

ダイナミクスを用いた二足歩行による歩速可変制御

山崎文敬^{†‡} 遠藤謙^{†*} 北野宏明^{†§} 浅田稔[‡]

[†] 科学技術振興事業団 ERATO 北野共生システムプロジェクト,

[‡] 大阪大学大学院, ^{*} 慶應義塾大学大学院, [§] ソニーコンピュータサイエンス研究所

A Viable Control Method of Walking Speed for Biped Walking Using Dynamics

Fuminori YAMASAKI^{†‡}, Ken ENDO^{†}, Hiroaki KITANO^{†§} and Minoru ASADA[‡]

[†]Kitano Symbiotic Systems Project, ERATO, JST,

[‡]Osaka University, ^{*}Keio University, [§]Sony CSL

Abstract— We have studied the simple control method for biped walking using its dynamics. Conventional control methods for biped walking are generally designed, that is independent of its dynamics. Therefore it forces the use of extremely high torque to realize the walking locomotion. In this paper, we confirmed that a planar three-link model walker controlled by this method can change its walking speed with lower energy consumption when the moment of inertia of the swing leg at the hip joint is changed without changing the step length in computational simulations.

Key Words: Dynamics, Biped Walking, Moment of Inertia, Variable Walking Speed

1. はじめに

本研究では、安価なヒューマノイドプラットフォームを目指したヒューマノイド PINO を開発している¹⁾。安定した二足歩行を実現するには一般に高精度、高トルクのアクチュエータが求められ、そのためには高価なアクチュエータを必要とする。トルクに制限がある安価なアクチュエータを持つヒューマノイドにとって、高トルクを必要としない歩行制御則は最も重要な問題である。従来の二足歩行の制御則の多くは、ロボットが持つダイナミクスとは独立して設計されており、その結果歩行運動を実現するために非常に大きなトルクが要求されている。ロボットのダイナミクスをうまく利用すればトルク使用を抑えた歩行パターンが生成されると考えられる。この極端な例として、McGeer はアクチュエータを持たないロボットが、重力を利用してゆるやかな斜面を歩行する受動歩行の研究を行っている²⁾。また、浅野らは、仮想重力場を生成するトルクを発生させることで、受動歩行を平地で仮想的に実現している³⁾。しかし、受動歩行はヒューマノイドの歩行には、行動の多様性の観点から適さない。

そこで本研究では、ロボットのダイナミクスを利用し、行動の多様性が得られ、エネルギー消費の少ない歩行制御則を提案している⁴⁾。本論文では、その基礎的知見を得るために、二次元平面内において、直鎖3リンクモデルの遊脚の慣性モーメントを変化させる制御則を腰関節に加えることで、さらに歩速を変化させられることをシミュレーションにより求める。

2. 3リンクモデル

ロボットの脚を倒立振り子モデルと2リンク振り子モデルの組み合わせと考える。ここで倒立振り子は支持脚を、2リンク振り子は遊脚を示す。倒立振り子モデルは支持脚において最もエネルギー効率の良いモデルである。Fig. 1に

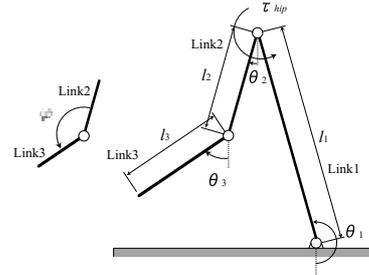


Fig.1 Planar 3 link model of the robot

2次元平面3リンクモデルを示す。モデルは直列に接続された Link1, Link2, Link3 から成り、Link1 は地面に固定されている。各関節の粘性係数は $0.01[\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}/\text{rad}]$ とし、膝にはロック機構があると仮定する。各関節の角度 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ はリンクの絶対角とし、図中の φ は Link2 と Link3 の間の角である。

歩行制御則は、ロボットのダイナミクスを利用した簡単な物であることが望まれる。そこで本研究では、Eq. 1 に示す腰部における遊脚の慣性モーメント I_{hip} を制御則に用いることとした。

$$I_{hip} = \frac{1}{3}m_2l_2^2 + \frac{1}{12}m_3l_3^2 + m_3(x'^2 + y'^2) \quad (1)$$

ここで、 x' と y' は、以下のとおりである。

$$\begin{aligned} x' &= l_2 \sin \theta_2 + \frac{1}{2}l_3 \sin \theta_3 \\ y' &= l_2 \cos \theta_2 + \frac{1}{2}l_3 \cos \theta_3 \end{aligned} \quad (2)$$

Eq. 1, 2 より、 I_{hip} は φ のみの関数として表すことができるため、遊脚腰部への制御を $\tau_{leg} = k_{leg}\varphi$ とする。また、歩行の半周期が Fig. 2 の2つの相から構成されていると仮定する。第1相 ($0 \leq t \leq t_1$) では、制御トルク τ_{leg} を遊脚腰部へ加える。この制御トルクによ

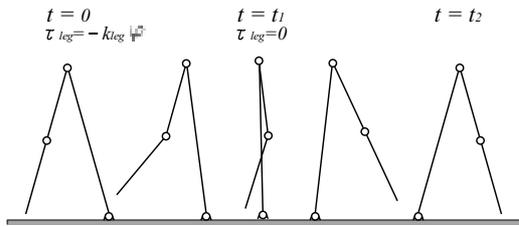


Fig.2 The motion phases of one cycle

Table 1 Link parameters

m_1 [kg]	1.50	l_1 [m]	0.500
m_2 [kg]	0.750	l_2 [m]	0.250
m_3 [kg]	0.750	l_3 [m]	0.250

