

相関ステレオ法のための色領域分割による探索範囲の限定

工藤 弘義

法政大学大学院工学研究科電気工学専攻

岩月 正見

法政大学工学部電気電子工学科

従来の相関法によるステレオビジョンでは、オクルージョンによって視差が急激に変化する付近では正確な対応点を決定できず、視差を精度よく求めることができない場合がある。そこで本論文では、相関ステレオ法を適用する前に、スキャンラインごとに左右両画像を色領域分割し、左右領域の同一色系列パターンを検出するにより、マッチングを行う範囲を限定して、対応点探索が行える手法を提案する。

このような前処理を行うことにより、オクルージョン領域をあらかじめ除去することができるため、視差すなわち奥行きの不連続な境界でも誤対応が大幅に軽減される。

1. はじめに

コンピュータビジョン研究において、ステレオビジョンによる3次元構造の復元の手法に関する研究は、比較的古くから行われており、特に、注目点に対する近傍の局所的なパターンの相関値を用いて対応付けを行う area-based matching による手法は、数多く提案されている。area-based matching に基づくステレオ視の大きな特長は、密な視差マップが得られるということである。しかしながら、異なる視点から撮影されたステレオ画像において、歪みやオクルージョンが生じることは避けられないので、左右画像間のパターンが大きく異なる場合があり、たとえ局所的ではあってもその対応付けにどうしてもあいまいさが残ってしまい、誤対応が生じるという大きな問題点がある。特に、オクルージョンによって、一方の画像では見えているが、他方の画像から見えない領域に対しても一律に対応付けしようとする、誤対応を生じる可能性がきわめて大きくなる。

そこで本論文では、相関ステレオ法を適用する前に、スキャンラインごとに左右両画像を同時に色領域分割し、左右領域の同一色系列パターンを検出することにより、マッチングを行う範囲を限定して、対応点探索が行える手法を提案する。このような前処理を行うことにより、オクルージョン領域をあらかじめ除去することができるため、視差すなわち奥行きの不連続な境界でも誤対応が大幅に軽減される。したがって、area-based matching に特有のプレートウィンドウの大きさによる解の安定性と視差変化の再現性のトレードオフの問題[1]を解消することができる。

本手法では、平行ステレオ視で得られた2枚のカラー画像を用いるため、水平方向のみの処理を行えばよい。したがって、左右画像の色領域分割は、スキャンラインごとに行うだけでよいので、そのために要する処理時間は比較的小さい。色領域分割を行う際、色差による統合のしきい値を段階的に変化させて隣接領域を統合していくことにより、各段階の色領域を階層的に取得することができる。そこで、粗から密な分割領域の色情報をツリー構造によって表現し、これに基づいて、各階層にまたがって照合を行うことにより、左右画像の分割結果の違いを吸収でき、クラス併合のしきい値に依存しない安定

したマッチングが行える。得られた対応領域に対応点探索の範囲を限定して、相関法を適用すれば、あらかじめオクルージョン領域を除去しておくことができる。したがって、視差が大きく変化する部分でも正確な対応付けが可能で、各対応領域内部ではサブピクセル精度の視差マップが得られる。

2. スキャンラインごとの色領域分割

本手法では、平行ステレオ画像に対して、色差による統合のしきい値を段階的に変化させて隣接領域を統合していくことにより、階層的な色領域分割をスキャンラインごとに行う。以下にその手順を示す。

Step 1: カメラから取得されたステレオ画像に対して、前処理として SUSAN 平滑化フィルタ[2]を適用する。これにより、微小領域を削除し、ノイズによる影響を軽減している。

Step 2: RGB 系から、人間の視覚特性に近い表色系である $L^*u^*v^*$ 系へと色空間を変換し、1画素を1領域として、初期領域の形成を行う。

Step 3: スキャンライン上の左端から順に、各色領域の右側の領域の色差を求め、この値がしきい値以下であれば統合し、その平均色を統合領域の色とする。

Step 4: しきい値を大きくして、*Step 3* を繰り返す。

3. 領域照合による探索範囲の限定

前章で述べた階層的な色領域分割によって得られた分割結果は、最も統合のしきい値の高い分割領域をルートとして、ツリー構造により各階層ごとの分割領域を関連付けることができる。このような色領域のツリー構造表現に基づいて、色領域の照合の度合を異なる階層にまたがって評価すれば、しきい値の選び方に依存しない安定した対応付けができる。また、2つのカメラ特性の違い

