

モーション写像による多自由度ロボットの 動作生成に関する基礎研究

神里 志穂子[†] 山田 孝治[†] 徳元 謙太[†]

[†]琉球大学工学部

あらまし 本研究では、ヒトの運動優位特性の有用性を明らかにすることによって、様々なロボットにその応用可能性を広げることを目指している。そこでまず、人間の動作データを用いてヒューマノイドロボットを制御するための、インターフェースを実現する事を目的としている。人間とロボットの自由度の違いを補う為、モーション写像を用いて人間とロボット間の写像関係を求め、写像の検証を行う。

Motion mapping for multiple joints robot

Shihoko KAMISATO[†], Koji YAMADA[†] and Kenta TOKUMOTO[†]

[†]Faculty of Engineering, University of the Ryukyus

Abstract In this research, it is as purpose with make clear dominant characteristic of human motion.

Furthermore, it is to show the application possibility with various robot. So at first it thinks about interface to control robot using human motion data.

Therefore it has to cover a difference of degree of freedom of human and robot. We use motion mapping and search mapping relationship between human and robot.

1. はじめに

ヒトや生物では、利き手や利き脚などその能力、働きが十分発揮され、すばやく活動し、器用に動く身体部位を持つ。ヒトは、箸を持つなどの日常動作やスポーツを行う場合においても動作を習得する際、利き手や利き脚を主に用いる為、習得が早く上手に動作することができる。サッカーや野球などのスポーツでは、左利きや両利きの優位性があげられているが、左利きや両利きの場合、左右失認（左右の感覚があまり無い）という欠点が認識されている。

ロボットの場合も利きの概念が無い為、左右の感覚や運動を行う際に優位となる部分が存在しない。そこで、ヒト型ロボットに利きを与えることによって、ロボットが動作獲得を行う際に運動優位特性を持たせることができると考える。

近年、一部の研究者のみの世界だったヒューマノイドロボットが身近な存在になってきているが、センサによるフィードバック機能を有していないロボットの場合、ほとんどが数値入力による方法で制御を行っているため、多くの時間と労力が必要になってくる。近藤科学の小型ヒューマノイドロボットKHR-1 [1] は、ロボットの各関節を動かし、作成した姿勢覚えさせる「教示機能」を用いているため直感的な制御が可能になったが、自然な動作を実現させるは容易ではない。

動作データは、モーションキャプチャ・システムで取得できるが、従来のハードウェアベースのモーションキャプチャ・システムでは、大規模で高額な設備を必要としていた。それに比べ、ソフトウェアモーションキャプチャ・システム [2] は、映像とPCソフトウェアのみを必要とし、モーションキャプチャ・システムを安価で実現できるようになった。そのため、人間の動作解析に関する研究が数多く行われている [3],[4]。

そこで本研究では、ヒトの運動優位特性の有用性を明らかにすることによって、様々なロボットにその応用可能性を広げることを目指している。まず、人間の動作データを用いてのヒューマノイドロボット制御に対して、自然な動作を実行できるインターフェースを実現するための基礎研究として、人間とロボットの自由度の違いを補うモーション写像について検討を行う。

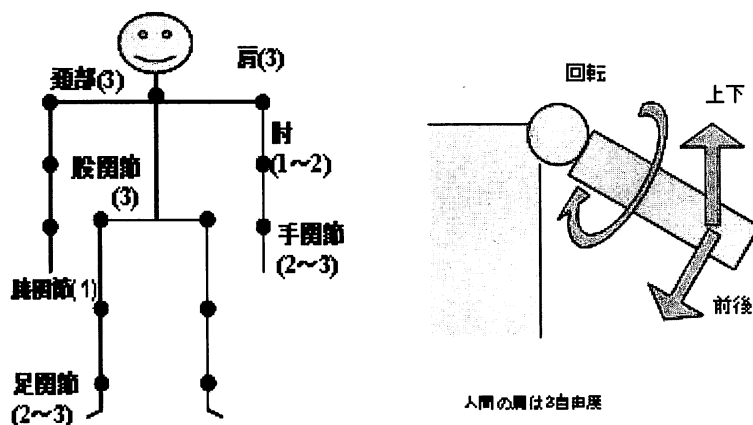


図1 ヒトの関節自由度

2. ヒトとロボットの自由度の違い

ヒトとロボットでは、身体の構成物質が異なるのはもちろんのこと、身体の自由度が異なる。自由度とは、物体の運動がどれだけの独立した運動の組合せであるかを表したもので、ヒトの関節に相当する。前後、上下、回転がそれぞれ1自由度である。

