

視覚支援歩行ロボットの研究

- 第2報：本体揺動を利用した奥行き知覚 -

Study on Vision Aided Walking Robots - Depth Map Creation by Lateral Body Movement -

○ 正倉 亮 (東工大)

正 広瀬 茂男 (東工大)

Ryo Kurazume, and Shigeo Hirose
Tokyo Institute of Technology, 2-12-1, Ookayama, Meguro-ku, Tokyo

Acquisition of environmental information by visual sensors such as CCD cameras and laser range finders is indispensable for walking robots acting autonomously and intelligently. In this report, we propose the stereo vision system for walking robots by combining lateral body movement with monocular motion stereo. This system simultaneously improves the stability of walking and realizes the depth map creation by a CCD camera by using an inherent characteristic of walking robots, which is redundant degrees of freedom. Experiments with a quadraped robot, TITAN-VIII, a digital camera, and a pipeline processor, MaxPCI, show that the robot can recognize the position of obstacles placed in the path of movement.

Keywords: Walking robot, Monocular motion stereo, Depth map, Lateral body movement, Map creation

1 はじめに

歩行ロボットが自律的かつ知的に行動するためには、視覚による環境情報の取得が必要不可欠である。これまでも、多足歩行ロボットにレーザレンジファインダを搭載し、周囲環境の地形図を自動作成した例 [1] や、2 台のテレビカメラの両眼立体視により障害物回避を行ったもの [2] など、いくつかの例が報告されている。しかしこれらは従来別々に開発されてきた視覚認識技術と歩行ロボットを組み合わせたものであり、歩行ロボット特有の機能を利用した視覚認識の実現や安定した歩行継続に必要な視覚情報等の議論はなされていない。

そこで本報告では、多くの歩行ロボットが歩行を実現するために必要な最小自由度以上の、冗長な運動自由度を有していることに着目し、これら冗長自由度を利用したロボット本体の左右揺動と、単眼による移動ステレオ視を組み合わせることで、歩行安定性の向上と視覚による外部環境認識を同時に実現する歩行ロボットのための立体視覚システムを提案する。

2 本体揺動を利用した奥行き知覚

歩行ロボットが本体の位置姿勢を制御しつつ三次元環境を移動するには、最低 5 自由度が必要であるとされている。しかし一般には、対地適応性向上のために冗長な自由度が付加されており、4 足歩行機械では各脚 3 自由度、合計 12 自由度を有するものが多く試作されている。この場合、 $12 - 5 = 7$ 自由度は、歩行の継続には直接必要のないものであり、この自由度を利用して足先接地位置は固定したまま本体の位置姿勢の変更等を行うことが可能である。本研究室ではこれまでにこの冗長自由度を利用し、転倒可能性の低い安定な歩行状態を継続的に実現する間欠クローリング歩容を提案している [3]。これは 4 足歩行ロボットが 4 脚接地の状態において、次の遊脚時に重心位置が支持脚多角形の十分に内部に位置するように本体位置を移動させるものであり、これにより急傾斜地での転倒安定性が大幅に向上することが報告されている。

本研究では、この冗長自由度を CCD カメラによる環境認識を利用することを考え、歩行中にカメラが固定されたロボット本体を進行方向の左右に揺動させることで、同一ベースライン上の多視点において複数画像を取得し、揺動量と視差の計算結果から奥行き情報を得る、歩行ロボットのための立体視覚システムを提案する。

まずデューティ比 0.75 以上の 4 脚接地状態が存在する歩容において、Fig. 1 に示すように前脚が接地してから後脚が遊脚化するまでの 4 脚接地時に、ロボット本体を遊脚化する後脚とは反対側に移動する歩容形態を考える。この歩容は、間欠クローリング歩容と同様に、前後脚の遊脚

