

人の動作模倣手法の検討

～インタラクションに基づく親和性向上に関する研究～

小川 行宏 田中 泰斗 山本 和彦* 張 勤 稲葉 昭夫

Study on Motion Emulation Technique for Humanoid Robot - Improving Human Friendly Interface based on Interaction with Robot -

Yukihiro OGAWA Taito TANAKA Kazuhiko YAMAMOTO* Qin ZHANG Akio INABA

あらまし 本研究では、ロボットが人の動きを模倣することにより、動作を獲得する手法について検討する。主にロボットに搭載したカメラから入力された画像を用いて人の動作を検出する手法について述べる。また、動作シミュレータを用いて、ロボットの動作を確認する。動作の検討の結果、ほぼ実時間で動作し、人の動作に近い動作の模倣が可能であることがわかった。

キーワード ヒューマノイドロボット、動作の模倣

1. はじめに

これまでのロボットは主として産業用ロボットに見られるように、人の代わりに重労働や過酷な環境での作業に用いられ、生産の高度化、効率化、省力化のために活用されてきた。しかし、今後は、ロボットがさまざまな形で人間社会に関わり、人の日常生活を支援することが想定されており、特に家庭内で使用するロボットが注目されている。

現在、人の日常生活を支援するロボットの研究は幅広く、多方面で行われている^[1,2,3]。人の作業を直接的に支援するものとして、荷物を運ぶ軽搬送作業をするものや家電操作するものなどがある。また、間接的に支援するものとして、人とコミュニケーションをするペットロボットや、ロボットの表情や身振りを交えてコミュニケーションを行うロボット、もの真似を行うロボットなどの開発例がある。さらに、留守番ロボットなど人のいないところで代理作業するものも存在する。このようなロボットは人間と接しながら活動するため、人間がロボットに対して親しみをもつことや、人間とロボットが円滑にコミュニケーションを行うことが重要であり、これらの要素技術の開発が望まれている。

一方、人間が親しみを持つロボットとして、人型ロボット（ヒューマノイドロボット）が注目されており、特に日本においては、人と同じ型を持つロボットに対して、親近感や好意持つ人が多い。

しかしながら、ヒューマノイドロボットは、非常に多くの関節から構成されており、無数に存在する動作の中から自然な動きを抽出し、ロボットに再現させるためには多大な労力を要する。

そこで、ロボットに人の動きを模倣させることに着目する。すなわち、ロボットが人の模倣から動作を獲得することにより、複雑な動作設定を行うことなく自然な動作を実現することが可能になると考えられ、ロボットが人と同じように身振りを交えて動作することで、円滑なコミュニケーションが実現できるものとする。また、ロボットが、人とのかかわりの中で、自然に動作を獲得することにより、さらに親近感を得られるのではないかと考える。

本研究では、ロボットが人の動きを模倣することにより、動作を獲得する手法について検討する。主にロボットに搭載したカメラから入力された画像を用いて人の動作を検出する手法について検討するとともに、動作シミュレータを用いて、ロボットの動作を確認する。なお、ロボットのプラットフォームとしては、ヒューマノイドロボット「ながら-3」（図1）を想定している。



図1 ヒューマノイドロボット「ながら-3」

* 岐阜大学 工学部 応用情報学科

2. 動作の模倣

2.1 動作の模倣について

本研究では、ロボットがあらかじめ設定された動きだけを行うのではなく、人とかかわりの中で、自然に動作を獲得することを目的とする。

そのため、完全な動作の再現を目的とするのではなく、ある程度人の動作に近い動作をすることを対象とする。また、人とかかわりの中で動作を獲得するために、人にできる限り負荷の少ない手法を検討する。

2.2 ロボットの動作

人間は非常に多くの関節を持ち、その関節は柔軟であるため、ヒューマノイドロボットの持つ自由度で人間の動作を完全に模倣することは不可能である。従って、ロボットの限られた自由度のなかで、人の動作に近い動作を再現することとなる。

