

空気圧アクチュエータを用いた二足歩行ロボットの歩行安定化制御

田熊 隆史 (大阪大学) 細田 耕 浅田 稔 (大阪大学、阪大 FRC)

Stabilization of the biped walker with pneumatic muscle actuator

*Takashi TAKUMA(Osaka Univ.), Koh HOSODA, Minoru ASADA(Osaka Univ., Handai FRC)

Abstract— A McKibben artificial muscle, a kind of pneumatic actuators, is expected to be used as an actuator of the humanoid for more dynamic motion because of its efficiency such as its springy nature and light weight. However, a control of the actuator is difficult because the actuator has complex nonlinearity. In this paper, we build biped walker with the actuators, and we propose a control law to walk more stably. We then have an experiment to evaluate proposed control by real biped walker we build.

Key Words: Pneumatic actuator, Biped walker, Stabilization of walking

1. はじめに

近年発表されている二足歩行ロボットの多くは電気モータをアクチュエータとして用いている。電気モータはヒステリシスが小さく非線形性が小さいため、単純な制御則でトルク制御や位置制御が可能となる。しかしその出力は体積に対して比較的小さく、二足歩行ロボットを走行させる程度のトルクを生じさせることは難しい。また走行などのような場合ではトルクの不足を補うために減速機を付加するのが一般的であるが、減速機の摩擦によって関節の受動性を実現するのが難しく、着地時の衝撃が吸収できない等の問題がある。

電気モータの代替アクチュエータの一つとして、マッキベン型の空気圧アクチュエータが研究されてきた。これは構造上の問題より非線形性やヒステリシスが大きく、制御が困難であることがよく知られている。しかし拮抗に配置したアクチュエータによって関節を駆動するため、関節にコンプライアンスを実現することが容易である。また近年、二足ロボットの効率的な歩行には受動状態を利用することが重要であるといわれており、その意味でマッキベン型アクチュエータは注目を集めている。

マッキベン型アクチュエータを二足歩行ロボットに利用するには、その非線形性やヒステリシスの影響を受けにくくすることが重要である。Wisseらは受動二足歩行機械の特性を利用し、足先センサの情報から一定時間後に空気の吸排気を行うフィードフォワードのみでアクチュエータを駆動することによって、平坦な地面上での歩行を実現している [1]。この方法では、ロボットの持つダイナミクスの特性がもたらす安定性が二足歩行の安定性に寄与している。

本研究では、足先センサの情報を用いて吸排気のタイミングを制御することにより、このような安定性を拡張する制御則を提案する。このような制御則を適用することにより、フィードフォワードのみの歩行では歩けなかった路面変化に対応できること実験的に検証した。

2. 空気圧アクチュエータを持つ二足歩行ロボット

2.1 ロボットの構造

本研究ではマッキベン型アクチュエータを搭載した二足歩行ロボットを試作した。ロボットの構成を図 1 に示す。ロボットは両膝、腰部の三自由度で、各関節にマッキベン型アクチュエータを拮抗に配置して回転駆動を実現している。またロボットは自立歩行を目指しており、上部に (a) マイクロコンピュータと電源となる電池、(b) 空気の供給源となる空気ボンベと (c) 電磁弁を装備している。また以下に示す歩容の生成のために (d) 足裏に ON/OFF スイッチを搭載している。ロボットは全長約 75[cm]、幅約 35[cm]、重さ約 5[kg] である。

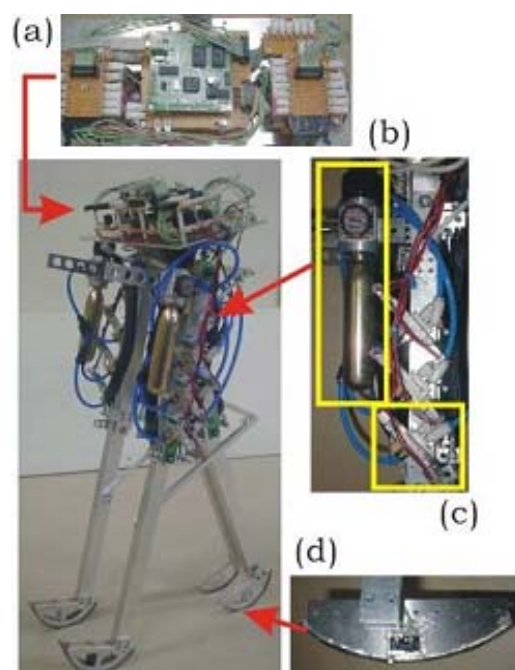


Fig.1 Self-contained biped walker. It has (a) a micro computer H8, (b) two CO₂ bottles as air supply, (c) on/off valves, and (d) a switch attached on the foot sole

