

自律移動ロボットにおけるビジョンの応用

大矢 晃久 (筑波大学)

Application of Vision in Autonomous Mobile Robots

Akihisa Ohya (University of Tsukuba)

Applications of vision in the research field of autonomous mobile robots are introduced. The usage of vision for position estimation and obstacle avoidance are shown, which are the essential functions for autonomous navigation of the mobile robots. Some examples of the usage of vision applied to the concrete tasks of the mobile robots are also shown, like human detection and following, usage of elevator, patrolling indoor building.

キーワード : 移動ロボット, ビジョン, 自己位置認識, 障害物回避, 人間追従, 巡回監視
(Mobile robot, vision, position estimation, obstacle avoidance, human following, patrolling)

1. はじめに

何かの目的を達成するためにロボットを構築し、その操作を実現する際に、最も重要なキーになるのはシステムインテグレーションである。そこでは、使える物や技術をうまく組み合わせて統合し、目標を達成することを目指す。

ロボットは、センサから得られる情報をもとに周囲の環境と自らの置かれた状況を認識し、取るべき行動を計画、実行する。センサとしては、各種のものがあるが、ビジョンも一つの候補になる。本稿では、自律移動ロボットの研究にビジョンを応用する場面について概説する。

まず、移動ロボットが自律的に目的地まで走行するために必要な機能として、自己位置の認識や障害物の検知と回避を取り上げ、これらにビジョンが利用されている例を紹介する。また、自律移動ロボットの目的行動にビジョンが応用されている研究として、人間の検出と追従、エレベータの乗降、施設内の巡回監視などを紹介する。

2. 移動ロボットの自律ナビゲーションへの応用

〈2.1〉 自己位置の認識への応用 目的地までロボットが自分を誘導することを、自律ナビゲーションという。自律ナビゲーションの方法にもいろいろあるが、一つの代表的な方法は、スタート地点やゴール地点、誘導時の目標物となるランドマークなどの位置を示した地図を用意し、その地図上で計画された経路に沿って走行する方法である。車輪型の移動ロボットの場合、車輪の回転数から自分の位置を推定することができる。オドメトリと呼ばれるこの方法により、短い区間ではある程度正確な自己位置を推定可能であるが、車輪の回転数の計測誤差の影響により走行距離が長くなるにつれて推定自己位置にも誤差が蓄積してい

く。したがって、あらかじめ経路上に設定された目標物(ランドマークという)を適宜観測し、その誤差を修正していく枠組みが必要となる。

ランドマークとしてどのようなものを用意するかは、どのようなセンサを用いて何を計測しながら走行するのかに大きく依存する。図1は天井にある蛍光灯をランドマークとして走行するロボットの走行イメージを示している。ロボットは、上部に設置したカメラで常時天井を観察しながら、計画された経路上を走行している。蛍光灯が撮影された場合には、図2に示すように画像を処理して蛍光灯に対するロボット自身の相対的な位置を計算し、あらかじめ持っている地図中に記載されている蛍光灯の位置、姿勢と比較して、自分の現在位置を知ることができる。この情報をもとにオドメトリによる自己位置を修正する⁽¹⁾。

図3は、この方法によりロボットを走行させたときにロボットが走行する様子の画像を重ねて表示したものである。オドメトリだけでは推定自己位置に誤差が蓄積し、徐々に曲がって行って壁に衝突してしまうが、天井の蛍光灯を目標として逐次自己位置の修正を行うことで、廊下の中央を端まで走行することができている。

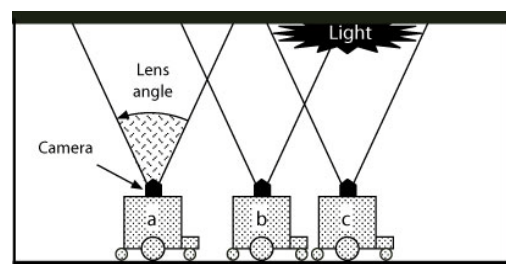


図1 天井蛍光灯を用いた自律走行のイメージ

Fig. 1. Autonomous navigation using fluorescent tubes.

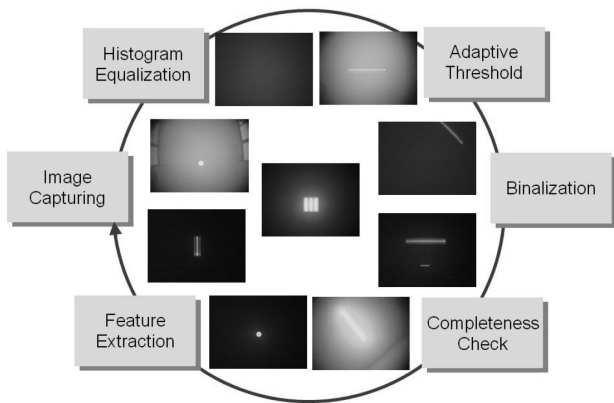


図 2 蛍光灯の処理画像の例

Fig. 2. Sample processed images of fluorescent lights.



図 3 蛍光灯を用いて廊下を自律走行するロボット

Fig. 3. Mobile robot navigated by fluorescent tubes.

〈2.2〉 障害物の検知と回避への応用 移動ロボットが目的地まで自律走行する際に、段ボール箱が置かれていたり、ドアが開いていたりして、計画したとおりの経路では走行できない場合もある。このように、あらかじめ想定していなかった走行の妨げとなるものを障害物と呼ぶ。ロボットは、障害物を自ら発見し、それを回避する経路を算出し、それにしたがって走行しなければならない。二次元の床面上を走行するロボットの場合、「すべての床面でない部分」が障害物となりうる。ここでは、床面でない部分を検出する方法として、2台のカメラによりステレオ計測を行う方法を紹介する。

図 4 にステレオカメラを装備した移動ロボットを示す。二つのカメラはロボットの上部に、前方の床面が映るよう下に傾けて設置してある。実環境中で行動する移動ロボットにとっては実時間処理が重要であり、しかも処理能力に制限もあるため、できる限り簡単な処理で目的を達成する必要がある。そこで、以下のように処理を単純化した。

まず、カメラの配置と床面の位置関係から、床面上のある点が二つのカメラの画像中のどの位置に映るかをあらかじめ計算しておく。もしも今、障害物がなければ、その二つの点には同じ床面が映り、二つの点の輝度は等しいはずである。しかし、何らかの障害があって床面でない高さの部分を見ているとすると、二つの点には異なる部分が映る

ため、二つの点の輝度は異なることになる。つまり、図 5 に示すように、注目する床面上の点が映るはずの二つの画像中の対応点の輝度を比較するだけで、そこが床面か、床面でない高さの障害なのかを判断することが可能になる。この方法を、視差対応点法と名付けた⁽²⁾。

次に、処理時間の更なる短縮のために、この処理を画像全体に行うのではなく、ロボットの走行に必要最小限な部分に限定することにした。図 6 は、右のカメラから見た映像中に、処理を行う点を白く表示したものである。このように、ロボットの前方に三本の直線を想定し、その直線上を一定間隔で検査することとした。直線の長さはロボットが進行方向を変えるときのことを考慮して多少長めに設定してある。線と線の間が空いているが、これはロボットの進行に伴って順次走査されていくので問題はない。この方法によって、非常に短時間のうちに、障害物の検知を行うことに成功している。



図 4 障害物検出用ステレオカメラを持つ移動ロボット

Fig. 4. Mobile robot equipped with a stereo camera.

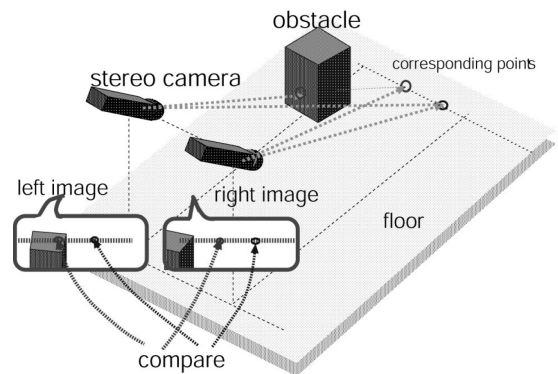


図 5 視差対応点法による障害物の検出

Fig. 5. Obstacle detection by comparing the brightness of the corresponding points in the stereo images.



図 6 視差対応点法における障害物検出対象点群

Fig. 6. Example of the corresponding points.

3. 自律移動ロボットの目的行動への応用

〈3・1〉 人間の検出と追従への応用 近年、移動ロボットの自律走行自体は実現されつつあり、その応用を考える段となっている。ここでは、ロボットが移動することで人間の生活を支援する行動として、重量物等を運搬して人間に追従して走行することを考えた。

ロボットが人間に追従するためには、ロボットが人間の位置を検出することと、その人間の位置を使ってロボットが動作（追従経路と速度）を計画することが必要である。ロボットが人間の位置を認識する方法としては、追従対象を容易に限定でき、しかもロボストに検出可能な方法として、人間に発光標識を持たせ、それをロボットに搭載したカメラで検出する方法を用いることとした。

発光標識は赤外光 LED を二つ両端に取り付けた細長い棒状のもので、これを地面に対して垂直になるように人間の腰に付ける。図 7 に発光標識を付けた人間とカメラを搭載したロボットのイメージを示す。ロボットがカメラで取り込んだ画像上で、二つの LED の間隔からロボットと人間の距離が、画像上での LED の左右方向の位置から人間の方向を求めることができる。なお、常に人間を視野内に捕らえるために、カメラが常に人間の方を向くように回転させている。

ロボットは、人間の検出された位置を通過履歴として記録し、この点を順次通過するように経路を決定する。また、現在の人間とロボット間の距離に応じてロボットは速度を調整する。このシステムによって、人間へのなめらかな追従が実現されている⁽⁴⁾。この実験の様子を図 8 に示す。

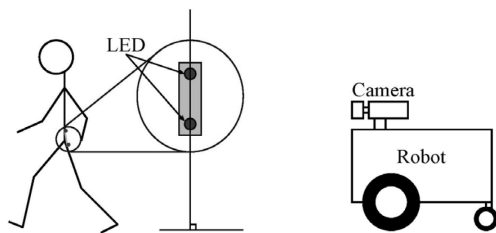


図 7 ロボットによる LED を装着した人間の検出
Fig. 7. Robot detects the human having a LED device.



図 8 人間追従実験の様子
Fig. 8. A scene of a human following experiment.

〈3・2〉 エレベータの乗降への応用 移動ロボットがエレベータに乗降する機能を持てば、建物内での稼働範囲を広げることができる。ここでは、ボタンの位置などが未知の初めて利用するエレベータでも利用可能とするために、ボタン認識・階表示認識など階移動に必要な操作表示盤認識機能の構築を目的とした。まずエレベータドアの周囲形状を計測し、図 9 に示すようにドアに沿ってパンチルトカメラで画像を取得する。この画像は、斜めから撮影しているので図 10 に示すように歪んでいるため、その位置関係から正面から見たような画像に変換する。この画像に OCR を適用して数字認識することで、ボタン認識・階表示認識を行った。大学内のエレベータを対象として移動ロボットによる階移動実験を行い、複数のエレベータで操作表示盤認識ができ、昇降動作を実現可能なことが確認できている⁽⁴⁾。図 11 は階ボタンの認識結果であり、認識されたボタンの中心位置に、認識された階の数字が表示されている。

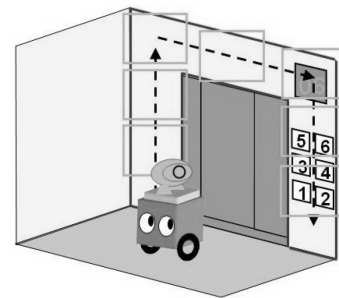


図 9 エレベータ操作表示盤の画像取得イメージ
Fig. 9. Images acquisition for buttons of an elevator.



図 10 エレベータ階ボタンの取得画像例
Fig. 10. An acquired image of elevator buttons.

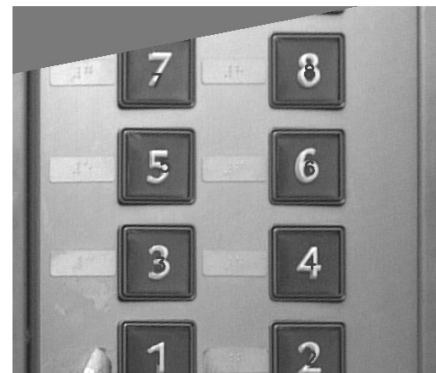


図 11 エレベータ階ボタンの認識結果
Fig. 11. A recognition result of elevator buttons.

〈3・3〉 施設内の巡回監視への応用

現在人間が行っている巡回監視を警備ロボットに代行させることを目的として、移動ロボットを用いて美術館や博物館などの展示物の巡回監視を行うシステムの開発を行っている。このシステムでは、図 12 に示すようにロボット上に搭載したカメラにより得られる画像を、予め用意しておいた画像と比較することで、展示物の破損、移動、盗難などを検出し、監視センターに連絡する。固定カメラと異なり、移動ロボットによる監視は、死角に回りこむことができたり、陳列物のレイアウト変更などに柔軟に対応可能であるなどの特長を持つ。図 13 に示すような環境で、絵画や彫刻などの立体物を対象として実験を行い、対象に付けられた傷や、対象物の移動や回転などを検出するシステムを実現している⁽⁵⁾。図 14 は、絵画にテープを添付した場合の結果である。予め撮影しておいた左の画像にはないテープが、右の検査画像中央に見える。これらの画像をシステムが比較し、異常 (Abnormal) であると判定して画像下部に警告を表示している。

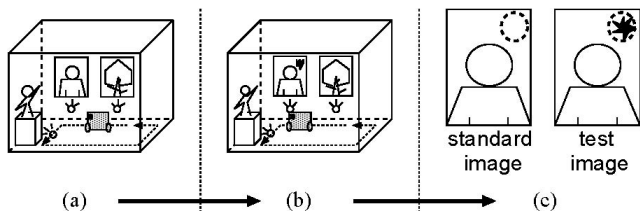


図 12 巡回監視システムの動作の概略

Fig. 12. Procedures of the indoor monitoring system.



図 13 巡回監視実験の様子

Fig. 13. A scene of an exhibition monitoring experiment.

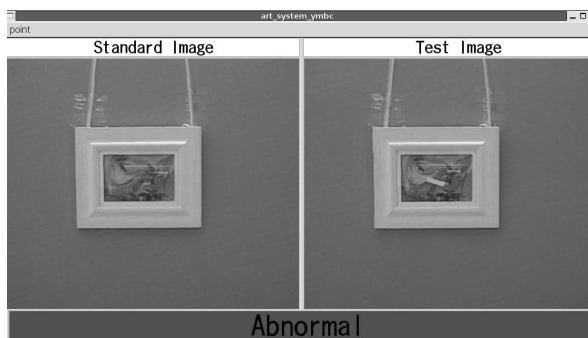


図 14 異常時の監視結果の例 (絵にテープを添付)

Fig. 14. Monitoring result at abnormal situation. The pictures is pasted a tape.

4. おわりに

本稿では、自律移動ロボットの研究へのビジョンの応用について概説した。まず、移動ロボットが自律的に目的地まで走行するために必要な機能として、自己位置の認識や障害物の検知と回避を取り上げ、これらにビジョンが利用されている例を紹介した。また、自律移動ロボットの目的行動にビジョンが応用されている研究として、人間の検出と追従、エレベータの乗降、施設内の巡回監視などを紹介した。

文 献

- (1) Fabien Launay, Akihisa Ohya and Shin'ichi Yuta: "A Corridors Lights based Navigation System including Path Definition using a Topologically Corrected Map for Indoor Mobile Robots", Proceedings 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.3918-3923 (2002)
- (2) Masako Kumano, Akihisa Ohya and Shin'ichi Yuta: "Obstacle Avoidance of Autonomous Mobile Robot using Stereo Vision Sensor", Proceedings of the 2nd International Symposium on Robotics and Automation, pp.497-502 (2000)
- (3) Yousuke Nagumo and Akihisa Ohya: "Human Following Behavior of an Autonomous Mobile Robot Using Light-Emitting Device", Proceedings 10th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, pp.225-230 (2001)
- (4) M. Saito, H. Kawata, A. Ohya and S. Yuta: "Button Recognition of Elevators for Autonomous Mobile Robot", 2010 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 2P1-F16 (2010) (in Japanese)
齋藤昌和, 川田浩彦, 大矢晃久, 油田信一: 「移動ロボットのためのエレベータ操作表示盤認識」, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'10 講演論文集, 2P1-F16 (2010)
- (5) Tsutomu Takeshita, Akihisa Ohya and Shin'ichi Yuta: "Indoor Pictures Monitoring System using a Mobile Robot", 15th International Symposium on Measurement and Control in Robotics (2005)