例えば、図1のようにヒトの肩は、合計3自由度である。ヒトをリンク機構として表現した数理モデルは、手足の指を除いたとしても40自由度を持つ。

一方、ホビーヒューマノイドロボットは、近藤科学のKHR-1が17自由度 Vstone社のRobovie-M [5]が22自由度であり、ヒトより少ない自由度を採用している。各ロボットとヒトの自由度の違いを表1に示す。

表1 身体性の違い

	KHR-1	Robovie-M	人体モデル
サイズ	340 × 180mm (高さ×幅)	290 × 240mm (高さ×幅)	—
重量	1.2kg	1.9kg	—
自由度	腕：3 × 2 脚：5 × 2 首：1 合計：17自由度	腕：4 × 2 脚：6 × 2 胸：1 腰：1 合計：22自由度	腕：7 × 2 脚：7 × 2 首：3 胴体：6 腰：3 合計40自由度

3. 人間からロボットへの写像

3.1 多項式近似による写像

人間の動作データは、モーションキャプチャ・システムによって取得できるが、そのデータを自由度の異なるロボットの動作作成にそのまま用いることはできない。そこで、人間とロボット間の写像関係を求めて、データを変換することが必要になってくる。

人間の動作データを構成する自由度数がロボットの身体全体の自由度数より多い場合は、多自由度から少自由度への写像が必要である。しかし、少ない自由度の場合は、少自由度から多自由度への写像が必要なので、どちらの場合でも対応できる手法を用いるのが望ましい。本研究では、合志らが提案した、人間とロボットのポーズの写像関係を多項式近似により [6] 以下のように表現する方法を用いている。

$$\theta = Mf(\phi) \tag{1}$$

ここで、 $\theta \in R^m$ は、ロボットの関節角、 $\phi \in R^n$ は、人間の関節角、 $M \in R^{m \times p}$ は、写像を決定する係数行列である。また、 $f(\phi) \in R^p$ は、人間の関節角 ϕ の多項式項からなる列ベクトルである。2次の多項式まで用いたとき、 $f(\phi)$ は、以下のようになる。

$$f(\phi) = [1 \ \phi_1 \ \phi_2 \ \cdots \ \phi_n \ \phi_1\phi_1 \ \phi_1\phi_2 \ \cdots \ \phi_1\phi_n \ \phi_2\phi_2 \ \cdots \ \phi_2\phi_n \ \cdots \ \phi_n\phi_n]^T$$

3.2 係数行列の導出法

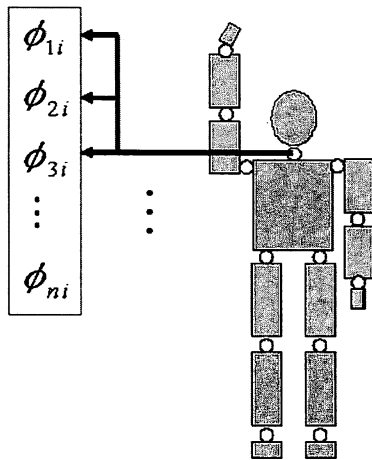
まず、 l 通りの人間のポーズを作成する。そして、それぞれのポーズの各関節角の値を並べた行列 $\Phi \in R^{n \times l}$ を用意する。

$$\begin{aligned} \Phi &= [\phi_1 \ \phi_2 \ \cdots \ \phi_i \ \cdots \ \phi_l] \\ &= \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \cdots & \phi_{1i} & \cdots & \phi_{1l} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \cdots & \phi_{2i} & \cdots & \phi_{2l} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{n1} & \phi_{n2} & \cdots & \phi_{ni} & \cdots & \phi_{nl} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

