

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：31302

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700196

研究課題名(和文)探索行動の自律的獲得が可能なロボットの能動知覚システムの構築

研究課題名(英文)Online exploratory behavior acquisition model for robot

研究代表者

郷古 学 (Gouko, Manabu)

東北学院大学・工学部・准教授

研究者番号：30447560

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：ロボットが物体を識別する場合、識別対象となる物体に対して、ロボット自身が能動的に動くことで、識別が容易になる場合がある。このような、物体識別のために有効な特徴を抽出するためのロボットの動きを探索行動(exploratory behavior)と呼ぶ。ロボットの設計者が探索行動を設計する場合、識別する物体やロボットに関する多くの事前知識が必要となる。本研究課題では、探索行動を試行錯誤的な学習によりロボット自身に獲得させる方法を提案し、シミュレーションおよび実機実験によりその有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：Discernment behavior is an exploratory behavior that supports object feature extraction and is a fundamental tool used by robots to orient themselves, operate objects, and establish knowledge. In this study, we propose an active perception model in which a robot autonomously learns discernment behavior by interacting with multiple objects in its environment. During such interactions, the robot receives reinforcement signals according to the cluster distance of the observed data. In other words, we use a reinforcement learning approach to reward the successful recognition of objects. We apply our proposed model to a mobile robot simulation to confirm its effectiveness. Results show that our proposed model effectively established intelligent strategies based on the relationship between object features and the robot's configuration. In addition, we perform our experiments using real mobile robots and confirm the suitability of the observed learned behaviors.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：能動知覚

1. 研究開始当初の背景

生物は常に、外界に対して自ら能動的に働きかけることにより情報を獲得している。このような知覚のメカニズムは**能動知覚(アクティブパーセプション)**と呼ばれており、生物が有する環境適応機能の基礎となると考えられている。

このような背景のもと、申請者はこれまで実環境下で活動するロボットの実現を目指し、センサノイズの影響を受けにくい環境認識システムや、観測条件の変化に頑健な知覚システムなど、能動知覚型のシステムを構築し、有効性を示してきた。

近年、能動知覚により物体の識別を行うロボットの研究が盛んに行われている。実環境下に存在する様々な物体をタスク達成に利用可能な**道具が使用できるロボットの実現**には、このような物体の識別機能は不可欠である。能動知覚による識別では、ロボットは識別対象となる物体に対して能動的に働きかけを行い、物体の特徴を抽出し、識別する。特徴抽出におけるロボットの能動的な動きは「**探索行動**」と呼ばれる。

探索行動は識別対象との相互作用により、対象の特徴を顕在化させる(抽出する)重要な役割を担っている。しかし、従来研究の多くは、物体に対して「どのような探索行動を行うか?」という知識を、**設計者がロボットに事前知識として与えている**。このようなアプローチでは、次のような問題が生じる。

行動設計の負荷が大きい

探索行動の設計には、アクチュエータやセンサ特性など、ロボットの身体特性を考慮する必要がある。そのため、特に自由度が大きいロボットなど、身体特性が複雑なロボットの場合には、探索行動の設計負荷は大きくなる。

未知物体への対応が困難

事前に探索行動を決定するためには、識別対象となる物体や抽出すべき特徴を想定する必要があり、事前に想定していない物体・特徴に対しては識別が困難となる。

2. 研究の目的

前述の背景にもとづき、本申請課題では「**探索行動の自律的獲得が可能なロボットの能動知覚システムの構築**」を目的とした。期間内における具体的な実施事項 ~ を以下にまとめる。

学習による探索行動の自律的獲得

図1に示す能動知覚システムを構築する。そして、複数の異なる物体を用い、それらの差異を反映する特徴抽出が可能な探索行動の学習実験を行う。

システムは学習型の制御器と特徴空間から構成されている。実験では、ロボットは各物体に対して制御器により生成された探索行動を一定時間行い特徴を抽出する。特徴空間には得られた特徴量がプロットされ、各物体に対応するクラスが形成される。

続いて、各クラス間距離が広がるように報酬を作成し、制御器の学習を行う。このような学習を繰り返すことで、各物体の差異(特徴)を強調するような探索行動の学習が可能かどうかを確認する。

