

非矩形ウィンドウによるステレオ対応法

大形 英男

岡田 至弘

龍谷大学 理工学研究科

〒 520-21 滋賀県大津市瀬田大江町横谷 1-5

消失点を基準とした非矩形ウィンドウを生成することにより、水平面に対して高精度なステレオ対応法を提案する。従来の矩形ウィンドウによる手法において、水平な面のように対応する領域の形状が大きく異なる場合、正確な対応点を求めることは難しい。このため垂直な面だけでなく水平な面に対して高精度な探索が求められる。そこで、消失点を基準とする非矩形ウィンドウを生成することにより、水平な面に対する探索精度の向上を図る。

ここでは、非矩形ウィンドウの生成法について述べ、相関法の適用について述べる。また本手法が水平な面に対して有効な手法であることを示すため、従来手法と実験による比較を行ない、その結果を示す。

Stereo Matching Method Using Non-rectangle Window

Hideo OHGATA

Yoshihiro OKADA

1-5 Yokotani, Oe-cho, Seta, Otsu-shi, 520-21 Japan

Faculty of Science and Technology

Ryukoku University

We propose a new method of stereo matching using non-rectangle window. Non-rectangle window is formed on vanishing point. The shape of horizontal plane is different shape from other view point. The usual method is difficult to matching horizontal planes of differential shape. But non-rectangle window method is possible to match that planes.

We present making of non-rectangle window, and how to use correlation method for non-rectangle window. And We show the result and compare our method with usual.

1 はじめに

ステレオ対応法は奥行き情報を復元する手法として大きな課題の1つである。

対応点を求めるには左右の画像中から適当な大きさの領域（ウィンドウと呼ぶ）を切り出し、その相関や2乗誤差を求める方法がある^{[2]-[5]}。

ウィンドウの大きさは濃度変化が十分含まれる程度に大きく、撮影位置による画像の違いに影響されない程度に小さい必要があるために、^[1] 濃度変化に応じたウィンドウの大きさや形状にする必要がある。

適切な大きさのウィンドウを決定するために、統計的なモデルを用いた手法が提案されている^[3]。この手法は矩形のウィンドウを使用しているため、カメラの光軸と垂直な面に対して効果的な手法である。しかし、道路のような奥行き方向に連続的に変化する面は、左右の画像で大きく形状が異なるため、矩形のウィンドウでは対応点を求めることは困難になる。

ここでは水平な面に対して精度の良い探索が可能な手法として、非矩形ウィンドウによる対応点探索の手法を提案する。

まず、左右の画像の消失点を仮定し、消失点を基準とする非矩形ウィンドウを作成する。これにより、対応する領域の形状が左右で大きく異なる場合に対して、効果的な対応点探索が可能となる。

非矩形ウィンドウの形状は、矩形ウィンドウにおける画素を単位とした離散値ではなく、連続値で表されるため、相関法を適用することは困難である。そこで相関法を非矩形ウィンドウに適用するために、ウィンドウ内の探索対象とする点の数を固定にし、相関法を適用可能にする。探索対象となる点は連続値であるため、隣接する画素を利用した線形補間により濃度値を求める。

2 ステレオ対応法

図1に本稿における処理の流れを示す。

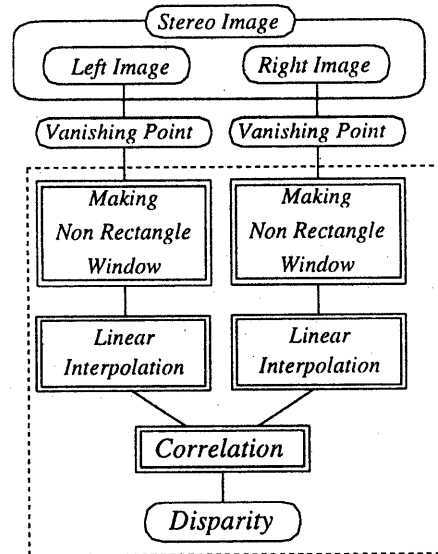


図1: ステレオ対応法の処理の流れ

まず、非矩形ウィンドウを生成する際の基準として消失点を用いる。消失点を用いるのは、視点による画像の違いは消失点を基準とし、距離によって変化するためである。

次に、消失点を基準とした非矩形のウィンドウを生成する。この時ウィンドウ底辺の幅、および高さを固定にする。ウィンドウの形状を変えることで対応点を求める本手法では、基準となる大きさは固定でも精度のよい探索が可能である。

