

ヒューマノイドロボットの運動性進化にむけての 機構開発と運動制御

篠原徹也 (東大) 樋原直之 (東大) 岡田昌史 (東大) 中村仁彦 (東大, CREST)

Mechanisms and Motion Control for Mobility Evolution of Humanoid Robots

Tetsuya SHINOHARA (Univ. of Tokyo), Naoyuki HIBARA (Univ. of Tokyo),
Masafumi OKADA (Univ. of Tokyo) and Yoshihiko NAKAMURA (Univ. of Tokyo, CREST)

Abstract— We developed a humanoid robot equipped with two new joint mechanisms. These mechanisms are expected to improve motions of humanoid robots. One is the double spherical hip joint which provides the equivalent function of waist joints. The other one is the backlash clutch which enables switching between drive and free modes. In this paper, we explain the whole system of the humanoid robot and propose the stabilize control algorithm with the double spherical hip joint.

Key Words: Humanoid robot, Mechanism, Double spherical hip joint, Mobility evolution

1. はじめに

ヒューマノイドロボットはアクチュエータ、センサ、それらを司るプロセッサから構成される複雑なシステムであり、設計においてはこれら全ての要素技術をロボットのボディという限られた空間に収納することが要求される。これまでに上記の要求を満たす多くのヒューマノイドロボット¹⁾が開発されてきておりこれらは皆優れた運動性能を有する完成度の高いものであると言えるが、機構的な改善の余地は存在しあらたな機構開発によりその運動性を進化させることができると考えられる。本研究では運動性進化を可能とする特徴的な機構を用いた全身型ヒューマノイドロボットを開発し、その機構を活かした運動制御を行うことを目的とする。

2. ヒューマノイドロボット ut- θ の開発

2.1 設計仕様

開発したヒューマノイドロボットの設計仕様は以下の通りである。身長は約 1500[mm]、体重は約 45[kg]、総自由度数は 23 自由度であり、自由度配置は首関節に 3 自由度、肩関節に各 3 自由度、肘関節に各 1 自由度、股関節に各 3 自由度、膝関節に各 1 自由度、足首関節に各 2 自由度となっている。特徴的機構としてサイバネティックショルダ²⁾、バックラッシュクラッチ³⁾、二重球面ジョイント⁴⁾ という三つの機構を採用した。ボディとなる構造体にマグネシウム合金を用いることで鋳造加工によって三次元的に滑らかな形状となり軽量

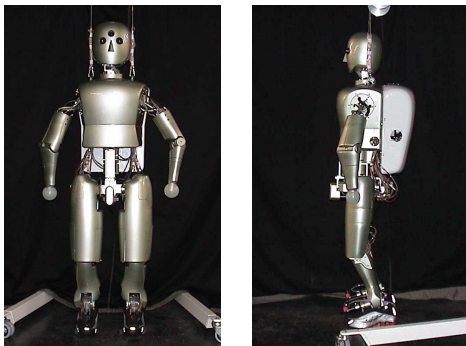


Fig.1 Humanoid robot ut- θ

かつ剛性の高いものとなった。概観を Fig.1 に示す。

2.2 ハードウェア構成

ハードウェア構成図を Fig.2 に示す。制御用 PC、電源系 (バッテリー、DC/DC コンバータ) を背部に搭載し、モータドライバは首の 3 自由度用に Titech Intelligent Driver (以下 TID)、肘の 2 自由度用に Titech Driver Ver.2、その他のモータには本研究のために TID を改造して開発した TID HP (20A 対応版) を用い、腹部、背部、腕部、足部の各所に分散配置する。センサとしては、頭部に 2 台のモノクロプログレッシブカメラと 1 台の NTSC カラーカメラを搭載しており、胸部に応答周波数帯域の異なる 2 種類の 3 軸加速度センサと 2 軸ジャイロセンサ、足裏及び前腕に六軸力センサを設置している。

