

人間動作の写像によるアンドロイドの人間らしい動作作成

松井大輔(大阪大学) 港隆史(大阪大学) Karl F.MacDorman(大阪大学) 石黒浩(大阪大学)

Generating Natural Motion in an Android by Mapping Human Motion

*Daisuke Matsui(Osaka University), Takashi Minato(Osaka University),
Karl F.MacDorman(Osaka University), Hiroshi Ishiguro(Osaka University)

Abstract— Our group’s research explores relationships between robot’s behavior and robot’s appearance by developing androids that closely resemble human beings in both aspects. If humanlike appearance causes us to evaluate an android’s behavior from a human standard, we are more likely to be cognizant of deviations from human norms. Therefore, the android’s motions must closely match human performance to avoid looking strange. This research tackles a problem to implement motions that look human by mapping their three-dimensional appearance from a human performer to the android and then evaluating the verisimilitude of the visible motions using a motion capture system.

Key Words: Learning control systems, humanlike motion, human-robot imitation, android science.

1. 緒言

近年、ヒューマノイドロボットの開発が盛んであるが、それら人間の姿は、人間と自然な相互作用をもたらすことに意味がある。また逆に相互作用可能なヒューマノイドロボットを設計するために、自然な相互作用をもたらす原理を発見する必要がある。

一般的に相互作用において相手の見た目が重要であると考えうが、相互作用を目的としたロボットのほとんどの研究は見た目の影響を評価してこなかった。そのため、効果的で快適な人間-ロボット間のコミュニケーションが機械的外見または人間的外見のどちらから生まれるかは明らかにされていない。しかし、見た目と振る舞い両方の面で人間に酷似したロボットは人間と自然なコミュニケーションをもたらすと考えられる。我々はその様なロボットをアンドロイドと呼ぶ。これまで我々は、人間と相互作用するロボットの見た目と振る舞いの問題について取り組んできた [1]。

人間らしい動作を作成するためにはアンドロイドの機構が人間の筋骨格と同じであればよい。これまでに、人間らしい動きを生成するための筋腱システム [2] を開発する研究が行われているが、人間に酷似したアンドロイドに実装するには、大きさの面で困難である。そこで、我々は人間に酷似した姿の制約条件下で、現在の技術で可能な限りアクチュエータを実装したアンドロイドを開発した [1]。従って、実装した機構を用いて、人間らしい動作をどのように作成するかが、アンドロイドにおける大きな一つの問題である。ロボットの動作をより人間らしくする率直な方法は人間動作の模倣である。一般的には、人間動作をモーションキャプチャーで測定し、写像する方法が用いられる。Riley ら [3] や中岡ら [4] は人間の関節角度を計測し、それをロボットの関節角度に写像した。これらの研究では人間がロボットと同じ関節構造を持つと仮定している。しかし、実際は関節構造が異なるため、関節角度は同じだが、見た目が違う動作になる可能性がある。これは特にアンドロイドにおいて深刻である。なぜならその人間らし

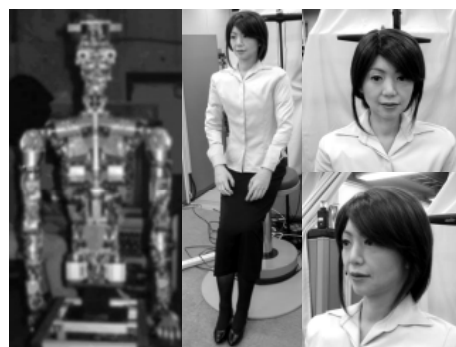


Fig.1 The developed android “Repliee Q2”

い姿のために、人間との微妙な違いが大きく目立つからである。よって本稿はモーションキャプチャーシステムによる人間動作のアンドロイドへの写像を、関節角度ではなく体表面に注目する方法を提案する。

以下の章では開発されたアンドロイドについて記述し、提案手法の詳細を述べ、それを実装した実験結果を示す。

2. 人間動作の変換

2.1 開発したアンドロイド

Fig. 1 に開発されたアンドロイド (*Repliee Q2*) を示す。これまでに開発したアンドロイド (*Repliee Q1*) [1] を土台に改良した。本稿で使用する機能に対する改良に伴う影響は特にない。制御は位置制御なので、ホストコンピュータから関節位置を送り制御する。

2.2 基本方針

人間らしい動作を実現する方法として、人間の動作をアンドロイドに写像する方法を考案する。従来の多くの研究では人間とロボットの形の違いを無視し、人間とロボットの機構が大きさを除いて同様だと仮定し、関節角度を用いて人間動作を写像する。しかし、先の仮定は実際は異なるため、計測した人間の3次元姿勢