などに起因して左右画像の分割結果が異なるような場合でも、その違いを吸収できる。本章では、このような色領域の照合によって探索領域を限定する手法について述べる。

3.1 ツリー構造による領域の階層的表現

前章で述べたように、しきい値を段階的に変化させ、スキャンラインごとに色領域分割を行うと、図 1 のように、統合のしきい値が最も大きい領域画像の色領域数は最も少なく、しきい値を小さくしていくと、色領域数も徐々に多くなっていく。また、領域分割の手順から明らかかなように、しきい値が大きい色領域の境界の位置は、それより小さい色領域でも保持されている。

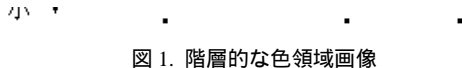


図 1. 階層的な色領域画像

したがって、統合のしきい値が最も大きい色領域をルートとして、しきい値の大きい方から順に階層化し、上の階層の分割領域を対応付けすれば、図 2 のようなツリー構造によって各色領域を階層的に表現できる。



図 2. ツリー構造による表現

3.2 ツリー構造に基づく領域照合

前節で述べたような色領域のツリー構造表現に基づいて照合を行うため、各領域に対して下記のような特徴量を与える。

- 領域の平均色
- 領域境界の左右座標
- 領域の面積

これらの特徴量を照合の度合として、領域照合を行う。

ただし、左右の画像上で、領域の順番は入れ替わらないと仮定している。すなわち、その左右画像中の領域の左端の X 座標を、それぞれ X_L, X_R とすると、

$$X_L \geq X_R \quad (1)$$

を満たすとする。また、左右画像に対して同一のしきい値を用いた領域分割の結果は、それほど大きく異ならないとして、ツリー構造の 1 階層下までを領域照合の探索範囲としている。

まず、領域照合のための評価関数を以下のように定義する。

$$v = w_1 a(L_i, R_j) + w_2 \sum a(L_{i+1,k}, R_{j+1,l}) \quad (2)$$

ここで、 L と R はそれぞれ左右領域の平均色である。また、 $d(L, R)$ は RGB 空間でのユークリッド距離であり、次式で定義される。

$$d(L, R) = \sqrt{(r_L - r_R)^2 + (g_L - g_R)^2 + (b_L - b_R)^2} \quad (3)$$

また、 w_1 と w_2 は重み係数であり、

$$w_1 + w_2 = 1 \quad (4)$$

を満たすようにとる。

式 (1) の評価基準を用いてスキャンラインごとに、以下のような手順でツリー構造に基づく領域照合を行う。

Step 1: 上述した各色領域の特徴量を求め、階層構造をツリー化し、同一しきい値で分割された左右の分割画像を同階層とする。また、探索対象の色領域をルート階層に初期化し、右画像を基準画像、左画像を参照画像とする。

Step 2: 基準画像中の色領域に対して、色差があるしきい値以下で、式(1)の条件を満たす参照画像中の色領域を 1 階層下まで探索する。

Step 3: *Step 2* で得られた色領域と基準画像中の色領域に対して、定義した評価値 v を式(2)により求め、あるしきい値以下で最小にする領域を対応領域とし、この領域を表わしているツリーを削除する。

Step 4: *Step 2, Step 3* を最下層まで繰り返す。



図 3. 左右スキャンラインのツリー構造

上記のような処理を行った結果、左右画像中に対応が

とられずに残った領域が存在すれば、その領域をオクルージョン領域として検出することができる。また、対応領域は左右スキャンラインの同一色パターン系列の領域であることから、その領域に探索範囲を限定して相関法を適用すれば、視差変化の大きなエッジ付近でも精度の高い視差情報が得られる。



図 4. ツリーにおける照合方法

4. 相関法を用いたステレオマッチング

本章では、前章で限定された探索領域に対して適用される相関法の原理と視差マップの算出方法について説明する[3]。

4.1 相関法

図 5 のように、左画像上の各ウインドウについて、次式を用いて右画像との RGB 値の和の相関をとる。

$$\text{val}_{ij}(I) \cdot \text{val}_{ij,d}(G) \quad (5)$$

$g_{m+d,n}$ 、 $f_{m,n}$ はそれぞれ左右画像上のピクセルの RGB 値の和であり、 g 、 f はそれぞれ左右画像のウインドウの RGB 値の和の平均であり、 $\text{cov}_{ij,d}$ 、 $\text{var}_{ij,d}$ 、 var_{ij} はそれぞれ RGB 値の和の共分散、分散であり、次式で求めることができる。

$$\overline{m=i-K \ n=j-L} \quad (6)$$

$$\overline{m=i-K \ n=j-L} \quad (7)$$

$$\overline{m=i-K \ n=j-L} \quad (8)$$

$c_{ij,d}$ は-1 から+1 まで変化し、もし $c_{ij,d}$ が+1 に近く大きければ、両ウインドウの色パターンが類似するとして、左右画像間の対応する領域とみなされる。

