

# 原始シンボル表現を用いた動作のデフォルメ提示による 動作コーチング

Motion Coaching with Emphatic Motion Display based on Proto-symbol Representation

稲邑 哲也\*1\*2      奥野 敬丞\*2      権 五訓\*1  
Tetsunari Inamura      Keisuke Okuno      Ohhoon Kwon

\*1国立情報学研究所      \*2総合研究大学院大学  
National Institute of Informatics      The Graduate University for Advanced Studies

In this paper, we propose a motion coaching system that displays emphatic motions by humanoid robots in order to enable beginners to modify unsophisticated motion so as to imitate an ideal motion. Difference between the ideal motion and the unsophisticated motion is abstracted in the proto-symbol space based on hidden Markov models. Motion extrapolation is then conducted for the modification to emphatic the ideal motion based on the difference between the beginner's motions so that the beginner find the required modification points. We discuss the performance of our method through experiment on tennis swing motions.

## 1. はじめに

ロボットにおける動作コーチングに関する研究では、主に、人間が提示した動作をロボットに伝達するためのインタフェースや、動作の学習における機械学習理論に重点が置かれる研究が多かった。我々は、動作の模倣学習における重要な要素で、かつ、まだ十分に議論されていない点として、動作の提示と同時にコミュニケーションがあると考えている。人間同士が動作を模倣・伝達する際には、特殊な状況でない限り、必ず言語表現と動作パフォーマンスの双方を組み合わせてコミュニケーションを取る。

例えば岩橋ら [Iwahashi 07] は、動作を提示しながらコミュニケーションを行うことで、言語表現の意味と、動作パターンの双方を学習する手法を提案している。しかし、この研究では、動作を獲得するのはロボットであり、動作パターンは精密に計測可能であるという前提に基づいている。我々は、ロボットが動作を獲得するのではなく、人間が動作を獲得する際、分かりにくい動作を効果的に提示し、かつ、それを言語表現で分かり易く説明することで効率の良いコーチングを行うことのできるロボットシステムの開発を目的としている。

一方で、我々は言語表現と任意の動作パターンの相互変換を実現するための手段として、原始シンボル空間法 [稲邑 09] を提案してきている。この手法は、動作パターンを隠れマルコフモデル (以下 HMM) で抽象化した表現を原始シンボルと呼び、原始シンボル間の関係性を幾何学的空間に配置することで、動作の内挿・外挿を、原始シンボルに対応する空間上の点の内分・外分操作に帰着させることに成功している [Inamura 08], [稲邑 10]。

本稿では、この原始シンボル空間を用いた動作パターンの内挿・外挿システムを、動作コーチングに応用する手法について提案を行う。学習者が実行した動作が目的の動作からかけ離れていて、その動作を修正するために再び動作を提示する際、同じ目標動作を再提示するのではなく、間違っただけで学習者が実行した動作には含まれず、目的の動作に含まれている要素を強調した「デフォルメ動作」を提示することで、効果的な動作教示を目指す。そして、動作の強調を行う手段として、原始シンボル空間による動作の外挿を用いる方法について議論する。

## 2. 対話型動作コーチングのための仮想インタラクション空間の構築

動作コーチングには、図 1 に示すような、全方位に仮想空間の映像を投影でき、かつ、部屋の中の人間の動作を計測できる環境を利用した。トレーナーである仮想環境内のロボットが手本動作を提示し、初心者である学習者は、その動作を模倣する (図 2) 模倣された動作が不十分である場合には、トレーナーが再び手本動作を提示してトレーニングを要求するが、その際と同じ動作を提示するのではなく、学習者が誤りを認識し、動作を修正しやすいような動作をディスプレイに投影する。

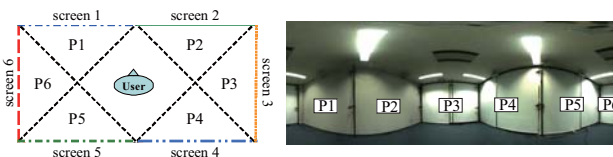


図 1: Surrounding Display with Motion Capturing System



図 2: Realtime measurement and display of human motion pattern

## 3. 動作の強調表示アルゴリズム

まず、コーチングの対象となる手本動作  $\theta_t$  をトレーナー (本稿では仮想環境内のロボット) が提示する。さらに類似した関係のある動作を  $n$  種類計測し、合計  $n+1$  種類の動作から構成される原始シンボル空間を求めておく。ここで、手本動作に対応する原始シンボル空間上の点を  $x_t$  とする。

次に、学習者が提示された手本動作  $\theta_t$  を真似て、動作を実行する。この様子を計測し動作パターン  $\theta_u$  を原始シンボル空間上の点  $x_u$  に変換する。(詳細なアルゴリズムは文献 [稲邑 09] を参照のこと) ここで、 $x_u$  が  $x_t$  の近傍に無い場合には、修正が必要とみなし、模倣が実現できていなかった成分  $x_t - x_u$  を修正分として  $x_t$  に加えた  $2x_t - x_u$  を求める。この点から生成される動作を、修正に必要なデフォルメ動作として再度提示する。