生成したウィンドウの形状は左右で大きく異なるため、ウィンドウ内の点の濃度は画素単位の離散的な値でなく、連続的な値で表現される。そこで、対応点を求めるためには、隣接する画素の濃度に対して線形補間を行なう必要がある。線形補間を行なったウィンドウに対して相関法を用い、対応点を決定する。対応点が求められれば奥行きは容易に求められる。

3 非矩形ウィンドウによる探索

従来の矩形ウィンドウを用いた対応点探索において、カメラの光軸に対して垂直な面は左右の画像間で大きな変化はなく、容易に対応点を求めることが可能である。

しかし、カメラに対して水平な面のように、奥行きが連続的に変化する場合は、左右の画像のずれは距離によって異なるため、対応する領域は大きく形状が異なる。このような場合は、従来の矩形ウィンドウを用いた手法によって対応する領域を求めることは困難である。

そこで画像の消失点を基準としたウィンドウを生成することにより、水平方向の面に対して探索精度の向上を図る。

3.1 非矩形ウィンドウの生成

非矩形ウィンドウの生成法について述べる。まず画像の消失点を仮定し、その点を $V(0,0)$ とおく。非矩形ウィンドウは消失点を中心として、図2に示す3つの場合 ($y > n, y < -n, -n \leq y \leq n$) に分け生成する。

1. $y > n$ の場合

非矩形のウィンドウの大きさは、最大の幅が m 、高さが n の台形になるようにする。幅を m 以下に設定しておくことで、異なる形状の対応を求める際の大きさの基準となる。

まず図3のように消失点から (x, y) 、 $(x+m, y)$ を通る直線を引く。この2点を上底として高さ n の台形のウィンドウを生成する。この時下底は $(\frac{x}{y}(y-n), y-n)$ 、および $(\frac{x+m}{y}(y-n), y-n)$ となる。

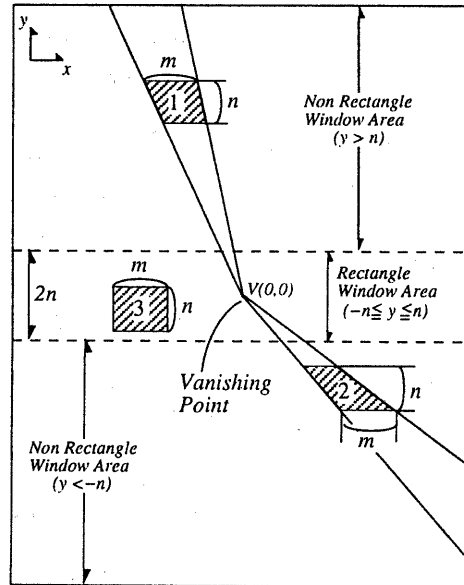


図2: 消失点を基準としたウィンドウの生成

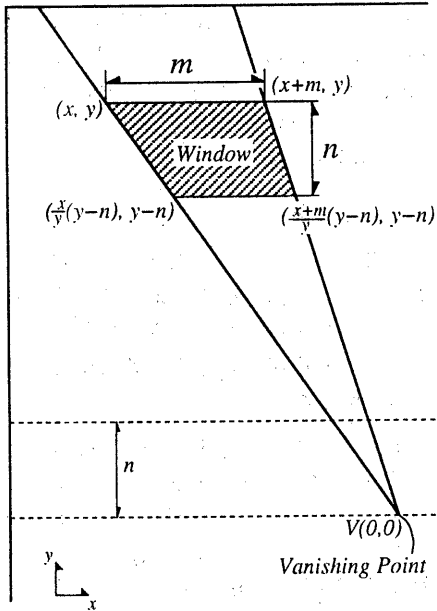


図 3: $y > n$ の場合のウィンドウの生成

2. $y < -n$ の場合

この場合は先程の場合とは逆に、下底の幅が m 、高さが n の台形になるようにする。各頂点の座標は下底が $(x, y), (x+m, y)$ 上底は $(\frac{x}{y}(y+n), y+n), (\frac{x+m}{y}(y+n), y+n)$ となる。

