

輝度分散を考慮したステレオマッチング処理

林邊 健一郎^{*1}, 齋藤 隆文^{*2}

^{*1}東京農工大学大学院生物システム応用科学研究所

^{*2}東京農工大学工学部情報コミュニケーション工学科

東京都小金井市中町 2-24-16

E-mail: haya@vc.cs.tuat.ac.jp, txsaito@cc.tuat.ac.jp

あらまし： 本稿では、輝度分散に基づくステレオマッチング処理を提案する。ステレオマッチング処理では、左右画像間の対応点探索にブロックマッチング、すなわちブロック内の輝度パターンによる対応付けが、しばしば用いられる。しかし、ブロック内の輝度パターンが特徴的でない場合や、画像中の物体境界を含む場合に誤対応を起こしやすい。そこで本研究は、瀬川らが開発した輝度分散評価アルゴリズムを用いて注目画素の近傍輝度パターンに応じて、適応的にマッチングに用いるブロックサイズを変化させることで前述の問題による誤対応を軽減した。実験画像を用いて提案手法と従来手法の比較を行い、提案手法の有効性を確認した。

Stereo Matching Process Based on Intensity Variance

Ken-ichiro Hayashibe, Takafumi Saito

Tokyo University of Agriculture and Technology Graduate School of BASE

2-24-16, Naka-cho, Koganei, Tokyo, 184-8588, Japan

E-mail: haya@vc.cs.tuat.ac.jp, txsaito@cc.tuat.ac.jp

Abstract: We proposed a new stereo matching algorithm based on intensity variance. In most stereo matching algorithm, correspondence points between left and right images are often searched based on block matching. Block matching applies intensity pattern in the block for determine corresponding point. However, when intensity pattern is almost flat, or the block includes object boundaries, it makes miss-correspondences. In our new algorithm, block size is changed adaptively by estimating

1. はじめに

コンピュータビジョンにおける立体認識手法として一般的なステレオマッチングでは、左右画像対における対応点の位置の差(視差)から三角測量法を用いて奥行きを推定する[2][5][6]。つまり、左右画像の各画素の対応付けを正確に行うことが非常に重要である。

対応付けの手法は大きく分けて二種類あり、注目点近傍の輝度パターンに基づく輝度ベース手法と、画像中の物体形状等に基づく特徴ベ-

ース手法がある。輝度ベース手法はブロックマッチングとも呼ばれ、ノイズに対してロバストであるが、ブロック内の輝度パターンの状態、物体境界の有無によって適切なブロックサイズが異なり、対応点探索の精度がブロックサイズに大きく依存するといった問題点がある。

本研究はブロックマッチングについて、瀬川らが開発した近傍輝度の分散度合いを評価するアルゴリズムを用いたマッチング手法を提案する。

2. 輝度分散評価アルゴリズム

瀬川らの開発した輝度分散評価手法[1]について説明する。

2.1 基本的な考え方

近傍輝度パターンの変化(分散)が大きいところでは, 原画像と平滑化画像の差分量が大きいことに着目する。

2.2 定式化

原画像を $f(x, y)$ とする。また, 線形平滑化フィルタを $(u, v; s)$ とする。ただし, s はフィルタサイズであり, $(u, v; s)$ は次の条件を満たすものとする。

1. 重みの総和が1である

$$\iint \omega(u, v; s) dudv = 1$$

2. フィルタの中心から外側にいくと重みは同じか小さくなる

$$\omega(u, v; s) \geq \omega(ku, kv; s) \quad (\text{ただし } k \geq 1)$$

3. フィルタサイズを変化させても, フィルタ形状は相似形のままである

$$\omega(ku, kv; ks) = 1/k^2 \cdot \omega(u, v; s)$$

(ただし $k > 0$)