使用するアームは手先を除いて5自由度であり、手先の位置・姿勢を制御するためには自由度が不足するため、入力としては手先目標位置のみを扱うこととする。目標となる手先位置と順運動学モデルにより得られる手先の位置を比較し、それぞれの誤差をフィードバックする。そして、それらを逆ヤコビ行列により各関節軸の駆動速度に変換し、これらの値を積分して各関節軸の角度を得ている。また、ここで得られた角度は順運動学モデルへの次入力となっている。このループは誤差が決められた閾値を下回るまたは角度の計算回数が既定回数を超えるまで繰り返される。

この手法を用いることにより、手先の位置を実現する各関節の角度を求めることができる。

2.3 人の動作の検出及びロボットへの動作適用

人の動作を検出する手法として、人体の各部にセンサを装着する手法^[4]や、マーカーを装着する方法^[5]があるが、動作を取り込むたびに体中にセンサやマーカーを取り付けなければならないため、人に対する負担が大きい。

これに対して、画像を用いて動作を取り込む手法は、カメラの前で動くだけで動作を取り込むことができるため、人に対する負担が少なく、ロボットと人のかかわりの中で動作を獲得することが可能となる。画像を用いて動作を取り込む方法としては、複数台のカメラを用いる手法^[6,7,8]や、1台のカメラのみを用いる手法^[9,10,11]などが報告されている。

本研究では、ロボットの目の位置に搭載した二つのカメラから得られる画像を用いて動作の検出を行う。画像から、両手先・顔の三次元位置を検出することにより、ロボットへの動作指令値を生成する。また、人とロボットの大きさが異なるため、検出した人の動作を、ロボットの動作に適用するためには、サイズの正規化等が必要となる。本研究では、両手先・顔の相対位置関係から、ロボットのサイズへ規格化することとする。

3. 動作検出手法

3.1 概要

ロボットの目の位置に搭載した二つのカメラの画像から人の動作を検出するために、四方向面特徴^[12]を用いたテンプレートマッチング^[13]及びステレオ視による位置計測を利用する。この他にも、顔領域の検出に色情報を用いる手法があるが、照明条件・背景・顔以外の部分等の環境変化等に影響を受けやすいため、本研究ではテンプレートマッチングを使用する。

動作検出のフローチャートを図2に示す。動作の検出を行う前処理として、カメラキャリブレーションと顔・手先検出用のテンプレート作成を行う。入力された画像から、四方向面特徴テンプレートマッチングにより顔・両手先の検出を行う。マッチングに四方向面特徴を用いることにより、位置のわずかなずれが特徴量に及ぼす影響が少なくなり、ロバストに検出可能である。画像上での顔・両手先の位置が検出できれば、視差による距離計測を行い、顔と手先の相対位置関係を計算する。ロボットのサイズへ正規化することによりロボットへの動作指示が可能となる。各項目については、次節以降で詳細を述べる。

3.2 前処理(キャリブレーション)

二つのカメラからの画像を使用したステレオ視による位置計測を行うために、カメラキャリブレーションを行う必要がある。キャリブレーションボードを用いて、カメラの内部パラメータと外部パラメータを求める。

3.3 前処理(テンプレートの作成)

顔・手先検出用のテンプレートを作成する。テンプレートの作成にはあらかじめ撮影した画像を用いる。入力画像ごとに、顔・両手先の位置を指定し、そこから四方向面特徴を抽出する。各画像から抽出した四方向面特徴