3. $-n \leq y \leq n$ の場合

この場合は、消失点と同じ高さ ($y = 0$) になる点が存在するため、非矩形のウィンドウを生成することはできない。そこで、この範囲に関しては通常の矩形ウィンドウを用いて探索を行なう。

3.2 非矩形ウィンドウの対応

対応点を求める基準として、相関法を用いている。ここでは左右のカメラ特性の違いは

無いとみなし、左右のウィンドウの濃度値の 2 乗誤差を用いる。従来の矩形ウィンドウに適用する場合、相関法は次のようになる。

カメラ R のスクリーン上の点 (x, y) における濃度値を $R(x, y)$ とする。同様に L の濃度値を $L(x, y)$ で表す。ウィンドウの大きさは $m \times n$ であるとする。

この時点 (x, y) における相関値は以下の式のようにになる。

$$C(x, y) = \sum_{t=0}^{n-1} \sum_{s=0}^{m-1} (L(x+s+d, y+t) - R(x+s, y+t))^2 \quad (3.1)$$

$C(x, y)$ が最小となる時の d が R および対応点 L との視差である。

一方、非矩形ウィンドウの場合、左右のウィンドウの形状が大きく異なるため、相関法は次のようになる。

まず消失点の座標 V を次のように表す。

$$\begin{aligned} V_l &= (V_{lx}, V_{ly}) \\ V_r &= (V_{rx}, V_{ry}) \end{aligned} \quad (3.2)$$

この時画像中の座標 (x, y) は、消失点を基準とすると次のように変換される。

カメラ L の場合：

$$x_l = x - V_{lx}, \quad y_l = y - V_{ly} \quad (3.3)$$

カメラ R の場合：

$$x_r = x - V_{rx}, \quad y_r = y - V_{ry}$$

また、生成した非矩形ウィンドウ内の点 (X, Y) を、次のように表す。

$$\begin{aligned} (X_l, Y_l) &= \left(\frac{x_l + s}{y_l} (y_l - t), y_l - t \right) \\ (X_r, Y_r) &= \left(\frac{x_r + d + s}{y_r} (y_r - t), y_r - t \right) \end{aligned} \quad (3.4)$$

ここで $0 \leq s \leq m, 0 \leq t \leq n$ である。この時、相関値 $C(x, y)$ は次のようになる。

$$C(x, y) = \int_0^n \int_0^m \{L(X_l, Y_l) - R(X_r, Y_r)\}^2 ds dt \quad (3.5)$$

画像は連続値ではなく離散値で表されているため、式 (3.5) を用いて対応点を求めるよ

り, $m \times n$ 個の点について線形補間を行ない, 補間した座標で対応を求める方が効率的である. 線形補間は図4のように隣接する画素を利用する.

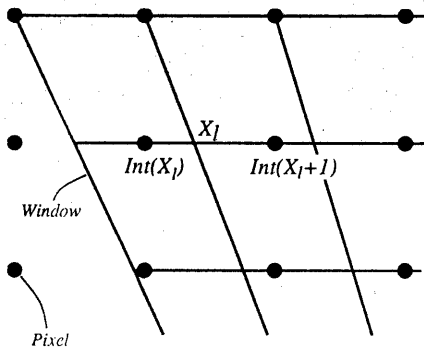


図4: 画素と非矩形ウィンドウの関係

X の整数部を $Int(X)$, 小数部を $Dec(X)$ とすると, 濃度は以下のような式で表すことができる.

$$L(X_l, Y_l) = L(Int(X_l), Y_l) + \{L(Int(X_l), Y_l) - L(Int(X_l) + 1, Y_l)\} \times Dec(X_l) \quad (3.6)$$

$$R(X_r, Y_r) = R(Int(X_r), Y_r) + \{R(Int(X_r), Y_r) - R(Int(X_r) + 1, Y_r)\} \times Dec(X_r)$$

この L, R を式(3.1)に適用することで, 非矩形ウィンドウの相関を求めることができる.

