

環境知識を利用した移動ロボット のステレオシステム

STEREO VISION OF A MOBILE ROBOT: WORLD CONSTRAINTS FOR MATCHING

鄭 鋒宇、浅田 稔、辻 三郎

Jiang Yu Zheng, Minoru Asada and Saburo Tsuji

大阪大学 基礎工学部 制御工学科

Department of Control Engineering, Osaka University

Stereo images taken by a mobile robot are analyzed to build a world model. The knowledge on the properties of the environment, such as the flatness of floor and the richness in vertical surfaces, is arranged into constraints on matching and interpreting images. At first, the floor finder detects a variety of edge points on the floor and determines the free space for navigation. Given a point in one image of the stereo pair and its height in scene, the location of its corresponding point in the other image is easily determined from the models of cameras and floor. We can, therefore, find candidates for edge points at the floor level in scene by predicting and testing the disparity between similar feature points in the stereo pair. By iterating the similar procedures, candidates for edge points at different levels in scene are also detected. Thus, the correspondences of vertical edges are found by starting at the candidates for the floor level and following each vertical segment to examine the consistency of the disparity.

1. はじめに

視覚を用いて環境を認識する移動ロボットの研究が、最近盛んになった[1-3]。われわれは、

- (1) ロボットが移動できる自由空間を見つける。
- (2) 床からの高さを表示する地図を作る。
- (3) 床面以外の面の三次元構造を決定する。
- (4) それらから構成される世界モデルを作り、その中でロボットの位置を定める。

という目的で、視覚システムを開発している。

このためには、視覚から三次元情報を得ることが必要でステレオ法が有力である。ステレオ方式としては、左右画面内の特徴点の対応を発見するために、エッジ・ライン上にあるという拘束条件を利用して、疎から密へのゼロクロッシングの解析[4]や動的計画法による判定[5]などが提案されているが、前者は視差の急激な変化のあるエッジの対応発見に問題があり、後者は計算量が多く実時間性を要求されるロボットには不向きである。

これらは、対応発見に対象世界についての知識はほとんど用いていない。本研究は、移動ロボット作業する世界をある程度限定して、その世界の持つ属性を拘束条件として積極的に利用する。すなわち、対象世界は以下の条件を満足するものと仮定する。

- (1) 平坦な床をロボットが移動する。

- (2) カメラの床からの高さとは仰角は既知である。
- (3) 環境には、垂直な壁が多い。

高さの既知の特徴点の視差は、この条件から容易に計算できる。まず、床面上の特徴点の対応を予想された視差を持つペアとして発見する。次に床面から順次高さを変えて特徴点を対応付け、垂直エッジの三次元位置を決定する。

水平に近い傾きのエッジは対応の発見はできるが、その視差情報は信頼性が少ない。そこで垂直エッジと組合せて、平面の推定を行なう。これらから世界モデルを構築し、ロボットが移動できる自由空間をみつけ、移動・観測の計画を行なう方式に利用することを目指す。

2. 対象世界の拘束を利用したステレオ

2.1 対象世界の知識とカメラモデル

ロボットの動作する世界は次の条件を満足すると仮定する。

- (1) ロボットは、水平な床を移動する。
- (2) カメラの高さ H_0 は既知であり視線は水平である。
(または、仰角が測定可能である。その場合、カメラ座標系から世界座標系への座標変換が必要である)
- (3) 2台のカメラの視線は平行で、カメラ間距離を L 、焦点距離を f とする。(図1に示す)

2.2 基本式

図1に示すように3次元空間中の一点 $P(X, H, Z)$ の左右画面上に投影された像を $P_L(x_l, y_l)$ $P_R(x_r, y_r)$ とする。これから簡単に以下の式が導かれる。

$$x_l = f(X + (L/2))/Z$$

$$x_r = f(X - (L/2))/Z$$

$$y_l = y_r = y = fH/Z$$

これから視差 d は、

$$d = x_l - x_r = fL/Z$$

となる。高さ H の水平面上に P 点があると、

$$y_r = fH/Z$$

$$d = L y_r / H$$

となり、視差は f に無関係にカメラの位置と高さによって定まる。

2.3 ステレオ マッチング

ステレオ画像の対応発見は、最も対応付けの容易な床面から出発し、順次高さ方向にマッチングを行なう。

画像内の一点がもしも床面にあれば、 $H = -H_0$ であるから、視差は $-(Ly/H_0)$ の値を持つはずである。したがって、一方の画像の各特徴点に対して他方の画像でこの視差の所に類似の特徴点が存在するかを調べ、もしも存在すると床面上の点と認識する。次に

$$H = -H_0 + n(\Delta H) \quad n = 1, 2, \dots$$

の高さの点の対応を同様の方法で調べる。これらの情報から特徴点の高さの地図を作成できる。

前提条件から、対象世界には垂直方向のエッジが多く存在することが期待される。水平に近い方向のエッジから得られた視差は、信頼性に欠けるので垂直エッジの3次元位置をまず求め、それ以外のエッジは垂直エッジとの組合せで面の推定に利用する。

