

モーションキャプチャデータの分節・学習・評価機構を プログラム可能な模倣システム

Programmable Imitation System in Segmentation, Learning and Evaluation of Motion Capture Data

吉田 成徳 (東京大学)
岡田 慧 (東京大学)
稲葉 雅幸 (東京大学)

水内 郁夫 (東京大学)
金広 文男 (産総研)
井上 博允 (東京大学)

Shigenori YOSHIDA. The Univ. of Tokyo. 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo
Ikuo MIZUUCHI, Kei OKADA. The University of Tokyo
Fumio KANEHIRO. AIST
Masayuki INABA, Hirochika INOUE. The University of Tokyo

We propose the programmable imitation system which generates variable imitation-behaviors with motion-capture data by giving the methods of segmentation, learning and evaluation.

Key Word: Imitation, Motion-Capture, Segmentation, Learning, Evaluation

1 はじめに

ヒューマノイドの行動をあらかじめ全て想定してプログラミングしておくことは不可能であり、未知の行動の獲得・環境への適応を考えた場合、模倣によって行動を獲得していくという方法がその手段として挙げられる。模倣行動が可能なシステムには対象動作の解釈法・学習法・評価法といったプロセスが必要であり、本稿ではそういった一連のプロセスを含んだシステムをプログラマブルに構築する手法を述べ、レベルの異なる模倣を生成していく手法について述べる。

模倣の対象は、自分とは異なる体型をしているのが普通である。ヒューマノイドにおいて模倣を考える場合には、さらにその問題が顕著になる。したがって、模倣対象の動作を自分に見合った形の動作としてすり合わせていくようなプロセスが必要となる。またそのプロセスは、模倣する各ロボットに固有のものではなく、どのようなロボットでも汎用的に利用できるように柔軟なシステムであることが望ましい。本稿では模倣対象の動作入力としてモーションキャプチャデータを用い、様々なヒューマノイドにおいて模倣を実現する。

2 模倣システムの構成

2.1 模倣システムの構成要素

汎用的な模倣のシステムを構築するには、解釈・学習・評価といった要素が必要となる。

対象動作の解釈 体格差等の問題から対象の動作をありのまま真似することはほぼ不可能である。また、既知の動作であるにも関わらず、未知の動作として真似るのも、模倣としての価値が薄れてしまう。既知の動作は既知として処理し、対象の動作を自分に適合した形で解釈することが模倣には必要である。

動作の学習 形だけを真似る模倣には、再利用性・発展性を考えるとあまり価値がないと言える。模倣が意味をなすのは、模倣した動作を自らの動作として獲得し、行動の新たな一部分として再利用されること・新たな動作を身につける媒介になることである。そのためには解釈によって得た動作を試行錯誤を通して最適化し、自らの動作として身につけておくことが必要となる。

動作の評価 試行錯誤はただやみくもに行っても効果は期待できない。適切な評価基準を外部から与える。

もしくは自らが獲得して適用する、ということによって学習効果を促進させることができる。

2.2 構成要素の汎用性

前項で挙げた各要素は固定的に作り込むのではなく、状況に応じて切り替えが可能なように柔軟でプログラマブルなものになっていることが望ましい。例えば学習法の中で用いる手法として、遺伝的アルゴリズム(GA)・最急降下法・ニューラルネットワーク等が挙げられる。このようにすることによって、各要素ごとの開発・研究が容易になり、手法の長所を活かしたような要素を適用することによって状況に応じた最適な模倣システムを構築可能である。

3 モーションキャプチャデータを利用した模倣

本稿ではモーションキャプチャデータを利用して模倣行動を実現していくことを考える。モーションキャプチャのデータ形式は、標準と言ってもよいBVH形式のものを用いる。BVH形式はボディの構造の定義と運動情報を格納するための形式が定義されている。この形式から、まずボディの構造の定義を読みだし、自由度の数と配置をロボットのモデルと比較する。そして、ロボットとBVHのデータの双方に存在する自由度を抽出する。次に動作情報の読み込みを行う。双方に存在する自由度の分だけをロボットの関節角度として設定し、1フレームに1つずつ姿勢を読み込む。全ての動作情報の読み込みが終わったら、姿勢のリストの中から任意の姿勢をロボットにとらせることにより、人間がとった姿勢をロボットが真似をすることができる。

4 分節・学習・評価機構を備えた模倣システム

2節で挙げた各要素を有する模倣システムの一例として、以下のような手法を用いた。

4.1 既知の動作を利用した動作の分節化

2節で述べたように、既知の模倣動作を未知として模倣するのは無意味である。そこで、模倣の対象となる動作を既知の基本動作に分節化し、それによって動作を解釈するという手法をとった。既知の下半身の基本動作に分節化するテーブルをFig.1に示す。

4.2 分節化した動作の学習—最適化

分節化によって得た動作は、強制的に既知の動作に分節化しているため、ぎこちない動作となっていることが多い。そこで、ここでは分節化して得られた動作に対してGAを用いて、概略記述を用いた学習[1]により、動作の最適化を行う。