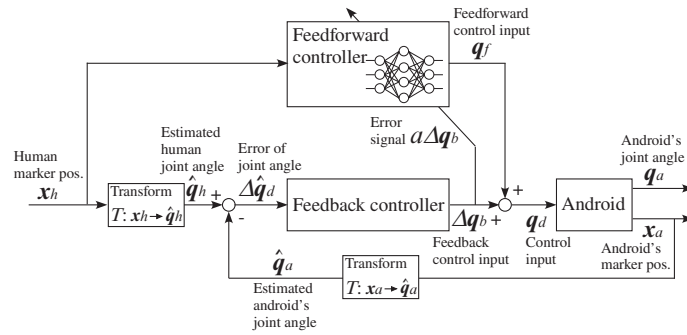
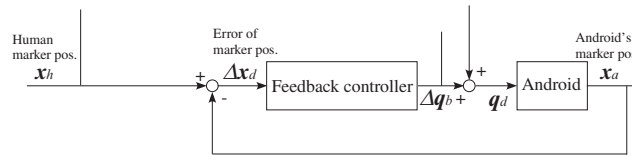
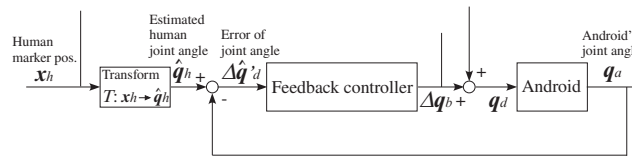


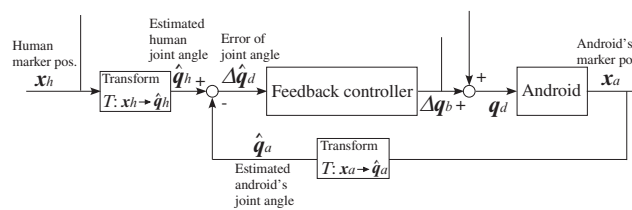
Fig.2 The android control system



(a) Feedback of marker position error



(b) Error estimation with the android's joint angle measured by the potentiometer



(c) Error estimation with the android's joint angle estimated from the android's marker position

Fig.3 The feedback controller with and without the estimation of the android's joint angle

から計算された関節角度と、同じ姿勢と見なせるロボットの関節角度には誤差が発生する．例えば，Repliee Q2の肩の機構は人間のものと大きく異なる．その誤差の影響は機械的な見かけのロボットよりもアンドロイドでは深刻である．人間の見かけをもつものに対して，我々は無意識に人間らしい動作を期待しているため，その誤差が影響を与えやすい．そこで関節角度ではなく体表面の位置を再現することに注目した．モーションキャプチャを用いて人間とアンドロイドの姿勢を測定し，互いに同姿勢になるようアンドロイドを制御する．

2.3 人間動作の変換方法

モーションキャプチャを用いてマーカーをアンドロイドと人間の同様な場所に装着し，それぞれの姿勢をマーカーの三次元位置により計測し，アンドロイドを人間と同じ姿勢になるように制御することにより，写像を行う．解析的に人間の姿勢からアンドロイドの制御入力への写像を得ることは困難なため，3層のニューラルネットワークを用いて構成した．しかし，人間の位置 x_h からアンドロイドの制御入力 q_a への写像の学習には学習用データとして，アンドロイドと人間で同

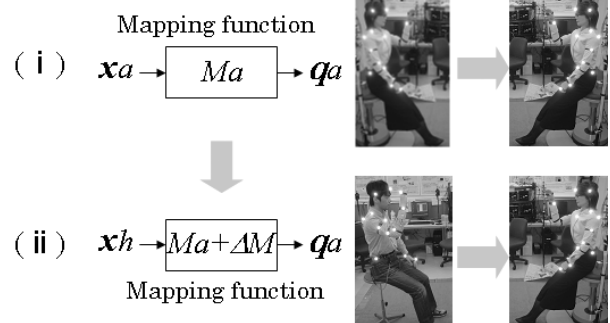


Fig.4 Mapping image

様だと見なせる姿勢の何万もの x_h, q_a のデータのペアが必要であるが，それらのデータを手動で生成するには膨大な時間を要すると考えられる．そこで () アンドロイドの位置 x_a からアンドロイドの制御入力 q_a への写像を作成し，それを改良し () 人間の位置 x_h からアンドロイドの制御入力 q_a を実現することを考えた (Fig. 4)．しかしなお，() の写像はアンドロイド



