

視覚支援歩行ロボットの研究

- 第4報：高速画像安定化機構を用いた遠隔操縦性能の向上 -

Study on Vision Aided Walking Robots - Teleoperation experiment of walking robots using high-speed image stabilization system -

○ 正倉爪亮(東工大) 葉石敦夫(東工大) 正広瀬茂男(東工大)

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

For the effective remote operation of a walking machine, the utilization of image information from a camera mounted on the walking machine is indispensable. However, unlike wheeled vehicles, the camera mounted on the walking machine oscillates because of the impact by the walking, and the obtained unstable images cause inferior operation performance. In this paper, we introduce an image stabilization system for teleoperation of walking robots using a high speed CCD camera and gyrosensors. The image stabilization is executed in two phases, that is, the estimation of the amount of oscillation by the combination of the template matching method and gyrosensors, and change of the display region. Pentium MMX instruction is used for template matching calculation, and the estimated amount of oscillation is given in every 12 (msec.). Furthermore, developed image stabilization mechanism can be used an external attitude sensor from the visual information, and the damping control of the robot body while walking is also possible.

Experimental results showed stabilized images that eliminates the oscillation component are taken even when the robot moves dynamically or in long distance, and verified that the performance of attitude control using the developed image stabilization system is almost same as the case using an attitude sensor.

Keywords: Walking robot, Image stabilization, Remote operation, Optical flow, Gyro sensor, Attitude sensing

1 はじめに

移動ロボットを遠隔操縦する場合、ロボット本体に取り付けられた CCD カメラ等の画像情報の利用が有効である。しかし脚型歩行ロボットは支持脚切り替え時の衝撃のためにカメラが大きく揺動し、オペレータ側で安定した画像を得ることができずに操作性が低下するという問題がある。しかし、これをロボット本体の制振制御により抑制するのは限界があるため、入力画像から外乱による画像揺動成分を除去する画像安定化機構は、歩行ロボットの遠隔操縦システムには必要不可欠である。

この問題に対し我々は前報 [1] で、高速デジタル CCD カメラと専用画像処理プロセッサからなる高速画像安定化機構を構築し、画像の取得、領域法によるオプティカルフローの検出、及びオペレータへの提示領域の変更を 12ms のスループットで行うシステムを開発した。

今回我々はより高速かつ安価な画像安定化機構の構築を目指し、小型角速度センサと汎用コンピュータによる画像処理を組み合わせた機構を構築した。これは、まず角速度センサでおおよその画像安定化を行い、通信送れやセンサノイズに起因する誤差成分を領域法によるオプティカルフローの検出により補正、吸収するものである。また画像処理にペンティアム MMX 命令を利用することで、50 個のオプティカルフローを同時に検出しながら 12[msec.] のスループットで安定化画像が出力可能となった。さらに本機構を用いてロボット本体の姿勢変動量の推定し、静歩行時の姿勢フィードバック制御を行った結果、姿勢センサとほぼ同等の性能で視覚情報から歩行ロボットの姿勢推定および振動抑制が可能であることを確認したので報告する。

2 画像安定化のための機構と手法

2.1 歩行ロボット遠隔操縦システム

Fig.1 に示す 4 足歩行ロボット TITAN-VIII に高速 CCD

カメラ (ES310, Kodak 製), Pentium 200MHz ボード (PCI-586HV, JDS 製), AD/DA ボード, Ethernet カード, シリコンディスク, 3 軸姿勢センサ (MAXCUBE, 日本航空電子製), 角速度センサ (ジャイロスター, 村田製作所製) を搭載し、歩行ロボットの遠隔操縦システムを構築した。このロボットは 10[msec.] 毎に歩容計画ルーチンの実行と

