

平成 22 年 6 月 6 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）  
 研究期間： 2008～2009  
 課題番号：20800030  
 研究課題名（和文） 統計的能動学習に基づくヒューマノイドによる能動的運動学習の実現  
 研究課題名（英文） Active learning of motor skills for humanoid robots  
 based on statistical learning methods  
 研究代表者  
 松原 崇充（MATSUBARA TAKAMITSU）  
 奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教  
 研究者番号：20508056

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、受動的または能動的に観測された多数の観測データから、運動の本質を捉えるコンパクトな確率的動作モデルを学習する方法を開発した。学習される動作モデルでは、観測データに潜む個性（多様性）を低次元のパラメータベクトルにより表現し、このパラメータを調節することで効率的な環境適応が実現できる。

## 研究成果の概要（英文）：

In this research, we developed a novel learning procedure to efficiently learn a compact probabilistic movement primitive models from multiple motion sequences demonstrated by humans. The learned models employ a low dimensional parameter vector which represents the style of motion generated by the model. By modifying the parameter vector, efficient adaptation of the model to unknown environments can be achieved.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,330,000	399,000	1,729,000
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,530,000	759,000	3,289,000

## 研究分野：総合領域

科研費の分科・細目： 情報学 ・ 知覚情報処理 ・ 知能ロボティクス

キーワード：ヒューマノイドロボット、運動学習、統計学習、能動学習

## 1. 研究開始当初の背景

ヒューマノイドロボット（以下ヒューマノイドと省略）に複雑な全身運動課題を学習させる場合、ヒトとの構造的類似性を利用した見まね学習と、環境との相互作用に基づく環

境適応の枠組みが有効である。これまで提案されてきたヒューマノイドの運動学習法では、まずヒトによる教示をロボットが認識し、目的とする動作の特徴を捉える。さらに、ヒトとロボットの身体的特徴や環境の違いを考慮した修正を行

う必要があるため、実際に環境と試行錯誤的な相互作用を通じ、学習の達成度などの情報を手がかりに適切な運動へと修正する。ここでの見まね学習は統計学習分野における教師付き学習の枠組みで定式化され、また後者は強化学習の枠組みによって扱われる。このような方法によって、ロボットや環境の正確なモデルに基づいて運動計画・生成を行う従来手法の問題点であったモデル同定の必要がなくなり、さらに生物のような未知環境への適応性も実現できるため、今後ヒューマノイドの実用化を考える上で重要な要素技術であると考えられている。しかしながら、このようなアプローチにより、ヒューマノイドに運動学習機能が実現されつつあるものの、運動獲得に要する試行回数は未だ実用的なものではなく、一つの動作の学習に数千回以上もの試行を要してしまうのが現状の最も大きな問題点である。

## 2. 研究の目的

本研究では、未だ実用化レベルに至っていないヒューマノイドの運動学習機能・環境適応能力の性能を大幅に向上させることを目的とする。具体的なアプローチとして、統計的能動学習理論を主軸とした、運動の確率的モデル化及び、能動的学習法の適用について検討する。また、実環境における提案法の有効性を、実ロボットを用いた実験により検証する。ヒューマノイドは、目的とする運動スキルを学習するために、どのようなデータが必要であるかを考えながら、能動的に環境と作用するため、従来の能動的な学習よりも効率的に課題を達成することが期待でき、結果的に、未知環境に対しても素早く適応し、人間の生活環境下における様々な用途での活躍が期待できる。また同時に、医療福祉やリハビリテーション分野で注目されている、人間の身体能力を向上させるロボットスーツ等に関しても、各ユーザーの身体的特徴の違

いを考慮した調節が必要であり、このような問題を解決する自律的適応技術としての応用も期待される。

## 3. 研究の方法

本研究では、ヒューマノイドによる能動的運動学習を実現するため、平成20年度ではまず理論的枠組みを確立する。効率的な運動学習を実現するためには、多様かつ複雑なヒトの全身運動をコンパクトにモデル化することが必要不可欠である。さらに、能動的かつ効率的な学習を行うためには、運動モデルを確率モデルとして表現し、その分散情報を学習に不足しているデータを探索する手がかりとして利用することが効果的である。これらを主軸として、具体的な方法論の枠組みを構築する。平成21年度ではその手法の有効性を数値シミュレーション及び等身大ヒューマノイドロボットを用いた実機実験により検証するという段階的なアプローチにより研究を行う。

## 4. 研究成果

上記研究目的及び方法によって実施した結果、本研究による成果として、受動的または能動的に観測された多数の運動時系列データから、運動の本質を捉えるコンパクトな確率的動作モデルを学習する方法を開発した。学習される動作モデルでは、多数の運動時系列データに潜む個性（多様性）を低次元のパラメータベクトルにより捉える。またモデル学習後にパラメータベクトルを指定することで、任意の個性を表現した運動を生成することも可能となる。このパラメータベクトルの調節により環境適応を行うことで、運動の本質的な情報を保存したまま、運動モデルを修正することができるため、効率的かつ素早い環境適応が実現できる。2点間到達運

