

視覚情報に基づく脚式ロボットの行動 — 実機による実験 —

○ 竈門 光彦 細田 耕 浅田 稔
大阪大学 工学部

Legged robot control based on visual information — Experiment on actual robot —

○Mitsuhiko Kamado Koh Hosoda Minoru Asada
Osaka University

1 はじめに

ロボットを自律的に動作させるためには、外界の変化を観測する外界センサの情報に基づいて、ロボット自らが自身の動作を逐次計画、実行していく必要がある。様々なロボットにおいて、このようなロボットの実現が試みられているが、特に脚式ロボットに関しては、ほとんどの研究において、歩行などの実現のためにあらかじめロボットの運動学、動力学を考慮して算出された関節目標値を利用している。

これに対して、筆者らは、視覚センサからの情報をロボットのサーボループに直接フィードバックするビジュアルサーボ¹⁾の手法を、脚式ロボットに適用し、逐次得られる視覚情報に基づいてロボットの姿勢制御をすることを提案した²⁾。本報告では、普及型脚式ロボット TITAN-VIII³⁾ にビジュアルサーボを適用し、提案手法の有効性を実験によって検証する。

2 ビジュアルサーボによる脚式ロボットの位置・姿勢制御

ビジュアルサーボ系は、観測される対象物の画像特徴量を目標状態に制御するための手法である。ロボットが環境に対して適当に拘束されている場合は、ロボットに搭載されたカメラから観察される対象物の画像特徴量の変化量 ${}^I\dot{x}$ と、カメラの速度 ${}^w u_c$ の間には ${}^I\dot{x} = J_{image}(\theta) u_c$ という関係が成立する。一方カメラの速度は、ロボットの各関節角速度 θ の関数で $u_c = J_{robot}(\theta) \dot{\theta}$ のように書ける。したがって、対象物の画像特徴量の変化量は関節角速度の関数として、

$${}^I\dot{x} = J_{image} J_{robot} \dot{\theta} \triangleq J_{sys}(\theta) \dot{\theta} \quad (1)$$

となる。

ロボットアームに対してビジュアルサーボを適用する場合には、アームが地面に固定されているので、式(1)を用いて制御系を構成すればよい。しかし脚式ロボットの場合には、各脚は地面に対して滑る可能性がある。したがって、式(1)をもとにビジュアルサーボを構成するためには、脚式ロボットの各脚が動作の間地面に対して滑らないように、すなわち各脚先間距離 l をできるだけ一定にする必要がある。各脚先間距離の変化速度 \dot{l} は関節角速度の関数として、

$$\dot{l} = \frac{\partial l}{\partial \theta} \dot{\theta} \triangleq S(\theta) \dot{\theta} \quad (2)$$

のように書ける。

式(1), (2)に基づいて、できるだけ脚先間の距離を保持しながら、画像特徴量を目標値に収束させるための制御則を

$$\begin{aligned} \dot{\theta} = & S^+ K_l (l_{init} - l) \\ & + (I - S^+ S) \tilde{J}_{sys}^+ \\ & (K_i (x_d - x) - J_{sys} S^+ K_l (l_{init} - l)) \quad (3) \end{aligned}$$

と与える。ただし、 A^+ は A の疑似逆行列をあらわし、 $\tilde{J}_{sys} \triangleq J_{sys}(I - S^+ S)$ である。 l_{init} は脚先相対距離の初期値、 x_d は追跡する対象物の画像特徴量の目標値、 K_l, K_i は正定ゲイン行列である。式(3)によって、与えられた画像特徴量を実現するような脚式ロボットの揺動を実現することができる (Fig.1)。

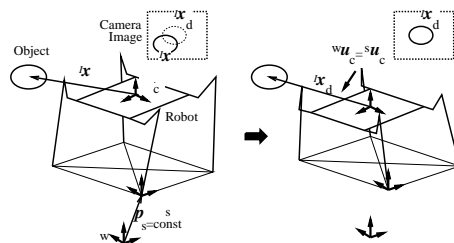


Fig.1 Robot action with visual servoing

3 システム構成

実験に用いる普及型脚式ロボット TITAN-VIII は 3 自由度の脚を 4 脚持つ 12 自由度多脚型ロボットである (Fig.2)。各関節にはポテンシオメータが装備されており、これらを A/D ボードを用いて観測することにより各関節変位を検出する。ロボットには 2 台のカメラが搭載されており、カメラからの信号は富士通製トラッキングビジョンに送られる。トラッキングビジョンによって、追跡対象の画像上での位置が検出できるので、これと関節変位をもとに、ホストコンピュータ (PS-V MASTER, IBM 社製) によって各関節に対する速度目標値を計算する。計算された目標値は D/A ボードを通して各関節の専用コントローラに送られる。各関節は専用コントローラによって速度制御される。

