

小型距離画像センサを用いた二足歩行ロボットの障害物認識

渡辺圭 (中央大) 梅田和昇 (中央大)

Obstacle recognition of a humanoid by using a small range image sensor

*Kei WATANABE (Chuo University), Kazunori UMEDA (Chuo University)

Abstract— This paper deals with a target that a humanoid with a small range image sensor recognizes obstacles and avoid them autonomously while walking. Planar regions, on which the humanoid can walk, and obstacles are distinguished by using a relative disparity image obtained by a small range image sensor. In addition, an integrated system that can feed back obtained obstacle information to the humanoid is constructed. Experiments show that the humanoid can recognize obstacles and stop walking autonomously by the proposed system.

Key Words: Small range image sensor, Relative disparity image, Humanoid, Obstacle recognition

1. 序論

人間の生活する環境など多くの障害物が存在する環境で移動する場合、ロボットは平面領域を検出する必要がある [1]. 我々は、簡易に平面領域を検出するために、基準平面からの相対的な視差のみを用いた手法を提案し、さらに、二足歩行ロボットの歩行中でも安定して平面領域を検出できる手法を構築してきた [2] [3]. 本研究では、小型距離画像センサから得た障害物情報をロボットにフィードバック可能な統合的なシステムを構築し、ロボットが歩行中に床面上の障害物を認識し自律的に回避することを目指す。

2. 小型距離画像センサ

Fig.1 にロボットに搭載する小型距離画像センサを示す。スポット光投影部はレーザプロジェクタ (MORITEX SNF-519X) を使用している。波長 670[nm], 19 × 19 点のドットマトリクス状のスポット光を投影する。画像入力部は CCD カメラ (TOSHIBA IK-M41MR) を使用し、外乱光を除去するため、受光部に R64 フィルタ (HOYA) を取り付けている。画像処理装置は、画像処理ボード (HITACHI IP-5000) を使用している。レーザプロジェクタを用いて対象物にマルチスポット光を投影し、そのシーンを CCD カメラで取得し、各スポット光の結像点の検出を行う。得られた画像から、各スポット光の重心を算出し、その点のズレ量を計測することによって、平面、あるいは障害物を認識する。

3. 平面領域検出における精度評価

3.1 平面領域検出手法

平坦な基準平面を取得した際と対象を取得した際のスポット光の画像上における結像位置の差を相対視差と定義し相対視差を用いることで平面領域を検出する [3]. Fig.2 に床面とセンサの位置姿勢の関係を示す。基準平面を取得した時のセンサの位置姿勢を θ_0, ϕ_0, h_0 とする。センサの位置姿勢が θ, ϕ, h に変化したとき、画像上のスポット光の相対視差 Δk は式 (1) のように

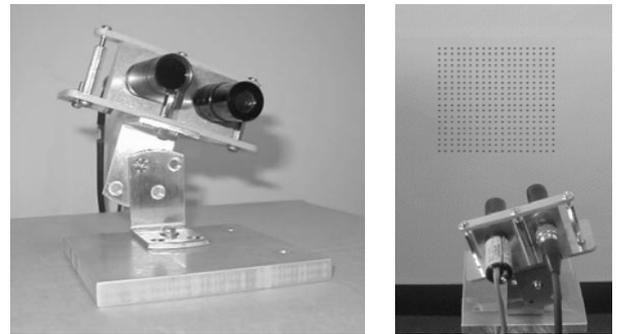


Fig.1 Small range image sensor

表すことができる。

$$\begin{aligned} \frac{\Delta k}{b \cdot f} = & \left(\frac{\cos \theta \sin \phi}{h} - \frac{\cos \theta_0 \sin \phi_0}{h_0} \right) s \\ & + \left(\frac{\cos \theta \sin \phi}{h} - \frac{\cos \theta_0 \sin \phi_0}{h_0} \right) t \\ & + \left(\frac{\sin \theta}{h} - \frac{\sin \theta_0}{h_0} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

b, f はそれぞれ基線長, 焦点距離であり既知である。式 (1) より、相対視差が s, t に対する平面となることがわかる。また、未知となるパラメータは、 θ, ϕ, h の三つであるので、相対視差が構成する平面の三つのパラメータからこれらを求めることができる。

