

# 反射の組み合わせに基づく脚式ロボットの制御

大阪大学 宮下 敬宏 細田 耕 浅田 稔

## Reflection Based Control for a Legged Robot

\*Takahiro Miyashita, Koh Hosoda, and Minoru Asada, Osaka Univ.

**Abstract**— We presents a reflective walk of a quadruped robot based on reflections to realize an adaptive walk, and a robot controller based on modules for reflections and virtual I/O. By using our method, we can realize a reflection based robot easily.

**Key Words:** reflection, reflective walk, module based robot controller

### 1. はじめに

脚式ロボットが様々な不整地環境に適応していくためには、多自由度、多センサ、及びそれらを利用した様々な行動が必要である。しかし、ロボットの遭遇するすべての状況を予測し、適した行動計画をあらかじめ用意することは難しい。そこで、外界センサに基づく複数の反射を脚式ロボットに埋め込み、それらの組み合わせと環境との相互作用から行動を生成する手法を考える。

反射を組み合わせることにより適応的なロボットを作ろうとする試みは、代表的なものとして Brooks の包含アーキテクチャ (Subsumption Architecture)<sup>1)</sup> や、Arkin のスキーマシステム<sup>2)</sup> などがある。しかし、これらの研究では複数の反射間の干渉問題は扱っておらず、干渉する反射を組み合わせる、若しくは既にあるシステムに干渉する新しい反射を埋め込むことは困難であった。

そこで、本研究では脚式ロボットにおいて外界センサに基づく2つの反射、すなわち「視覚目標追従に基づく揺動」と「転倒回避のための踏み替え」の組み合わせと環境との相互作用から生成される反射的な静歩行を提案する。さらにロボット制御器のロボットへ指令値を出力する部分に、仮想出力部を加える。これは、各反射の入出力の関係を表すヤコビ行列を共有し、各反射のロボットへの出力を直行化させるモジュールであり、これにより複数の反射間の干渉を取り除き、新たな反射を容易に埋め込むことのできるシステムを実現する。本稿では、反射の組み合わせによる静歩行と、本手法を実機に適用して構築したシステムについて述べる。

### 2. 反射に基づく脚式ロボットの静歩行

視覚目標追従に基づく揺動の概略を Fig.1(a) に、転倒回避のための踏み替えの概略を Fig.1(b) に示す。

追従目標を動かすと、視覚に基づく揺動の反射により、ロボットは視覚によって追従目標を注視し、その見え方が常に等しくなるように胴体を動かす。このとき脚先接地点は地面に対して動かさない。つまりこの反射によりロボットは視覚目標に追従する運動を揺動

によって実現する。

ロボットは揺動によってバランスが崩れそうになるのを安定余裕(ゼロモーメント点(以下、ZMP)と支持多角形の辺までの最短距離)から観測し、踏み替えの反射により安定余裕を一定値以上に保持する脚の踏み替えを行う。ただし、安定余裕を保持するための脚の踏み替えには力学的拘束により、図のように2歩を要する。

これら2つの反射を組み合わせることによって、追従目標が大きく移動する場合は結果的に静歩行が生成される。

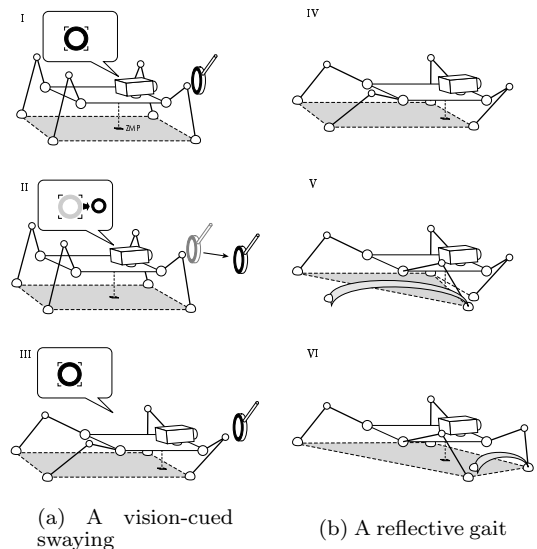


Fig.1 An outline of proposed method

### 3. 実験システム

Fig.2に実験装置の概略を示す。本研究では、脚式ロボットとして TITAN-VIII<sup>3)</sup> を用いた。ロボットの胴体には、カラー CCD カメラ (ソニー, EVI-330) を1台取り付けた。カメラからの画像情報は 512[pixel]×512[pixel] で、ホストコンピュータ (Gateway2000, G6-200, CPU : Pentium Pro 200MHz, OS : Windriver systems, Inc., VxWorks5.3) 上の画像相関演算処理ボード (富士通, TRV-CPD6) に送られる。画像相関演算処理ボードは、前もって与えられた画像テン

プレートと最も相関の高い画像が現在の画像平面上のどこにあるかを検出する<sup>4)</sup>。ロボットの各関節にはポテンシオメータが装備されており、またZMPの位置が計測できるように各脚先には1軸の力覚センサ(共和電業, LM-50KA)を取り付けた。このポテンシオメータと力覚センサの値は、ロボットインターフェースボード(富士通, RIF-01)を通してホストコンピュータに送られる。またホストコンピュータはロボットインターフェースボードを通してロボット本体のモータドライバ(岡崎産業, Titech motor driver)に関節角速度指令値を送る。