この線形平滑化フィルタ $(u, v; s)$ を原画像 $f(x, y)$ に適用することで平滑化画像 $F(x, y; s)$ を得る。

$$F(x, y; s) = \iint \omega(u, v; s) f(x+u, y+v) dudv$$

フィルタ内の各画素の平滑化画像からの偏差を $F(x, y; s) - f(x, y)$

とすると, 偏差の重み付き2乗和が式(1)のように定まる

$$D(x, y; s) = s^2 \iint \omega(u, v; s) (F(x, y; s) - f(x+u, y+v))^2 dudv \quad (1)$$

式(1)で算出される $D(x, y; s)$ によって注目画素近傍の輝度分散について定量的な評価を行うことができる。

瀬川らはこの評価値に応じて平滑化フィルタのサイズを決定し, 特徴的な部分を保存した平滑化フィルタを実現した。そして, この平滑化

画像を用いてダイナミックレンジの広大なシーンを効果的に圧縮, 表現する処理を提案した。

3. 輝度分散を考慮したブロックマッチング

ブロックマッチングに対して, 輝度分散を考慮した手法を提案する。

3.1 ブロックマッチング処理

ブロックマッチング処理の原理は, (左画像を基準とした場合) 対応点を求めるべき左画像中の点 P_L を中心とする B_L のようなブロック状の部分画像を切りだし, 右画像中で最も輝度パターンが類似しているブロック B_R を求め, B_R の中心点 P_R を点 P_L の対応点とする。

また, ブロック内の輝度パターンの類似度評価方法は, 相関法など何種類か提案されているが, 本研究では SAD(Sum of Absolute Difference) を用いている。式を以下に示す。左画像を $f_L(x, y)$, 右画像を $f_R(x, y)$ とし, ブロックサイズを $(2K+1) \times (2L+1)$ として誤差値 E を算出し, E を最小とする時に二つのブロック内の輝度パターンは最も類似していると考え

$$E = \sum_{i=-K}^K \sum_{j=-L}^L |f_L(x+i, y+j) - f_R(x+i, y+j)| \quad (2)$$

3.2 ブロックマッチング処理の問題点

ブロックマッチングは, (左画像を基準とした場合) 左画像画像中の注目点近傍の輝度パターンを用いて, 右画像中から対応点を決定する。しかし, 輝度パターンが特徴的でない場合, 右画像中から類似するパターンを見つけることは困難であり, 誤対応の原因となる。この問題点を解決するためには, ブロックサイズを大きくしてブロック中の輝度パターンが対応付けに充分特徴的な輝度情報を含むようにすれば良い(図1)。また, 画像中の物体の境界付近では Boundary-Overreach による誤対応が発生しやすい[3][4]。これを防ぐには, ブロックサイズを小さくして, ブロック中に誤対応の原因となる余分な輝度情報を含まないようにすれば良い(図2)。

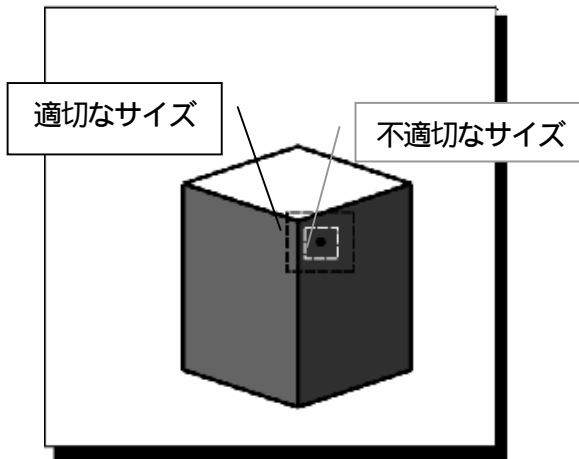


図1：ブロックマッチングの問題点1

3.3 適応的ブロックサイズの決定

上述の問題点を同時に解決できる最適なブロックサイズを、ただ一つ決定することは非常に困難である。そのために本手法では、第二項で説明した輝度分散評価アルゴリズムによって注目画素近傍の輝度パターンの様子を定量的に評価することで、画素ごとに異なるブロックサイズを決定する。輝度分散が小さい場合は、注目点近傍は対応付けに用いる輝度情報が乏しいと考えられるから、大きなサイズのブロックを採用する。また、輝度分散が大きい場合は、注目点は物体境界上または、その近傍にあることが考えられるから、小さいサイズを採用する。