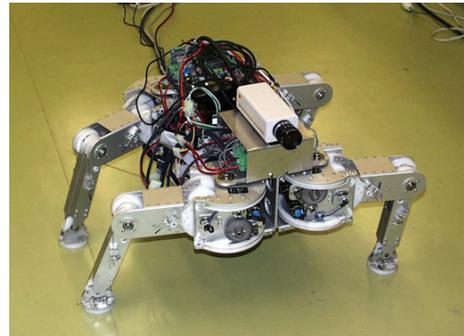


Figure 1: 4-legged walking robot TITAN-VIII

本体姿勢の制御、及び歩行面形状の推定を行い、外部のコンピュータに接続されたジョイスティックにより TCP/IP を用いて遠隔操縦される。

搭載した高速 CCD カメラは、648x484 画素のプログレッシブ画像を最高毎秒 80 フレームで出力し、取得された画像は 12[msec.] 毎に画像処理ボード (MAXPCI, DAT-ACUBE) を通してパーソナルコンピュータ (Pentium III, 600 MHz) のメインメモリに送られ、MMX 命令を用いた画像処理が行われる。

2.2 画像安定化の手法

角速度センサとオプティカルフロー計算等の画像処理を組み合わせた画像安定化手法を Fig.2 に示す。これはまず初

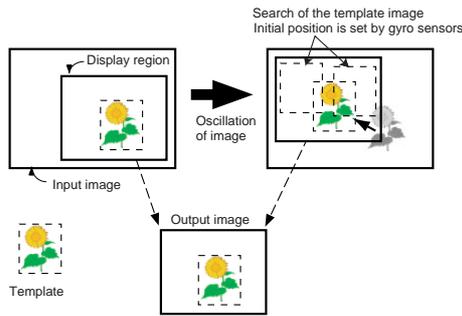


Figure 2: Image stabilization system

期画像で適当なテンプレート領域を設定し、次に入力画像上でテンプレート領域に対応した領域の位置を SAD (Sum of Absolute Difference) 演算により求める。ただしこのとき、前時刻での対応位置に角速度センサから推定される対応領域の移動変化量を加えた位置を探索領域の中心とする。次にその動きに合わせて、入力画像よりやや小さくとした画像表示領域を移動し、その領域の画像をモニタに出力する。SAD 演算はパーソナルコンピュータのペンティアム MMX 命令により実行され、画像表示領域の変更は画像処理ボード (MaxPCI, Datacube) を利用した。実験の結果、テンプレートの大きさが 16x16 ピクセル、探索領域が近傍 10 x 10 ピクセルの時の 1 テンプレート当りの相関演算時間は 0.22 [msec.] であり、画像 1 サンプルング時間 (12[msec.]) 内に 50 個のテンプレートを同時に追跡することができた。従って追跡するテンプレートが 50 個以下であれば、画像の取得も含めた全体のスループットは 12[msec.] となり、これはロボットのサンプリング周期である 10[msec.] にほぼ等しい。

