

動力学シミュレータを用いた見まねロボット

Imitation Learning by Humanoid Robot using Dynamics Simulator

門屋 徹 伊藤 秀昭 福本 尚生 和久屋 寛 古川 達也
Toru Kadoya Hideaki Itoh Hisao Fukumoto Hiroshi Wakuya Tatsuya Furukawa

佐賀大学大学院工学系研究科
Graduate School of Science and Engineering, Saga University

Imitating human motion is an effective means for humanoid robots to acquire new behavior. However, since the kinematic and dynamic properties of a robot's body are usually quite different from those of the human's, the robot can easily fall down if it tries to do exactly the same motion as the humans do. In order not to fall down, the robot should modify the observed human motion trajectories. Although ZMP-based methods have been successfully used for this purpose in some specific applications, in this paper a more general method, which is based on a dynamics simulator and a dynamic programming, is studied. With this method, a small-sized humanoid robot is currently able to imitate human motion with respect to shoulder and waist movements.

1. はじめに

近年、ヒューマノイドロボットに関する研究が盛んに行われている。ヒューマノイドロボットは、人間と同じ姿勢をしていることで、他のロボットに比べて親しみを感じられることから、産業用ロボットや災害救助ロボットなどとは違い、人間と共に生活し、日常生活をサポートするパートナーとしての役割が期待される。

ヒューマノイドロボットに動作を教示する有効な方法として見まねによる教示がある。しかし、ロボットに教示者の動作をそのまま見まねさせると、身体構造の違いから、ロボットが転倒してしまう危険がある。

これまでの研究では、転倒しないロボットを製作するためにZMPを用いた制御方法が提案されている([中岡 06]など)。しかし、ZMPに基づく手法では、足底が地面から離れる動作を扱いづらいなどの制限がある。そこで今回、筆者らは、ZMPを用いずに動力学シミュレータと動的計画法を用いて転倒しない最適なモータ出力を決定するシステムを構築し、小型ヒューマノイドロボットで実際に見まね動作を行わせた。まだ足底が地面を離れるような動きは実現できていないが、腕と腰の関節について、見まねを行わせることができたので、以下に報告する。

2. 作製したシステム

2.1 概要

図1に本システムのフローチャートを示す。始めに、モーションキャプチャ装置を用いて教示者の各関節の3次元座標の時系列を取得する。研究では、モーションキャプチャ装置にMicrosoft社のKinectを利用した。簡単のため、教示時間は12秒間で固定とした。また、キャプチャは50[ms]間隔で行った。次に、モーションキャプチャで得られた関節の位置の3次元情報を利用し、見まね対象とする関節の角度を毎時刻計算する。その次に、得られた関節の角度を、転倒しない範囲で実現するよう、動力学シミュレーションと動的計画法によって

最適なモータ出力の時系列を決定する。この部分については2.2節以降で詳述する。最後に、決定された最適なモータ出力をヒューマノイドロボットのサーボモータに入力し、実際にロボットを動作させる。ロボットは、近藤科学社製のKHR-3HVを用いた。

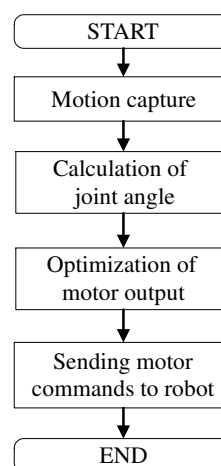


図1: フローチャート

2.2 動力学シミュレーション

動力学シミュレーションを行うために、本研究では、ODE (Open Dynamics Engine)[出村 08]を用いた。ODEはフリーの動力学シミュレーション用ライブラリであり、衝突法という動力学計算法を用いている。ODEを用いて、ある姿勢から、あるモータ出力をロボットに命令した時、50[ms]後にどのような姿勢になるのかシミュレートする。これを様々な姿勢、様々なモータ出力で繰り返し、それぞれ50[ms]後の姿勢を求めておき、動的計画法による最適モータ出力決定(次節)で利用する。今回使用したヒューマノイドロボットのモデルは、松下光次郎氏の製作したモデル[松下 09]を基に作成した。

2.3 動的計画法を用いた最適モータ出力の決定

最適なモータ出力を動的計画法を用いて決定するにあたって、関節の角度と角速度をいくつか離散化して状態空間を形成した。また、今回使用したサーボモータは、動かしたい角度

連絡先: 門屋徹, 佐賀大学大学院工学系研究科電気電子工学専攻, 〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町1番地, kadoya@ace.ec.saga-u.ac.jp

の目標値を直接指定できるようになっているため、ロボットの関節の目標角をいくつかに離散化して行動空間を形成した。具体的な値は次節で説明する。時間は12秒間を50[ms]ごとに離散化した。その上で、前節で説明した動力学シミュレーションの結果を用い、各状態で各行動をとった場合にそれぞれ次の状態がどうなるかを求め、状態遷移グラフを作成した。

次に、各状態の関節角および角速度と教示者の関節角および角速度とを比較し、どれだけ似ているかを評価した。状態の関節角と教示者の関節角との差、状態の関節角速度と教示者の関節角速度との差を、それぞれ二乗して足しあわせた値を状態の評価値とした。図2に評価値の例を示す。赤い矢印は、教示者の行動を表している。また、数字は評価値を表している。角速度の軸は省略している。評価値を与えた後、動的計画法[Bertsekas 00]を用いて遷移グラフ上で最も評価値の和が小さくなる経路を実現する行動系列を求めた。図3に、遷移グラフと、求められた最適な行動系列(赤矢印)を示す。左端の丸印は初期状態(ロボットが直立して気をつけをした姿勢)を表している。