#### 4. 実験

実験の対象として、テニスのスイング動作を対象として、初心者である学習者に目標の動作を学習させるタスクを行った。図3に、手本としてトレーナーが提示した動作を示す。この動作に対して学習者は図4のような動作を行った。これらの動作に対応する原始シンボルの点をそれぞれ  $x_t, x_u$  とする。



図3: An ideal motion pattern as coaching target (pattern:  $\theta_t$ , proto-symbol:  $x_t$ )

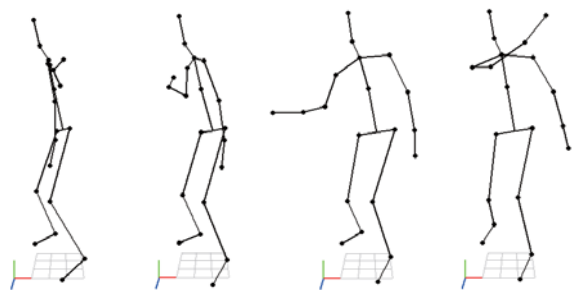


図4: A motion pattern imitated by a beginner (pattern:  $\theta_u$ , proto-symbol:  $x_u$ )

大きな違いとしては、スイングしていない左手の動きがある。トレーナーは左手の動きを模倣することが必要であると考えた。これに対して、3章で提案したアルゴリズムを用いて、 $n = 1$  の条件のもと、 $2x_t - x_u$  で外挿される動作を生成した。その動作パターンを図5に示す。

図5を見ると、左手の動作が強調されてはいるが、右手の打点が大きく下に移動しており、一見すると目的ではない箇所が強調されているかのように見える。しかしながら、右足の踏み込み(右膝を曲げる度合い)や、重心を落としているかどうか(上半身を前方向に倒しているかどうか)という点も、手本動作と学習者の動作との間の差であり、これらの点を考慮して動作を強調すると、打点が低くなるような動作が適切であると言える。

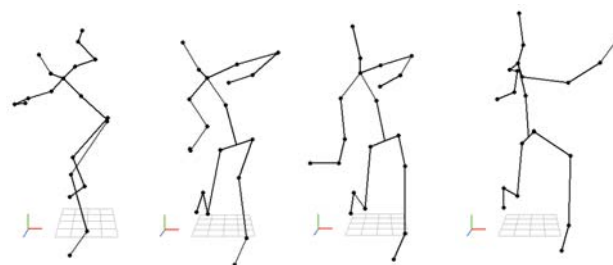


図5: An emphatic motion pattern generated by proto-symbol space ( $2x_t - x_u$ )

#### 5. おわりに

本稿では、学習者が手本動作を模倣し獲得するような動作コーチングの際に、模倣が不十分であった場合、その不十分な要素を動作パターンの外挿に基づいて強調し、手本動作を修正することで効果的な動作コーチングを行う手法について議論した。

動作パターンの内挿・外挿という技術は、CG の分野で精力的に研究がなされている [Bruderlin 95][Rose 98][Glardon 04][Hoshino 04] が、本稿で提案した手法の特徴は、動作を合成するだけでなく、観測された動作がどの動作の内挿・外挿に対応しているのか、という事を解析できる点 [稲邑 10] にある。この解析と動作パターンの言語表現を組み合わせることで、たとえば、『気を付け』のようではなく、もっと『バンザイ』をするようにスイングして下さい、というように、学習者の癖を言語表現で指摘するような応用を可能にする点が利点である。今後は、強調された動作に基づいて、学習者が繰り返し動作学習を試みた場合の効果について実験を進めて行く予定である。

#### 参考文献

- [Bruderlin 95] Bruderlin, A. and Williams, L.: Motion Signal Processing, in *SIGGRAPH 1995*, pp. 97–104 (1995)
- [Glardon 04] Glardon, P., Boulic, R., and Thalmann, D.: PCA-Based Walking Engine Using Motion Capture Data, in *Proceedings of the Computer Graphics International*, pp. 292–298 (2004)
- [Hoshino 04] Hoshino, K.: Interpolation and extrapolation of repeated motions obtained with magnetic motion capture, *IE-ICE Trans. Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, Vol. E87-A, No. 9, pp. 2401–2407 (2004)
- [Inamura 08] Inamura, T. and Shibata, T.: Geometric Proto-Symbol Manipulation towards Language-based Motion Pattern Synthesis and Recognition, in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 334–339 (2008)
- [Iwahashi 07] Iwahashi, N.: Robots that learn language: Developmental approach to human-machine conversations, in al., et N. S. ed., *Human-Robot Interaction*, pp. 95–118, I-Tech Education and Publishing (2007)
- [Rose 98] Rose, C., Cohen, M., and Bodenheimer, B.: Verbs and adverbs: multidimensional motion interpolation, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 18, No. 5, pp. 32–40 (1998)
- [稲邑 09] 稲邑 哲也, 谷江 博昭, 中村 仁彦: 幾何学的シンボル操作による多様な動作パターンの認識・生成を実現する原始シンボル空間の構成法, *日本ロボット学会誌*, Vol. 27, No. 5, pp. 84–94 (2009)
- [稲邑 10] 稲邑 哲也, 柴田 智広: 動作パターンとシンボルを相互変換する原始シンボル空間における動作パターンの内挿・外挿, *日本ロボット*, Vol. 28, No. 4 (2010)