

ヒューマノイドロボットの動的起き上がり運動の理解と実現

Dynamic Stand up Motion of a Humanoid

大賀 淳一郎 (阪大) 正 荻野 正樹 (阪大)
正 細田 耕 (阪大, 阪大 FRC) 正 浅田 稔 (阪大, 阪大 FRC)

Jun'ichiro OOGA, Osaka University, 2-1, Yamadaoka, Suita, Osaka
Masaki OGINO, Osaka University
Koh HOSODA, Osaka University, HANDAI Frontier Research Center
Minoru ASADA, Osaka University, HANDAI Frontier Research Center

In this paper, dynamic stand-up motion is realized by a humanoid robot. To avoid hard impact with the ground, and to overcome the limits of the joints, a round back is attached to the robot. Parameters of the back is determined by simulations since the motion analysis is quite difficult because of the nonlinearity, friction, and position control. An experimental result is shown that a real humanoid robot HOAP-1 equipped with the designed back can stand up dynamically.

Key Words: humanoid robot, stand up motion

1 はじめに

ヒューマノイドロボットは人間の生活環境においてさまざまな活動を行う存在としての期待が高まっている。人間の代わりとして、または人間と共同して仕事を行うためには安定した2足歩行をすることが求められ、これまでの研究では、倒れずに歩き続けることが注目されてきた。しかし不確実性の高い実世界においては、倒れないことよりも、倒れても起き上がることができることに注目すべきであると考えられる。

起き上がり行動を実現するために、静的につりあいをとりながら起き上がることも考えられる¹⁾が、動特性を生かして起き上がることができれば、より少ない自由度あるいはモータ出力で、起き上がり行動ができると期待される。動的な起き上がりに関しては、階層型強化学習による3リンク2関節ロボットの起立行動の獲得²⁾や、脚の振り降ろしを利用した4リンク3関節の一脚ロボットによる起き上がり運動³⁾などが報告されている。これらの方法は、平坦な背中での起き上がりを考えており、起き上がりの際に生じる衝突によるエネルギー損失が大きくなることが予想される。

本報告では、人間型ロボットの動的起き上がりを、ロボットの後ろに丸い背中を実装することによって実現する。丸い背中を装備することによって着地時の衝撃を減らすことができるため、より少ないエネルギーで起き上がることができると考えられる。背中の形状をシミュレーションによって検討し、実際のロボットに実装して、起き上がりを実現できることを実験的に確認した。

2 動的起き上がり

2.1 平坦な背中での起き上がり

起き上がり運動には多くの種類が存在するが、本研究では脚を振り下ろすときのモーメントを利用する動的な起き上がり運動の実現を目指す。運動の過程を

状態 A 脚を伸ばした状態で上方に持ち上げる。

状態 B 足裏が床面に接するまで、膝を曲げた状態で素早く脚を振り下ろす。

状態 C 重心が足裏にうまく乗ると、直立姿勢がとれるように膝を伸ばし起立する。

とする。平坦な背中を持つロボットの場合の、それぞれの状態を Fig. 1 に示す。状態 A から状態 B へと遷移する間に、ロボットの脚とロボットの胴体に運動エネルギーを蓄え、これを位置エネルギーに変換することによって、起き上がりが実現される。

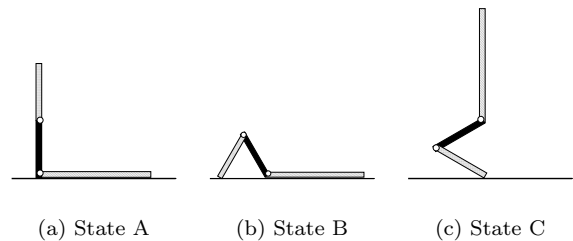


Fig.1 Key Postures in Stand-up Motion

状態 B での位置エネルギーを $U(B)$ 、運動エネルギーを $K(B)$ とし、状態 B 直後に起こる床面と足裏との衝突によって失われるエネルギーを E_{imp} 、状態 C での位置エネルギーを $U(C)$ とすると、動的起き上がりができる条件は、

$$U(C) < U(B) + K(B) - E_{imp} \quad (1)$$

である。図からもわかるように、背中が平坦な場合には、足先が床面と衝突することによってエネルギーを失わないためには、足先が腰の関節と一致する必要があるが、現実のロボットの場合にこのような条件を満たすことは難しい。

2.2 丸い背中での起き上がり

これに対して、ロボットの後方に丸い背中を装着することによって、床面との衝撃をおさえることができれば、より少ないエネルギーによって起き上がりを実現できると期待される (Fig. 2)。