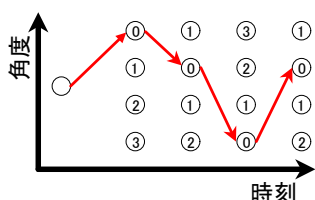


図2: 状態とその評価値

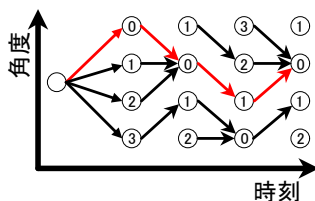


図3: 遷移グラフの例
赤矢印が最適行動系列

3. 実験

3.1 肩の見まね

肩の見まねは、教示者1度だけゆっくりと右手を大きく挙げゆっくりと戻す動作を行い、それをロボットが見まねした。見まねは一つの関節のみで行った。肩の見まねでは動的計画法を用いる際の状態として、関節角を0~180[°]まで9[°]刻みに、また関節角速度を-7.48~7.48[rad/s]まで0.748[rad/s]刻みに設定した。また、行動として目標角を0~180[°]まで9[°]刻みに設定した。図4からわかるように、モーションキャプチャで得られた教示者の関節の角度(赤実線)とロボットの関節の角度(青点線)がほぼ一致しており、動作を再現できている。

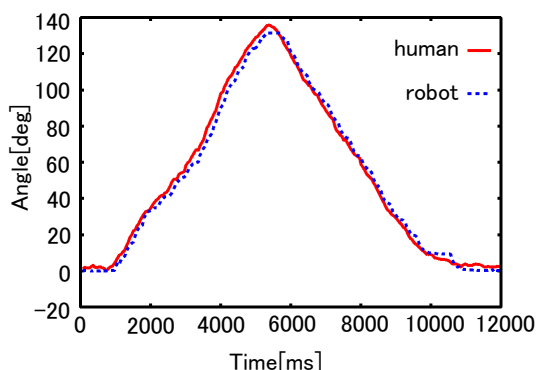


図4: 肩の見まね

3.2 腰の見まね

腰の見まねも一つの関節のみで行った。腰の見まねでは、動的計画法を用いる際の状態として、関節角を-30~60[°]まで2[°]刻みに設定した。計算量を抑えるため、角速度は無視した。また、転倒する可能性をコストとして状態の評価値に加えるために、腰を傾けた時、足底が地面から浮き上がる角度をシミュ

レーションによって推定し、地面に対する足底の角度に比例したペナルティを与えた。また、行動として目標角を-30~60[°]まで2[°]刻みに設定した。これによってロボットは、教示者と似た動きを行いつつ足底が地面から浮かないような動作を最適なモータ出力として決定する。腰の見まねでは、教示者はわざと、そのままロボットがまねて動作した場合転倒するような角度まで体を傾けた。これは、本システムが自動的に転倒しない動作に修正できるかを確認するためである。図5と図6は同時刻(図7で4500[ms]時点)での教示者とロボットの動きを撮影した画像であるが、両者を比較すると、教示者とロボットの関節の角度が大きく異なることがわかる。これは、ロボットが腰の関節だけを一定以上傾けると転倒してしまうため、本システムによって、転倒を避けるべく、腰関節の角度を教示者の角度よりも小さくなるよう修正した結果である。図7においてロボットの関節角(青点線)の動きが、教示者の関節角(赤実線)の動きよりも抑えられていることがわかる。

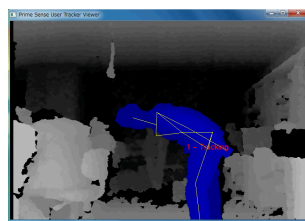


図5: 教示者の動作

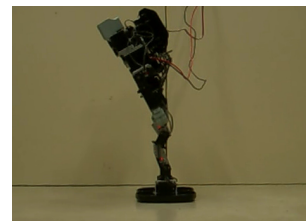


図6: ロボットの動作

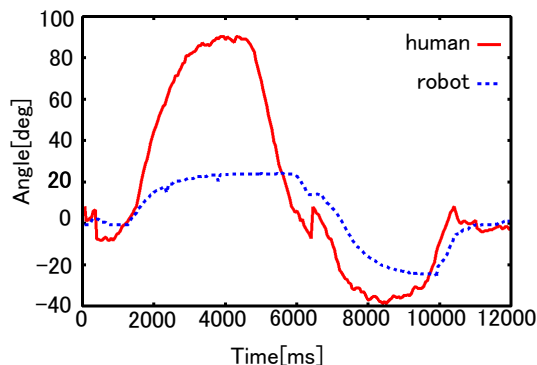


図7: 腰の見まね

4. おわりに

本研究では、ロボットの姿勢と手本となる教示者の姿勢との差異、加えて腰の見まねを行う場合には地面に対する足底の角度に応じた評価値を用い、動力学シミュレータと動的計画法を用いて最適なモータ出力の列を決定するシステムを構築した。また、小型ヒューマノイドロボットで肩と腰のそれぞれ一つの関節について転倒しない見まね動作を実現した。今後の課題として、歩行など複数の関節を同時に動かす複雑な動作を見まねする機能を追加することが挙げられる。

参考文献

[中岡 06] 中岡慎一郎, 中澤篤志, 金広文男, 金子健二, 森澤光晴, 比留川博久, 池内克史: 脚タスクモデルを用いた2足歩行ヒューマノイドロボットによる人の舞踊動作の再現, 日本ロボット学会誌. Vol. 24, No. 3, pp. 2394-2403, 2006
 [出村 08] 出村公成: 簡単!実践!ロボットシミュレーション, 森北出版, 東京, 2008
 [松下 09] 松下光次郎: <http://www.koj-m.sakura.ne.jp/ode/>
 [Bertsekas 00] Dimitri P. Bertsekas: Dynamic Programming and Optimal Control, Athena Scientific, Belmont, Mass, 2000