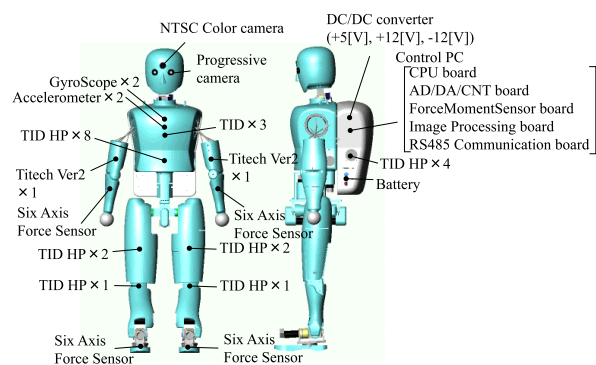


Fig.2 Hardware system

2.3 ソフトウェア構成

ソフトウェア構成図の概略を Fig.3 に示す。ソフトウェアシステムはユーザプロセスとリアルタイムカーネルモジュールに大別され、リアルタイムカーネルモジュールは Base Module, Motion Module からなる。Base Module は、全身関節角を制御する MotorServoThread, ジャイロセンサ・加速度センサのデータを計測する GyroAccelThread, 六軸力センサのデータを計測する ForceMomentThread の 3 つから構成される。Motion Module は、ロボットの姿勢、重心、ZMP など

の内部状態を計測し安定化制御を行なう MotionControlThread とロボットの行動を生成する MotionGenerateThread から構成される．全てのスレッドの制御周期は 1[ms] であり，スレッド間のデータの送受信は共有メモリを介して行なう．

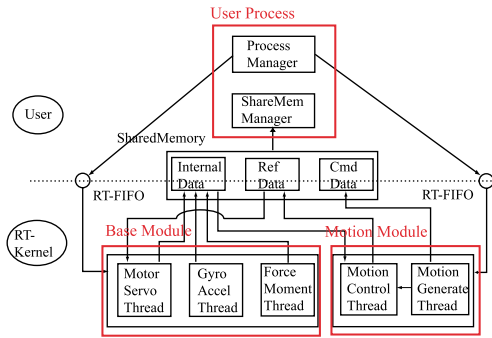


Fig.3 Software system

3. ヒューマノイドロボットの姿勢安定化制御

3.1 制御アルゴリズム

ヒューマノイドロボット $ut-\theta$ は股関節に二重球面ジョイントを持っており，この機構は股関節と腰関節としての機能を持つため下半身の姿勢を保ったまま上半身の姿勢だけを動かすことが可能である．従って下半身軌道と上半身軌道を別々に取り扱うことができ上半身のみを使った姿勢安定化制御を行なうのに有利な機構である．姿勢安定化制御のための重心変位量の算出には文献⁵⁾の方法を用い，重心変位量を実現するには股関節を制御する．

ヒューマノイドロボットの運動を全身関節角度 θ ，重心 $x_{cog} = [x_{cog} \ y_{cog} \ z_{cog}]^T$ ，ZMP $x_{zmp} = [x_{zmp} \ y_{zmp} \ z_{zmp}]^T$ で表す．ロボットに参照軌道として指令全身関節角度 $cmd\theta$ ，指令重心位置 $cmd\ x_{cog}$ ，指令 ZMP 位置 $cmd\ x_{zmp}$ を与える．これらの軌道は理想的な環境下での安定性が保証されたものである．姿勢安定化制御に必要な水平方向重心位置オフセット Δx_{cog} は文献⁵⁾の方法を適用して求める．次に，上半身のみを用いて全身重心位置を変位させると上半身重心変位量 Δx_{ucog} は次式として求められる．ただし， M は全身質量， M_u は上半身質量である．

$$\Delta x_{ucog} = \frac{M}{M_u} \Delta x_{cog} \quad (1)$$

股関節に $\Delta\theta_{hip}$ を加えることで上半身重心位置に Δx_{ucog} の変位量を与えるとする．股関節回転中心位置から上半身重心位置までの長さを l とすると上半身重心変位量は微小であることから次式が成り立つ．

$$l\Delta\theta_{hip} = \Delta x_{ucog} \quad (2)$$

$\Delta\theta_{hip}$ を股関節の関節角変位量に対応させると次式のようになる．

$$\Delta\theta_{hip} = \begin{bmatrix} \Delta\theta_{hip,pitch} \\ \Delta\theta_{hip,roll} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x_{cog}/l \\ \Delta y_{cog}/l \end{bmatrix} \quad (3)$$