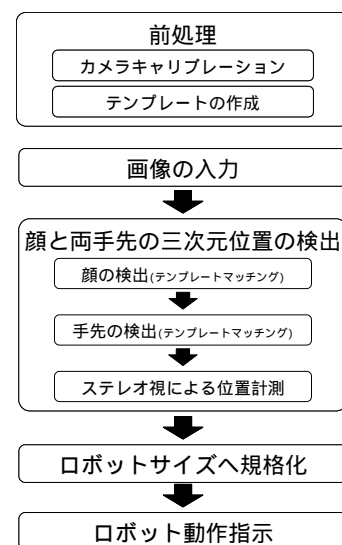


図2 動作検出のフローチャート

を蓄積し、平均化したものをテンプレートとして使用する。平均化することにより、よりロバストな検出が可能となる。

テンプレートは、顔テンプレートと手先テンプレートの2つを作成すればよい。しかしながら、予備実験において、手の形状が異なる場合に精度が落ちることがわかった。そのため、本手法では、複数の手の形状について別々にテンプレートを持つことにより検出精度を向上させる。ただし、多くのテンプレートを使用すると、マッチング回数が増加し、処理速度が低下するため、右手・左手の手を閉じた状態と開いた状態の4つのテンプレートを準備することとした。

3.4 顔の検出

図3に顔の検出のフローチャートを示す。

まず、左カメラ画像から垂直・水平・右上がり・右下がりの4方向のエッジ特徴画像を抽出する。抽出した特徴にガウシアンフィルタを使用してぼかし処理を行った後、特徴画像のサイズを変更する。各サイズの特徴画像に対して、テンプレートマッチングを行い、最も相関値の高いところを、左カメラ画像における顔の検出位置とする。

次に右カメラ画像から、顔の位置を検出する。各サイズの画像に対してテンプレートマッチングを行うのではなく、左カメラ画像において顔を検出したサイズに変更する。次に、左カメラ画像において、顔を検出した位置の特徴画像をテンプレートとして使用して、テンプレートマッチングを行う。また、マッチング範囲を左カメラ画像の位置から計算して、範囲を限定してマッチングを行う。右カメラ画像において複数のサイズの画像に対してマッチングを行わないことや、マッチング範囲を限定することで、処理の高速化を図っている。

3.5 手先の検出

右手・左手先の検出は、顔の検出とほぼ同じ手順で行う。ただし、3.3節で述べたとおり、手先の検出には4種類のテンプレート(片手で2種類)を使用する。そこで、両方のテンプレートを使用してマッチングした後、相関値の高い方を検出位置とした。また、顔の位置検出結果を利用して、右手先は段階的なテンプレートマッチング手法を用いたことにより、カメラと人の距離が変更しても、検出可能であることが判る。また、手先のテンプレートの種類を複数持つことにより、手の形状が変化した場合にも対応できていることが判る。顔の位置よりも右、



