

# ステレオビジョンセンサを用いた自律移動ロボットの実時間障害物回避

Realtime Obstacle Avoidance of Autonomous Mobile Robot using Stereo Vision Sensor

○ 熊野 仁子 (筑波大学)

Masako Kumano, University of Tsukuba

正 大矢 晃久 (筑波大学)

Akihisa Ohya, University of Tsukuba

正 油田 信一 (筑波大学)

Shin'ichi Yuta, University of Tsukuba

The goal of this study is the realization of a real time obstacle avoidance by an autonomous mobile robot using information obtained by stereo vision sensor. In the beginning of this report, we proposed the method for obstacle detection which is suitable for the real time processing of the visual information. However it was found that the method sometimes detects ghost objects, so we improved it to decrease its detection errors and verified it through some experimental results. We also mention about the strategy for the obstacle avoidance behavior.

*Keywords:* Stereo Vision, Real Time Detection, Obstacle Avoidance, Mobile Robot

## 1 はじめに

実環境を移動ロボットが走行するとき、周囲の環境認識が大きな課題となる。そこで、様々な研究によって環境情報を得るための各種のセンサが考案されてきた。たとえば、超音波センサ、接触センサ、視覚センサなどである。これらのセンサを用いてロボットと環境との関係を知り、得られた情報をうまく利用することで、目標とする動作が実現可能となる。

本研究では、ステレオビジョンセンサを用いる。しかし、通常、視覚センサは処理時間がかかるという欠点を有する。したがって、いかにうまく情報を処理し、実時間のセンサとして使用できるかがポイントとなる。そこで、本研究では高速な障害物検出法である視差対応点法 [1] を利用し、実時間での障害物回避行動の実現を目指す。

本稿では、まず視覚情報を実時間で処理するのに適した障害物検出法について説明する。しかしながら、その方法には存在しない物体を検出してしまうという問題点があった。そこで、その誤検出を低減するために行った改良方式の提案と、その実験結果による検証を行う。また、障害物検出情報を用いて行うロボットの回避行動の検討及びその実装方法について記述する。

## 2 ステレオビジョンによる障害物検出

### 2.1 ステレオビジョンセンサ

本研究で用いるステレオビジョンセンサは、水平視野角約90度の広角レンズを取り付けた2台のモノクロのCCDカメラを一定間隔離して前向きに左右同じ俯角を設けて固定したものである。それらのカメラを同期して駆動し、得られる2枚の画像を画像処理ボードで処理する。

一般に2枚のステレオ画像から障害物(3次元の物体)を認識するには、画像間での対応点探索に多くの処理時間を要する。しかし、路面上の障害物検出だけを目的とすれば、処理は比較的少なくて済み、これまでいくつかの方法が考案されている [2][3][4]。これらの方法は、得られた画像に映っているものすべて床面に描かれているものとして立体物を検出するものであるが、それでも高速な画像処理装置なしには実時間処理は難しかった。そこで、本研究ではこの発想を基に処理を更に簡素化した視差対応点法 [1] を用いている。

### 2.2 視差対応点法

視差対応点法とは、上述の方法を床上の一部についてのみ用いるものである。異なるのは、変換行列を用いて推定画像を作成する代わりに、あらかじめキャリブレーションを行って、床上の特定の点が左右それぞれの画像上でどの画素に対応するかをテーブルしておくという点である。作成したテーブルをもとに対応点同士を比較し、障害物が存在しなければすべての

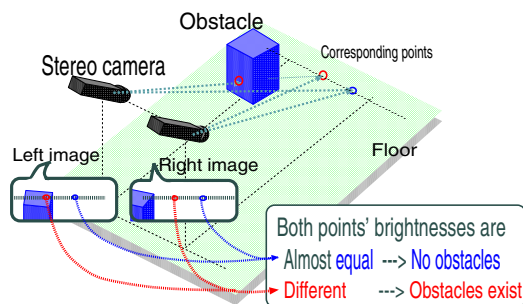


Fig. 1: Principle of the obstacle detection

点で等しい輝度値に、存在すれば少なくとも一つ以上の点で異なる輝度値になることを利用して障害物検出を行う(図1参照)。

### 2.3 誤検出低減のためのアルゴリズム改良

視差対応点法をロボットに実装して実験を行ったところ、障害物誤検出の問題が生じた。

まず、反射光が映り込む問題である。反射光は、左右のカメラで床面に映る光源の位置が異なって見える。したがって、床面上の同じ地点の輝度を比較しても一致しないため、あたかもそこに障害物があるかのように判断されてしまう。