2.2 弁の開閉時間制御

マッキベン型アクチュエータを装備したロボットは、アクチュエータの持つ非線形性等により位置制御による歩容生成は大変難しい。そこで本研究では弁の開閉時間を操作することによって歩容を生成し、歩行の実現を目指す。歩容の生成方法については次のように行う(図2参照)。

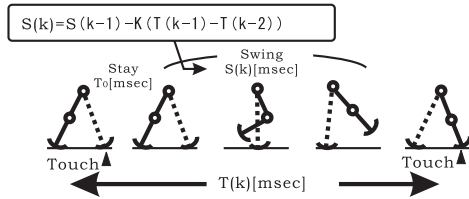


Fig.2 Walking pattern and controller

- (i) 遊脚の着地を図1(d)に示す足裏のスイッチで検出した後、 T_0 [msec]の間弁を操作しない
- (ii) T_0 [msec] 経過後、遊脚が前方に振り出せるように弁を $S(k)$ [msec] の間開く。また同時に膝を曲げ、再び伸ばす。
- (iii) 脚を $S(k)$ [msec] の間降り出した後、遊脚が地面に着地するまで同じ姿勢を保つ。このとき弁はすべて閉じている。

ここで k 歩目において遊脚が着地してからもう一方の遊脚が着地するまでの時間を $T(k)$ [msec] とする。また実験的に $T_0 = 16$ [msec] が適当であることが分かった。

路面の変化や外乱に対して安定した歩行を実現するには、歩行において制御を行う必要がある。しかし前述の通り本研究で用いるアクチュエータを制御することは難しい。そこで我々は次の式のように、 $k-1$ 歩目の歩行周期の変化 $T(k-1) - T(k-2)$ に対して遊脚を振る時間 $S(k)$ を変化させる制御則を提案する(図2参照)。

$$S(k) = S(k-1) - K(T(k-1) - T(k-2)) \quad (1)$$

ここで K は定数である。これにより路面の変化や外乱によって歩行周期が変化しても周期の変動に応じて脚の振りだし時間が変わり、安定して歩行が可能になると考えられる。

3. 実験

本研究で試作したロボットはアクチュエータの持つ非線形性等などモデル化することが難しく、提案した制御法の有効性について解析的に証明することは大変難しい。そこで本稿では図3に示すような段差を乗り越えるタスクを考え、その成功の可否で提案した制御則を評価する。

実験の結果、制御を行った場合は100試行中82回成功したのに対して制御を行わない場合は100試行中11回しか成功しなかった。図4に制御を行った場合の段差乗り越えの連続写真を示す。図のように段差を乗り越えると周期が変化するが、遊脚振り出しの時間を調節することによって再び平地歩行を実現している。一方で制御を行わないと周期を元に戻すことができず、最後は転倒する。

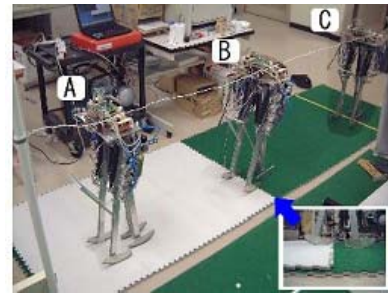


Fig.3 Step down task : the robot starts to walk at (A), steps down at (B), and task is in succeed when the robot reaches a point (C).



Fig.4 The result of walking with the control when the robot walks over the 4[mm] difference in level

4. おわりに

本稿ではマッキベン型アクチュエータを搭載したロボットを製作し、ロボットが路面の変化や外乱等に対して安定して歩行を行えるための制御則について提案した。また実機を用いた実験によってその有効性を確認した。

マッキベン型アクチュエータを装備したロボットはアクチュエータの軽さやバネ特性から走行やジャンプといった電動モータを搭載したロボットでは実現の難しい動作を容易に実現できることが期待されている。しかしアクチュエータの持つ複雑な非線形性等からアクチュエータそのものを制御することが難しい。そこで本研究ではアクチュエータを駆動する空気弁の開閉時間を操作することにより歩容を生成、歩行を実現させた。

本稿では更に、遊脚の振り出し時間を歩行周期の変化にあわせて変えることにより、安定した歩行の実現を目指した。実機を用いた段差乗り越えの実験では制御することによって段差を乗り越えられることが確認された。本研究で開発したロボットは複雑な動特性を持っているために提案した制御器を解析的に評価することが難しい。そこで本稿では段差乗り越え実験によりその有効性を示したが、今後は制御器によるロボットの挙動を観測することによって提案手法が有効であることを確認する。

参考文献

- [1] M. Wisse and J. van Frankenhuyzen, *Design and Construction of MIKE; 2D autonomous biped based on passive dynamic walking*, 2nd International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines, WeP-I-1, October, 2002