図4 顔・手先の検出結果

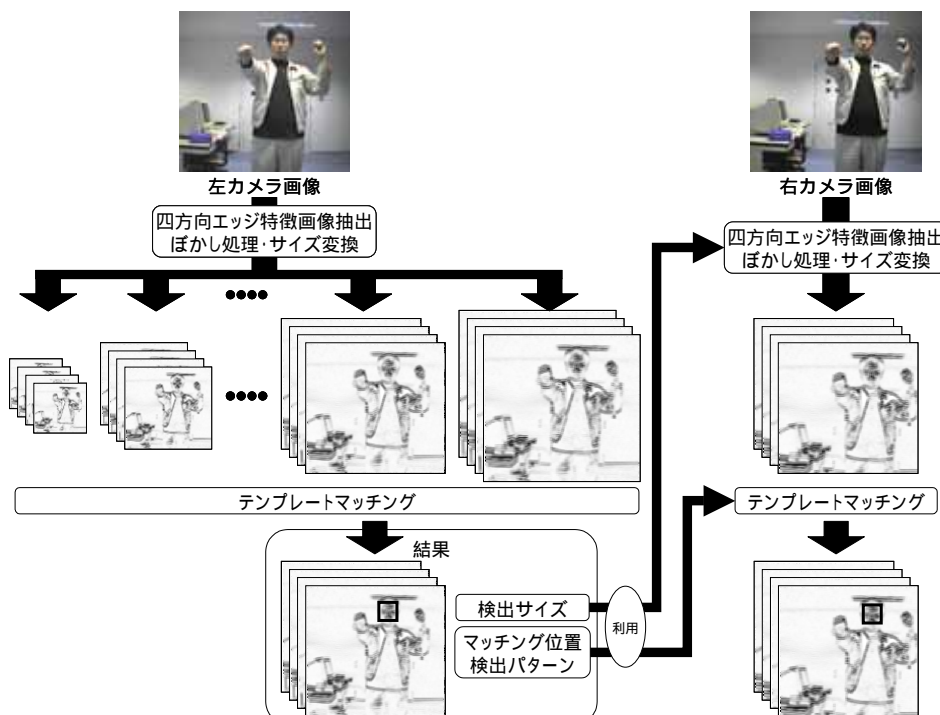


図3 テンプレートマッチングのフローチャート

左手先は顔の位置よりも左と手先の検索範囲を絞り込むことにより高速化を図っている。

図4に顔と両手先の検出結果の一例を示す。白い矩形で囲んだところが顔、黒い矩形が手先の検出位置である。

3.6 ステレオ視による位置計測

顔・手先の画像上での位置を検出できれば、前処理において求めたカメラパラメータを用いることで、カメラ座標系からの距離を計算できる。

3.7 サイズの規格化

検出した顔・手先の位置関係は、人の大きさであり、そのままの情報ではロボットの動作指令値とすることはできない。本研究では、システムの簡略化のために、ロボットが直立し、人と向かい合っているものと仮定する。また、首のピッチ軸(仰角)のみを使用して人の検出を行うものとする。

人の腕の長さ、肩幅、肩の高さから顔の中心までの距離と、ロボットのリンクパラメータを使用することにより、人の検出サイズとロボットのサイズの規格化を行う。

4. ながら-3動作シミュレータ

本研究では、「ながら-3」の動作シミュレータを作成し、この動作シミュレータを用いて、システムの検証を行う。

図5にシミュレータの画面を示す。動作シミュレータは、手先の位置や、視点位置などの入力に対して、逆運動学の解を求め、得られた解を元にロボットの上半身の動きを動画として表現するものである。また、「ながら-3」に搭載されている画像処理ユニットと接続することで、画像処理した結果に基づいて、動作することが可能である。本研究では、その中の、手先の位置を指示する機能と画像処理ユニットとの通信機能を使用して、動作模倣システムの検証を行う。なお、シミュレータでは、「ながら-3」実機の関節可動範囲およびリンク長を使用している。また、手先位置制御においては、目標位置が常にアームの可到達領域内に収まるよう前処理を行って

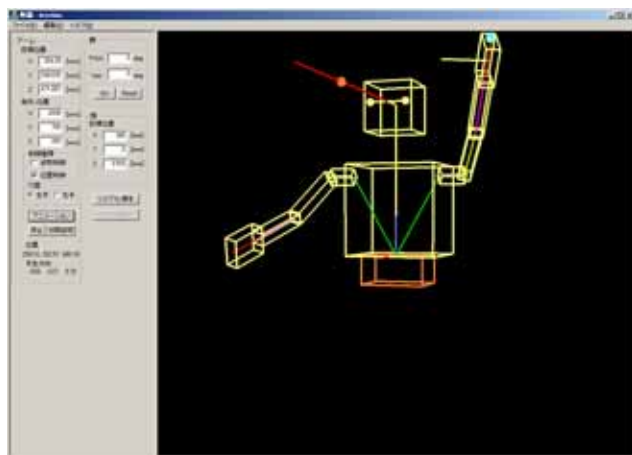


図5 動作シミュレータの画面

いる。さらに、逆運動学の解を求める際は、アームの冗長性を利用し各関節角度ができる限り可動範囲内に収まるように計算処理を行っている。

5. 実験

5.1 実験手法

本研究で提案した動作検出手法及びロボット動作手法について実験を行う。動作検出手法を「ながら-3」に搭載されている画像処理ユニット(NVP-935N)に実装した。また、画像処理ユニットと動作シミュレータを接続し、動作検出の結果を用いてシミュレータが動作させて実験を行った。