次に、 l 通りの人間のポーズに対するロボットのポーズをそれぞれ作成し、同様に各関節角の値を並べた行列 $\Theta \in R^{m \times l}$ を用意する。

$$\begin{aligned} \Theta &= [\theta_1 \ \theta_2 \ \cdots \ \theta_i \ \cdots \ \theta_l] \\ &= \begin{bmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & \cdots & \theta_{1i} & \cdots & \theta_{1l} \\ \theta_{21} & \theta_{22} & \cdots & \theta_{2i} & \cdots & \theta_{2l} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \theta_{m1} & \theta_{m2} & \cdots & \theta_{mi} & \cdots & \theta_{ml} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\Phi = [\phi_1 \ \phi_2 \ \cdots \ \boxed{\phi_i} \ \cdots \ \phi_l]$$



$$\Theta = [\theta_1 \ \theta_2 \ \cdots \ \boxed{\theta_i} \ \cdots \ \theta_l]$$

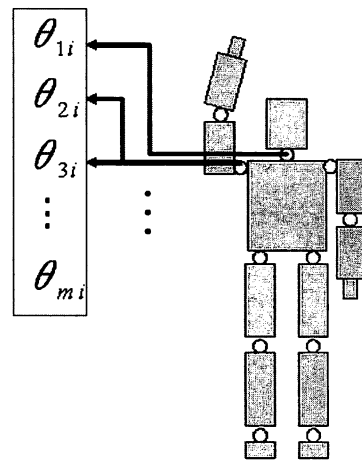


図2 対応するポーズ

ベクトル ϕ_i で表される人間のポーズが2の左側だとすると、それに対応するロボットのポーズ θ_i は右側のようになる。人間より自由度の少ないロボットは、人間と同じポーズを取れない場合が出てくるが、そのときは手先や足先等の位置がほぼ同位置にあるポーズを対応するポーズとする。

図2のロボットのように手首の関節がない場合、肘の関節を曲げて、手先の位置が人間のポーズと近くなるようにして対応させる。

Φ の各要素について、 $f(\phi)$ を並べた行列を $F \in R^{p \times l}$ とする。

$$F = [f(\phi_1) \ f(\phi_2) \ \dots \ f(\phi_l)] \quad (4)$$

そして、 F の擬似逆行列（逆行列の特性を持った行列）を $F^\#$ とすると、係数行列 M は次のように求まる。

$$M = \Phi F^\# \quad (5)$$

3.3 動作感性情報

スポーツにおいて人下の動作を観察した時、そのスポーツについて多少の知識があれば、上手・下手を見分けることができる。その判定は、人間の感性によるもので、上手・下手といった判定結果を動作の感性情報という。一方、動画像から判定した場合、人間の動作をコンピュータでモデル化する事により、速度や角速度のような物理量で表すことができる。これらの物理量を使って、上手・下手を判定する評価値を求めると、図3のようにコンピュータに感性を持たせることが可能となる。

例えば、スキー動作を判定するときには、観察者の専門的知識のレベルによって、両足が同じ動きなどの指標となる判定基準を用いている [7]。

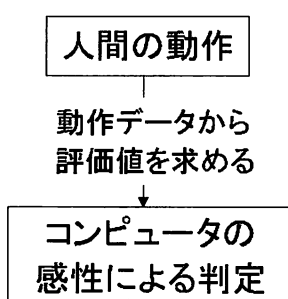


図3 コンピュータの感性による判定

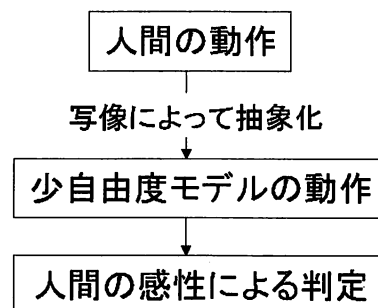


図4 少自由度モデルを用いた判定

本研究では、ヒトの動作をコンピュータモデルで表現するという点では共通しているが、自由度、サイズの異なるモデルでも表現できるという点が特徴である。人間の動作は複雑で、細かい箇所注目しなければ、上手・下手といった評価を下すことが

