

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔平成29年度研究進捗評価用〕

平成26年度採択分  
平成29年3月15日現在

ヒューマノイド系列による行為観察と対人反復に基づく  
身体・道具環境・行動様式の獲得

Acquisition of Body Schema, Tool Usages and Behavioral manner through Human Observation and Interactive Practice on Various Humanoid Series

課題番号：26220003

稲葉 雅幸 (INABA MASAYUKI)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授



研究の概要

身体サイズ・構造・構成法が異なるヒューマノイドを対象として知能ロボット基盤ソフトウェアの環境を構成し、その身体、それが扱う物体、道具、環境、それが行う行動のモデルを基盤にその環境での行動目的を実現するシステム研究を行っているが、新しい状況や環境でもそれらを獲得して行動目的を達成してゆけるようにする方法論と構成法の研究である。

研究分野：情報学

キーワード：知能ロボット

1. 研究開始当初の背景

ヒューマノイドは、物体操作と歩行移動だけでなく多様な全身行動が可能でロボットであり、知能ロボットの構成法研究の代表プラットフォームである。これまでに、小型から等身大、関節駆動型から筋骨格型、それら全てに共通に利用可能な知能ロボットカーネルを構成し、模倣の構成論的研究として、箒の道具操作を観察し、人、道具、道具で操作される対象への注視点を順次制御する注視機構を内在させ、身体対応による動作模倣のレベルから行動プランナ機能による目的レベル模倣を行ってきた。さらに、人がロボットの傍にいて人からの制止や誘導に対応できる注意誘導機能と全身受動性をそなえた等身大ヒューマノイドへと進めてきている。

2. 研究の目的

本研究は、身体サイズ・構造が異なるヒューマノイドの各系列の実現研究において、身体・道具環境・行動様式のモデルを与えることでその多様な行動実現が可能となるシステム構成法研究の成果の上に、初期に与えるだけの形ではなくロボット自体がいかにか獲得できる形で行動実現の再構成が可能となるかを、人が提示する操作から学ぶ行為観察、人から評価を得つつロボットが反復学習を行う対人反復、人がロボットの行動に直接介入して評価を伝える割込修正等を通して、実ヒューマノイドが身体・道具環境・行動様式が変わっても適切に順応対応してゆけるようにする仕組みの基本構成原理とその評価を実証的に明らかにすることを目的とする。



図 1 身体・道具環境・行動様式の獲得

3. 研究の方法

ロボットの身体、物体、環境、道具操作のための知識モデルを構築し用いることで、行動目的を実行するモデルベースシステムを基盤とし、環境モデル地図を作り自己位置を知る SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) 技術を応用し、ロボットが自身の身体表象を獲得しながら自己身体状態を推定する体内 SLAM を構成し、道具環境・行動様式それぞれの獲得へ SLAM を拡張し、道具操作対象、人間の行為と対象の応答の関係を同時に観察して再利用可能な形で獲得してゆく方法を進める。

観察学習時には、観察者と演示者が同一視点である一人称視点、演示者が観察者へ向け教示する二人称視点、自由に行動する演示者

を観察する三人称視点を考え、各ヒューマノイド系列での遠隔操縦、装着型センサ利用、対面型教示、長期行動履歴利用、異なるユーザによる利用体験獲得と利用観察などのロボットの利用形態状況を整理しつつ、実ロボットでの実環境での行為観察・対人反復・割込修正等の獲得手法の評価と全体の体系化を進めてゆく。

#### 4. これまでの成果

身体モデル獲得は、筋骨格ヒューマノイドの筋空間と身体空間との間の相互写像を獲得する問題として進め、筋駆動系をモジュール化し力制御のための筋力と関節トルク空間との関係を獲得することが可能となった。ロボットがその認識行動内容と必要実行時間を知覚していなければ、災害対応などでの緊急性と確実性への能力制約内での対応ができないことから、事前に訓練作業を繰り返す行動から処理手法・対象空間・精度・時間の関係を獲得し、状況制約へ対応可能なシステム構成法を示した。