5.2 動作検出速度

動作検出は、人の動作速度に追従する必要がある。そのため本研究で提案した動作検出手法について処理速度を測定した。結果を表1に示す。動作の検出は約10fps(fps:フレーム/秒)であり、ある程度の動きには追従可能である。

表1 処理速度結果

	速度
未検出時	約15(fps)
顔のみ検出時	約11(fps)
手先の検出時	約10(fps)

5.3 シミュレータによる実験

動作シミュレータを使用して、実験を行った。実験結果の一例を図6に示す。左から順に、動作検出結果(左カメラ画像, 右カメラ画像)、シミュレータの結果と並んでいる。シミュレータの動作結果は正面から見た場合と、左前方から見た場合の2種類表示した。動作の検出を正確に行うことができた場合は、ロボットの動作は人の動作に近い形になっていることが確認できた。

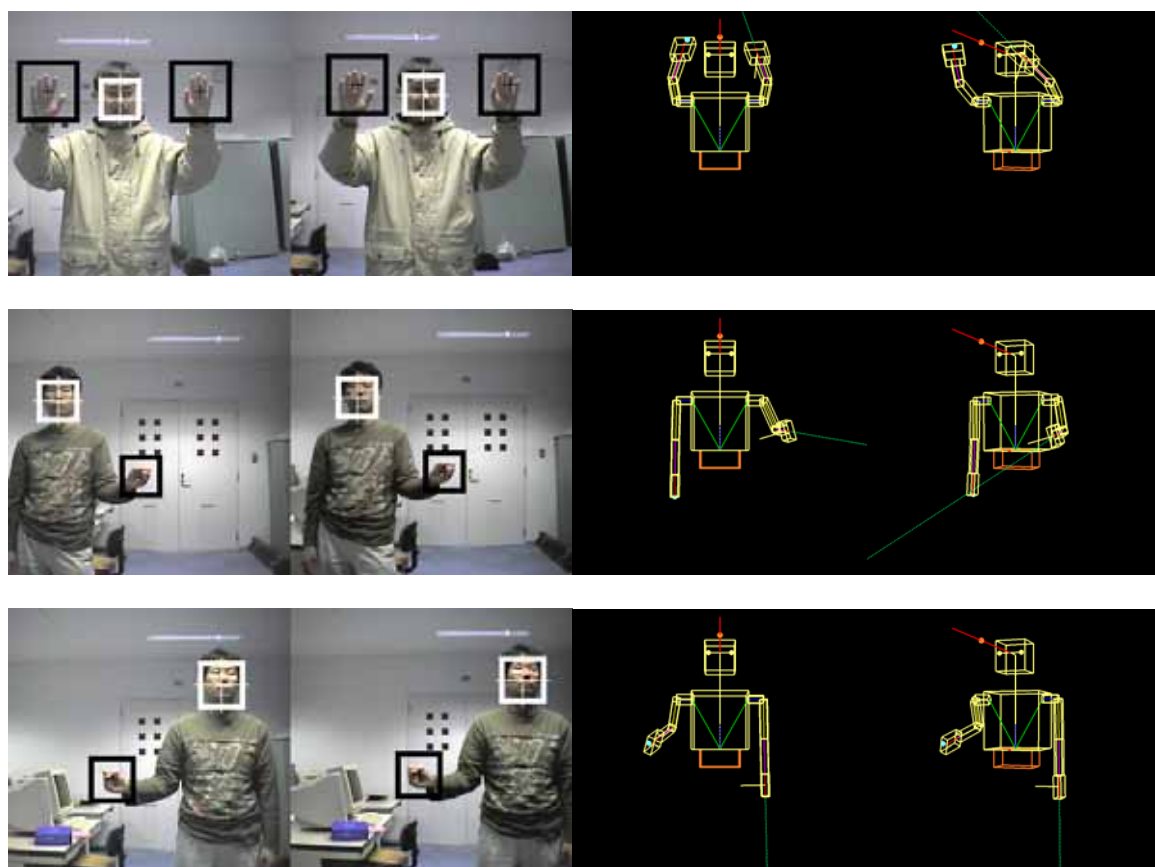
ただし、顔の検出精度に比べて手先の位置の検出精度が低く、不自然な動きをする場合が見受けられた。これは、手の形状変化が大きいことや、顔に比べて手のテクスチャ情報が少ないためであると推測される。ロボットに実装するためには、手先検出精度の向上を図る必要がある。また、アームと胴体、頭などの干渉対策を講じる必要もある。