4 実験結果

提案した非矩形ウィンドウによるステレオ対応法により, 水平面に対して奥行き情報が確実に復元されていることを, 従来手法である矩形ウィンドウを用いた場合との対比により確認する.

この実験では, 矩形ウィンドウによる手法は 7×7 画素のウィンドウを使用し, 非矩形

ウィンドウによる手法では $m = 7, n = 7$ としている.

4.1 CG を対象とした実験

まず水平面の探索精度を確認するために, CG を用いて実験を行なった. 図5および図6の画像は仮想的な空間上に木目斑様の水平面を配置したものである. 2台のカメラに輻輳角はなく, 平行に撮影したものである. 画像の大きさは左右それぞれ 320×240 画素であり, 256 階調の濃淡情報を使用している. 復元結果は, 奥行きを 256 段階の濃淡情報として明るい方が手前, 暗い方が奥を表す. 図7は従来の矩形ウィンドウによる結果で, 図8は非矩形ウィンドウによる結果である.

実験結果から, 本手法は従来手法に見られるような水平面に対する不確かさがなく, 滑らかな奥行きの変化が忠実に復元されていることが確認された. 本手法において画像の右下部に誤対応が見られるが, これは従来手法では双方向の対応点探索を行なっているのに対し, 本手法では片方向の探索しか行なっていないためである.

4.2 屋外画像を対象とした実験

ステレオ対応法は撮影する環境に依らず, 奥行き情報を復元することが可能である. 実環境下においても本手法は有効であることを示す. 図9は道路上に置いてある工事用のパイロンを対象とし, 太陽光以外の光源は使用せずに撮影したものである. 画像は輻輳角のあるカメラを用い, その大きさは各々 192×256 画素である. 図10は従来手法の結果, 図11は本手法による結果である. 結果から, 実環境下においても本手法は有効であることが確認される. また相関法では正確に求めることができない道路の部分に対しても, 奥行きが復元されていることが確認された.

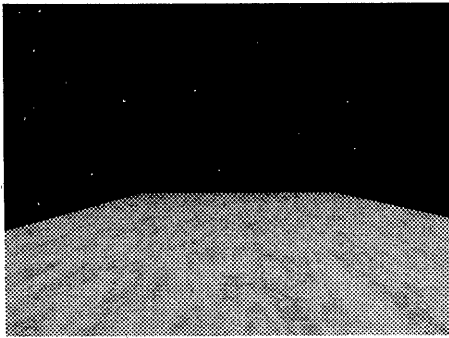


図 5: CG による原画像 (左側)

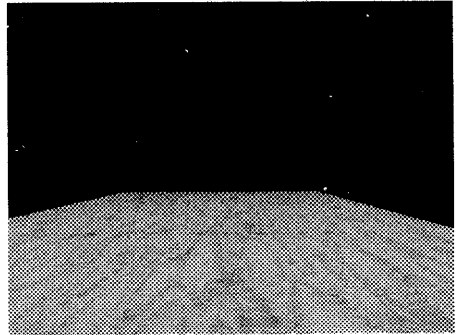


図 6: CG による原画像 (右側)