物体・道具・環境操作を通しての獲得として、大型重量物運搬で重量・摩擦依存下での可能動作の探索獲得、三輪車・スケータ等の搭乗器道具の運転移動行動の獲得を行い、操作対象が変更した際にどの情報をロボットが獲得する必要があるか、それをロボットに獲得させる手法検討が可能となった。環境SLAMの精度を高める研究を行い、両腕で抱えての運搬行動で足元が見えなくなっても事前獲得知識に基づいて行動立案実行可能なシステムを示した。

物の情報獲得には形状モデルだけでなく公開一般物体画像からの深層学習による認識手法を利用し、既知環境物モデルの追加学習により認識可能な対象を増やす方式を示した。また、環境内にその追加認識可能となった物の存在情報を利用することで幾何形状だけを頼りに地図を構成する通常的环境SLAMに対して、環境備え付けの物体の認識と操作対象の存在情報を含んだセマンティックSLAMを実現し、異なるヒューマノイドで獲得したものを相互利用可能な統合システムを実現した。

行動様式獲得では、物の手渡しにおいて軸アフォーダンスを導入し、人が物を扱う活動の観察からその抽出と、人と人の手渡し行動での観察から把持様式の獲得方式の構成法を示した。また、箒の行動観察での箒とゴミとの位置関係変化から用具の利用目的情報の獲得法、ラケットの高速スイング動作の最適化獲得法、子供が対話移動ロボットを連れてゆき場所を教える、個人ごとに定義や位置づけが変わる情報を獲得し利用するための行動実験を行い、実現可能行動の獲得における既知情報を明らかにしてきた。

#### 5. 今後の計画

各系列での行動実現研究を行いながら行動対象変化に対応させる獲得法を整理し、既知と未知の判断能力、繰り返し行動での頻度情報、自己処理能力の獲得、身体像獲得型筋骨格ヒューマノイドでの身体・道具環境・行動様式全体の統一的獲得方式、系列共通で利用するソフトウェア基盤を継続的に発展させつつ各獲得項目対象の獲得法の一般化を進めてゆく。

本テーマは、ロボットが新たな活動環境、見かけが異なる道具の作業、新しいユーザが決める内容の教示学習、ロボットの特性変化に気づき対応できるようになる知能ロボットのための基本機能の研究であり、工場など既知状況環境だけでなく、変化が大きい家庭環境、災害現場、商業施設、農業等の自然環境でロボットが状況に応じて利用可能となってゆくために不可欠となってゆくロボット知能の基盤となるものでその方法論と構成法を示してゆくことに取り組む。

#### 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

- 1) Human Mimetic Musculoskeletal Humanoid Kengoro toward Real World Physically Interactive Actions, Proc. Humanoids, pp.876-883, 2016.
- 2) Transformable Semantic Map Based Navigation using Autonomous Deep Learning Object Segmentation, Proc. Humanoids, pp.614-620, 2016.
- 3) A Joint-Space Controller Based on Redundant Muscle Tension for Multiple DOF Joints in Musculoskeletal Humanoids, Proc. Humanoids, pp.814-819, 2016.
- 4) Tricycle Manipulation Strategy for Humanoid Robot Based on Active and Passive Manipulators Control, Proc. IROS, pp.5797-5804, 2016.
- 5) Characterization of Handover Orientations used by Humans for Efficient Robot to Human Handovers, Proc. IROS, pp.1-6, 2015.
- 6) Learning Nonlinear Muscle-Joint State Mapping toward Geometric Model-Free Tendon Driven Musculoskeletal Robots, Proc. Humanoids, pp.765-770, 2015.
- 7) Manipulation Strategy Learning for Carrying Large Objects based on Mapping from Object Physical Property to Object Manipulation Action in Virtual Environment, Proc. ICRA, pp.263-270, 2014.

2016年受賞：論文2件、候補1件、奨励7件

2015年受賞：論文候補3件、奨励1件

2014年受賞：論文1件、候補1件、奨励3件

ホームページ：

<http://www.jsk.t.u-tokyo.ac.jp/>