6. まとめ

本研究では、ロボットが人の動きを模倣することにより動作を獲得するため、ロボットに搭載したカメラから入力された画像を用いて人の動作を検出する手法を提案した。また、動作シミュレータを用いて、ロボットの動作検討を行った。ロボットの動作は、ほぼ実時間で動作し、人の動作に近い動作の模倣が可能であることがわかった。

文 献

- [1] 神田,石黒,小野,今井,前田,中津,“研究用プラットフォームとしての日常活動型ロボット”Robovie”の開発”,電子情報通信学会論文誌,Vol.J85-D-,No.4, pp.380-389,2002
- [2] 藤田,“パーソナルロボットR100”,日本ロボット学会誌,Vol.18,No.2, pp.40-41,2000
- [3] 藤田,“Robot Entertainment System AIBOの開発”,情報処理,Vol.41, No.2, pp.146-150, 2002
- [4] 吉村,酒井,甲斐,吉村,“日本舞踊の「振り」部分抽出とその特性の定量化の試み”,信学論,Vol.J84-D No.12, pp.2644-2653, 2001.
- [5] Motion Analysis, Eva 5.20 Reference Manual, 1999.
- [6] S.Drouin, R.Poulin, P.Hebert, and M.Parizeau, “Monitoring Human Activities: Flexible Calibration of a Wide Area System of Synchronized Cameras”, Proc. of 16th ICVI, pp.49-56, 2003.
- [7] 森,内海,大谷,谷内田,“非同期多視点画像による人物追跡システムの構築”,信学論,Vol.J84-D-No.1, pp.102-110, 2001.
- [8] S.Drouin, R.Poulin, P.Hebert, and M.Parizeau, “Monitoring Human Activities: Flexible Calibration of a Wide Area System of Synchronized Cameras”, Proc. of 16th ICVI, pp.49-56, 2003.
- [9] J.Vignola, J.F.Lalonde, and R.Bergevin, “Progressive Human Skeleton Fitting”, Proc. of 16th ICVI, pp.35-42, 2003.
- [10] C.J.Park, S.E.Kim, R.H.Lee, and I.H.Lee, “Real-Time Marker-free Motion Capture System Using Blob Feature Analysis and Inverse Kinematics”, Proc. of FCV 2003, pp.167-173, 2003.
- [11] S.M. Baek, K.J. Park, C.J. Park, and I.H. Lee, “A Single Camera-based On-Line Avatar Control System”, Proc. of VSMM 2003, pp.310-317, 2002.
- [12] K. Yamamoto, “Present State of Recognition Method on Consideration of Neighbor Points and Its Ability in Common Database”, *IECE Transactions*, Vol.E79-D, No.5, pp.417-422, 1996.
- [13] 本郷, 安本, 丹羽, 山本: “適応的判別空間生成による顔認識手法の提案”, 信学技報, PRMU2001-121, 2001.



左から順に, 画像処理結果(左カメラ画像, 右カメラ画像), シミュレータの結果(正面, 右前方)

図6 実験結果の一例