Fig.5 The marker positions corresponding to each other

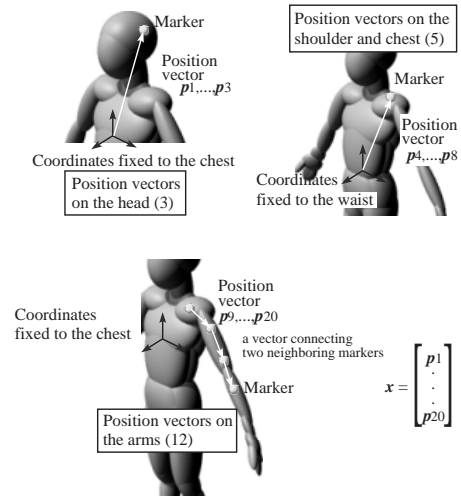


Fig.6 The representation of the marker positions. A marker's diameter is about 18 mm.

の構造の複雑さにより、ネットワークを正確に構成することは困難である。さらに、アンドロイドと人間が互いに表面の形状が同じという仮定上では、()が完成すると()にも適用できるが、実際は表面の形状や関節構造に差異があり、また体表面の動きも違うために、そのまま写像を用いることは困難だと考えられる。本研究では、これらの問題に取り組む。まず本稿では、1つ目の問題に取り組んだ。

まず()を実現するには()を解く必要がある。それにはランダムにアンドロイドを動かしたデータではなく、人間らしい動作を教師データとして与えるべきであるが、それでは矛盾する。そこでアンドロイドと人間で表面形状が同じとみなして、人間らしい動作を教師データとしてネットワークに与えることにより、 x_a から q_a への写像の学習が可能かどうかをフィードバック誤差学習 [5] を用いて確かめた。Fig. 2 にそのシステムを示す。ニューラルネットがフィードフォワード制御器に用いられ、その重みはフィードバック制御器の出力により学習される。学習が進むとニューラルネットはアンドロイドの逆運動学になる。もし逆運動学が正確に学習されれば、フィードフォワード制御器の出力は入力を追従する。実験者とアンドロイドのマーカ位置は $x_h, x_a \in \mathcal{R}^{3m}$ 、アンドロイドの関節角度 $q_a \in \mathcal{R}^n$ はポテンシオメータにより観測される。

フィードバック制御器は、マーカ位置の位置誤差 $\Delta x_d = x_a - x_h$ が 0 になるよう Δq_b を出力する必要がある (Fig. 3(a)). しかし Δq_b から Δx_d を得ることは難しい。そのため人間とアンドロイドが大まかに同様な構造をしてると仮定し、オイラー角を計算し推測関節角度 \hat{q}_h を得る。そのマーカ位置から推測関節角度への変換を T とする。アンドロイドの推測関節角度 \hat{q}_a も T により得られ、 \hat{q}_a から \hat{q}_h へ収束させるためのフィードバック制御器の入力も取得できる。(Fig. 3(c)) この方法により x_a が x_h に収束する。ニューラルネットが x_h から制御入力 q_d への写像を構成する一方でそのフィードバック制御器の入力は学習により 0 に近づく。このようにして写像が実現される。

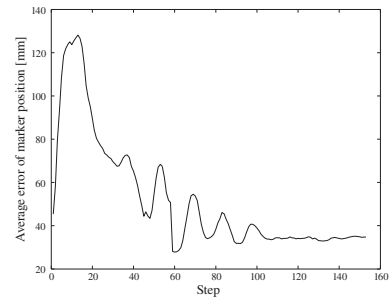


Fig.7 The change of the position error

3. 実験結果

3.1 実験設定

提案手法の検証のために人間動作を Repliee Q2 に写像する実験を行った。両肩、両腕、首、腰の 21 自由度を用いた ($n = 21$)。またモーションキャプチャーシステムは Hawk Digital System を用いた。実験者、アンドロイドそれぞれに 20 個のマーカ装着し、その装着位置を Fig. 5 に示す ($m = 20$)。腰のマーカはそれぞれの局所座標系を構成するために用いる。学習を容易にするためにマーカ位置データ x_h, x_a は Fig. 6 のようにする。腰の動きの影響が頭のマーカで取り除かれ、また腕の先のマーカの位置誤差の蓄積を避けるため、隣り合う 2 つのマーカを繋ぐベクトルが腕の位置データとして使われる。隣り合う 2 つのリンク間の角度が推測関節角度になる。フィードバック制御器は $\Delta q_b = K \Delta \hat{q}_d$ を出力する。ゲイン K は対角行列からなる。ネットワークへの誤差信号は $t = \alpha \Delta q_b$ (α はゲイン) である。マーカの位置の取得とアンドロイドの制御のサンプリングタイムは 60ms である。

3.2 実験結果、考察

3.2.1 フィードフォワード制御器の学習

フィードフォワード制御器の効果を示すために、Fig. 7 にマーカの平均位置誤差を示す。横軸はステップを

表す (サンプリングタイムは 60ms) . 実験者はある姿勢で静止している . その位置誤差はネットワークの収束と共に減少している . 結果 , フィードフォワードが体表位置からアンドロイドの制御入力への写像を学習したことを示している .

