

自律型移動ロボットの行動獲得 （知的センサシステムの開発）

情報工学研究院知能情報工学研究系 教授 榎田 修一



自律型移動ロボットとは？

自律型移動ロボットとは、「認知」「判断」「制御」を繰り返し、仕事を遂行する機能を備えているロボットである（図1）。具体的には、自らが備えたセンサによって環境を知覚し、抽象化した状態に当てはめ、自らの知識に基づき適切な行動へと変換して、自らのアクチュエータによって動作するロボットである。

著者の研究の初めの段階では、「判断」する知識を適切に自律獲得する機械学習手法に興味があった。具体的には、強化学習の一般化、特に、Q学習と呼ばれる手法の状態表現に

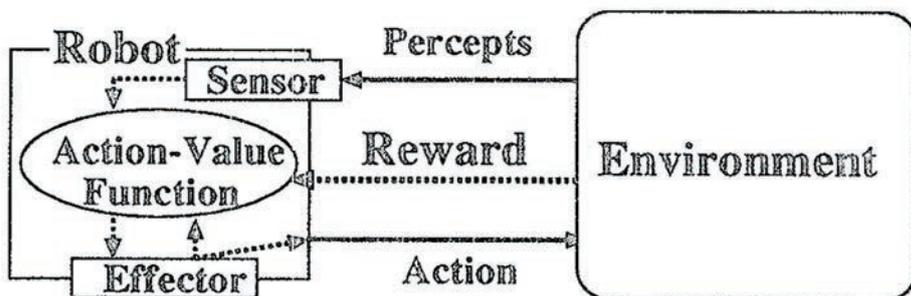


図1：自律型移動ロボットの模式図
ロボットは、「認知」「判断」「制御」の機能を備える。
（図は著者の博士論文より）

関する拡張に取り組んだ。従来は、テーブル引きで表現されていた知識を基底関数の重み付き線形和で表現することを提案し、基底関数の数や関数が持つパラメータを機械学習で同時に獲得可能とした。それらの技術の研究については、2002年の博士論文「自律型移動ロボットにおける行動獲得のための学習モデルに関する研究」にまとめたが、提案した学習モデルを備えたロボットを世界中で動作させるためには、「判断」の前段に適切な「認知」を備える必要があることを痛切に感じた。この研究の流れは、Daan Wierstraらによって2013年に提案されたDeep Reinforcement Learningとして世に出て、今、まさに注目されているが、当時の著者は、一旦「判断」から離れて、賢い「認知」機能を提供し、知的センサシステムの開発に興味を移し、研究を開始した。その際、広範囲の情報を獲得可能であり、かつ安価なセンサであるカメラに注目して研究を進めている。

一般的に「認知」部は、入力される高次のパターン（センサをカメラとした場合は、画像や映像情報）を

特徴量と呼ばれる数値ベクトルへ変換する特徴記述子と、数値ベクトルからカテゴリ（歩行者とそれ以外等）へと対応付ける変換関数からなる。後段の変換関数は、機械学習に基づき得られることが一般的であり、前段の特徴記述子は、機械学習が進みやすいように設計者が考慮し、構築することが必要となる。ここで、機械学習が進みやすいとは、異なるカテゴリの分離が容易、つまり「認知」性能の向上に寄与する面、高次のパターンからの変換が高速、かつ省メモリで実行可能となる実時間処理へ寄与する面があり、問題や最終的なシステムの要求に合わせて検討する必要がある。著者は、特徴記述子の研究開発をいくつか行ってきたので、成果を交えて簡単に説明する。

特徴記述とは？
【輝度勾配方向分布特徴量】

まずは、画像の特徴記述として広く世界で利用されている輝度勾配方向の頻度分布、HOG (Histogram of Oriented Gradients) 特徴量を拡張した。輝度勾配とは、画像中の注目画素と、その周辺画素の輝度との

関係から得られる輝度に変化する方向であり、微分フィルタを用いる等して算出される。そして、局所領域内で輝度勾配の方向に関する頻度を算出したものがHOG特徴量となる。