3.2 平面領域検出における精度評価実験

式 (1) を用いた平面領域検出における精度評価を行う。Table 1 に示すようにセンサの位置姿勢を変化させ、相対視差を取得した。Fig.3 に相対視差画像を示す。(a),(b) は条件 1,2 での結果を、(c) は基準平面上に障害物 (約 150 × 200 × 15[mm] の本) がある時の結果である。Fig.3(a),(b) より、相対視差画像はほぼ平面になることがわかる。これらに対して平面当てはめを行い、残差の最大値により平面度の評価を行った。その結果を Fig.4 に示す。Fig.4 から、残差の大きさにより平面のみであるか障害物があるかを判断することが可能で

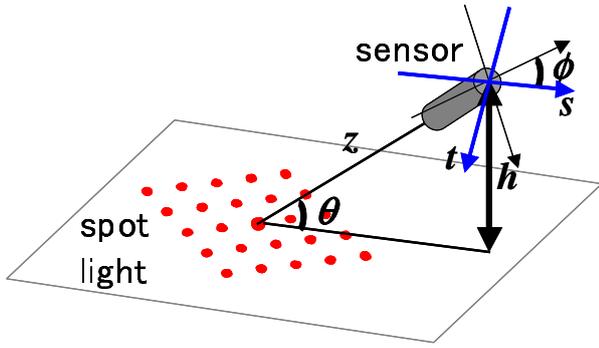


Fig.2 Position and orientation of a small range image sensor for the floor

あると言える．Table 2 に，センサの位置姿勢検出における精度を示す．結果は10回の計測による平均，標準偏差である．条件1,2ともに θ は $0.1[deg]$ 以内， ϕ は $0.2[deg]$ 以内， h は $1[mm]$ 以内の標準偏差を示し，標準偏差が小さいことから，本手法は安定して平面領域を検出することが可能であるといえる．

Table 1 Experimental conditions

	θ [deg]	ϕ [deg]	h [mm]
reference	60	0	565
condition1	70	15	520
condition2	50	15	570

Table 2 Measurement results of plane parameters

	θ [deg]	ϕ [deg]	h [mm]
condition1 real value	70	15	520
condition1 experiment	71.01	15.35	504.9
condition1 standard deviation(10 times)	0.09	0.17	0.3
condition2 real value	50	15	570
condition2 experiment	50.49	22.47	589.5
condition2 standard deviation(10 times)	0.08	0.14	0.7

4. 小型距離画像センサの二足歩行ロボットへの応用

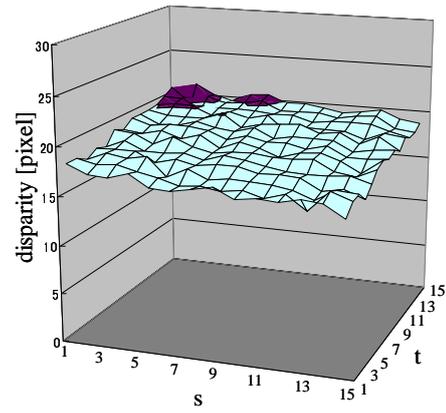
4.1 小型距離画像センサを搭載した二足歩行ロボット制御システム

Fig.5 に，小型距離画像センサを搭載した二足歩行ロボット制御システムを示す．二足歩行ロボットはFUJITSU HOAP-2を使用し，PCはDELL Dimension4100 (PentiumIII 733MHz)，OSはRT-Linux (Kernel2.4.22-pre3)を採用している．小型距離画像センサは，二足歩行ロボットと同一のPCで制御し，RT-Linux上のユーザ空間で動作している．