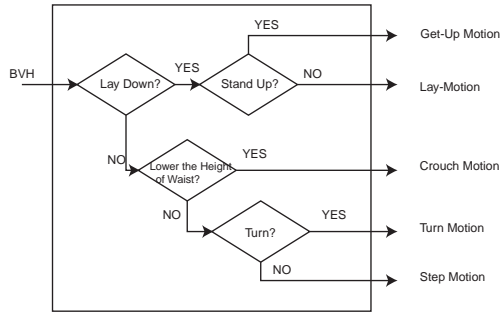


Fig. 1: Segmentation of Motion Capture Data

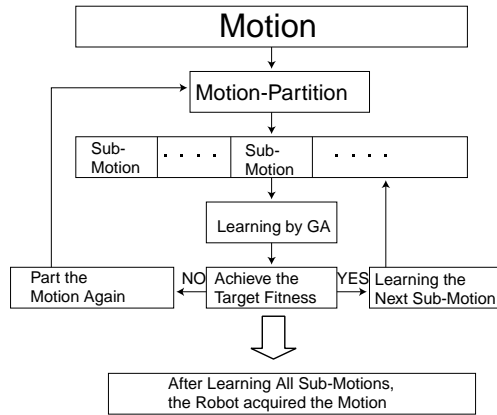


Fig. 2: Whole System of Imitation with Segmentation, Learning and Evaluation Elements

4.3 学習の評価

学習の基準となる評価関数は外部から人間が与えることによって行った。理想的には評価関数はロボット自身が獲得することが望ましいが、それには行動の目的・意図理解等の発展的のプロセスが必要であり、本稿ではその前段階として人間が与えることにした。

4.4 要素の統合—システムの構築

以上の要素を統合したシステムを Fig.2 に示す。学習によって得られた結果が評価に見合った適応値以下だと分節化し直すという方法をとっている。

5 ロボットへの模倣システムの適用

5.1 模倣のシミュレーション環境

模倣行動の動作検証として、ゲーム用高速動力学パッケージを利用した高速シミュレーション環境 FAST[2, 3] を用いた。FAST はゲーム用高速動力学演算パッケージ (Vortex Simulatoin Libraries) を用いた動力学シミュレーション環境である。このパッケージは物理計算シミュレーションの精度より実行速度に重点を置いており、動作の検証を行うのに適している。

5.2 拾い上げ動作の獲得—学習と評価関数の設定

ここでは、模倣動作の対象として BVH から拾い上げ動作の獲得を行う。この実験ではバランスを保ったまま動作することを目標とし、全ての分節化されたサブモーションの GA の評価値を 3 軸加速度センサの値に基づいて計算した。前半の屈む動作は、ローカル座標系での xy 平面に投影した 3 軸加速度センサの絶対値に対して、0.8 以上の値が得られた場合は、ロボットが倒れているものと判断して評価値 0、それ以下のものは、そのままの値を評価値とした。

$$fitness = \begin{cases} \sqrt{a_x^2 + a_y^2} & (a < 0.8) \\ 0 & (a > 0.8) \end{cases} \quad (1)$$

3 軸加速度センサの絶対値の大きいものほど評価値を高くしたのは、できるだけ深く屈むようにするためである。後



Fig. 3: The motion-capture data of pick-up motion (extract from RIKIYA)



Fig. 4: Apply the optimized pick-up motion-capture data to the robot "Hoap" after learning



Fig. 5: Apply the optimized pick-up motion-capture data to the robot "Cla" after learning

半の立ち上がる動作は、 xy 平面に投影される 3 軸加速度センサの絶対値の小さいものを高い評価値とした。

$$fitness = \frac{1}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2}} \quad (2)$$

これは、ロボットが安定して立ち上げられるようにするためである。GA のパラメータとして、個体数 50、淘汰率 0.6、突然変異率 0.04、一様交差の確率 0.5 とした。また GA によって獲得するのはモーションキャプチャのデータから ± 10 度以内の関節角の微小変移とした。

5.3 ロボットへの適用

拾い上げ動作 (Fig.3) をこの模倣システムに適用した様子を Fig.4, Fig.5 に示す。Fig.4 は全身 20 自由度 [4]、Fig.5 は脊椎を有し、全身 33 自由度のロボット [5] である。異なる身体を持つロボットにおいてもこのシステムが適用可能であり、自由度の多いほうが人間に近い動作が可能になっていることがわかる。

6 おわりに

本稿では模倣システムを構築する上で必要な分節・学習・評価という要素を指摘し、そういった要素を持つシステムの一例を挙げてモーションキャプチャデータに適用した。今後の課題として、模倣動作の目的・意図理解や動作から行動への展開が挙げられる。

参考文献

- [1] 金広文男, 服部雄高, 稲葉雅幸, 井上博允. 概略記述の適応化による人間型ロボットの運動獲得. 第 16 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 829–830, 1998.
- [2] 金広文男. 高速シミュレーション環境 FAST を用いたヒューマノイドシミュレーション. 第 19 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, pp. 931–932, 2001.
- [3] 金広文男, 稲葉雅幸, 井上博允. ゲーム用高速動力学演算パッケージを用いたロボットボディの仮想化. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'01 講演論文集, pp. 2P2–H3, 2001.
- [4] 村瀬有一, 安川裕介, 境克司, 植木美和. 研究用小型ヒューマノイドの設計. 第 19 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, pp. 789–790, 2001.
- [5] I.Mizuuchi, M.Inaba, and H.Inoue. A Flexible Spine Human-Form Robot — Development and Control of the Posture of the Spine —. In *Proceedings of the 2001 IEEE/RSJ International Conference on IROS*, pp. 2099–2104, 2001.