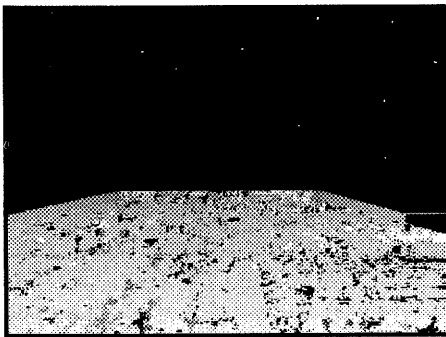


図 7: 従来手法による結果

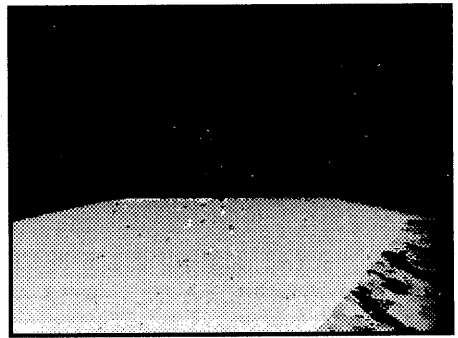


図 8: 本手法による結果

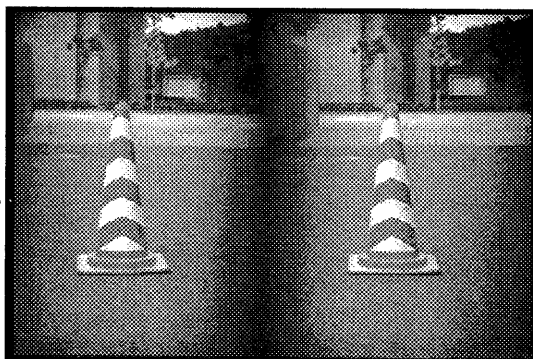


図 9: 屋外画像-工事用パイロン

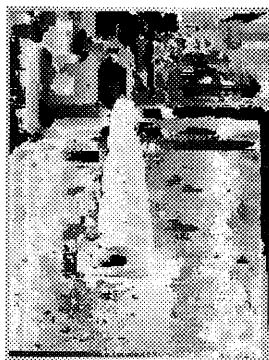


図 10: 従来手法の結果

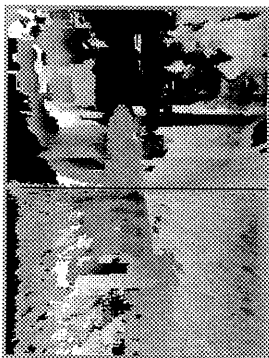


図 11: 本手法の結果

5 おわりに

非矩形のウィンドウを用いた手法は従来の矩形ウィンドウの手法に比べ、水平方向の面に対して対応点が高い精度で求められることを示した。

結果を見ると従来手法は水平な面に対しては誤対応が生じやすいが、本手法は水平な面に対して正確に奥行きが求められている。しかし、消失点近傍に対して矩形のウィンドウを使用しているため、探索精度の向上は見られない。このため、探索精度を向上させるにはウィンドウの大きさを小さくして探索を行ない、非矩形ウィンドウの適用範囲をできるだけ広くすることが考えられる。また、水平な面に対して大きな効果が得られるが、消失点近傍の垂直な物体に対して探索精度は低い。

これは、消失点近傍の非矩形ウィンドウの形状は非常に大きくひずんでいるのに対し、対象となる物体の左右の画像間の違いは小さいためである。このような場合は矩形のウィンドウを使用する必要がある。

今後の課題として次のようなものがあげられる。

- 双方向の探索を行ない、全画素に対して探索を行う。
- 状況に応じて矩形のウィンドウと、非矩形のウィンドウの結果のどちらを用いるかを判別する。
- 消失点の自動設定を行なう。
- 消失点が2点透視のように2ヶ所あるような場合への対処法。

参考文献

- [1] S.T.Barnard and M.A.Fischler: *Stereo Vision*, Encyclopedia of Artificial Intelligence, pp.1083-1090, 1987
- [2] J.R.Jordan III and A.C.Bovik: *Using Chromatic Information in Dense Stereo Correspondence*, Pattern Recognition, Vol.25, No.4, pp.367-383, 1992
- [3] T.Kanade and M.Okutomi: *A Stereo Matching Algorithm with an Adaptive Window: Theory and Experiment*, IEEE Trans. PAMI, Vol.16, No.9, pp.920-932, 1994
- [4] F.Devernay and O.Faugeras: *Computing Differential Properties of 3-D Shapes from Stereoscopic Images without 3-D Models*, INRIA Rapport de Resherche, N°2304, Juillet, 1994
- [5] N.Ahuja and A.L.Abbot: *Active Stereo: Integrating Disparity, Vergence, Focus, Aperture, and Calibration for Surface Estimation*, IEEE Trans. PAMI, Vol.15, No.10, pp.1007-1028, 1993
- [6] 金谷 健一, 浦沢 康二: 消失点とカメラキャリブレーションの統計的信頼性, 日本ロボット学会誌, Vol.9, No.7, pp.813-820, 1991