3.2.2 生成されたアンドロイドの動作

Fig. 8 は実験者の姿勢と , それに対応するアンドロイドの姿勢である . 値はステップを示す . アンドロイドは実験者の動きに多少の遅れ (最大 15 ステップ , 0.9s) を生じ追従している . おおよそ姿勢は似ているが誤差が明確に存在している . また動作自体も同じではない . 主な原因は人間とアンドロイドを同じ構造とみなしたためである . 他の原因としては以下のものが考えられる .

- アンドロイドの構造の複雑さ , 動作範囲の広さなどにより , ニューラルネットが学習の表現能力が不足している .
- 動作を姿勢の連続として扱うため , 速さや加速度といった性質は再現されない .

3.3 要求される改善とこれからの展望

結果より , 人間らしい動作を教師データとしてネットワークに与えることによりおおまかな写像が構成されたため , x_a から q_a への学習の可能性が確かめられた .

システムとしては , Fig. 3(a) は体表面を用いた動作写像を実現する率直な方法である . しかし本稿では , アンドロイドの体表面が実験者に似ているとの仮定の下に , Fig. 3(c) による関節角度の写像を行ったのであり , 体表面による写像は行っていない . これは , 体表面のマーカ-の差異を埋め合わせるにはどの関節がどう動くべきかわからないため , マーカ-位置誤差 Δx_d から制御入力 Δq_b を解析的に算出できるフィードバック制御器を設計することが困難なためである . つまり , 関節角の写像では体表面の位置合わせという目的は果たされていない . だが , フィードフォワード制御器の重み解析により関節角と体表面の関係が明らかになる可能性がある . そして , その解析結果から , マーカ-の位置誤差に対する制御入力を出力するフィードバック制御器が学習させることが考えられる . フィードバック制御器の設計に関して大山ら [6] がニューラルネットを用いたフィードフォワード , フィードバック両方を学習する手法を提案している . これは適切なフィードバック制御器を得る一つの可能性である .

4. 結論

本稿はモーションキャプチャーを用いて , 人間からアンドロイドへの動作写像による人間らしい動作作成の方法を提案した . アンドロイドと実験者の姿勢を計測 , 比較することにより体表面の動きに注目する新しい手法を提案した . 実験結果によりその手法で人間の姿勢を写像できることを示した . しかし , 本研究の目標としている体表面の誤差を評価した写像には至っていないため , フィードバック器を改良する必要がある .

参考文献

[1] T. Minato, K. MacDorman, M. Shimada, S. Itakura, K. Lee, and H. Ishiguro. Evaluating humanlikeness by comparing responses elicited by an android and a



Fig.8 The generated android's motion compared to the performer's motion.

person. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Man-Machine Symbiotic Systems*, pp. 373–383, 2004.

- [2] T. Yoshikai, I. Mizuuchi, D. Sato, S. Yoshida, M. Inaba, and H. Inoue. Behavior system design and implementation in spined muscle-tendon humanoid "Kenta". *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 15, No. 2, pp. 143–152, 2003.
- [3] M. Riley, A. Ude, and C. G. Atkeson. Methods for motion generation and interaction with a humanoid robot: Case studies of dancing and catching. In *Proceedings of AAAI and CMU Workshop on Interactive Robotics and Entertainment*, 2000.
- [4] S. Nakaoka, A. Nakazawa, K. Yokoi, H. Hirukawa, and K. Ikeuchi. Generating whole body motions for a biped humanoid robot from captured human dances. In *Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2003.
- [5] M. Kawato, K. Furukawa, and R. Suzuki. A hierarchical neural network model for control and learning of voluntary movement. In *Biological Cybernetics*, Vol. 57, pp. 169–185, 1987.
- [6] E. Oyama, N. Y. Chong, A. Agah, T. Maeda, S. Tachi, and K. F. MacDorman. Learning a coordinate transformation for a human visual feedback controller based on disturbance noise and the feedback error signal. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2001.