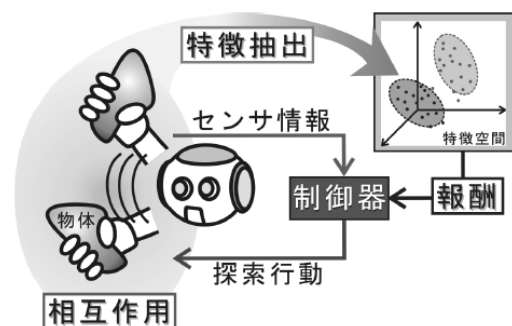


図1：能動知覚システム

獲得した探索行動の汎化性の評価

学習により得られた探索行動の汎化性を評価するため、多変量解析により特徴空間上のデータを解析し、探索行動とそれにより抽出される特徴との関係について明らかにする。また、学習時に用いた物体と類似する特徴を有する物体(学習には未使用)を用いた識別実験を行い、探索行動の汎化性を評価する。

未知物体を対象とした実問題への応用

より一般的な問題設定に対する提案システムの性能を検証するため、実環境下における探索行動の学習実験を実施し、複数の未知物体に対する有効な探索行動の学習の可否を確認する。

3. 研究の方法

以下の3つの実験(~)を順番に実施した。

探索行動の学習のための報酬系設計に関する実験

獲得した探索行動の汎化性評価実験
実環境における探索行動の学習に関する実験

実験では、はじめに探索行動の学習を可能とする報酬系の条件を明らかにし()、続いて、得られた探索行動と、それにより抽出される特徴の対応関係を明らかにする()。最後に、より一般的な問題設定として、複数の未知物体を対象とした実環境下での実験を行う()。

それぞれの実験内容の詳細を以下に述べる。

探索行動の学習のための報酬系設計に関する実験

本実験では、探索行動の獲得を可能とする報酬系の条件解明を目指す。実

験では、図1に示す学習型の制御器と特徴空間からなる提案システムをシミュレーション環境(Webots, Ceberbotics社製)で構築し、基本的な動作確認等を行う。その後、実機(小型移動ロボット e-puck, AAI社製)を使ってシステムを構築する。

実験で扱うタスクは、複数の異なる物体同士の識別である。ロボットによる、**各物体の差異を反映した特徴を抽出可能な探索行動の学習**の可否を確認する。

獲得した探索行動の汎化性評価実験

本実験では、学習により獲得した探索行動の評価を目的とし、未知物体を用いた識別実験を行う。

特徴空間上のデータを多変量解析(主成分分析)により解析することで、学習により獲得された探索行動と、それにより抽出される特徴量の対応関係を調べる。

学習に用いた物体と類似する特徴を有する「未知物体(学習には未使用)」を用いた識別実験を行う。未知物体の識別結果は、探索行動によって、その物体から得られる特徴量が既存のどのクラスに最も近いかで判断する。識別結果から、未知物体に対する探索行動の有効性(汎化性)を評価する。

実環境における探索行動の学習に関する実験

本実験では、より一般的な問題設定に対する提案システムの有効性の確認を目的とする。実験では、ヒューマノイドロボット(NAO, Aldebaran社製)を用いて、形状の異なる物体の識別が可能探索行動の学習を行う。

4. 研究成果

研究の成果について述べる(なお, 以下の文章における引用論文番号は次項「5. 主な発表論文」の番号と対応している).

まず, 前項で述べた実験 については, シミュレーション上で, 構築したシステムが有効に機能することを確認した. 実験では, 移動ロボットが形状の異なる物体(四角柱, 三角柱, 円柱)に対して, それらの特徴を抽出するために有効な探索行動を学習により自律的に獲得可能であることを確認した[2].

また, シミュレーション実験で得られた探索行動を, 実ロボットに実装して実験を行い, 得られた探索行動が, 実環境下でも有効に機能することを確認した[1].

次に, 実験 についてであるが, 実験 で学習により獲得された探索行動を, 学習には用いなかった未知物体を含む複数の物体に対して適用した. その結果, 形状が類似する物体からは, 類似する特徴を抽出することが可能であることを確認した[1].

さらに, 実験 ではヒューマノイドロボット NAO を用いて, 実環境下での学習実験を行った. 実験において, ロボットは自身の右手で把持した物体を動かし(探索行動), 最もその物体の形状的な特徴が現れる向き(腕の姿勢)を学習する.