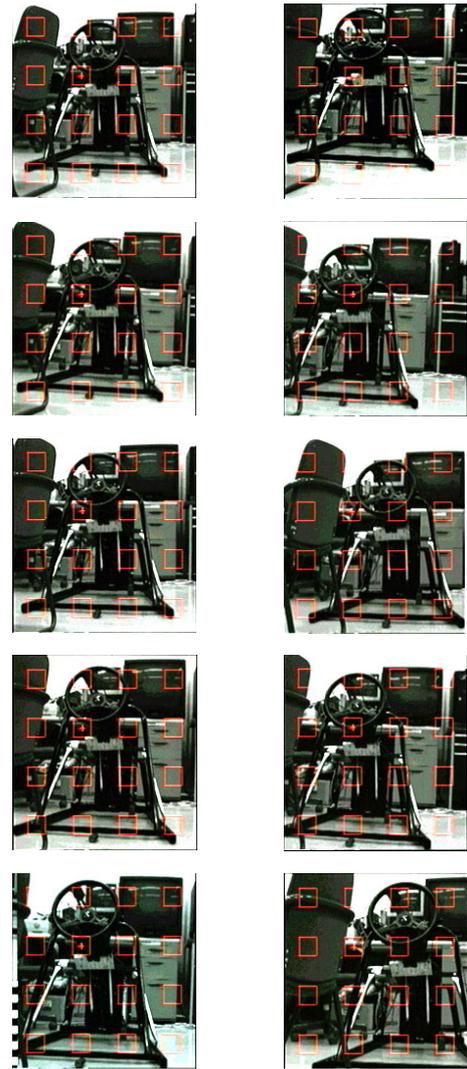
3 歩行ロボットの遠隔操縦実験

構築した画像安定化機構の性能を確認するために、Fig.1 に示す歩行ロボット遠隔操縦システムを用いて画像安定化実験を行った。実験結果の一例を Fig.3 に示す。Fig.3 の左側は構築した画像安定化機構を用いた場合、右側は用いなかった場合の結果である。実験の結果、ロボットの動歩行時や長距離の移動でも振動成分の除去された安定な画像を出力でき、構築した機構の有効性が確認できた。

なお、初期画像でのテンプレート領域の選択法は Tomasi の方法 [3] を用いており、またフローの計算で相関値がある閾値以下のテンプレートは信頼性が低いとして除外し、残った動きベクトルの平均値を画面全体の動きベクトルとして画面表示領域を変更した。さらに、追跡中のテンプレート数がある一定量以下になった場合には、その時点での入力画像を初期画像とし、新たなテンプレート領域を設定し直した。

4 画像安定化機構を用いた本体姿勢の制振制御

構築した画像安定化機構は、テンプレートの移動量と焦点距離から CCD カメラの姿勢を推定でき、ロボット本体の外界姿勢センサとしても利用可能である。しかし 1 台のカメラあるいは一つの視野だけでは、特にカメラ光軸回りの回転量を正確に求めるのは困難である。そこで、Figs.4,5 に示すように、カメラ前方にミラーを置き、画面左半分は本体左側の画像を撮影して、前項で示した方法により左側画像に対してもフローベクトルの計算を行った。そしてこれら 2 つの視野に対するフローベクトルが



Stabilized images Raw images
Figure 3: Results of image stabilization

ら、最小自乗法によりロボット本体の 3 軸方向の姿勢変動角を推定した。

つぎにロボット前方に高さ 50mm の段差を置き、右前足の接地点を段差上に設定して静歩行による段差乗り越え時の本体姿勢の制振制御実験を行った。実験の様子を Fig.6 に、ロール、ピッチ軸回りの角度変化を Fig.7 に示す。実験の結果、ピッチ軸では画像安定化機構を用いた制振制御により、制振制御を行わない場合に比べて姿勢センサとほぼ同様の制振性能が実現できることがわかった。

さらに Fig.8 に示すようにロボットを歩行させたときの、ヨー軸回りの姿勢角の変化を Fig.9 に示す。ただし Fig.9 の実線はロボットへの姿勢指令値である。実験の結果、構築した画像安定化機構には零点ドリフトが存在しないため、特にヨー軸回りの姿勢角を姿勢センサよりも正確に測定できる可能性があることがわかった。

5 おわりに

歩行ロボットの遠隔操縦特有の問題である、支持脚切り替えの不連続性に起因する画像振動に対して、これを除去し安定した画像を得るための高速画像安定化機構を提案した。また本機構により視覚情報から姿勢センサとほぼ同等の性能で歩行ロボットの姿勢推定および振動抑制

