T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	軽量4 足歩行ロボットTITAN-XIII の開発 第2 報: 加減速を考慮した前後揺動型間歇トロットによる高速歩行
Title(English)	Development of Lightweight Quadruped Robot TITAN-XIII -2nd report: Fast Walking with Considering an Acceleration and a Deceleration
著者(和文)	北野智士, 広瀬茂男, 遠藤玄, 鈴森康一
Authors(English)	Satoshi Kitano, Shigeo Hirose, Gen Endo, Koichi Suzumori
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2015 予稿集, Vol. , No. , pp.
Citation(English)	Proceedings of the 2015 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Pub. date	2015, 5

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

軽量 4 足歩行ロボット TITAN-XIII の開発
第 2 報: 加減速を考慮した前後揺動型間歇トロットによる高速歩行

Development of Lightweight Quadruped Robot TITAN-XIII
-2nd report: Fast Walking with Considering an Acceleration and a Deceleration

○学 北野 智士 (東工大) 正 広瀬 茂男（(株) ハイボット）
正 遠藤 玄（東工大） 正 鈴森 康一（東工大）

Satoshi Kitano, Tokyo Institute of Technology, kitano.s.ac@m.titech.ac.jp
Shigeo HIROSE, Hibot Corporation
Gen ENDO, Tokyo Institute of Technology
Koichi Suzumori, Tokyo Institute of Technology

In this paper we discuss the dynamic walking algorithm for fast walking. In order to conduct smooth and fast walking, an acceleration and a deceleration are necessary. As a basic locomotion we use Longitudinal Acceleration Intermittent Trot gait which we presented before. An acceleration and a deceleration are performed while 4 legs support phase, this makes a robot be able to change the speed with fewer constraints. Additionally the swing leg trajectory which achieves 0 relative speed to the ground when the foot touch is implemented. In the end, the walking experiment was performed with proposed walking algorithm by using the TITAN-XIII. As a result the robot walked at 1.36 m/s.

***Key Words*:** Quadruped, Locomotion control, ZMP

1 緒言

従来から車輪やクローラを有したロボットでは移動困難な不整地に対して脚型ロボットの優位性が指摘されており、特に 4 足歩行は静歩行が可能な最小構成であるため実用性が高いと考えられている。近年は BostonDynamics 社の BigDog などに代表されるような動歩行を行うロボットがその運動性能の高さから注目されている。当研究室においても動歩行による高速な歩行を研究するためのプラットフォームとして軽量 4 足歩行ロボット TITAN-XIII(Fig.1) を開発している。TITAN-XIII の特徴はワイヤ駆動を採用することでモータを脚根本に集中させ、脚慣性を出来る限り小さくし高速な運動を行えることである。これまでの研究ではシンプルな動歩行アルゴリズムである前後揺動型トロット歩容を用いて 0.7m/s での歩行に成功している [1]。

しかし従来の歩行アルゴリズムには 2 つの問題が確認されている。1 つ目は歩行中の加減速を考慮していないため、歩行開始時にバランスを崩してしまうこと。2 つ目は遊脚が地面と接する際に対地速度を考慮しておらず減速を引き起こすことである。

本稿ではこれらの問題を解決するために、加減速を考慮した前後揺動歩容及び、地面との対地速度を考慮した遊脚軌道を提案し、その実験結果について述べる。

Fig.1 Overview of TITAN-XIII

2 加減速を考慮した動歩行

これまでの TITAN-XIII を用いた動歩行実験においては前後揺動型間歇トロット歩容を用いて動歩行実験を行ってきた。前後揺動型間歇トロット歩容は 4 脚支持期間を有することで外乱の影響を修正する間歇トロット歩容 [2] に、2 脚支持期間の動的な動きとして線形倒立振子モード [3] を適応したものである。胴体重心は進行方向にのみ移動させ、2 脚支持期においては前後に加減速を行うことで ZMP が支持対角線上にとどまるように制御を行い、安定的な歩行を実現する。