実験の結果, 約一時間程度の学習で, 形状の異なる 3 つの積み木を分類する上で, 有効な腕の姿勢を学習することができた[6][7].

5. 発表論文等

[雑誌論文](計 4 件)

- [1] Manabu Gouko, Yuichi Kobayashi, Chyon Hae Kim, "Online exploratory behavior acquisition model based on reinforcement learning," *Applied Intelligence*, 査読有 vol. 42, Issue 1, pp.75-86, 2015,

DOI:10.1007/s10489-014-0567-4.

(IF:1.853)

- [2] 郷古 学, 金 天海, 小林祐一, "強化学習による物体識別のための探索行動の獲得," *人工知能学会論文誌*, 査読有, vol.29, no.1, pp.120-128, 2014.
- [3] Manabu Gouko, "Application of Actor-Critic Method to Mobile Robot Using State Representation Based on Probability Distributions," *Journal of Basic and Applied Physics*, 査読有, vol.2, no.4, pp.191-195, 2013.
- [4] Manabu Gouko and Yuichi Kobayashi, "A State Representation Model for Robots Unaffected by Environmental Changes," *International Journal of Social Robotics*, 査読有, vol.5, Issue 1, pp 117-125, 2013.

[学会発表](計 12 件)

- [5] 郷古 学, 金 天海, 小林 祐一, "モジュール構造を持つ学習型能動知覚モデル," 第 15 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2014)(DVD), 1M4-1, (2014-12).
- [6] Manabu Gouko, Yuichi Kobayashi, Chyon Hae Kim, "Online learning of exploratory behavior through human-robot interaction," *Proceedings of 9th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI2014)*, pp.166-167, Bielefeld, Germany, (2014-3).
- [7] 郷古 学, 小林 祐一, 金 天海, "学習型能動知覚モデルを用いた実環境下における行動学習," *日本ロボット学会 第 31 回 学術講演会, 講演論文集 (DVD-ROM)*, 2C1-04, (2013-9).
- [8] Manabu Gouko, Yuichi Kobayashi, Chyon

Hae Kim, "Online exploratory behavior acquisition of mobile robot based on reinforcement learning," Proceedings of The 26th International Conference on Industrial, Engineering & Other Applications of Applied Intelligent Systems (IEA/AIE 2013), pp.272-281, Amsterdam, the Netherlands, (2013-6).

[9] 郷古 学, 小林 祐一, 金 天海, "学習型能動知覚モデルによる単一物体からの特徴抽出" ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013(ROBOMECH2013), 講演論文集(DVD), 1P1-M04, (2013-5).

[10] Manabu Gouko, "Application of actor critic method to a robot using state representation based on distance between distributions," Proceedings of The Eighteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 18th), pp.555-557, Daejeon, Korea, (2013-1).

[11] 郷古 学, 小林 祐一, 金 天海, "物体識別のためのロボットの行動獲得," 第25回自律分散システム・シンポジウム講演会資料, pp.57-62, (2013-1).

[12] Manabu Gouko, Yuichi Kobayashi, Chyon Hae Kim, "Reinforcement learning for discernment behavior acquisition," Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2012), pp.704-709, Guangzhou, China, (2012-12).

[13] 郷古 学, "分布間距離にもとづく状態表現を有するロボットへの Actor-Critic 法の適用," 第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2012)(DVD), 2M1-3, (2012-12).

[14] 郷古 学, 小林 祐一, 金 天海, "強化学習を用いた物体識別行動の獲得," 日本

ロボット学会 第30回記念 学術講演会, 講演論文集(DVD-ROM), 3N1-2, (2012-9).

[15] 郷古 学, 小林 祐一, 金 天海, "移動ロボットを用いた物体識別のための探索行動の学習," 第26回人工知能学会全国大会, 講演論文集(CD-ROM), 2K1-R-11-1, (2012-6).

[16] 郷古 学, 小林 祐一, 金 天海, "移動ロボットによる物体識別のための探索行動の自律的獲得," ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012(ROBOMECH2012), 講演論文集(DVD), 2A1-M08, (2012-5).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕(計0件)

〔その他〕

ホームページ

<http://www.mech.tohoku-gakuin.ac.jp/lab/gouko/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

郷古 学 (GOUKO, Manabu)

東北学院大学・工学部機械知能工学科・
准教授

研究者番号：30447560