輝度分散評価値は前述の式(1)によって行う。まず、離散的にフィルタサイズ s_i を複数個設定し、それぞれのフィルタサイズによって平滑化画像 $F(x,y;s)$ を得る。そして、あらかじめ ε を定め、フィルタサイズ s_i から算出される $D(x,y;s)$ との関係が

$$D(x,y;s) \geq \varepsilon$$

となったとき、補間により求めたいフィルタサイズ s' を得る。

$$s' = (1-l)s_{i-1} + ls_i \quad - (3)$$

$$\text{ただし } l = \frac{\varepsilon - D(x,y;s_i)}{D(x,y;s_i) - D(x,y;s_{i-1})}$$

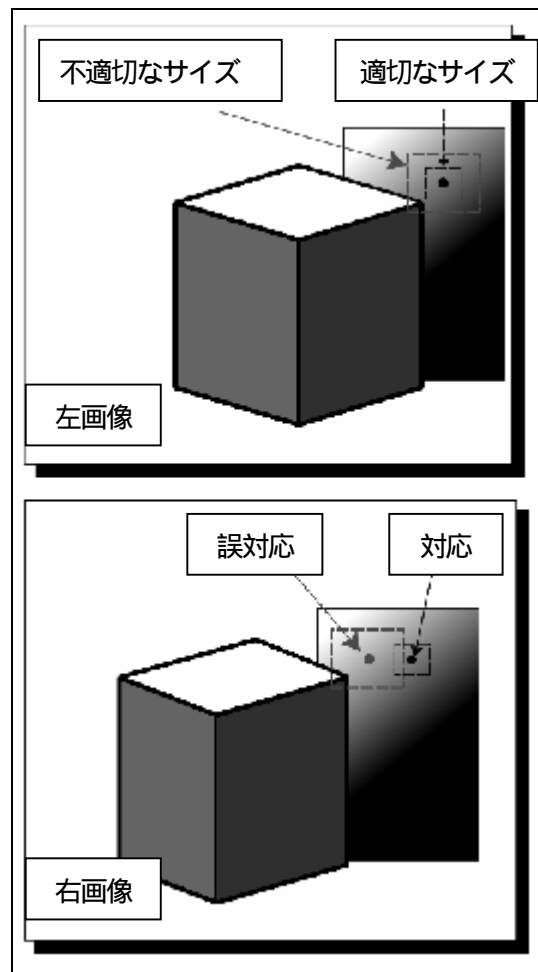


図2：ブロックマッチングの問題点2

3.4 本研究で用いる類似度評価式

本研究では入力に RGB 画像を用いた。RGB 画像を入力画像とする場合は、ブロックサイズを RGB 各要素で決定し、その中で最小のサイズを採用する。また、左右画像の物体形状を考慮するため、画素ごとに選択されたブロックサイズをマッピングした画像 $B(x,y)$ (図3参照) の SAD も加える。この結果、式(2)を以下の式(4)のように拡張する。(i,j) はガウス関数である。

$$E(x,y) = \sum_{i=-K}^K \sum_{j=-L}^L \omega(i,j) \{e_1(i,j) + e_2(i,j)\} \quad - (4)$$