従来の実験では歩行開始時から目標速度での定速歩行を実現するような脚軌道を入力し歩行を行ってきた。この場合速度 0.7m/s 近辺までは問題なく歩行を開始できるが、それ以上の速度での歩行を試みた場合車両でのウィリーのように胴体が大きく傾斜し後脚のみが接地し前脚が宙に浮く状態が確認された。この状態の後ロボットは完全な転倒には至らず、胴体は水平に復帰し 4 脚支持期間を経て安定的な歩容へと遷移していくが、進行方向が大きく逸れしまい直進歩行ができないという結果であった。また、歩行の停止時においては 4 脚支持期に入った段階で脚の動きを直ちに停止させても、前方向に完全転倒してしまい復帰不可能な状態になってしまった。

これらの原因はロボットが歩行開始及び停止する際に多大な加速度が発生し ZMP が支持脚多角形の範囲外に移動してしまうことだと考えられる。この問題を解決するために、目標速度への加速期間及び減速期間を設けることとする。加減速を行うタイミングは支持脚多角形を形成する 4 脚支持期に限定することで安定的な加減速を行うことができる。しかし、停止時のように 4 脚支持期の支持脚多角形でも転倒する加速度は発生しうるため、一度の 4 脚支持期における加速度を制限をもうけ、速度が目標速度に達していない場合には次の 4 脚支持期において加速するようにする。Fig.2 に加減速のタイミングを示す。目標速度に達した時には従来と同様に 4 脚支持期には一定速度で動き、2 脚支持期には線形倒立振子モードに順じた動きを行う。停止時に際しては逆に、加速と同様の要領で 4 脚支持期に減速することで最終的に安定した停止が可能となる。

足首関節を持たない点接地のロボットにおける歩行中の加減速

の方法については、4 脚支持期間を持たず 2 脚支持開始時の接地点の位置によって制御する手法が以前から提案されている [4]。この方法の場合には 2 脚支持期が連続して発生するため、前ステップの終端速度と、次ステップでの初速が一致しなければならないという制約が発生する。このような制約の場合には 1 ステップで速度変化できる量は限られ、不整地歩行などで接地点が任意に選択できない場合には歩行速度自体も制約されてしまう。

しかし、間歇トロット歩容の場合には 4 脚支持期において ZMP が支持脚多角形内に収まる限り加速を行うことができ、1 ステップ毎に速度を含めた歩容計画を行うことができるという利点をもつ。

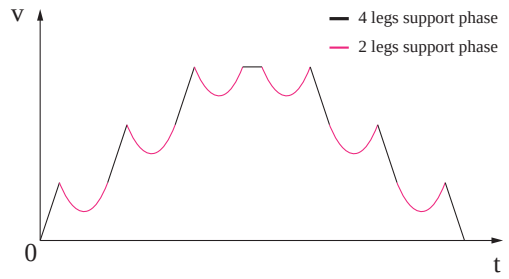

Fig.2 Velocity trajectory considering acceleration and deceleration

3 遊脚軌道

遊脚は地面との接地時に抵抗を発生しないよう、対地相対速度を 0 とする必要がある。相対速度を 0 にするような遊脚軌道としては逆台形軌道を描くことにより、絶対座標系からみて長方形的に遊脚が動くような軌道が提案されている [5]。このような遊脚軌道は不整地などにおいて障害物を回避するという点において優れているが、高速歩行に際しては総移動距離が長くなり遊脚時に求められる速度が上昇し好ましくない。そこでよりシンプルな軌道として、3 次曲線である Ferguson/Coons 曲線を用いることとする。この曲線の特徴は始点と終点の位置と速度を任意に設定できる点であり以下のように記述できる。$\boldsymbol{P_0}$,$\boldsymbol{P_1}$ はそれぞれ始点と終点の位置ベクトル、同様に $\boldsymbol{v_0}$,$\boldsymbol{v_1}$ は始点と終点の速度ベクトルである。

$$\boldsymbol{P}(t) = \begin{bmatrix} t^3 & t^2 & t & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & -2 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{P_0} \\ \boldsymbol{P_1} \\ \boldsymbol{v_0} \\ \boldsymbol{v_1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

実際には遊脚開始時の点から遊脚時の中立点 (歩幅の半分) までの曲線と、同じく遊脚時の中立点から遊脚終了時の点までの曲線の 2 つの曲線を用いて遊脚軌道を生成する。実際に生成された胴体座標系からみた脚軌道の例を Fig.4 に示す。