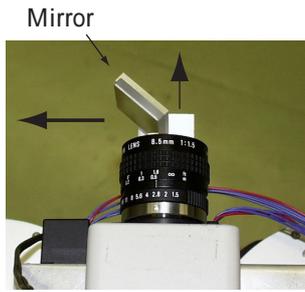


Figure 4: Images splitting by a mirror

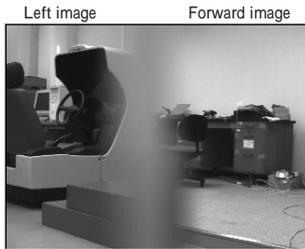


Figure 5: Split images

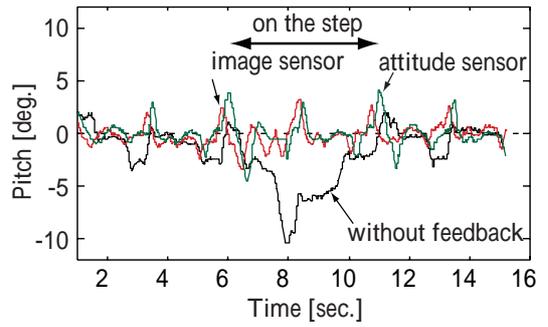
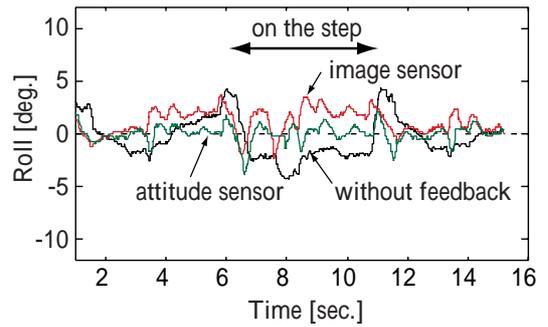


Figure 7: Change of attitude in step climbing experiment

が可能となることを，静歩行を行う4足歩行ロボットの制振制御実験により示した。

References

- [1] 高松，倉爪，広瀬，視覚支援歩行ロボットの研究 - 第1報：歩行時画像の安定化と姿勢制御 - ，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'99 講演論文集，1P1-42-059，(1999).
- [2] 倉爪，広瀬，視覚支援歩行ロボットの研究 - 第3報：高速画像安定化機構の開発 - ，第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集，pp.135-136，(1999).
- [3] C. Tomasi and T. Kanade, Shape and Motion from Image Streams: A Factorization Method -2. Point Features in 3D Motion, Technical Report CMU-CS-91-105, Carnegie Mellon Univ., Pittsburg, Penn., Jan. 1991

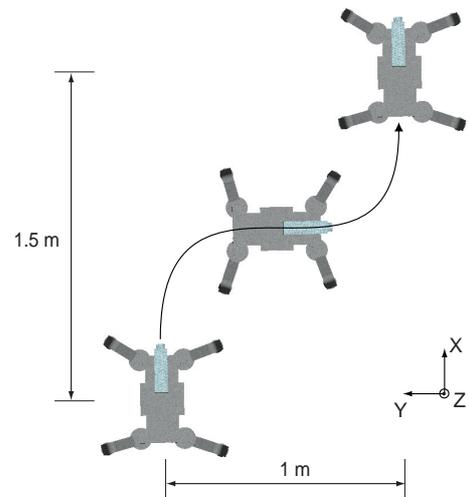


Figure 8: Moving path

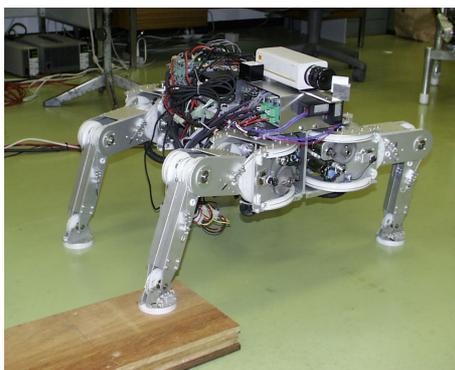


Figure 6: Step climbing experiment

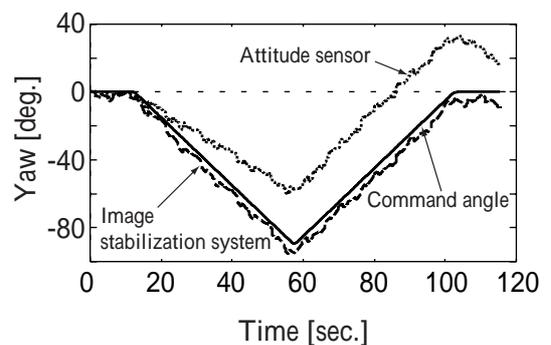


Figure 9: Change of yaw angle