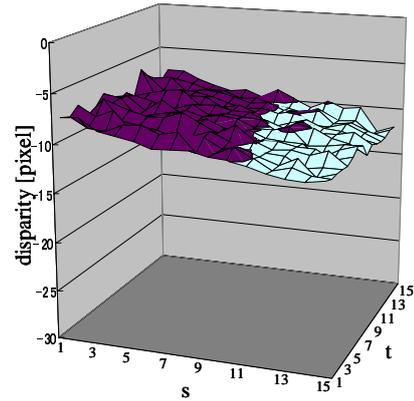
4.2 歩行時における障害物認識実験

4.2.1 処理の流れ

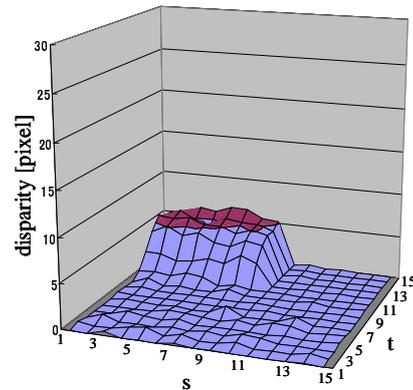
小型距離画像センサを搭載した二足歩行ロボットが歩行中に障害物を認識して停止する実験を行う．全体



(a) Condition1



(b) Condition2



(c) With an obstacle

Fig.3 Relative disparity map

の処理の流れをFig.6に示す．thread.c内で画像処理プロセス(IPfunction)とロボット制御プロセス(HOAP-function)を並列化する．センサにより基準平面を取得し，二つのプロセス間で同期を取ってから同時に処理を開始する．障害物を検出すると，画像処理プロセスはロボット制御プロセスに歩行停止の指令を送り，ロボット制御プロセスは共有メモリに歩行停止の指令を書き込む．共有メモリに書き込まれた指令を読み込んだモジュール(module.c)は，ロボットの歩行を停止させる．