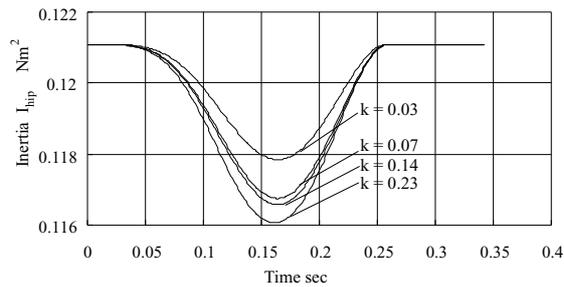


Fig.3 Time series of I_{hip}

り遊脚は膝で曲げられ、前方へ振り出される。第2相 ($t_1 < t \leq t_2$) では、制御トルク τ_{leg} は遊脚腰部へは加えられない。この時、遊脚は床面に接地するまで前方に自然に振り出される。Eq. 3 に腰部の制御トルクを示す。

$$\tau_{leg} = \begin{cases} -k_{leg}\varphi & (0 \leq t \leq t_1) \\ 0 & (t_1 < t \leq t_2) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 t_1 と t_2 は遊脚が床面と接地する直前直後での角運動量保存則から一意に決定される。また、本論文では、遊脚の床面との衝突と膝のロックによる衝突は非完全弾性衝突と仮定する。

3. シミュレーションによる検証

提案した制御則の妥当性を検証するために、シミュレーションによる解析を行った。Table 1 のようにリンクパラメータを設定し、制御ゲイン k_{leg} を変化させた。その結果、各 k_{leg} における I_{hip} の時系列データは Fig. 3 のように得られ、各 k_{leg} における I_{hip} の最小値 I_{min} を代表値とすることで、 I_{min} と着地までの時間 t_2 、制御ゲイン k_{leg} はそれぞれ Fig. 4, 5 に示される関係となった。また、 k_{leg} が 0.03, 0.23 の時の歩行軌道を Fig. 6, 7 にそれぞれ示す。

4. 考察

Fig. 4 より制御ゲイン k_{leg} を 0.03 から 0.23 まで増加させると I_{min} が $0.118[\text{N}\cdot\text{m}^2]$ から $0.115[\text{N}\cdot\text{m}^2]$ まで減少し、Fig. 5 より、 I_{min} を小さくすることで遊脚の着地までの時間 t_2 が減少することが確認された。また、Fig. 6, 7 より k_{leg} の増加により、高い位置で遊脚の軌道が生成されていることが分かる。以上より、本制御

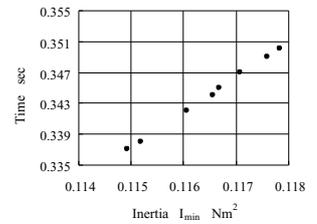
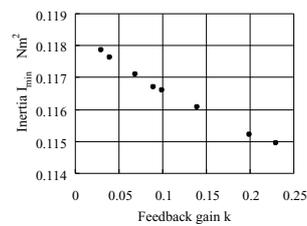


Fig.4 Effect of k_{leg} on I_{min} Fig.5 Effect of I_{min} on t_2

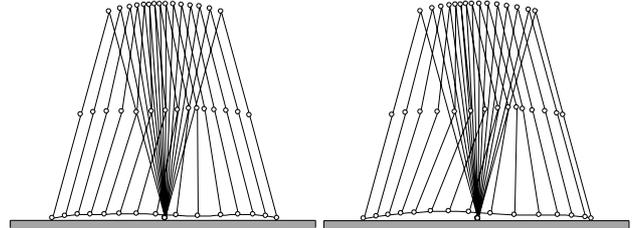


Fig.6 Result of the foot gait ($k=0.03$)

Fig.7 Result of the foot gait ($k=0.23$)

則の制御ゲイン k_{leg} を増大させると、遊脚の腰部における慣性モーメントが小さくなり、遊脚が早く前方に振り出され、結果として歩速を早くすることが出来ることが確認された。

5. おわりに

本研究では、ロボットのダイナミクスを利用した、多様性があり、エネルギー消費の少ない歩行制御則を提案し、シミュレーションにより制御ゲインを変化させることだけで歩速を変化できることを示した。本論文では、2次元平面内直鎖3リンクモデルで解析を行ったが、ヒューマノイドの歩行に適用するには、3次元空間内において上体を持つモデルで解析を行う必要がある。今後は、これらの解析を行っていく予定である。

6. 謝辞

本実験に使用したシミュレーションは大阪大学大学院 荻野正樹氏より提供していただいたことを記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) Yamasaki, F., Matsui, T., Miyashita, T. and Kitano, H., PINO The Humanoid that Walk, Proc. of The First IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, CD-ROM, (2000).
- 2) T. McGeer, Passive dynamic walking, The International Journal of Robotics Research, 18, 6, pp.62 - 82 (1990).
- 3) Asano, F., Yamakita, M. and Furuta, K., Virtual Passive Dynamic Walking and Energy-based Control Laws, Proc. of International Conference on Intelligent Robots and Systems, CD-ROM, (2000).
- 4) Yamasaki, F., Endo, K., Asada, M., Kitano, H., A Control Method for Humanoid Biped Walking with Limited Torque, Proc. of The RoboCup 2001 International Symposium, CD-ROM, (2001).