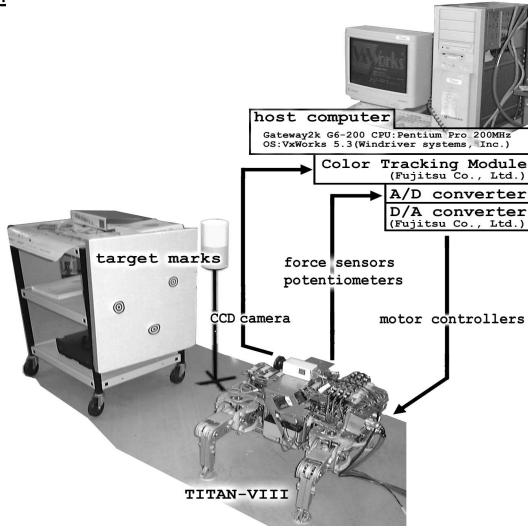


Fig.2 Experimental systems

#### 4. ロボット制御器

反射に基づく脚式ロボットの静歩行を実機において実現するために、複数の反射モジュールと、反射間の干渉を取り除く仮想入出力モジュールからなるロボット制御器を構築した(Fig.3)。

**脚先固定モジュール** このモジュールは、支持脚の脚先間距離を一定に保持することで仮想的にロボットの脚先を地面に固定する。具体的には、共有メモリからロボットの関節角度ベクトル $\theta$ を読み出し、脚先間距離ベクトル $l$ と目標値との誤差ベクトル $l_e = (l_d - l)$ を求める。さらに $\theta$ から、 $i$ と $\dot{\theta}$ の関係を表すヤコビ行列 $J_{l\theta}$ を求め、 $l_e$ とともに共有メモリに書き込む。

**視覚目標追従モジュール** これは、適応型視覚サーボ<sup>5)</sup>を用いてロボットの胴体を視覚目標の運動に追従させるモジュールである。ここでは、共有メモリに書かれている画像特徴の位置ベクトル $x$ を読み込み、目標値との誤差ベクトル $x_e = (x_d - x)$ を求める。さらに、最終的なロボットへの指令値 $\dot{\theta}$ と $x_e$ から、 $\dot{x}$ と $\dot{\theta}$ の関係を表すヤコビ行列 $\hat{J}_{x\theta}$ を推定し、 $x_e$ とともに共有メモリに書き込む。

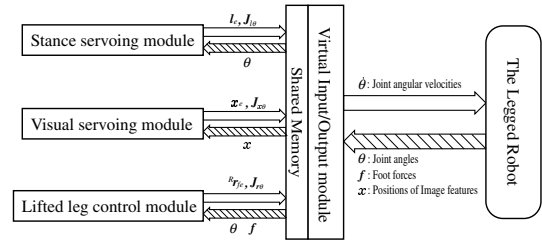


Fig.3 The robot controller based on modules

**踏み替えモジュール** このモジュールは、共有メモリから読み込んだ脚先力 $f$ と $\theta$ から安定余裕を計算し、それを一定値以上に保持するように遊脚を動かす。共有メモリには、遊脚の脚先目標位置との現在位置との誤差 $Rr_{fe} = (Rr_{fd} - Rr_f)$ と、 $R\dot{r}_f$ と $\dot{\theta}$ の関係を表すヤコビ行列 $J_{r\theta}$ を書き込む。

**仮想入出力モジュール** 一定間隔でセンサの出力 $(\theta, f, x)$ を読み、共有メモリに書き込む。また共有メモリに各反射モジュールが出力したヤコビ行列を基に、反射モジュールのロボットへの指令値を以下の式により直交化させて組み合わせ、関節角速度指令値 $\dot{\theta}_d$ としてロボットに出力する。

$$\text{支持脚} : \dot{\theta}_{sup} = J_{l\theta}^+ K_{l_e} + (I - J_{l\theta}^+ J_{l\theta}) \quad (1)$$

$$\{ \hat{J}_{x\theta} (I - J_{l\theta}^+ J_{l\theta}) \} + \{ K_x x_e - \hat{J}_{x\theta} J_{l\theta}^+ K_{l_e} \}$$

$$\text{遊脚} : \dot{\theta}_{free} = J_{r\theta}^+ Rr_{fe} \quad (2)$$

#### 5. おわりに

本稿では、複数の反射を脚式ロボットに埋め込み、その組み合わせと環境との相互作用から生成される静歩行を提案した。さらに、ロボットへの指令値を出力するモジュールが各反射のヤコビ行列を共有することにより、反射間の干渉を除去し、反射の完全なモジュール化を実現した。本手法は、脚式ロボットにとどまらず、様々なロボットシステムへの応用が考えられる。

#### 参考文献

- 1) R. A. Brooks. Intelligence without representation. *Artificial Intelligence*, Vol. 47, pp. 139-159, 1991.
- 2) R. C. Arkin. *BEHAVIOR-BASED ROBOTICS*. The MIT Press, 1998.
- 3) K. Arikawa and S. Hirose. Development of quadruped walking robot titan-viii. In *Proc. of the 1996 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robotics and Systems*, pp. 208-214, 1996.
- 4) M. Inaba, T. Kamata, and H. Inoue. Rope handling by mobile hand-eye robots. In *Proc. of Int. Conf. on Advanced Robotics*, pp. 121-126, 1993.
- 5) K. Hosoda, T. Miyashita, S. Takeuchi, and M. Asada. Adaptive visual servoing for legged robots -vision-cued swaying of legged robots in unknown environments-. In *Proc. of the 1997 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robotics and Systems*, pp. 778-784, 1997.