難しい場合が多い。そこで、図4のように、ヒトの動作を少自由度のモデルで表現することにより抽象化して分かり易くし、上手なヒトと下手なヒトでは、それぞれどのような特徴が現れるかを調べていく。この手順を用いることで、判定の単純化が期待できる。つまり、コンピュータに感性を持たせるのではなく、コンピュータがヒトの感性による判定において一役を担うということである。

4. 写像の検証

数値計算ソフト Octave で写像における計算法を実装し、それを検証するために3次元物理シミュレータ Juice で表2のような3種類のモデルを作成した。

「人体モデルから17自由度ロボットモデルへの写像」と「人体モデルから9自由度ロボットモデルへの写像」を行った。図5に示す20通りのポーズをそれぞれサンプルとして作成し、係数行列を求めた。

表2 モデルの自由度

	人体モデル	17自由度ロボットモデル	9自由度ロボットモデル
自由度	首 : 3	首 : 1	首 : 1
	腕 : 7×2	腕 : 3×2	腕 : 2×2
	脚 : 7×2	脚 : 5×2	脚 : 2×2
	胴体 : 3		
	腰 : 3		
	合計 : 37自由度	合計 : 17自由度	合計 : 9自由度

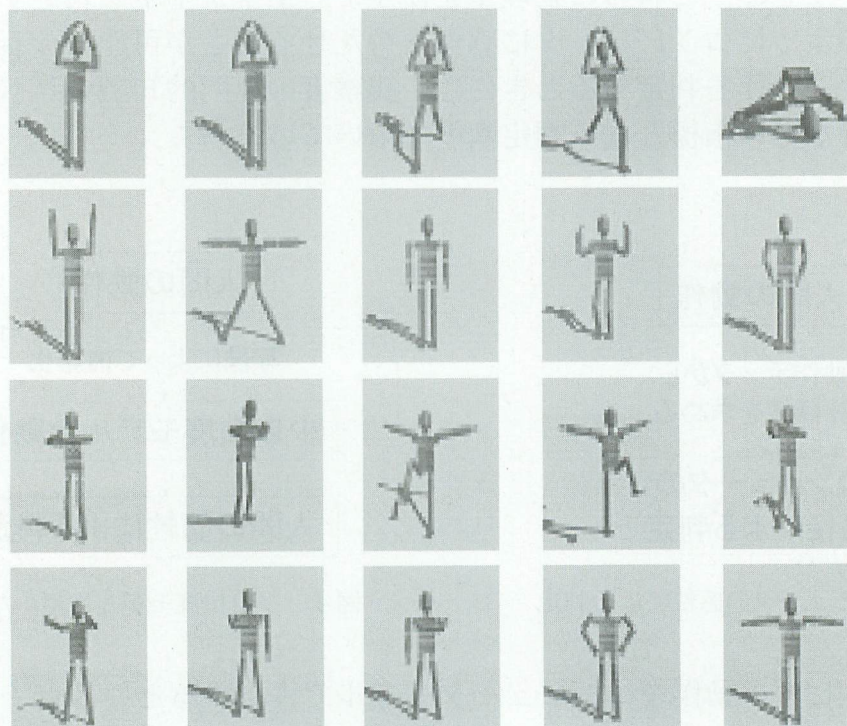
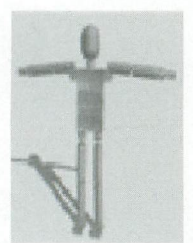


図5 人体モデルのサンプルポーズ

図3の左側は、人体モデルのサンプル中のポーズの一つである。図3の右側は、サンプルのポーズから両腕を少し上げたポーズを入力した場合の写像結果である。上側が入力した37自由度人体モデルのポーズで、その左下が17自由度ロボットモデル、右下が9自由度ロボットモデルに対する写像結果である。人体モデルの腕を上げている角度が 105° であるのに対し、17自由度ロボットモデルは、 127° 、9自由度のロボットモデルは 124° であったが、ポーズの全体的な印象はどのモデルも同じで、両腕を少し上げることを実現できている。

