

# 模倣学習を目指したロボットシステムの開発

深野亮 國吉康夫

情報理工学系研究科知能機械情報学専攻

## 概要

人の提示する作業を観察し模倣することでスキルを獲得するロボットシステムの実現を目指し、手探りで操作対象の性質を認識することと、観察から人為的関与を認識することを試みる。

## 1 はじめに

ロボットに有用な作業を行わせるためには、作業をロボットに理解できる形で表現しなければならない。ロボットのための作業記述として、従来ロボットプログラム言語、直接教示などが用いられてきた。ロボットプログラム言語では言語に習熟することが、直接教示では人間がロボットに直接接触するための危険などが問題となる。またこれらの手法は工場のような限定された環境で使うことが前提であり、変化にたいして柔軟に対応することは難しい。

家庭のように常に変化が予想される環境においてはロボットが学習を行い適応的に行動することが望まれる。従来手法の欠点を除くならば、教示に際して人間と非接触で作業を学習することが望ましい。そこで本研究において観察による模倣学習を目的とする。特に有用な作業には多くの手による物体操作が含まれていると考え、物体操作の模倣学習を実現することを目論む。模倣学習において、まず観察によって作業の情報を取得する。視覚による観察は、操作を行う手、また操作対象による隠れによって、また力学、接触の情報は含まれないため作業を獲得するには不完全である。そこで視覚の情報に基づき物体操作の試行を行う。操作試行を繰り返すことで力学、接触などの情報

を得て、ロボットは最終的に作業を獲得する。本稿では模倣学習に必要な観察と手探りを行うロボットシステムについて実験を行った。

## 2 ロボットによる物体操作の解析

模倣学習の前提から手探りをもちいて試行を繰り返し運動拘束を発見することを行う。手探りによって、運動拘束を持つ操作対象の状態はロボットハンドの状態に反映させる。反映によってロボットハンドの状態を調べることで操作対象の運動拘束の認識が可能となる。そこで実験においてはハード的な柔らかさをもったロボットハンド (Fig.1) を用いた。このロボットハンドはハード的な柔らかさによって制御を必要とせず操作対象と力学的な相互作用を実現する。相互作用はロボットハンドが操作対象に働きかけるのと同時に、ロボットハンドが操作対象の状態による影響を受けることを可能にする。本研究において操作対象の状態は運動拘束に相当する。また全ての関節に角度センサを持ち、物体操作による相互作用を関節角度として観測することが可能である。

実験では操作対象に瓶の蓋を用い回転拘束の有無を設定した。回転する操作をロボットハンドによって働きかけることで、瓶の状態が相互作用によってロボットハンドの状態に変換される。これを関節角度として観測し、観測データを統計的に解析することで運動拘束の認識を行う。解析にあたって物体操作の特徴に注目した。物体操作の特徴は指と指同士の協調関係と考え、高次自己相関特徴 (HLAC) を関節角度時系列データに適用することに解析に適した形に変換した。

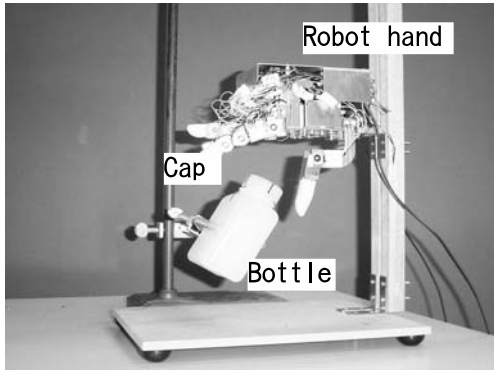


図 1: Developed robot hand

蓋に回転を固定と自由の二つの運動拘束に設定し、対称条件として実験を行った。それぞれの条件に対応した時系列データ間を比較すると、条件の違いがデータ間の分散を最大化していることが期待できる。分散最大化から主成分分析 (PCA) を適用し、運動拘束の違いを分離することを行う。

実験において 2 種の運動拘束に加え、3 種の蓋 (直径 40mm, 45mm, 65mm) を用意した。それぞれの条件において 24 回の働きかけを行い、PCA, HLAC を適用した結果を Fig.2 に示す。Fig.2 では第 1, 2 主成分を図示している。

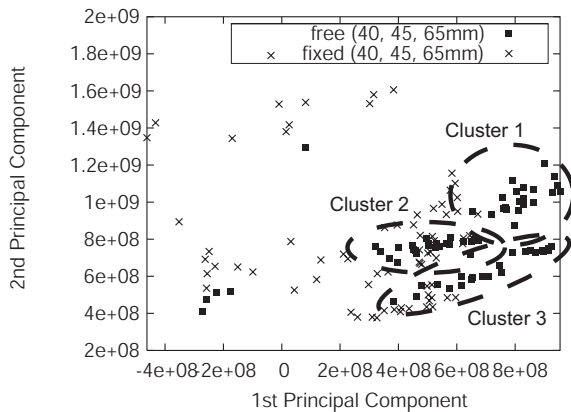


図 2: Clusters of motion constraint in PCA space

1 試行は図中の 1 点に対応し、運動拘束に従い左右に分れていることが見て取れる。さらに回転自由を設定した試行は 3 つ直径に対応した破線で囲まれた 3 つのクラスターが形成されている。さ

らに結果にクラスタリングを適用することで実験条件に対応した領域を自動的に生成した。

### 3 カメラ観察からの作業の関係性理解

模倣学習における観察を行う視覚システムを考える。模倣学習においては事前知識をシステムは持たないため観察から得られるデータのみに基づいてシステムは提示される作業を理解しなければならない。

システムが作業を観察する前提として、作業と作業でない物の区別がある。本研究では作業とは、人間が関与する人為的な操作対象の変化、と定義した。逆に人間が関与しない操作対象の変化も考えられる。

実験では円柱状の物体と斜面を用意した。斜面上部に物体を置くと重力に従い落下する。これは人為的関与の無い変化である。斜面下部の物体が人為的関与なしに上昇することはない。上昇するならば人為的関与、物体を持って移動、が存在する。

これらの変化をカメラで観察し、両者の認識を行う。カメラ出力に対し色、動きフィルタを適用し特徴ベクトルへ変換を行う。色フィルタは物体と肌色に対応した出力を行う。システムは出力が実際の現象とどのような関係があるかを学習する。システムには前もって肌色が人為的操作と関与していることは組み込まれていない。

以上の前提に基づいた実際の観察を想定したデータに対し解析を行い人為的な変化の抽出に成功した。実機での検証は今後の課題である。

### 4 結論

本稿では観察と手探りを行うそれぞれのロボットシステムについて実験を行った。これらを統合し、観察からの模倣学習を行うロボットシステムの構築については今後の大きな課題である。