

論文内容の要旨

博士論文題目 Unsupervised Category Formation and Its Applications to Robot Vision

(教師なしカテゴリ形成とロボットビジョンへの応用)

氏名 間所 洋和

(論文内容の要旨)

オフィスや家庭などの一般的な環境において、ロボットが自律的かつ合目的に行動するためには、周囲の状況を能動的に認識しながら概念世界のパターンとなる世界像を形成することが求められる。また、このような環境では、ロボット自身が入力情報を分類しカテゴリ化できる教師なし学習を用いることにより、教示に伴う負荷の低減が期待できる。

本研究では、環境内のオブジェクトと視野画像列が示すシーンの変化から、カテゴリを形成し認識する手法を提案する。提案手法は、安定性と可塑性を併せ持つ適応共鳴理論 (Adaptive Resonance Theory: ART) を用いてカテゴリの候補となるラベルを逐次的に生成し、競合と近傍に基づく写像特性を有する自己組織化マップ (Self-Organizing Maps: SOM) を用いてカテゴリとして表現する。また、ART の追加学習機能と SOM の空間写像特性を用いることにより、オブジェクトやシーンの系列的かつ空間的な関係性をカテゴリマップ上に可視化できる。本手法では、学習後のラベル分けされた結果に対して意味情報を与えるため、学習前に教師信号を部分的に与える半教師あり学習とは逆のアプローチとなる。

評価実験では、始めに ART と SOM の基礎的特性を検証した。ART の基礎実験では、ガボールウェーブレットにより選択的に特徴付けられたパターン変化をカテゴリとして表現できた。SOM の基礎実験では、SOM に Grossberg 層を追加した対抗伝搬ネットワーク (Counter Propagation Networks: CPN) を用いて学習データを自己写像することにより、汎化能力の改善に寄与する新たな学習データが生成され、テストデータに対する認識率が向上した。

本手法を移動ロボットに適用し、オブジェクトとシーンの認識を目的とした応用実験を実施した。オブジェクト認識実験では、一般物体認識分野においてベンチマークとして幅広く利用されている Caltech-256 を用いて、教師なし学習におけるカテゴリの形成について評価した。更に、進化的手法の遺伝的プログラミング (Genetic Programming: GP) を用いて生成した行動様式から、移動ロボットを用いて実環境中のオブジェクトを分類し認識した。実環境における実験結果から、移動ロボットを用いた教師なし学習による一般物体認識への適応可能性を示唆する結果が得られた。シーン認識実験では、視野画像列が示すシーンの変化から、ロボットの自己位置推定に本手法を適用した。廊下とロビーにおける

実験では、ロボットの位置や向きの変位に対して、ロバストな推定結果が得られた。これらの評価実験を通じて、移動ロボットにおける世界像形成のためのオブジェクトとシーンの記憶パターンを、カテゴリとして表現することができた。

(論文審査結果の要旨)

本論文は、撮影画像中の物体認識を簡易な教師無し学習で実現するための基礎アルゴリズムと、そのアルゴリズムをロボットビジョンに応用するシステム例を提案している。主な報告内容は以下のとおりである。

- 1) 物体カテゴリ学習のための基礎アルゴリズム：安定性と可塑性を併せ持つ適応共鳴理論 (Adaptive Resonance Theory: ART) を用いてカテゴリの候補となるラベルを逐次的に生成し、競合と近傍に基づく写像特性を有する自己組織化マップ (Self-Organizing Maps: SOM) を統合した。これによって、教師無し学習による物体カテゴリの生成が可能になった。
- 2) 学習カテゴリの効率化：教師無し学習で自動生成されたカテゴリを人に理解し易い形式で視覚的に提示し、それを簡易なマニュアル処理により修正してやることによって、人にとって親和性の高い (理解しやすい) 対象カテゴリを再構築と、その対象カテゴリを用いた物体認識の高精度化を図る。
- 3) 応用システム：「適当に移動するカメラつきロボットにより撮影された画像系列から対象カテゴリを自動学習し、その学習結果を参照して物体認識を行うことのできる移動ロボットシステム」と「同じく適当に移動撮影された画像系列から撮影場所のカテゴリを自動学習し、その学習結果を参照して移動ロボットの現在位置を同定できるシステム」をテスト開発し、提案アルゴリズムの有用性を確認した。

以上のように、実環境で人とロボットが視覚を介した自然なコミュニケーションを実現するための手段として「対象カテゴリを共有し、その対象を相互に指示・提示可能とする」ための基盤技術 (一般物体認識、およびそのための学習アルゴリズム) が提案されている。その成果は、基礎アルゴリズムにおいては世界標準であるデータベースを用いて定量的に評価され、応用システムとしても社会的に価値のある室内ナビゲーションなどにおいて検証されている。従って、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。