図4は、任意のポーズを入力した場合の写像結果である。人体モデルは、右脚を 70° 上げているが、17自由度ロボットモデルは 22° 、9自由度ロボットモデルは 15° しか上げていない。人体モデルが膝を曲げ、足先がより低い位置にくるようにしている点、そしてサンプルのポーズを作成する際、脚部には低い値を与える傾向があった点が影響していると考えられる。そこで、各ロボットモデルとも、上体を後ろに傾けることによって足先がより高い位置に来るようにし、人体モデルと足先の位置が近くなるようにしているとみられる。ポーズの印象において、例えば腕の場合、手首の角度よりも肩関節の角度が大きく影響を与えると示唆されるため、手首よりも肩関節の写像精度を重視するべきだと考えられる。

従って、サンプルのポーズを作成する際には、手首より肩関節に関して多くのパターンを用意する必要がある、それが効率良く写像精度の向上を図ることにつながると考察できる。



人体モデルの
サンプル中のポーズ

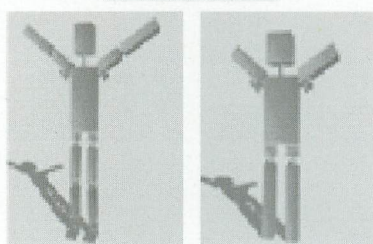
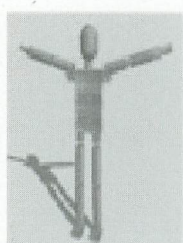


図6 両腕を上げたポーズを入力した結果

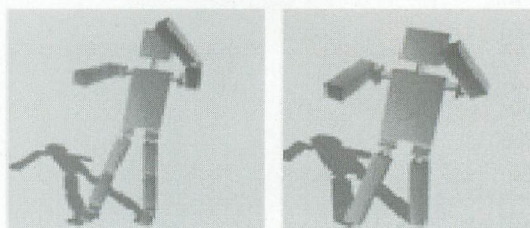
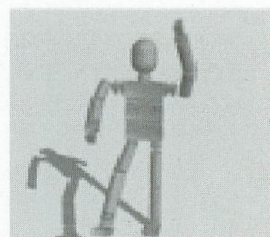


図7 任意のポーズを入力した結果

5. まとめ

本研究では、人間からロボットへの写像を行うことで、人間のポーズを少自由度ロボットモデルでも表現できることを示した。これにより、多自由度な人間の動作をデフォルメや抽象化することが可能となり、ロボットの動作作成やCGアニメーション等への応用が期待される。

また、今回は多自由度モデルから少自由度モデルへの写像の検証を行ったが、逆に少自由度モデルから多自由度モデルへの写像では、自由度の少ないコントローラにより多自由度ロボット制御へのモーション写像の実現が期待される。

しかし、実際に動作作成を行う際には、実世界と同じ環境にするために力学的な問題を考慮する必要があるが、それを実装するのが今後の課題である。

文 献

- [1] “Kondo-Robot.com”,
<http://www.kondo-robot.com/>
- [2] “gsport KROPS”,
<http://www.gsport.co.jp/products/krops.html>
- [3] 山本正信：“ユビキタスモーションキャプチャとその応用”,
<http://www.osakac.ac.jp/viri/symposium04/yamamoto.pdf>
- [4] Shihoko Kamisato, Koji Yamada：“Time series analysis of arm motions cyclic movement in a dance,”
INTELLIGENT ENGINEERING SYSTEMS THROUGH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS, Vol. 14
(editor C. H. Dagli et al.), ASME PRESS SERIES, pp.843-848, 2004.
- [5] “Robovie-M ver.2-ヴィストン株式会社”,
<http://www.vston.co.jp/top/products/robot/Robovie-M.html>
- [6] 合志剣之助, 中村仁彦, 岡田昌史, “低自由度ヒューマンフィギュアとの双方向変換を用いた大自由度人体骨格モデルの運動制御”, 日本機会学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'03講演論文集, 2P1-3F-C5, 2003.
- [7] 近藤拓也, 山際隆志, 山中光司, 山本正信：“動画像からの動作感性情報の抽出”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-D2, No.1, pp.247-255, 1997.