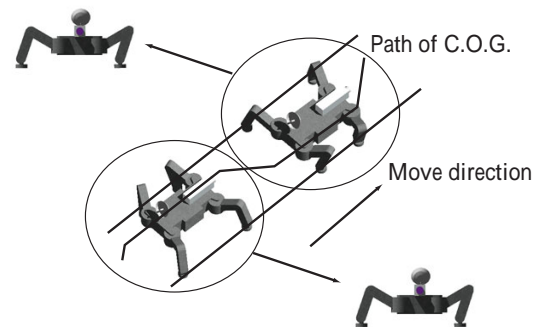


Figure 1: Crawl gate with lateral body movement

時にも支持脚三角形の十分内部に本体重心が位置するため、通常のクローリング歩容に比べて転倒安定性が大きい。

またこの本体の左右揺動時に CCD カメラで複数画像を撮影し、画像間相関演算により求められた視差を時空間画像上で解析することにより、奥行きに応じた視差の変化勾配を得ることができる [4]。すなわち、揺動開始時に撮影された画像 0 と揺動中に連続的に等間隔で撮影された画像 i ($i = 1 \sim n$) それぞれに対して、局所相関演算により視差を計算すると、ロボットが一定速度で平行に揺動する場合、画像 0 上のある点での視差は i に比例する。そこでこの傾きと残差を最小自乗法により求め、残差がある閾値以下である場合には本体の進行速度及び揺動速度からその点の奥行きを計算し、残差が閾値以上であれば対応点の選択に失敗したものとして計算から除外する。

本手法は本体左右揺動時の位置決め精度が計測精度に直接影響するものの、1 台の CCD カメラで実現可能であることや、多視点画像を利用可能であるために画像間の誤対応に強いこと、さらには間欠クローリング歩容と同様に左右揺動により歩行の安定化も同時に実現されることなど、歩行ロボット特有の視覚システムとして多くの利点を有する。

3 歩行認識実験

提案した手法の実現可能性を検討するため、4足歩行ロボット TITAN-VIII、高速デジタル CCD カメラ (ES310, Kodak 製)、及びパイプライン型画像処理装置 (MaxPCI, Datacube 製) からなる実験システムを構築した。TITAN-VIII はボードコンピュータ (Pentium 200MHz) と CCD カメラを搭載し、外部に設置された画像処理装置と TCP/IP により接続されている。CCD カメラの出力は 12ms 毎にパイプライン型画像処理装置へ入力され、逐次連続的に画像間相関演算が行われる。

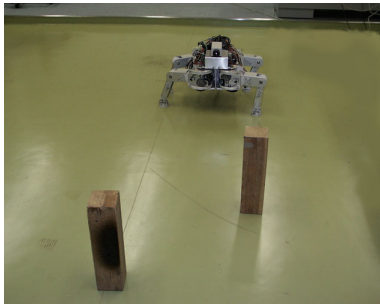


Figure 2: TITAN-VIII with a CCD camera

この実験システムを用いて歩行経路上におかれた障害物の認識実験を行った。右方向への揺動中に 7 つの画像を撮影し視差勾配を計算した場合の実験結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3(3) では、明るいほど対象物までの距離が近いことを示している。またロボットを継続的に歩行させて障害物の位置を測定した結果を Fig. 4 に示す。これより、提案したシステムにより歩行経路上の障害物の位置がほぼ測定可能であることがわかる。

4 おわりに

本報告では、歩行ロボットの有する冗長自由度を利用した本体の左右揺動と、単眼による移動ステレオ視を組み合わせ、歩行安定性の向上と外部環境認識の双方を実現する歩行ロボット特有の立体視覚システムを提案した。また 4 足歩行ロボット TITAN-VIII を用いた歩行認識実験により、提案したシステムにより実用上有効な立体視覚システムが構築できることを示した。

References

- [1] E. Krotkov and R. Simmons: Perception, Planning, and Control for Autonomous Walking With the Ambler Planetary Rover, The Int. J. of Robotics Research, Vol.15, No.2, pp.155-180, 1996
- [2] 岡田, 加賀美, 稲葉, 井上: 色領域分割と両眼ステレオの統合による脚型ロボットの三次元障害物回避, 第 16 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.1505-1506, 1998
- [3] H. Tsukagoshi, S. Hirose, K. Yoneda, "Maneuvering Operations of a Quadruped Walking Robot on a Slope," Advanced Robotics, Vol.11, No.4, pp.359-375, 1997
- [4] 谷内田: 移動ロボットと環境認識, コンピュータローグ, pp.63-70, 1990



(1) Initial image



(2) 7th image



(3) Gradient of disparity

Figure 3: Example of disparity calculation

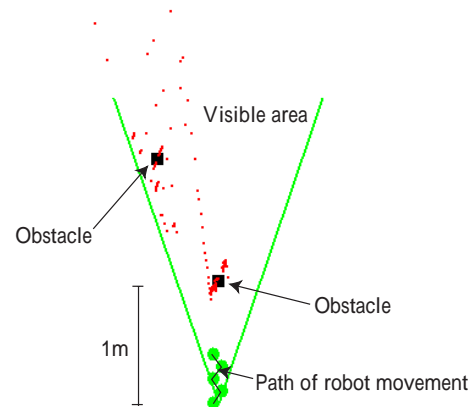


Figure 4: Depth map