$$e_1(i,j) = \sum_{c=0}^2 |f_L(x+i,y+j,c) - f_R(x+i,y+j,c)|$$

$$e_2(i,j) = |B_L(x+i,y+j) - B_R(x+i,y+j)|$$

である。

3.5 オクルージョン検出

オクルージョン領域とは、視差のある複数の

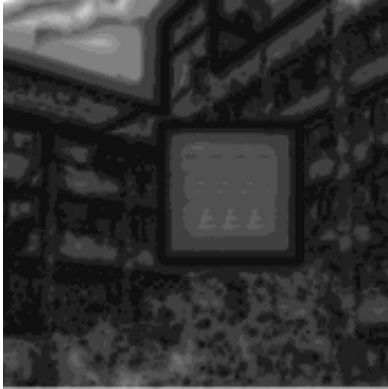


図3：ブロックサイズマップ

画像中で、ある画像では見えるが、別の画像では見えない領域のことである。この領域内は理論的に対応付けを行うことは不可能であるために、除去するのが一般的である。オクルージョン領域は「一方で見えて、もう一方では見えない」ということから、本研究では以下の手法で、画素ごとにオクルージョンかどうかを判定している。

まず始めに、左画像中の注目点 $[x_L, y_L]$ に対応する右画像中の点 $[x_R', y_R']$ を決定する。その後、右画像中の $[x_R', y_R']$ に対応する左画像中の点 $[x_L', y_L']$ を決定する。もし、オクルージョンが発生していなければ、はじめの点 $[x_L, y_L]$ と $[x_L', y_L']$ は、ほぼ一致するはずである。一致しない場合はオクルージョンが発生している画素と判断し、前もって対応点探索処理から除外する。

3.6 提案処理

提案処理の流れを図4に示す。まず、輝度分散を評価し、左右画像中の画素ごとにブロックサイズを決定する。その後前述のオクルージョン検出を行い、オクルージョン画素を次の対応点探索候補から除外する。

SADにより左画像の注目画素 x_L に対応する右画像中の画素 x_R を決定し視差 $x_L - x_R$ を測定しマッピングする。

なお、今回の実験で使用する画像は人工的に生成したものであり、垂直方向のズレは発生していない。つまり左画像中の画素に対応する右画像中の画素は同じスキャンライン上に存在するために、対応点の探索は水平方向のみ行う。

3.7 実験

提案手法の有効性を従来手法の固定ブロックマッチングを用いた場合の推定視差結果の比

較から検証する。実験で用いたステレオ画像を図5,6に示す。画像サイズは 256×256 で、RGB

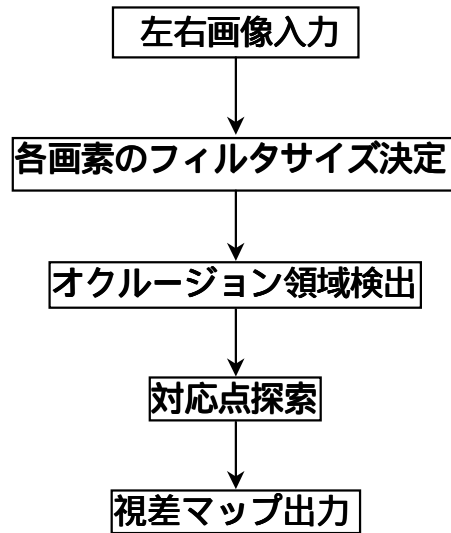


図4：マッチング処理の流れ

各8bitのppm形式である。なお、原画像中の青いグラデーションしている領域は前方(手前)にあり、それ以外は背景領域であるまた、視差の正解マップを図7に示す。前方領域は灰色、後方領域は黒色、オクルージョンは白色である。

従来手法による視差推定結果を図8,9,10に示す。提案手法による結果を図11,12,13に示す。

また、従来手法、提案手法によって推定される視差の精度を比較するためにパラメータ(従来手法ではブロックサイズ、提案手法では)を変化させていった時の、正解率を以下の式によって求めた。その結果を表1に示す。視差マップ全体は前方領域、後方領域そしてオクルージョン領域の3つの領域からなる。

- ・ 全画素数： S_{all}
- ・ 前方領域画素数： S_f
- ・ 後方領域数： S_b
- ・ オクルージョン領域数： S_{ocl}

全画素数は $S_{all} = S_f + S_b + S_{ocl}$ となる。各領域の正解画素数を以下に示す。

- ・ 全正解画素数 C_{all}
- ・ 前方領域正解画素数： C_f
- ・ 後方領域正解画素数： C_b
- ・ オクルージョン領域正解画素数： C_{ocl}

全正解画素数は $C_{all} = C_f + C_b + C_{oc}$ となる。



図5: 左画像

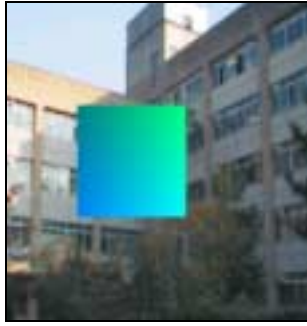


図6: 右画像

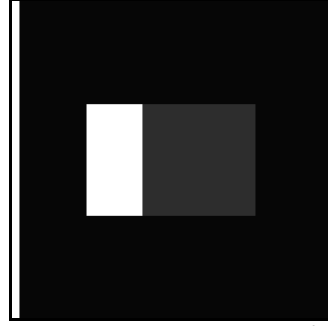


図7: 視差正解マップ

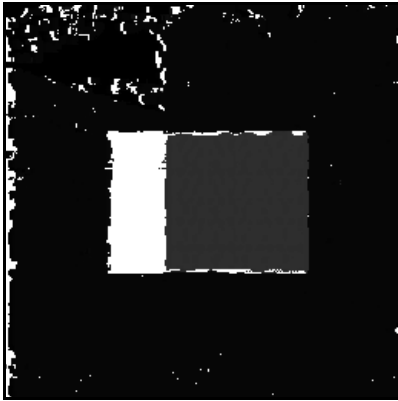


図8: 従来手法 ブロックサイズ[5×5]

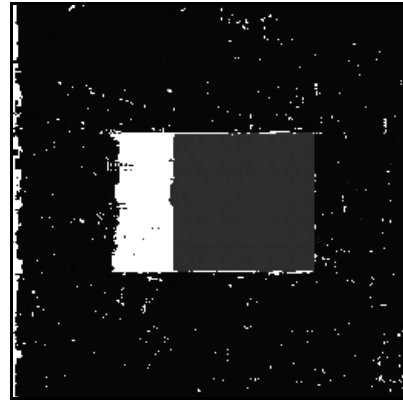


図11: 提案手法 [=4⁶]



図9: 従来手法 ブロックサイズ[7×7]

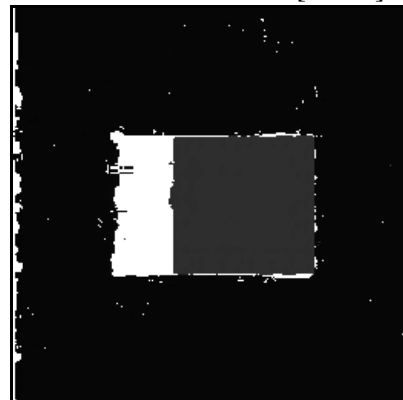


図12: 提案手法 [=4⁷]



図10: 従来手法 ブロックサイズ[9×9]



図13: 提案手法 [=4⁸]

また、全体正解率 CR_{all} , 前方領域正解率 CR_f , 後方領域正解率 CR_b , オクルージョン領域正解率 CR_{ocl} は以下の式による。

$$CR_{all} = C_{all} / S_{all}$$

$$CR_f = C_f / S_f$$

$$CR_b = C_b / S_b$$

$$CR_{ocl} = C_{ocl} / S_{ocl}$$

実験画像の S_{all} は 65536pixel, S_f は 8190pixel, S_b は, 51760pixel, S_{ocl} は 5586pixel である。

表 1 : 各領域の正解率

	パラメータ	CR_{all}	CR_f	CR_b	CR_{ocl}
従来手法	3*3	78.74	91.49	77.55	71.07
	5*5	89.61	97.06	90.27	72.57
	7*7	91.29	96.08	92.49	73.18
	9*9	92.32	94.96	93.73	75.30
	15*15	93.28	91.51	95.30	77.19
	21*21	93.04	89.37	95.38	76.76
提案手法	4~4	85.60	89.78	86.18	74.08
	4~5	90.75	93.48	92.08	74.49
	4~6	95.29	97.59	97.17	74.51
	4~7	96.53	97.96	98.70	74.29
	4~8	96.70	98.44	98.79	74.72
	4~9	96.09	97.28	98.22	74.60

3.8 考察

従来手法と提案手法の比較実験から考察を行う、まずどちらの手法においてもブロックサイズを大きくすると、それにもなって後方領域の正解率が上昇する。これは、後方領域中には空などの輝度パターンが特徴的ではない領域が多いため、含まれる輝度情報が少ない小さいブロックサイズよりも、大きい方が対応付けに適しているためである。しかし、従来手法の場合はブロックサイズを大きくすると前方領域の正解率が、あるブロックサイズを境に急激に悪化している。これはブロックサイズが大きいために、含まれる背景領域のテクスチャ情報が多くなり、Boundary-Overreach が発生するためである。この点、提案手法は全体的なフィルタサイズが大きくなるように を設定しても前方領域の境界部分では、小さいブロックサイズが採用されているために後方領域正解率が上昇する割に前方領域の正解率が高い状態を従来手法よりも維持していることが解る。

4. まとめ

輝度分散評価値に応じてブロックサイズを変化させる手法を提案し、実験により従来手法よりも 対応点探索に有効であることを確認した。

現在、高精度なマッチングを達成している処理[2][5][6]の多くは 本論で比較に用いた従来手法のブロックサイズを何段階かに分けて視差を推定し、推定された視差を統合、補正することで高精度な結果を得ている。しかし、その場合でも、複数のブロックサイズの決定は容易ではない。またサイズの種類を増やすごとに計算量は大幅に増大してしまうため、あまりに多くの種類を用いることは現実的ではない。その点、提案手法は一つのパラメータ のチューニングのみで、画素に応じて大小様々なブロックサイズが選択される。

そこで、今後の課題としては、従来手法ではなく、提案手法をそれらの補正処理と組み合わせた場合の有効性についての検討が挙げられる。

参考文献

- [1] 瀨川大勝, 齋藤隆文: ダイナミックレンジ圧縮のための階層的画像表現, 画像電子学会ビジュアルコンピューティングワークショップ, September 1999.
- [2] C.Lawrence Zitnick, Takeo Kanade: A Volumetric Iterative Approach to Stereo Matching and Occlusion Detection, CMU-RI-TR-98-30, December 1998.
- [3] 片山保宏, 岡根子, 奥富正敏: 領域ベースステレオマッチングにおけるバウンダリオーバーリーチの解析, 電子情報通信学会論文誌, Vol.36, No.11, pp. 1037-1043, (2001).
- [4] 吉見修, 山口博義: 膨張確度係数を用いた視差画像における吾妻健夫, 魚森謙也, 森村淳: ステレオ画像の中間視点画像物体輪郭の先鋭化, 第6回画像センシングシンポジウム公演論文集, pp.227-230, 2000
- [5] 生成のためのエッジ情報を用いた視差推定, 映像情報メディア学会誌, Vol.52, No.3, pp. 322-330, (1998).
- [6] 朴鍾一, 井上誠喜: 映像合成のための多眼カメラを用いた奥行き抽出, 信学技報, PRMU96-133, pp. 33-40, (1997).
- [8] T.Kanade, M.Okutomi: A Stereo Matching Algorithm with An Adaptive Window: Theory and experiment, PAMI, Vol.16, No.9, pp.920-932, (1995).