また、環境内で床面上に描かれた模様の輝度が著しく変化するような点付近、例えば大きく異なる色で塗り分けられている床面などでは、色の切り替わる箇所ですべて誤って障害物があると認識してしまうという問題が明らかになった。

#### (1) 反射光誤検出への対策

障害物と反射光を比較すると、前者は障害物のある部分とない部分の間のエッジがはっきりしているのに対して後者は全体的にぼやけている。そこで、輝度の微分値を用いて反射光を取り除く。具体的には、視差対応点法で用いる対応点列の全ての輝度値に対してすぐ隣の点との差分をとり、それを各対応点の微分値とする。左右での輝度値、微分値それぞれの差を求め、それらを乗じることで従来の視差対応点法の結果に反射光除去を加えた。

#### (2) 床面上の輝度変化誤検出への対策

この誤検出の原因は、左右画像中の各対応点が実際の床面上で完全には必ずしも一致していないことにある。そこで、検出アルゴリズム自体を対応点同士の多少のずれに依らないように変更した。これまで、各対応点の輝度値はその周囲9pixelの平均をとって左右で比較していたが、9pixelそれぞれの輝度値を左右で比較して閾値以上の差があった画

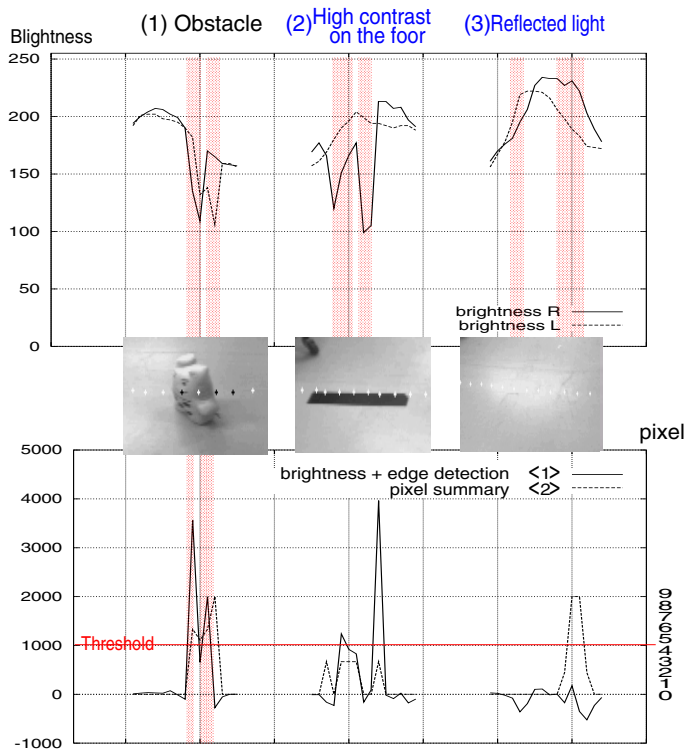


Fig. 2: Experimental result before(upper) and after(lower) improvement

素数が一定数以上あるか否かで障害物の有無を判断することにした。

改良前・後の検出結果を図2を用いて説明する。上のグラフは改良前のもので図中の画像上に描かれている白もしくは黒の対応点の輝度値(実線が右画像、点線が左画像)である。視差対応点法は、左右の輝度値がある閾値以上であれば障害物の存在とする手法であり、グラフの網掛けの部分が該当箇所である。これまでの方法では、障害物(1)だけでなく、床に貼られたテープ(2)、反射光(3)までが検出されていることがわかる。これに対して、上記の反射光対策(1)、輝度変化対策(2)をそれぞれ独立に行った結果が下のグラフである(実線が(1)、点線が(2))。双方の結果が共にある閾値以上である場合を障害物検出とすることにより、その条件を満たすのが障害物(1)だけとなることが実験によって検証できている。

### 3 障害物回避

本研究では、ロボットにあらかじめ走行する経路を与えた上で、センサによる検出結果を利用して自律的に障害物回避行動を行わせることを目標としている。そこで、障害物が検出されると自ら回避経路を計画してその経路を走行し、回避が終了したら元の経路に戻るといった行動を実現する必要がある。

#### 3.1 ロボットの走行経路

まず考慮すべき課題として、あらかじめ与えられた目的地までの走行経路と障害物を回避するための経路をそれぞれどのように扱うかが挙げられる。特に問題になるのが、回避経路の走行中にさらに障害物が検出された場合に状態が複雑化することである。

そこで、本研究では走行・回避の両経路を区別せずに走行経路をリストとして与え、回避用の経路をリスト中の適切な箇所を追加することで、経路リストを更新していくという方法を採用することにした。その際、リストは床面上に固定された絶対座標系に基づいて記述する。このように、唯一のリストによって全体を統括することで、回避行動全体が非常に整然とする。

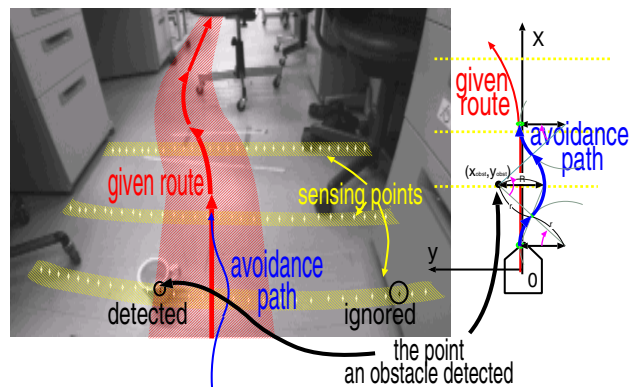


Fig. 3: Strategy of obstacle avoidance

また、本研究のように計測範囲に制限のあるステレオビジョンセンサを利用する場合、安全に走行できる経路を計画しようとするとロボットの動作も自ずと制限されてくることがわかった。そこでロボットがその場回転して未計測の範囲を走行するといったことが生じないように、与える走行経路、回避経路ともに全て直線と円弧のみで記述することとした。

#### 3.2 障害物の検出と回避経路計画

ところで、ロボットが与えられた経路に沿って走行している際には実際に通過する範囲内に障害物が存在するかどうかを検出できれば良い。そこで、図3左の画像中に3本の白い点列で示すようなセンサの計測点のうち、どの部分が経路上(同じく図中で中央部手前から奥へと続く網掛け部分)に相当するのかを経路リストとロボットの現在位置の関係から調べ、走行範囲に含まれる計測点だけを選び出してチェックすることとした。例えば、図中左側の障害物は経路上に検出されたため回避の対象となり、右端の検出点は経路上ではないので無視される。

上述した走行範囲内に障害物が検出された場合には、その範囲外の検出結果を参照しながら回避用の経路を計画して経路リストを変更する。作成する回避経路は図3右に示すように検出点から一定距離離れた位置をロボットが通過するように円弧を用いて記述する。現在、この経路生成法の詳細検討を行っている。

### 4 まとめと今後の課題

本稿では、視差対応点法について説明し、それを用いて実環境で障害物検出を行ったときに生じる誤検出低減の対策とその結果を報告した。また、障害物回避行動の実現に際して考慮しなければならない走行経路の指定方法及び障害物回避の方法について検討した。

今後の課題としては、まず、走行経路リストに従って走行する機能をロボット上に実装する。その上で、障害物検出時のロボットと障害物、あるいは複数の障害物同士の位置関係に応じてどのように回避経路を作成するかを中心に、実時間で障害物を回避できるようなアルゴリズムの検討を行っていきたい。

### 参考文献

- [1] 熊野 他, "障害物回避のための移動ロボット用ステレオ視覚センサの開発", 第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.797-798 (1999)
- [2] Zhao et al., "Obstacle Detection by Vision System for an Autonomous Vehicle", Intelligent Vehicles Symposium, pp.31-36 (1993)
- [3] 小野口 他, "平面透視ステレオ法を用いた移動障害物位置検出", 第14回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.491-492 (1996)
- [4] 岡山 他, "射影変換を用いた床面上の障害物検出", 第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.121-122 (1999)