車載カメラからの歩行者のみを検出対象とする場合は、勾配方向の共起を特徴とすることでさらなる検出精度の向上が可能となることを利用し、著者は従来の共起特徴記述子を一般化する手法を提案した。共起特徴の算出に関する具体的な方法は、注目画素と、その画素にオフセット（例えば、右に10画素、下に3画素ずらす等）した第2の注目画素との両方で勾配方向を算出し、そのペアを用いるものである。従来手法では、共起を算出する際に単一の解像度の画像に対してのみであったところ、著者らは、高解像な画像に加え、低解像度化した画像情報も活用し、異なる解像度の画像間でも勾配共起を算出することを提案し、精度の向上を確認した。また、特徴記述については計算の高速化、計算回数削減等を合わせて検討することで、実時間での動作を実現している。これらの成果は、共同研究の成果として知

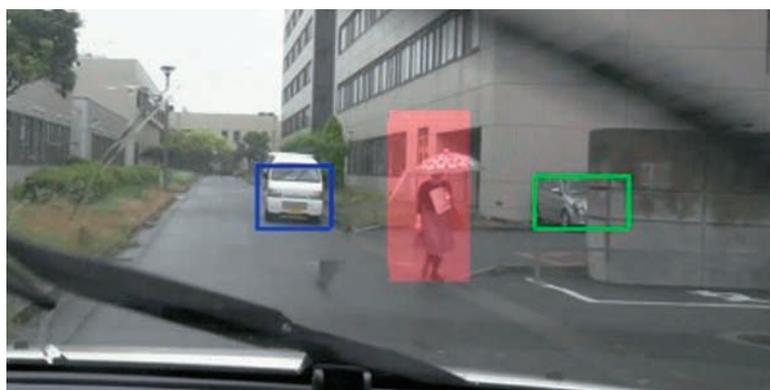


図2：車載カメラ映像からの物体検出の様子
(降雨時であっても、「傘を持つ歩行者」「隠れがある車両」を検出)

財を獲得し、現在も、さらなる高精度化、高速化、そして専用ハードウェアを進めている(図2)。

【回転不変特徴量】

回転不変特徴量は、入力された画像が回転しても、それらの画像から算出される特徴量(数値ベクトル)が変わらない。簡単な例としては、画像中に含まれる色の割合がある。回転不変な特徴量を用いた「認知」

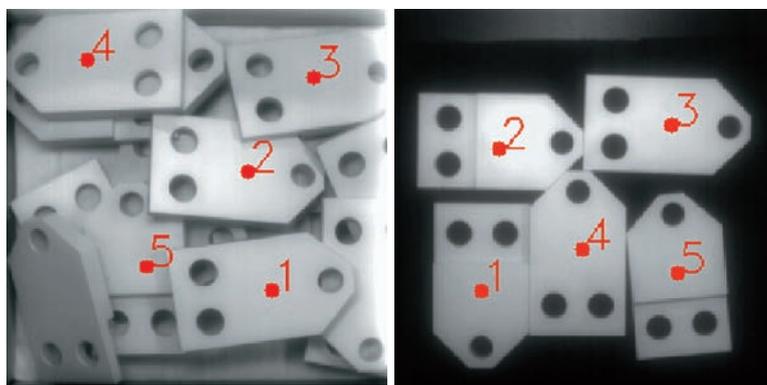


図3：バラ積み工業部品の位置推定
(学習した画像は任意の姿勢一つのみ)

の利点は、変換関数を学習する際、任意の姿勢1枚の画像についてののみ学習すれば良いため、学習回数や必要メモリが削減されることが挙げられる。また、入力画像中に様々な角度で回転した物体が存在する場合も、一度に認知可能となる。

著者の提案する回転不変特徴量は、半径が異なる複数の同心円内の輝度分布の共起を用いる特徴である。高次元な共起を用いることで、回転不

変の利点を備えつつ、「認知」すべき対象とそれ以外の物体を見分ける能力も向上させている。具体的な応用例は、航空写真からの車両の検出や、バラ積み工業部品の位置の認知(図3)があり、企業との共同研究を通して国内外の知財の取得や、実世界での応用にたえるための精度の向上を行った。

最後に

自律型移動ロボットの開発を通じ、知的センサシステムの開発に取り組んできた。現在は、LIDAR(Light Detection and Ranging)センサも研究対象にし、幅を広げている。また、現在、画像特徴記述は深層学習により自動獲得可能とも言われているが、さらなる精度向上に向け、既存の特徴記述構築技術と深層学習との融合にも取り組んでいる。