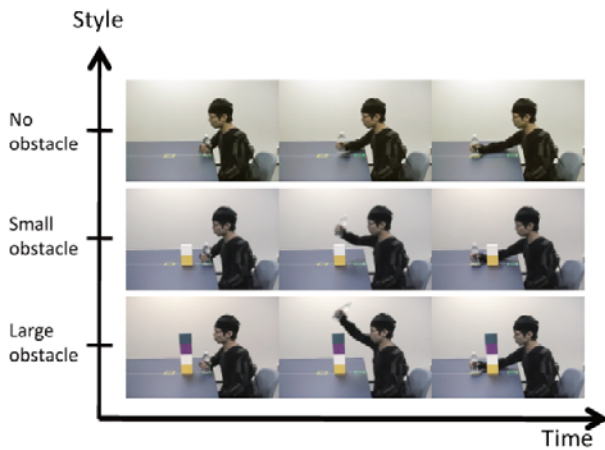


図 1 ヒトによる到達運動教示。  
様々な高さの障害物回避動作を実演。

動について、提案法を適用し、ヒトの教示動作をジャイロ式モーションキャプチャで計測し、得られたデータを基に見まね学習を行った(図 1 参照)。ここでは、様々な障害物を回避しながら、到達運動課題を達成する様子を見まね学習することで、ロボットはパラメータの調節により環境(障害物)への適応能力を容易に実現することが可能となる。実際に、さまざまな障害物に対して、適応的にパラメータを修正することで軌道を変化させ、障害物を回避しながら到達運動課題を実行している様子を図 2 に示す。また、確率モデルとして運動を表現しているため、分散情報をガイダンスとする能動学習法を組み合わせ

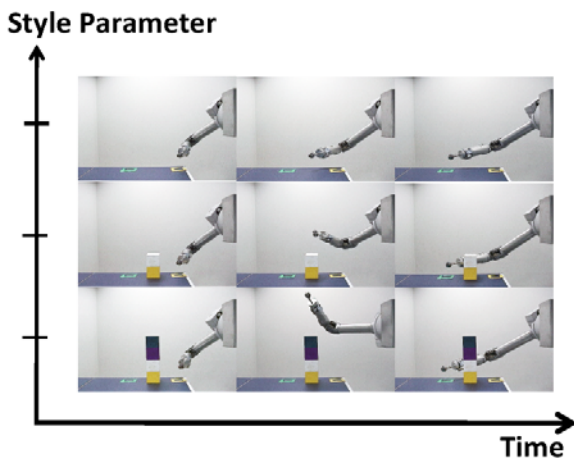


図 2 見まね学習された到達運動と  
環境適応の様子

た見まね学習の効率化も可能である。

学習した運動モデルを利用することで、ヒトの動作を予測することも可能となる。この際には低次元のパラメータにより、個人の癖などの個性を捉えることで高精度な予測結果が期待できる。提案手法の有効性を検証するために、光学式モーションキャプチャシステムで計測されたヒトの様々な全身運動における関節角時系列データに対して提案手法を適用し、その有効性を検証した。その一例を図 3 に示す。実線は計測データ、点線はその予測値をそれぞれ表す。様々な歩行パターンに対して、それぞれの個性を的確に捉えており、標準的な時系列予測法との比較実験においても、提案法が高精度な予測を実現できていることが確認された。

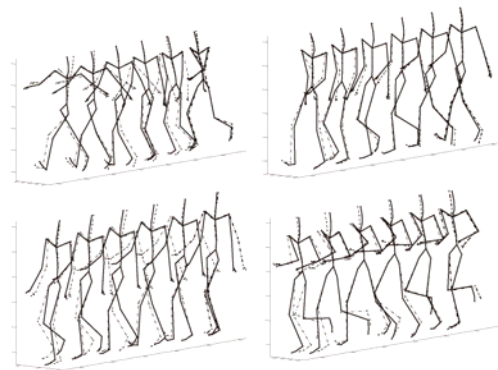


図 3 提案法で予測された歩行・走行動作  
(実線：観測，点線：予測)

このように、多様かつ複雑なヒト動作モデルをコンパクトにモデル化し、かつその有用性を実機実験で実証している研究は、国内外でも例がない。また、ロボット分野のみならず、ロボットスーツへの応用を通じて、医療・リハビリテーション分野への貢献も期待される。今後は、提案した動作モデルと強化学習を組み合わせることで、より高度な運動スキル学習とその環境適応機能の実現が期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計3件)

①松原崇充, 玄相昊, 森本淳, ヒューマンロボットインタラクションのための個人適応型オンライン人動作予測, ロボティクスシンポジウム, 2010.3.15, 奈良

②松原崇充, 玄相昊, 森本淳, 個性を考慮した周期的全身運動のオンライン予測, 情報論的学習理論ワークショップ, 2009.10.19, 福岡

③松原崇充, 玄相昊, 森本淳, 個性を考慮した周期的全身運動の予測, 日本ロボット学会学術講演会, 2009.9.16, 神奈川

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

<http://ai-www.naist.jp/people/takam-m/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松原 崇充 (MATSUBARA TAKAMITSU)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号: 20508056

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

( )

研究者番号: