

# 視覚サーボと反射的踏み替えによる脚式ロボットの歩容の誘導

○竹内 進      宮下 敬宏      細田 耕      浅田 稔  
大阪大学大学院 工学研究科 知能・機能創成工学専攻

## Emergence of Walk based on Visual Servoing and Reflective Gait for Legged Robot

○Susumu Takeuchi      Takahiro Miyashita      Koh Hosoda      Minoru Asada  
Osaka University

### 1 はじめに

ロボットが未知環境に適応するためには、行動時に外界センサで環境を観測し、環境の変化に反射的に対処することが必要である。4脚ロボットで従来研究されてきた目標軌道計画型や操縦型の歩行制御では、行動時に外界センサを明に用いていないため動的な環境に対応することが困難であった。

外界センサを明に用いた4脚ロボットの研究としては、竹内ら<sup>1)</sup>が適応型視覚サーボ<sup>2)</sup>を用いた視覚目標追従に基づく揺動を実現している。しかし、ここでは歩行には至っていない。

そこで本報告では、外界センサとして視覚センサと力覚センサを用い、力覚センサに基づく4脚ロボットの姿勢の安定性を保つための踏み替えを提案する。さらに、視覚目標追従に基づく揺動<sup>1)</sup>と安定性を保つための踏み替えを組み合わせるにより、広範囲での反射的な視覚目標追従行動を実現し、結果的に歩行が誘導されることを、実機を用いた実験により検証する。

### 2 問題設定

本研究で用いる4脚ロボットを以下のように仮定する。

- ロボットの各脚は3自由度である。
- ロボットの構造は既知とする。
- 単眼の視覚センサと、各脚に1軸力覚センサを装備している。

### 3 視覚サーボによる脚式ロボットの揺動

まず脚式ロボットに適応型ビジュアルサーボを用い、ロボットに視覚目標の動きに応じた揺動を実現させる<sup>1)</sup>。

ここで脚式ロボットはハンドアームシステムと異なり地面に対して絶対的な固定点を持たないため、接地点が変化して画像とロボットの動きとの関係が変化してしまう恐れがある。これを防ぐために各脚先位置の距離を保持する制御を行い、画像とロボットの動きとの関係が変化するのを防ぐ。脚先間距離を保持するための関係式は<sup>1)</sup>を参照されたい。

脚先間距離が保持されている場合には脚式ロボットに適応型視覚サーボの手法を用いることができる。これにより脚式ロボットの視覚目標物の動きに応じたボディの揺動が実現する。

### 4 脚の踏み替え

視覚目標追従に基づくボディの揺動のみが実現されている場合、目標物がロボットから遠ざかって行くと、ロボットは脚先接地点を変化させず胴体だけを見目標物に追従させようとするので、ロボットは安定性を失い転倒する。

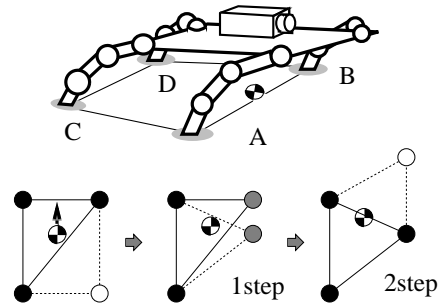


Fig.1 2step fall down avoidance

そこで転倒を回避し目標追従行動を継続させるために、2ステップの脚の踏み替えを提案する (Fig.1)。Fig.1においてLegAを進行方向に出ることができればロボットの安定性が增大するが、この状態では力学的にLegAを上げることはできない。そこで1ステップ目でLegAを持ち上げることができる状態にし、2ステップ目で進行方向に振り出すことにより安定性を増大させる。

#### 4.1 踏み替えのアルゴリズム

上記の2ステップの歩容を遊脚を主体にして考える。Fig.2のような3本の支持脚の配置を考えると、遊脚の動きは支持脚と $v_{zmp}$  (ゼロモーメント点の移動速度)の関係から2通りに分けられる。即ち $v_{zmp}$ の延長線が交わる支持三角形の辺を構成する脚 (LegA, LegB) のそれぞれの対角脚が遊脚に位置する場合と、残りの支持三角形の頂点の脚 (LegC) の対角脚が遊脚に位置する場合である。

LegA (LegB) の対角脚が遊脚の場合 遊脚を LegA (LegB), LegC でできる支持三角形の中に ZMP が入るように接地し LegB (LegA) を遊脚化する。

LegC の対角脚が遊脚の場合 遊脚を適当な位置に動かし待機させる。ZMP が支持三角形 ABC を出た瞬間に接地する。次の遊脚は LegC である。

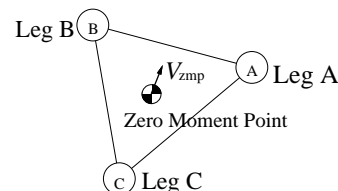


Fig.2 Supported triangle

#### 4.2 着地位置の決定方法

遊脚の着地点を決定する際の必要条件としては

- 脚の可動範囲内であること。
- ZMP を支持三角形の中を含むこと。
- ロボット胴体の姿勢を変化させないこと。

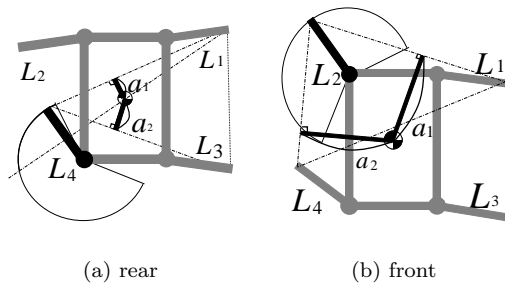


Fig.3 foot position

が考えられる．この条件の下で着地点を唯一に決める指針として，まずロボット胴体の姿勢を変化させないという条件のもとで，脚の可操作度を最大にする脚姿勢を選ぶ．次に脚の可動範囲内でZMPを支持三角形の中に含むという条件の基で，着地後の安定性が最大になる着地位置を選ぶものとする．安定性が最大になるといのは安定余裕  $a_i$  において

$$|a_1 - a_2| \rightarrow \min \quad (1)$$

に相当する (Fig3(a)) .