背中を設計する際には、脚を曲げた状態で足先ができるだけ背中と一続きになるよう、またその場合に脚の可動範囲を考慮に入れるように注意する。

本報告では Fig. 3 のように、円弧状の背中をロボットの後方に取り付けることとし、ロボットの重心に対する

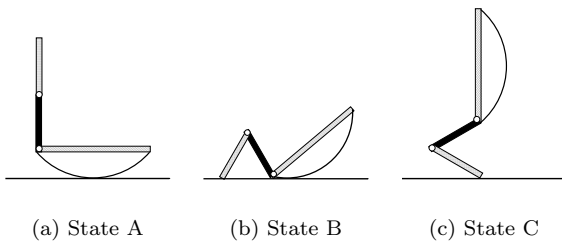


Fig.2 Key Postures in Stand-up Motion by Attaching a Round Back

円弧の中心の位置 H と円弧の半径 R を、シミュレーションによって検討した。

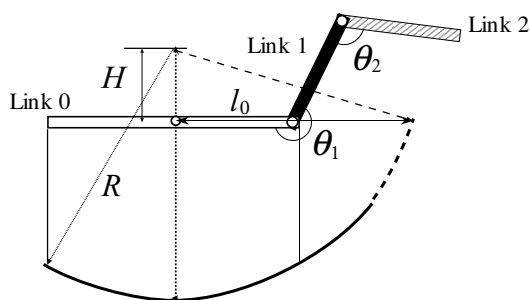


Fig.3 Robot Model with Auxiliary Part

また、脚を曲げた状態で足先ができるだけ背中と一続きになる、すなわち円周上に足先が来るように設定した。

$$R^2 = H^2 + l_0^2. \quad (2)$$

3 実ヒューマノイド HOAP での実装と実験

3.1 シミュレーションによるパラメータの検討

実験においては、富士通で開発された HOAP-1 を用いる。高さがおよそ 0.48[m]、重量はおよそ 6.0[kg] であり、片脚 6 自由度、片腕 4 自由度を備えている。装備されている腕はトルク不足で、腕を用いた静的な起き上がりを実現することができない。また、各関節はそれぞれローカルに位置制御されており、望みの速度エネルギーを与えるためのトルクを計算できたとしても、それを実現するのは難しい。そこで、各関節はあらかじめ設計された軌道に追従させるとし、ロボット後方に取り付ける背中中のパラメータ H 、 R を、ダイナミックシミュレーションプログラムによって求めた。

その結果、シミュレーションにおいては $R = 0.2$ 、 $H = 0.0$ の背中によって起き上がりを実現できた。

3.2 背中の実装と起き上がり

シミュレーションによって得られたデータを基に、丸い背中を設計し、ロボットに実装した。(Fig. 4) に実装した様子を示す。

HOAP-1 の各関節に設計された軌道を追従させると、起き上がり運動を実現することができた。この様子を 5 に示す。

参考文献

[1] 金広文男, 稲葉雅幸, 井上博充. 倒れても起き上がることのできる人間型ロボット. 第 13 回日本ロボット学会学術講演会, Vol. 1, No. 1, pp. 195-196, 1995.

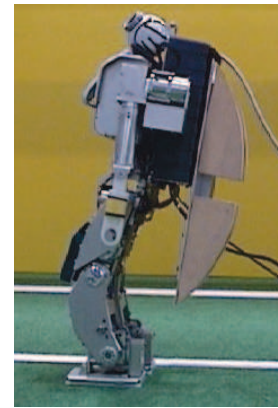


Fig.4 HOAP-1 with Auxiliary Part

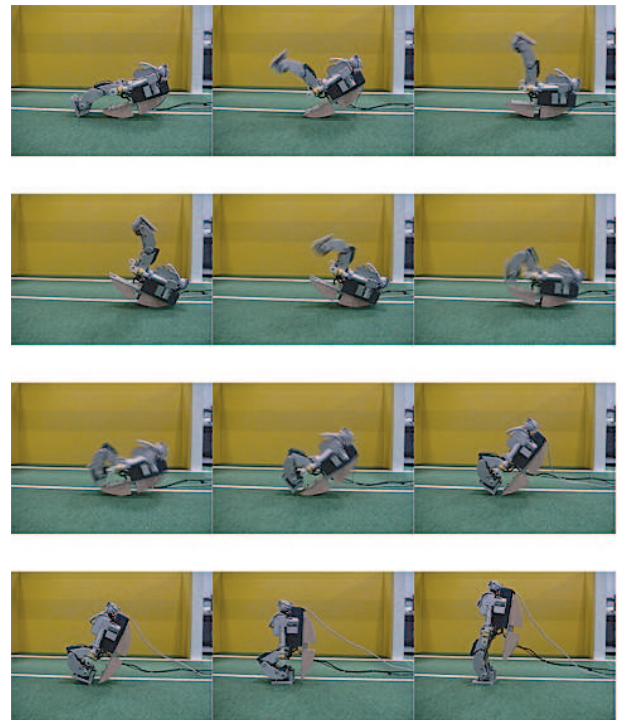


Fig.5 Stand up Motion

[2] 森本淳, 銅谷賢治. 階層型強化学習を用いた 3 リンク 2 関節ロボットによる起立運動の獲得. 日本ロボット学会誌, Vol. 19, No. 5, pp. 574-579, 2001.

[3] 伊藤聡, 阪圭央, 川崎晴久. 脚の振り降ろしを利用した起き上がり運動について. 第 20 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. CD-ROM 1134, 2002.