

線形倒立振子モードを用いた動的二足歩行ロボット

Dynamic Biped Walking Robot Using Linear Inverted Pendulum Mode

○学 菊地 賢 (秋田高専) 正 木澤 悟 (秋田高専)

Satoshi KIKUCHI, Akita National Collage of Technology, 1-1, Bunkyo-cho, Iijima, Akita

Satoru KIZAWA, Akita National Collage of Technology, 1-1, Bunkyo-cho, Iijima, Akita

Key Words : Biped walking robot, Linear Inverted Pendulum Mode(LIPM), Dynamic Walking

1 緒言

二足歩行ロボットの制御においては、目標軌道を設計することが重要である。目標軌道の設計方法の一つに、全質量が重心位置に集中していると仮定し、特に加速度センサ、ジャイロセンサを用いない簡単な方法として、線形倒立振子モード(LIPM)^{1)~2)}に基づいた動歩行制御がある。そこで、本研究では R/C サーボモータを使った二足歩行ロボットを製作し、LIPM 理論に基づいた重心の軌道から、支持脚および遊脚の関節角度の目標軌道を設計生成し、人間の歩行動作の模倣を目指した。また、実機に適用することで、設計した各関節の目標軌道の有効性を確認し、検証した結果を報告する。

2 実験装置システムの概要

本研究において製作したロボットは、片足 5 自由度、計 10 自由度で構成されており、ロボットの全長 308mm、重量 1.11kg である。なお、R/C サーボモータの制御は PWM 制御を用いている。算出された関節角度データを PC 接続モジュールを介してサーボコントローラに送ることで、各関節の R/C サーボモータにパルス信号が送られ駆動し、ロボットが歩行する。Fig.1 に、製作したロボットの写真を示す。

3 目標軌道の設計

目標軌道の生成は、三つの段階に分かれている。第一段階、第二段階は共にピッチ方向に回転するサーボモータ(腰、膝、足首)の軌道生成の計算であり、第三段階は、ロール方向に回転するサーボモータ(腰、足首)の軌道生成の計算である。第一段階では、重心を支える足、支持脚に関する計算で、線形倒立振子モードに基づく重心の運動から幾何学的に求められる。第二段階は歩行時に浮いている足、遊脚に関する計算で、足首の軌道に正弦波関数を適用すること

で幾何学的に求めた。第三段階の左右方向の重心移動の関数は、最初に加速し、重心が支持脚に乗るまでに減速するような関数を考え、式(1)~(3)のように設計した。この関数の設計パラメータ a , b , α_{\max} を操作することで軌道を変化できるようにした。なお、 a は $1 < a \leq 2$ とし a , b は任意の定数で軌道の加減速の調節および周期の調節に関するパラメータであり、 α_{\max} は最大重心移動角度である。式(3)の $\tilde{x}(t)$ は一歩にかかる時間 t_i 間に -1 から 1 まで増加する関数である。また、二つの対称な式を用いるのは、左右の重心移動の一周期分の軌道を生成させるためである。

$$\alpha(t) = \left(a - (a-1) \times \frac{e^{(\tilde{x}(t) \times b)} + e^{(-\tilde{x}(t) \times b)}}}{2} \right) \times \alpha_{\max} \times \frac{\pi}{180} \quad (1)$$

ii) 重心が中心より左側にある場合

$$\alpha(t) = - \left(a - (a-1) \times \frac{e^{(\tilde{x}(t) \times b)} + e^{(-\tilde{x}(t) \times b)}}}{2} \right) \times \alpha_{\max} \times \frac{\pi}{180} \quad (2)$$

$$\tilde{x}(t) = \frac{2t}{t_i} - 1 \quad (3)$$

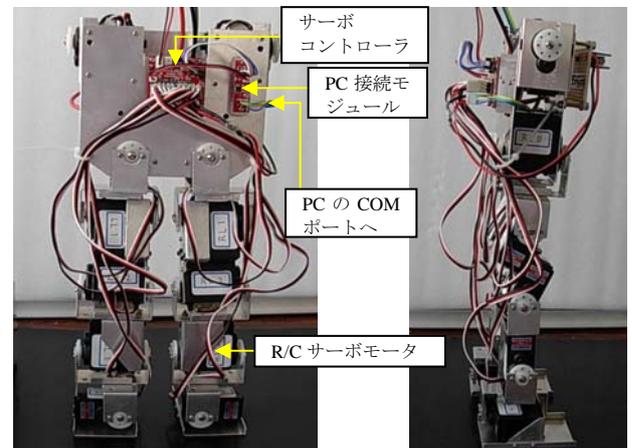


Fig.1 二足歩行ロボット

4 横方向の重心移動の比較と検証

本研究では、安定した動歩行を検証するために設計パラメータ a , b , α_{\max} を様々に変えて歩行動作の比較, 検討を行った. 表 1 に比較実験で用いた設計パラメータ a , b の組み合わせの値を示す. 試行錯誤的に作成した比較的安定した歩行の設計パラメータを基準の③とし, 番号が小さい程, 左右の重心移動の加減速が大きい軌道で, 番号が大きい程, 左右の重心移動の加減速が小さな軌道を示している. また, Fig.2 に基準の歩行で設定した $\alpha_{\max}=7$ で一定とし, 表 1 に示した設計パラメータ a , b の組み合わせにおける横方向の軌道を比較した図を示す. 図の横軸は時間軸であるので, 曲線の立ち上がりが急な程, 加減速が大きいことを表している. この軌道で動作させた場合, ③の組み合わせが一番安定した歩行動作を得られた. ①の組み合わせは, 時々ロボットが転倒する場面が見られた.