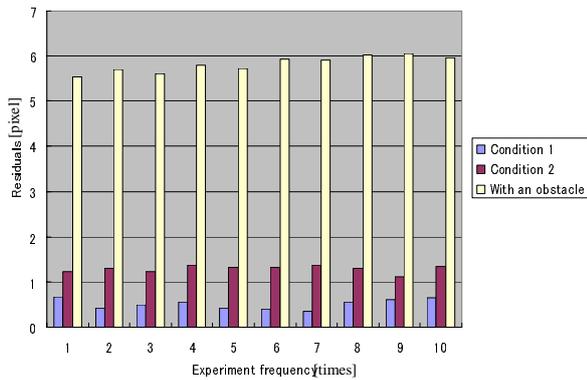


Fig.4 Residual of plane fitting

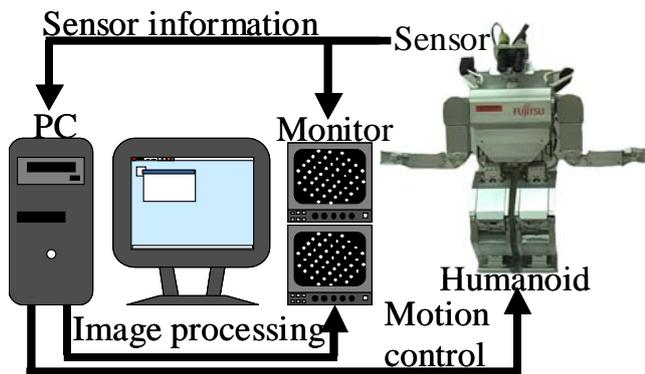


Fig.5 Integrated system

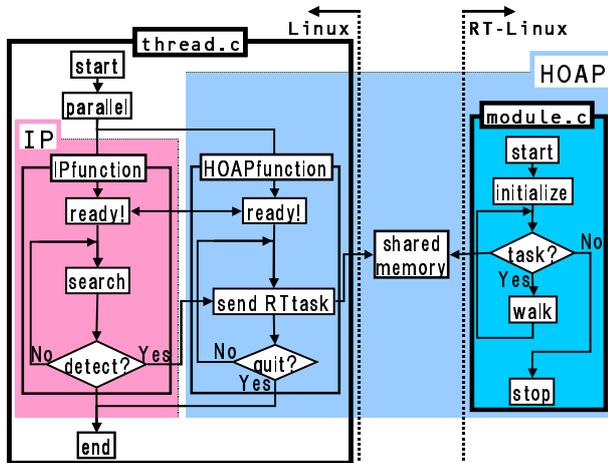


Fig.6 Flowchart of processing

4.2.2 実験結果

Fig.7 に実験の様子を示す。(a) は停止時、(b) は歩行中、(c) は長方形の箱 (約 200 × 200 × 100[mm]) を認識して歩行停止した時、(d) はボールペン (約 φ10 × 150[mm]) を認識して歩行停止した時の様子を示す。Fig.8 に画像処理プロセスのみを動作させた時の画像一枚にかかる処理時間、およびロボット制御プロセスと並列に動作させた時の処理時間を示す。Fig.9 に障害

物 (長方形の箱) 認識前後の平面あてはめの残差を示す。Fig.7 より、歩行中に小型距離画像センサを搭載した二足歩行ロボットが平面上の障害物を認識し、自律的に歩行を停止するのを確認することができた。Fig.7(b) に示すようにセンサはロボットの歩行に伴って大きくブレるが、Fig.7(d) に示すように比較的小さなものでも障害物として認識可能である。Fig.8 より、一枚の画像に要する処理時間は、画像処理プロセスのみを動作させた時とロボット制御プロセスと並列動作させた時の差が最大で 35[ms] となり、二つのプロセスの並列化は処理時間にそれほど影響を与えないことが確認できた。Fig.9 より、ロボット歩行中における残差は 2[pixel] 以下と低い値を示しているが、障害物を検出すると、30[pixel] 以上の大きな値を示していることから、歩行中でも平面のみか障害物があるかを容易に判断することができる。

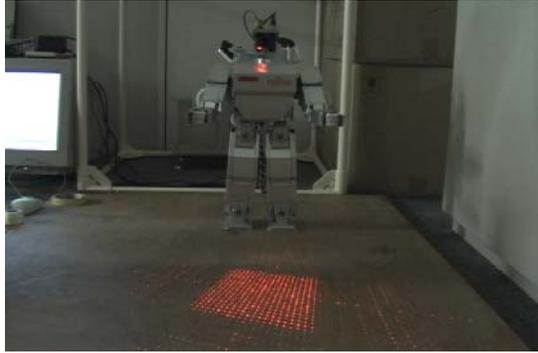
5. 結論

小型距離画像センサを二足歩行ロボットに搭載するための統合的なシステムを構築した。さらに、小型距離画像センサを用いて簡略的に平面領域検出が可能であることを示し、平面領域検出における精度評価を行った。小型距離画像センサから得た情報を二足歩行ロボットにフィードバックし、二足歩行ロボットが障害物を認識し、自律的に歩行を停止するのを確認することができた。ロボット制御プロセスと画像処理プロセスを並列化したことによる画像の処理時間への影響を確認した。

本論文では、二足歩行ロボットが床面上で障害物を認識して歩行を停止するまでにとどまったが、今後は、検出した障害物を自律的に回避させるべく、より自由度の高い動作の作成を行う必要がある。さらに、各動作をどのように使い分け、障害物を回避させるかが課題である。また、現在では小型距離画像センサの画像一枚あたりの処理時間は約 200[ms] と比較的处理速度が遅いため、今後は処理速度を向上させ、リアルタイムでの処理を目指す。