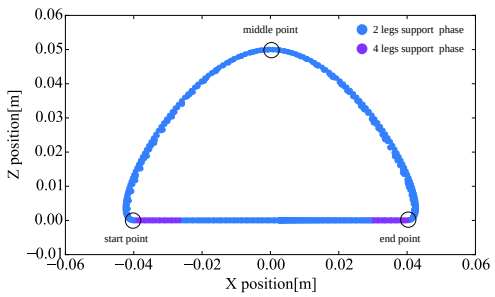

Fig.3 Trajectory of foot movement

4 実験

提案した加減速を伴う前後揺動型間歇トロットと Ferguson/Coons 曲線による遊脚軌道を用いて、直進歩行実験を行った。歩行速度は 1 歩毎に 0.05 m/s づつ増速され、最大歩行速度は 1.36 m/s を達成した。ロボットの挙動に関しては、従来に比べ転倒および進行方向の変化は見られず安定した歩行が確認された。しかしながら、歩行開始時及び停止時においては、両前脚が浮きはしないもの、体が傾き遊脚が地面に接地することが何度か発生した。これは歩行開始時の低速域においては歩行周期が長く、モデル誤差やサーボ系の誤差により胴体が傾く時間が長いため起こると考えられる。解決策としは現在は点接地である脚先に面積を有する足裏を取り付けることや低速域においては歩幅を狭めて歩行を周期を短くすることで、より安定的な歩行が行えると予想される。

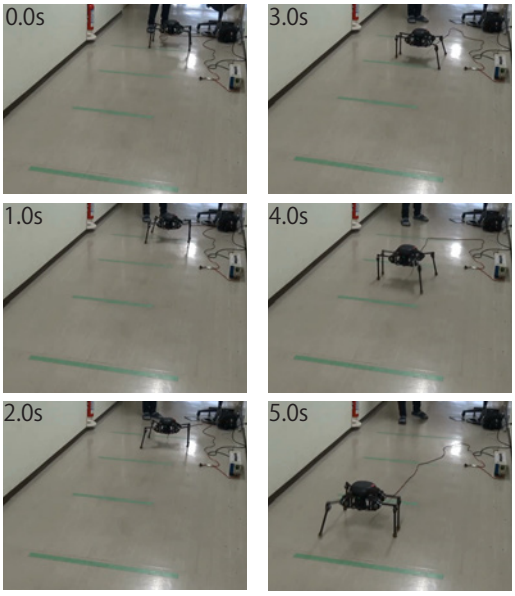

Fig.4 Sequence of photos of fast walking experiment at 1.36m/s: Each green line indicates 1m.

5 結論

本稿では安定した高速歩行を実現するために、加減速を考慮した前後揺動型間歇トロット歩容と対地速度を一致させる遊脚軌道を提案し、その有効性を実機実験により確認した。今後はどの程度まで加減速が可能かを実験により確認し、より急激な加減速を可能とする歩容を検討していく。

References

[1] Satoshi Kitano, Shigeo Hirose, Gen Endo, and Edwardo F. Fukushima. Development of lightweight sprawling-type quadruped robot titan-xiii and its dynamic walking. In *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2013 IEEE/RSJ International Conference on*, pp. 6025–6030, 2013.

[2] K. Yoneda, H. Iiyama, and S. Hirose. Intermittent trot gait of a quadruped walking machine dynamic stability control of an omnidirectional walk. In *Robotics and Automation, 1996. Proceedings., 1996 IEEE International Conference on*, Vol. 4, pp. 3002–3007 vol.4, Apr.

[3] S. Kajita and K. Tani. Study of dynamic biped locomotion on rugged terrain-derivation and application of the linear inverted pendulum mode. In *Robotics and Automation, 1991. Proceedings., 1991 IEEE International Conference on*, pp. 1405–1411 vol.2, Apr.

[4] Marc H. Raibert. *Legged robots that balance*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, 1986.

[5] "広瀬茂男, 福田靖, 菊池秀和". 4 足歩行機械の制御システム. 日本ロボット学会誌, Vol. 4, No. 3, pp. 304–324, 1985.