

論文の内容の要旨

論文題目 注視点に基づく手作業の理解と
そのロボットへの実装に関する研究

氏名 小川原 光一

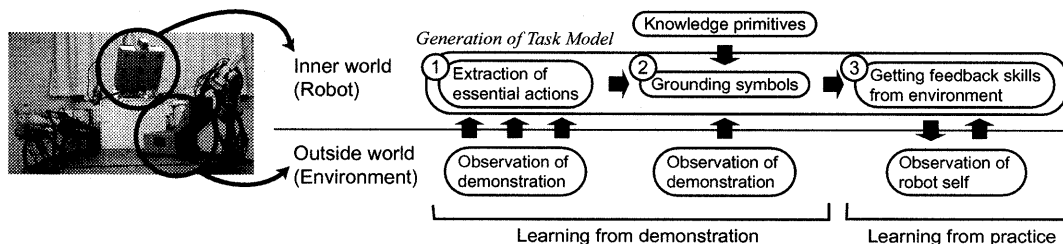
近年になり博物館や病院などの施設・家庭といった、人が日常生活をおくる場所で人を直接補助することを目的としたロボットが相次いで研究・開発されてきており、こういったロボットに対して専門家では無い人間が簡単に動作を教示ができる枠組みが求められている。

本論文では、人間型ロボットに対する日常動作の簡便な教示方法の実現を目的とし、(1)人間の教示作業を観察することでその作業の内容を理解するためのシステムの構成法、(2)理解した内容を再利用性のある形で計算機上での中間表現である作業モデルとして表現する方法を提案し、開発した人間型ロボットを用いて作業の理解と再現を実証することによって提案手法の検証を行った。

本研究では、事前の知識は最小限のプリミティブ集合に限定し、それによって理解しきれない部分は繰り返し観察を行うことによって情報量を増やしあいまい性を消去していくアプローチを提案する。この時、ある時点において観察データの中で注目する時刻・空間・センサを”注視点”という言葉で表し、注視点の決定と注視点の再観察というループを繰り返すことで作業モデルのあいまい性を低減していく。

本研究では、図の人間型ロボットプラットフォーム使用して、作業モデルの獲得を次の3つの段階に分けて行う。

複数回観察に基づく必須相互作用の推定 単一の観察データからでは、教示動作のどの部分が作業に必須の動作であり、どの部分が本来不必要な動作であるのかを確定することは難しい。そこで、本質的には同じ作業を表す教示動作を環境や動作を若干変化させて複数回観察する。これら



の教示動作は本質的には同じものであるため、作業に必須の動作は同じ順に発生する。そこで各観測データについて必須動作の候補区間（注視点）を抽出し、複数の観測データから全部に共通する必須動作を抽出する手法を提案した。

また、検出された相互作用を環境物体座標系における把持物体の相対運動軌跡として作業モデルに局所的に格納することで、器用な動作のモデル化を可能にした。

段階的なセンサの統合とプリミティブの推定 複数のセンサからの入力ができる場合、まず少ない処理コストで全作業の概要を知ることが可能なセンサ（データグローブ）に着目し、そのセンサのみを利用して粗い作業のモデルを構築する。次に、この結果からより細かな解析すべき時間・場所（注視点）を決定し、残りのセンサ（ステレオ視覚）を利用して詳細な解析を行う。この時、1段階目の結果を利用して2段階目に解析すべき時空間上の範囲が拘束されるため、効率的な解析を可能にしている。

また手の動作や対象物体をモデル化する手法として、特定の作業に依存しない最小限の動作プリミティブ・視覚プリミティブを定義した。本研究では動作プリミティブを隠れマルコフモデルを用いてモデル化し、プリミティブ間の可能な遷移を文法として制限することにより、手作業をシンボリックに表現することを可能にした。

再観察に基づく失敗回避動作の生成 作業モデルに従ってロボットが作業の再現を試み、特に参照軌跡に従って把持物体の操作を行う区間において失敗する場合、その要因を(1) 観察データの誤差、(2) 作業実行時の外乱の2つに限定し、それぞれについて補償を行う方法を提案した。

観察データの誤差の要因を取り除く方法として、入力センサであるステレオ視覚のズーム比率を段階的に変更する方法を提案した。センサの測定範囲と精度にはトレードオフの関係があり、作業モデル獲得の段階では教示動作が未知であるため測定範囲を広げておく必要がある。しかし、再観察時には教示動作が予測できるため、測定範囲を狭め精度を向上することで観測データの精度を向上させる。

また作業実行時の外乱については、予期せぬ接触などによって把持が崩れた場合の保障方法を提案した。この手法では、ロボットの腕の3次元幾何モデルを視覚データ中に投影し、キャリブレーション誤差を推定する。次に把持物体の3次元幾何モデルを、上記の誤差を補正した上で視覚データ中の予想位置に投影し、把持の崩れの基づく把持物体の移動量を推定する。最後に、この移動量をキャンセルするように腕を漸近的に駆動することで、握り直すこと無く把持の崩れの補償を行うことが可能になった。