Fig.2のLegCの対角脚が遊脚の場合は踏み替え後の支持三角形とZMPの間の安定余裕を用いる (Fig3(b)) .

## 5 実験

### 5.1 実験装置

実験にはTITAN-VIII<sup>3)</sup>を用いる．ロボットには1台のカメラ (Sony 製 EVI-330T) が搭載されており，このカメラからの信号は画像処理装置であるトラッキングビジョン (富士通製 TRV-CPD6) 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，これと関節角変位をもとに，ホストコンピュータ Gateway 2000 G6-200 (CPU:Pentium Pro 200MHz) 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，これにより各関節が速度制御される (Fig.4) .

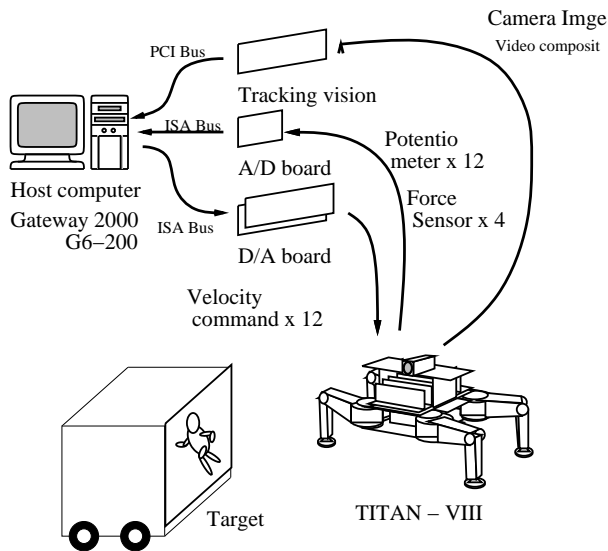
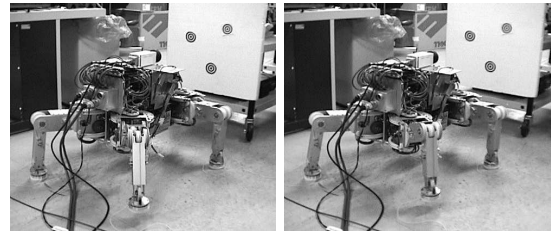


Fig.4 experimental system

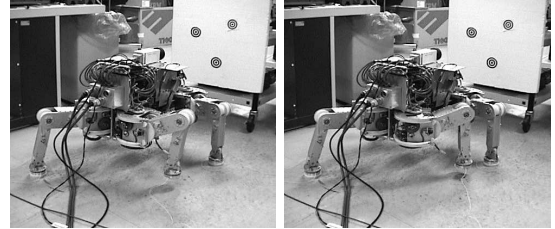
### 5.2 実験結果

本手法をTITAN-VIIIに適用し視覚目標追従行動の検証を行った．視覚目標はロボットのカメラの光軸方向に移動にさせた．



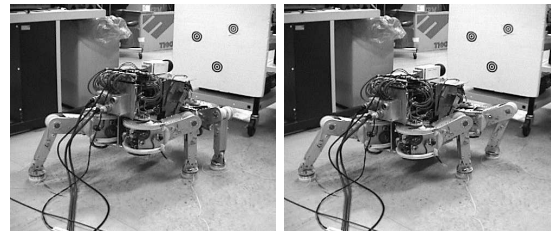
(a) time = 0.00 sec

(b) time = 8.06 sec



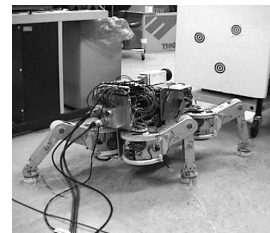
(c) time = 8.73 sec

(d) time = 9.73 sec



(e) time = 10.40 sec

(f) time = 11.16 sec



(g) time = 12.00 sec

Fig.5 experimental result

視覚目標追従行動の様子を Fig.5に示す．順に見ていくことで，遊脚を前に振り出し，踏み替え，切り替わった遊脚を前に振り出している様子が分かる．

## 6 おわりに

本報告では，適応型視覚サーボによるロボットの揺動と脚の踏み替えにより，環境の変動に対応する反射的な行動を実現する手法を提案し，実験によりその有効性を検証した．

### 参考文献

- [1] 竹内, 細田, 浅田. 未知環境における脚式ロボットの視覚誘導制御. ロボティクス・メカトロニクス講演会'97 講演論文集, pp. 541-542, 1997.
- [2] 細田, 浅田. 構造やパラメータに関する先験的な知識を必要としないフィードフォワード補償器を持つ適応型ビジュアルサーボ系の構成. 日本ロボット学会誌, Vol. 14, No. 2, pp. 313-319, 1996.
- [3] K.Arikawa and S.Hirose. Development of quadrupedal walking robot TITAN-VIII. *IROS96*, pp. 208-214.