

バックラッシュクラッチをもつヒューマノイドの歩行制御

Walking Control for Humanoid with Backlash Clutch

○神崎 秀 中村 仁彦 岡田 昌史 (東大)

Shigeru KANZAKI, Masafumi OKADA and Yoshihiko NAKAMURA

University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo

Abstract:In this paper, we propose a walking control algorithm for a humanoid robot with knee-joint driving mechanism called 'backlash clutch' which can be switched to a free state. This algorithm makes use of passivity of the mechanism and environmental dynamics, considering the feature of the mechanism.

Keywords : Humanoid, Walking control, Passive walking, Backlash clutch

1 はじめに

生活空間における人間の巧みな動作を観察すると、それらは重力や外力に従う動き、環境による拘束を利用したものであることがわかる。歩行はその動作の良い例であり、重力を利用した倒れこみや、膝による外力の吸収、床反力に対する足首の巧みな動作等によって安定した歩行が実現されている。一方、近年ヒューマノイドの歩行動作研究において、重力や環境から受ける力を積極的に利用した受動的歩行が注目されている [1, 2]。これらの研究は、自然な歩行動作のパターンはロボットの脚機構に内在するものであり、それが環境のダイナミクスとの相互作用により発現することを示唆している。

この観点から、従反力性、環境のダイナミクスに対する親和性を考慮した機構をもつヒューマノイドが中村らによって開発された [3]。このヒューマノイドは膝関節にフリー状態と高トルク出力状態を切替えることのできる「バックラッシュクラッチ」[4]という機構を有している。本研究の目的は、このバックラッシュクラッチの作り出すフリー状態を利用し、従反力性を保持しながら、環境のダイナミクスとの相互作用から生まれる歩容を生かした歩行を実現する制御則を構築することである。

2 バックラッシュクラッチ

バックラッシュクラッチの機構図を Fig.1 に示す。こ

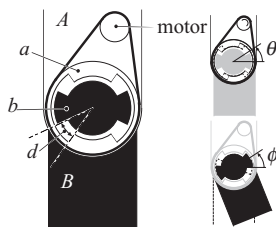


Fig. 1: The structure of backlash clutch

の機構はリンク A(大腿部)、リンク B(下腿部)と回転機構 a, b から構成されている。a は A に固定されたアクチュエータによって A に対して回転し、B と b は固定されている。フリー状態を実現するためには、ギャップ d をリンク B の動きにあわせてある一定量 d_0 に保つように a の回転角を制御する。駆動力を伝達する際には、a

と b のギャップ d を 0 とし、矢印の方向に対してトルクを伝達する。この機構では駆動力の伝達は一方向であり、位置サーボには適さない。このような特性を考慮した制御則が必要とされる。

3 環境のダイナミクスとの相互作用を生かした歩行制御

バックラッシュクラッチの作り出す膝のフリー状態を生かし、従反力性の高い歩行を実現するには、従来の関節軌道 Pattern 追従型の歩行制御は適さない。重力や外力を受けて作り出される身体の動きを利用した制御である必要がある。本研究では以下のような制御手法を提案する。

- 歩行中の各脚の状態を Phase に切り分け、各 Phase において各関節に適切な役割を与える。各関節の役割の設定は人間の歩行を模して決定した後、シミュレーションにより試行錯誤的に変更を加えた。
- フリー状態を作り出すことができない関節には従反力運動を可能な範囲で実現するために、トルクフィードバック制御を施す。
- 環境から受ける外力が関節まわりに発生させるモーメントと拮抗するトルクを外力の計測値から計算によって求め、各関節に発生させるというフィードフォワード的な制御を加える。

Phase の種類と Phase 切り替えの条件、および各 Phase における各関節の役割を Table.1 に示す。

4 シミュレーション

本研究ではシミュレーション環境として OpenHRP2[5, 6, 7] を用いて Sagittal 平面に拘束した状態での動力学シミュレーションを行った。Sagittal 平面とは進行方向を示す軸と鉛直軸を含む平面である。歩行動作 1 周期の様子を Fig.2 に示す。シミュレーションの結果、歩速や歩幅を指定することなく、遊脚前期の下腿部の振り出しによって決定される速度で歩容が生成された。上体の安定化、蹴りによる重心の加速、遊脚前期の大腿部の滑らかな振り上げ及び膝のフリーな動き、遊脚後期の膝の目標角度への振り出し、支持脚の適切な切り替え等が実現で

