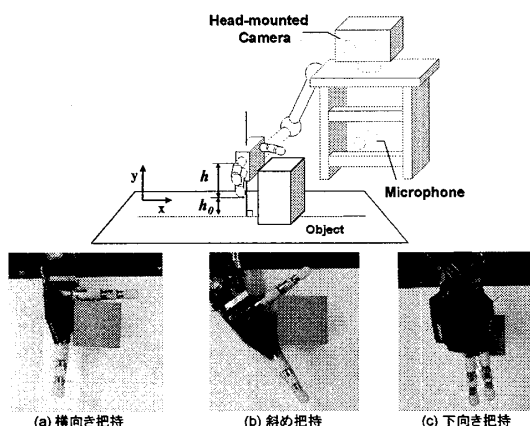
ここでは、異なる取得センサ情報と行動パターンにおいても、提案手法によりロボットの行動に関する知見の獲得が可能であることを示す。

#### 3.3.1 実験環境

ロボットは物体に対してハンドの姿勢を変え、第 1 指、第 2 指を用いた把持・持ち上げ行動の試みを通じて、各姿勢における把持の成否についての知見の獲得を行う。初期姿勢は図 5 下に示す 3 種類の姿勢とハンドの高さ  $h$  によって一意に定める。今回、 $h$  は  $0[\text{mm}] \sim 100[\text{mm}]$  を 8 等分した離散値とする。ロボットの把持・持ち上げ行動は、4 秒間の 2 指の屈曲方向への動作、1 秒間の鉛直方向への持ち上げ、2 秒間の静止、計 7 秒の 3 段階からなる。センサ情報としては前述の実験と同じ視覚、聴覚情報に加え 2 指分の関節角度、指の張力を用いる。

#### 3.3.2 実験結果

100 回の探索行動後に得られた行動空間内のセンサパターン予測分布を図 6 に示す。探索によって、空を切る、つまんで落とす、持ち上げるの 3 種類の挙動を



(a) 横向き把持

(b) 斜め把持

(c) 下向き把持

図 5: 把持行動の実験環境

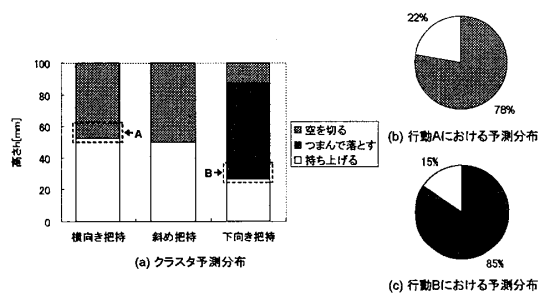


図 6: 探索終了時のクラスター予測分布

獲得した。図 6(a) は行動空間全体における発生挙動予測分布を示す。横向き把持及び斜め把持においては一定の高さ以上で把持が出来る、また下向き把持では中間付近の高さにおいてつまむが持ち上げることは出来ないという知見が得られた。図 6(b),(c) には各探索行動のうち複数の挙動が発生したのものについての挙動予測分布を示す。このように探索行動を通じて、把持・持ち上げ行動により発生する事象及び各行動との対応関係が獲得可能であることを示せた。

## 4 まとめ

本稿ではこれまでに提案したシステムに外観・挙動を考慮した物体間の類似性の指標を導入することで、複数の物体を用いた実験から、ロボットが探索時に得た知見を用いて物体間の材質の違いを評価出来ることを示した。また、提案手法をロボットが物体の把持可能姿勢を探索するタスクにも適用可能であることを実験により示した。また、すでに探索により獲得した知見を目的に応じて利用出来ることを実証している。今後は、行動空間の連続化や自己の身体を対象とした探索行動の実現を目指す。

## 参考文献

- [1] P.-Y. Oudeyer, et al., "The Playground Experiment: Task-Independent Development of a Curious Robot," *Proceedings of the AAAI Spring Symposium on Developmental Robotics*, pp.42-47, 2005.
- [2] 山本, 石川: 内発的動機付けを用いた移動ロボットの行動計画, 電子情報通信学会技術研究報告. NC, ニューロコンピューティング, pp.301-306, vol.107, 2007.
- [3] 鈴木, 矢野, 鈴木: 視聴力覚の協調に基づく人間型ロボットによる能動的な物体理解の試み, 情報処理学会第 70 回全国大会講演論文集, 1X-2, 2008.