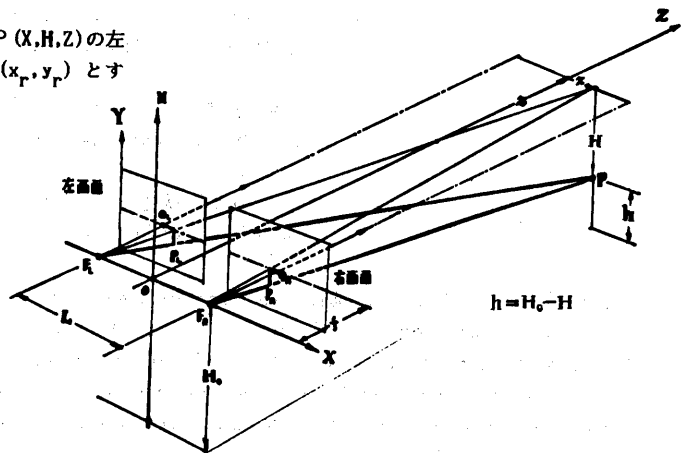


図1 ステレオ カメラの配置

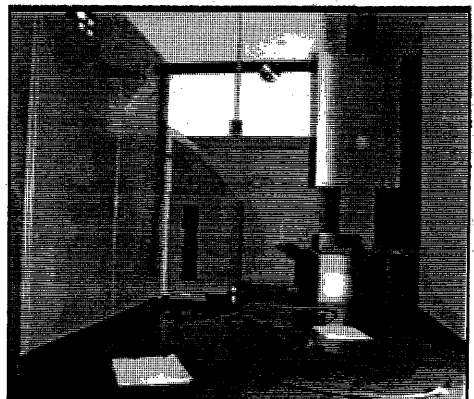
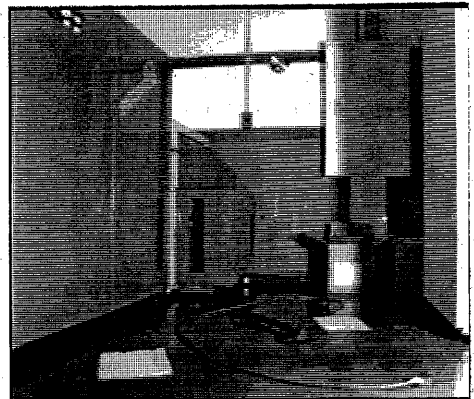


図2 室内シーンのステレオ入力画像

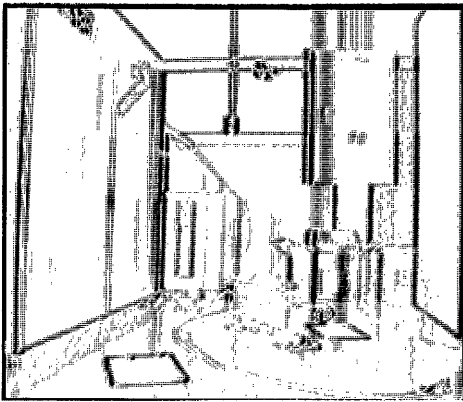
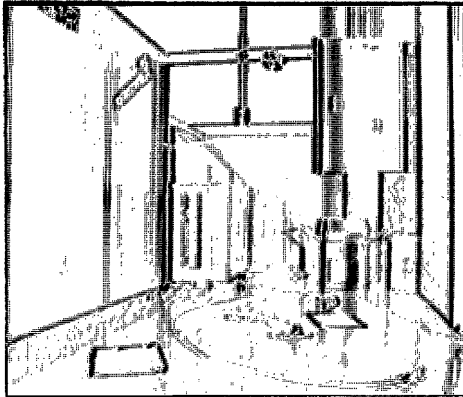


図3 垂直エッジ画像



図4 床面上のエッジの対応点の探索

3. 垂直エッジの対応決定

入力画像にSobelのオペレータを適用し、エッジ画像を得る。その中で垂直方向のエッジを選択し、右エッジ画像内でピークを持つ点を特徴点として、それと対応する点を左エッジ画像内で探索する。前節で述べたように、床面に特徴点があると考え、その右画像内の位置から視差を予測する。特徴の類似度は、5x5の小領域内のエッジの差の絶対値の総和から計算し、あるしきい値以下であると対応があると判定する。対応がとれなかった特徴点に対しては、高さを $n(\Delta H)$ $n=1,2,\dots$ と順次変化させて、対応を求める。

図2に入力画像の一例を示す。2台のCCDカメラ(NEC TI-22AII)を移動ロボットHERO-1上に取りつけて撮像し、256x256点 8ビットのデジタル画像に変換した。カメラ間距離は約20cmで、床面からの高さは約52cmである。Sobelの微分オペレータを用いて、縦方向の線画を検出した結果を図3に示す。図4は、床面上の対応を発見するために左画像内を探索する過程の一部を示す。図5は、発見された床面上の点をマップしたものである。