Table 1: Body states, trigger of changing states and task for each joint

State figure						
State number	0	1	2	3	4	5
State of left leg	Former half of support leg			Latter half of support leg	Former half of swing leg	Latter half of swing leg
State of right leg	Latter half of support leg	Former half of swing leg	Latter half of swing leg	Former half of support leg		
Trigger of changing states	Waist passes above left leg ankle.		Right foot hits the ground.		T_{free} passes.	
	Left foot hits the ground.		T_{free} passes.		Waist passes above right leg ankle.	
Task for left hip joint	Keep the body vertical.				Swing thigh to the reference angle.	
Task for left knee joint	Keep knee joint at the reference angle.				Free	Move crus to the reference angle.
Task for left ankle joint	Keep the foot vertical to the crus.			Kick	Swing thigh to the reference angle.	
Task for right hip joint	Keep the body vertical.	Swing thigh to the reference angle.		Keep the body vertical.		
Task for right knee joint	Keep knee joint at the reference angle.	Free	Move crus to the reference angle.	Keep knee joint at the reference angle.		
Task for right ankle joint	Kick	Swing thigh to the reference angle.		Keep the foot vertical to the crus.		

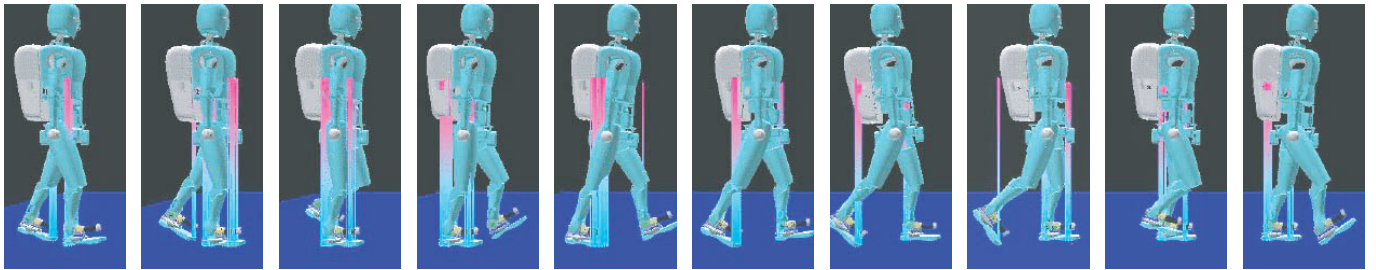


Fig. 2: Walking motion

きた。10歩以上の歩行に成功したが、完全に安定した歩容を得ることはできなかった。1歩の動作中の膝関節の角度変化を Fig.3 に示す。フリー状態においては、下腿

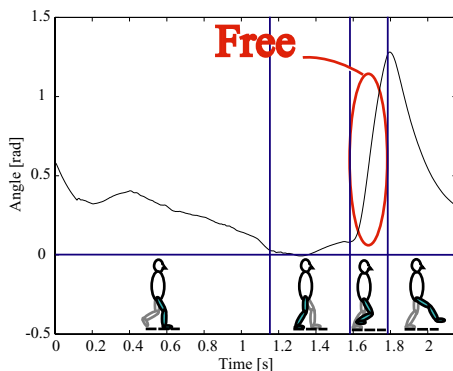


Fig. 3: Angle of knee joint

部が重力と慣性力に従って前方に振り出されている様子が見られる。

5 おわりに

バックラッシュクラッチをもつヒューマノイドを対象とし、従反力性・環境のダイナミクスに対する親和性の

高い歩行制御則を提案した。提案した制御則の有効性を示すため、動力学シミュレーションを行い、10歩以上の歩行動作を実現した。

なお、本研究は科学技術事業団戦略的基礎研究推進事業 (CREST) 領域「脳を創る」「自律行動単位の力学的結合による脳型情報処理機械の開発」(代表: 中村仁彦) の支援を受けた。

参考文献

- [1] T.McGeer. Passive dynamic walking. *Int. J. of Robotics Research*, Vol. 9, No. 2, pp. 62–82, 1990.
- [2] 杉本, 大須賀. 遅延フィードバック制御に基づく準受動歩行の安定化について. 第7回ロボティクスシンポジウム予稿集, 2002.
- [3] Y.Nakamura, M.Okada, T.Shinohara, T.Gotoh, and S.Ban. Mechanical challenges for further humanoid robot evolution. In *Proc. The 3rd IARP International Workshop on Humanoid and Human Friendly Robotics*, 2002.
- [4] 後藤達哉. 歩行ロボットの従反力運動を可能にする駆動機構. 東京大学工学部卒業論文, 2001.
- [5] 山根, 中村. 力学フィルタによるヒューマノイドの運動生成 - HRP 仮想プラットフォームへの適用. 第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 1213–1214, 1999.
- [6] Kanehiro.F. et al. Virtual humanoid robot platform to develop controllers of real humanoid robots without porting. In *Proc. IEEE/RSJ IROS*, 2001.
- [7] Hirukawa.H. et al. OpenHRP: Open Architecture Humanoid Robot Platform. In *Proc. ISRR*, 2001.