表 1 設計パラメータ a , b と軌道の関係

番号	軌道の種類	a	b
①	加減速を大きくした軌道	1.001	7.6
②	加減速をやや大きくした軌道	1.05	5.3
③	基準の軌道	1.1	3.1
④	加減速をやや小さくした軌道	1.5	1.76
⑤	加減速を小さくした軌道	2	1.32

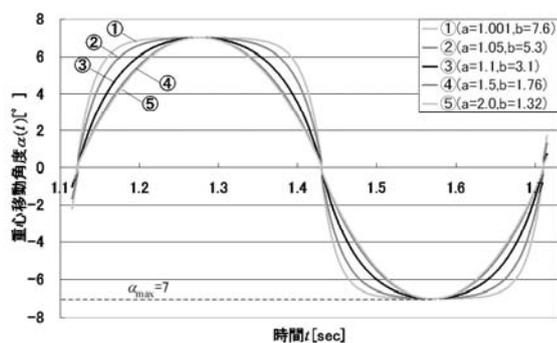


Fig.2 左右の関節軌道の比較($\alpha_{\max}=7$)

次に, 各々の設計パラメータの組み合わせに適した最大重心移動角度 α_{\max} の最適値を設定することを検討した. この α_{\max} の最適値の決定は, 実際にロボットを動作させ歩行実験を行い, ロボットの揺れ等から判断し決定した. この結果を Fig.3 に示す. 図より, 左右の軌道の加減速が大きい①, ②の場合は, 最大重心移動角度 α_{\max} が小さい方が安定した二足歩行動作を得られ, 逆に左右の軌道の加減速が小さい④, ⑤の場合は, α_{\max} が大きい方が安定した二足歩

行動作を得られた. ③の場合の歩行動作の連続写真を Fig.4 に示す.

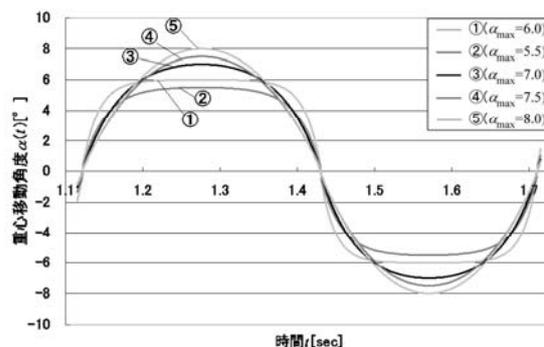


Fig.3 最適な設計パラメータの組合せ

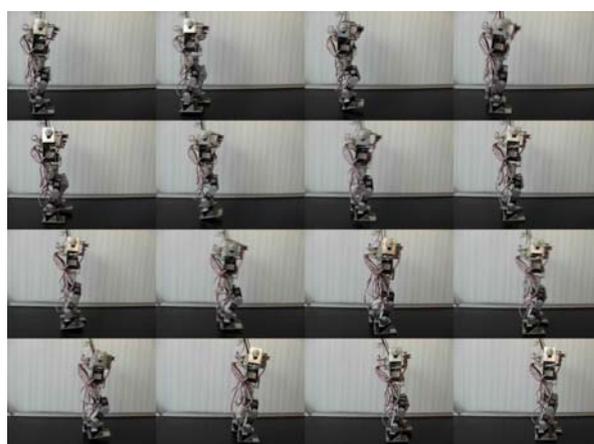


Fig.4 歩行動作

5 結言

歩行実験が成功したことにより, 二次元線形倒立振子を用いた動歩行制御, および, 提案した遊脚の軌道は有効であり, 本研究で設計した左右方向への重心移動の軌道も有効であったことが確認された. また, 目標軌道の比較実験の結果から, 左右方向に関する軌道関数の設計パラメータが歩行の際の安定性に大きく影響し, 左右の軌道の加減速の緩急により, 最大重心移動角度 α_{\max} を調節する必要があることが確認できた.

今後の課題として, 足裏の形状や材質を変化させた場合の影響などについて, さらに検討する必要がある.

参考文献

- 1) 梶田 秀司 著, ヒューマノイドロボット, オーム社, (2005), p.103-p.115
- 2) 梶田 秀司 著, 線形倒立振子モードを規範とする動的2足歩行ロボットの実時間制御, 機械技術研究所報告第 171 号 (1996)