次に、高さの異なる垂直エッジ点の対応を求め、これらを連ねて垂直エッジを検出する。実際のプロセスでは、以下の方式を用いている。通常の場合、画面内の一本のエッジ上で近傍の点の3次元位置は遠く離れている可能性は極めて少ない。従って、すでに対応が発見された隣接した特徴点から高さが大体予測できる。こういう連続性を利用すると、対応点の探す範囲は狭くなる。従って、計算量も減るし、間違い対応の可能性も低くなる。これらの方法により得られた結果を、図6に示す。

4. 非垂直エッジの情報からの面の推測

画面内の水平エッジは対応が発見されても距離情報を得られない。また、斜めの線はそこにある幾つかの点において粗い距離情報しか得られない。しかし、非垂直エッジの対応が発見されると、垂直エッジから得られる3次元情報と組合せて、それらで構成する可能性のある面の性質を推論できる。もちろん、確定的な結論が得られるとは限らないが、移動ロボットは推測された面の性質を検証するために移動し観測を繰り返すことができ、次第に世界モデルを更新出来る。

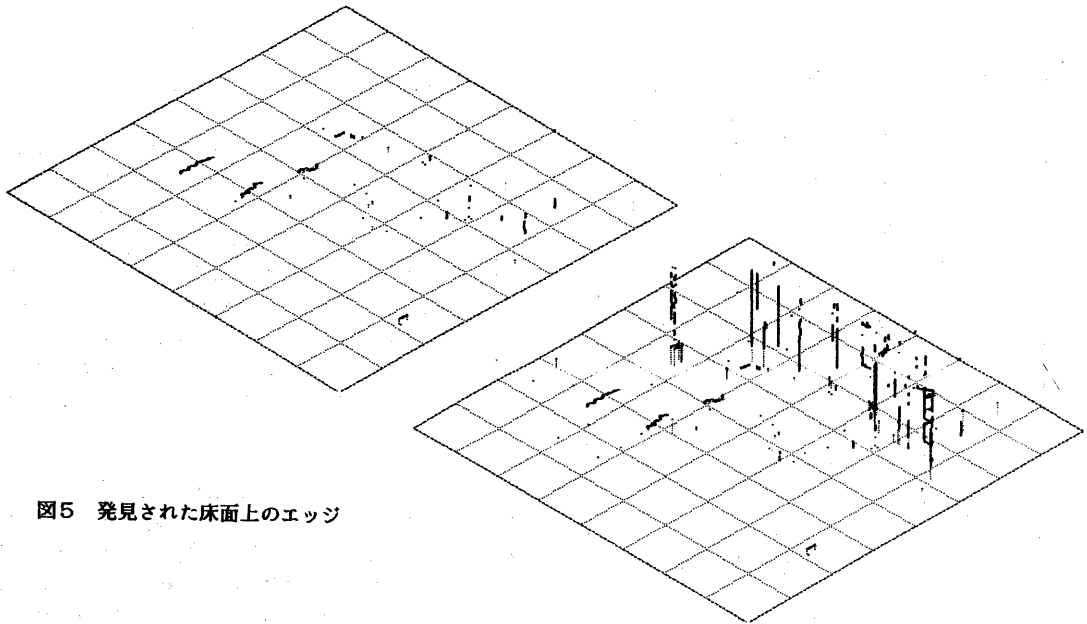


図5 発見された床面上のエッジ

図6 検出された垂直エッジ

現在、以下のシナリオに従って動作するシステムを作成中である。

- [a] 垂直エッジの三次元位置を決定する。
- [b] 非垂直エッジの対応を発見する。
- [c] 垂直エッジと連結する横方向のエッジを利用して物体の面の推論を行なう。
- [d] 面と推論された領域のパターンの視差を測定して、推論の正しさを検証する。この結果、世界モデルが作成される。
- [e] 世界モデルからロボットが移動できる自由空間を発見する。
- [g] 移動して観測を行ない、その結果を用いて世界モデルを更新し、その中のロボットの位置を求める。

5. むすび

対象世界についての知識を拘束条件に利用して、ステレオマッチングを行なう方法を提案し、簡単な実験によってその有効性を確かめた。本システムは、計画をしながら作業する移動ロボットの研究の一環として行なった。

本研究は、文部省科学研究費の補助を受けて行なった。

参考文献

- [1] S. Tsuji, Y. Yasushi, and M. Asada: "Dynamic scene analysis for mobile robot in a man-made environment", Proc. Int. Conf. Robotics and Automation, pp.850-855 (1985).
- [2] A. M. Waxman et al.: "Visual navigation of roadways", ibid, pp.862-867 (1985).
- [3] R. Wallance et al.: "First results in robot road-following", Proc. 9th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence, pp.1089-1095 (1985).
- [4] W. E. L. Grimson: "From Images To Surfaces: A Computational Study of the Human Early Visual System", Cambridge, MA, MIT Press (1983).
- [5] Y. Ohta and T. Kanade: "Stereo by Intra- and Inter-Scanline Search Using Dynamic Programming", IEEE Trans., vol. PAMI-7, no.2, pp.139-154 (1985).