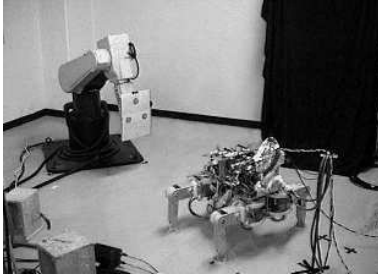
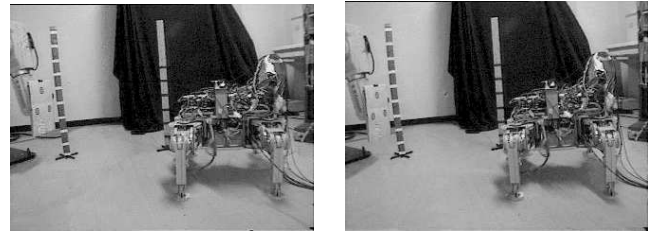


Fig.2 Experimental environment



(a) initial position

(b) down movement

Fig.4 action 1

4 実験

カメラでとらえる対象物が、ステップ変化した場合と連続的に動く場合の実験結果を示す。

ロボットは大きさ約 $0.50 \times 0.60 \times 0.40[m]$ 、総重量約 $25[kg]$ 、追跡対象物は一辺約 $0.14[m]$ の正三角形(の頂点)とし、その初期位置はロボットの正面前方約 $1.0[m]$ である。追跡対象物の初期の見え方を画像特徴量の目標値として与えた。

4.1 ステップ変化

対象物をロボットからみて、初期位置から鉛直下方向に $0.05[m]$ 移動させた。このときの全ての画像特徴量の目標値との誤差ノルムの平均値の変化をFig.3に示す。実際には対象物の移動には多少の時間がかかっているが、約 1.5 秒程で誤差ノルムがなくなるように収束している。最終的な偏差は重力の影響による沈み込みによる。また、脚先間距離を保持しているため、脚先位置の変化は観測不可能な程度であり、接地点を変化させることはない。この時の変化の様子を、Fig.4に示す。対象物の下降に伴って、下を向くという動作が実現されている。

4.2 連続的な変化

対象物をロボットからみて、初期位置から連続的に左右に幅約 $0.10m$ 移動させた。この時の変化の様子を、Fig.5に示す。対象物の動きに伴って、ロボットの左右への揺動が実現されている。

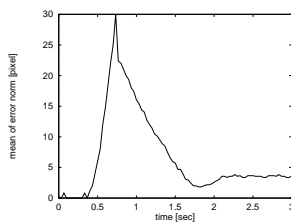
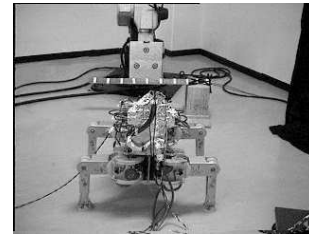
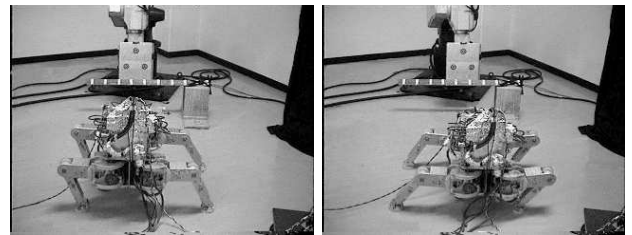


Fig.3 error norm



(a) initial position



(b) left movement

(c) right movement

Fig.5 action 2

5 おわりに

本手法の有効性を実機により検証した。このように脚式ロボットを視覚情報をもとに制御することで、あらかじめ歩行パターンなどを与えることなく歩行を実現させることができると考えている。

参考文献

- [1] L.E.Weiss, A.C.Sanderson, and C.P.Neuman. Dynamic Sensor-Basad Control of Robots with Vidual Feedback. *IEEE J. of Robotics and Automation*, Vol. RA-3, No. 5, pp. 404-417, 1987.
- [2] 竈門, 細田, 浅田.”ビジュアルサーボによる脚式ロボットの目標物追従制御” 第13回ロボット学会学術講演会予稿集, pp.979-980,1995.
- [3] 広瀬茂男, 有川敬輔.”普及型歩行ロボットTITAN-VIIIの開発” 第1回重点領域研究『知能ロボット』シンポジウム予稿集, pp.12-15,1996.