参考文献

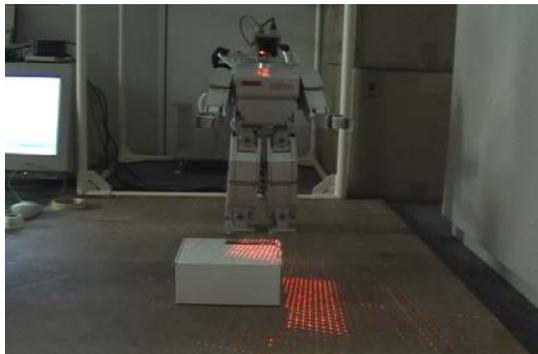
- [1] 加賀美聡他: "プレーンセグメントファインダ", 第5回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp.381-386, 2000.
- [2] 梅田和昇: "平面領域検出における相対視差画像の利用の検討", 第20回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2A16, 2002.
- [3] 山崎敏和他: "小型距離画像センサにより得られる相対視差画像を用いた平面領域検出~二足歩行ロボットへの応用~", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'04 講演論文集, 2P1-H-49, 2004.
- [4] Kazunori Umeda: "A Compact Range Image Sensor Suitable for Robots", Proc. 2004 Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.3167-3172, 2004.



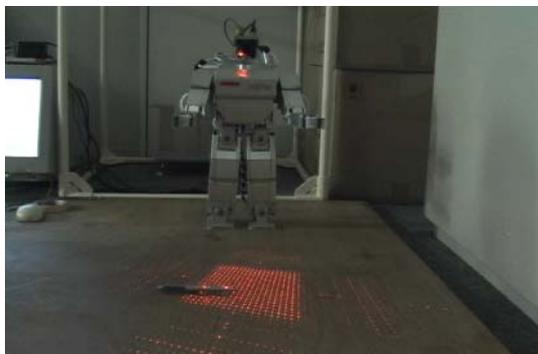
(a) Stopping



(b) Walking



(c) Stop of walk with obstacle (white box)



(d) Stop of walk with small obstacle (pen)

Fig.7 Experimental scene

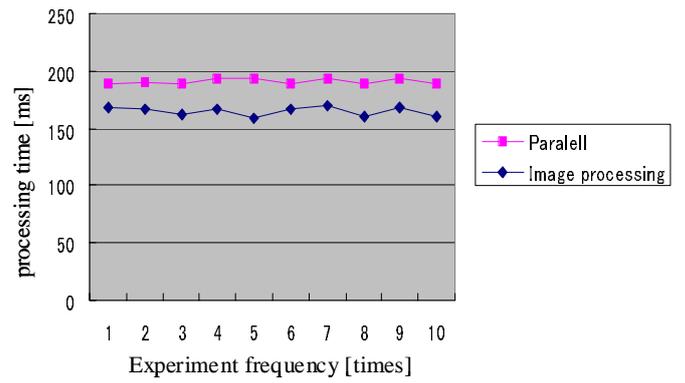


Fig.8 Comparison of processing time

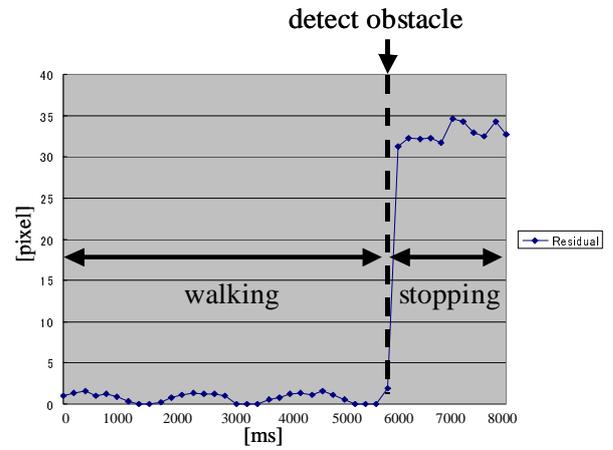


Fig.9 Change of residuals in real time