$\Delta\theta_{hip,pitch}$ ， $\Delta\theta_{hip,roll}$ を股関節のピッチ軸，ロール軸指令角度に加えることで所望の位置に重心を変位させることができる．

3.2 シミュレーション

姿勢安定化制御の妥当性をシミュレーションを用いて検証した．シミュレーションには Z-DYNAFORM⁶⁾ を用いた．スクワット動作の指令軌道を与え，1.0[s] 以降に外乱を加えロボットを前方から押したシミュレーション結果を Fig.4 に，グラフを Fig.5 に示す．Fig.5 左は目標重心位置と実重心位置，右は目標 ZMP 位置と実 ZMP 位置を示している．両者とも姿勢安定化制御によって目標位置に収束しているのが分かる．

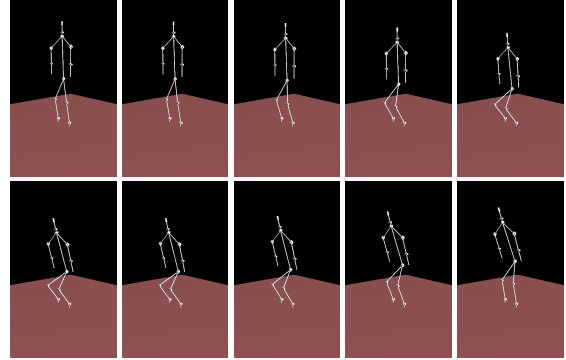


Fig.4 Snapshots of squat motion

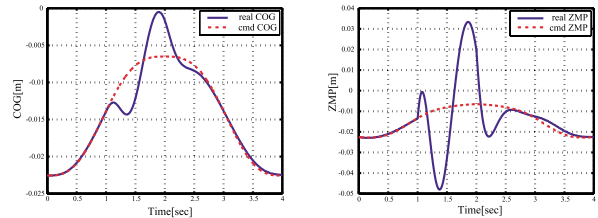


Fig.5 Simulation result of squat motion

4. おわりに

本研究で得られた結論は以下の 2 点にまとめられる．

1. 運動性進化を実現可能とする特徴的な機構を有する全身型ヒューマノイドロボットを開発した．
2. 二重球面ジョイントの特徴を活かした姿勢安定化制御系を設計し，この手法の有効性をシミュレーションによって確かめた．

参考文献

- 1) Kazuo Hirai, et al. The Development of Honda Humanoid Robot. Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1321-1326, 1998
- 2) 岡田，中村．サイバネティック・シオルダの開発 - 人間の肩の動きを模倣した 3 自由度機構 - . 日本ロボット学会誌，Vol.18, No.5, pp.74-82, 2000
- 3) 岡田，後藤，中村．歩行ロボットの従反力運動を実現する膝関節機構．第 20 回日本ロボット学会創立 20 周年記念学術講演会予稿集，2002
- 4) 篠原，伴，後藤，稲邑，岡田，中村．二重球面ジョイントを用いた股関節機構を持つヒューマノイドの開発．第 20 回日本ロボット学会創立 20 周年記念学術講演会予稿集，2002
- 5) T. Sugihara and Y. Nakamura. Whole-body Cooperative Balancing of Humanoid Robot using COG Jacobian. Proc. of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.2575-2580, 2002
- 6) 杉原，西脇，稲葉，井上．汎用多リンク系動力学演算ライブラリ「Z-DYNAFORM」の開発．第 18 回日本ロボット学会学術講演会予稿集，pp.1139-1140, 2000