(a) 左画像

(b) 右画像

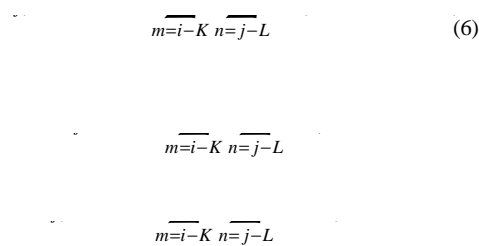
図 5. 探索方法

4.2 対応の判定

探索範囲内で、相関値 $c_{ij,d}$ を計算すると、水平軸が視差、垂直軸が相関値である相関グラフが作られる。この相関グラフの最大値をとる位置がそのウインドウでの視差となる。相関グラフが明確で大きい唯一のピークをもつときは、その対応は正確であるといえる。しかし、もしそのピーク値が最大であるにもかかわらず+1 に近くなかったり、複数の同じような値のピークがあるときは、その対応は正確であるとはいえない。そこで、図 6 で示されるような 4 つの基準を設定し、相関グラフから対応の正確さを評価することができる。

1. 最大ピークの高さ (C_1)
2. 最大ピークと第 2 ピークの比 (C_1/C_2)
3. 最大ピークの両側の谷との高さの差の小さい方 (C_3)
4. 最大ピークの幅 (C_4)

それぞれしきい値を定め、すべて満たすことができれば、その対応は正確であると判定することにする。それに基づき、視差を決定する。もし、1 つでも満たさない場合は対応を取らない。



視差 [PIXEL]

図 6. 相関グラフの評価

さらに高精度にするため、相関グラフをスプライン補間して、サブピクセル単位でピーク位置を求める。

5. 実験結果

合成画像と実画像の 2 種類のステレオ画像を用いて、本手法を適用して、視差を求める実験を行った。合成画像は、箱と本と缶をそれぞれ撮影し、それぞれ少しずつずらして合成した画像である。また、実画像は本と箱を平行ステレオ視で得られた画像である。それぞれ相関法のみを適用した場合との比較を行う。

図 7 と図 12 において示されているラインは、それぞれ処理を行ったスキャンラインを表している。

5.1 合成画像



図 7. 合成画像

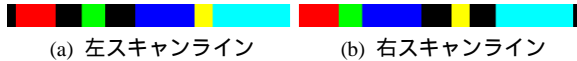


図 8. 検出したオクルージョン領域(黒い部分)

1 つのスキャンライン(Y 座標:222)に対して、本手法であるツリー構造に基づく領域照合を行った結果、オクルージョン領域は図 8 のようになった。ただし、ツリー構造は 3 階層までとした。図 8 において、左右それぞれ黒色の部分がオクルージョン領域を表している。また、同じ色の部分が対応領域を示している。図 7 からわかるように、左右スキャンラインに 2 つのオクルージョン領域があることがわかるが、ほぼ適切なオクルージョン領域が抽出されたといえる。

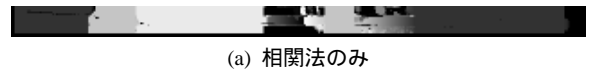
また、対応領域は 5 つとなり、それに対して相関法を適用した。対応の判定では 4 つの基準を C_1 を 0.7, C_1/C_2 を 1.2, C_3 を 0.2, C_4 を 5 としている。その結果の視差グラフを図 10 に示す。この図と相関法のみで求めた図 9 の視差グラフと比べると、相関法のみの場合、視差が急激に変化するオクルージョン部分で正確な値が出ていないのに対し、本手法では、箱と本と缶のそれぞれの視差がほぼ正確に取得されていることがよくわかる。

さらに、画像全体に対して、本手法の処理をした結果を図 11 に示す。相関法のみでは、オクルージョン部分で大きな誤対応が生じているが、本手法を適用した場合、全体にわたって、正確な視差情報が取得できることがわかる。

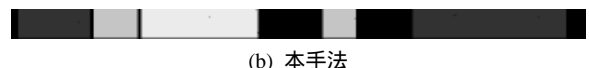
図 9. 視差グラフ(相関法のみ)

X 座標

図 10. 視差グラフ(本手法)



(a) 相関法のみ



(b) 本手法

X 座標

5.2 実画像



図 12. 実画像

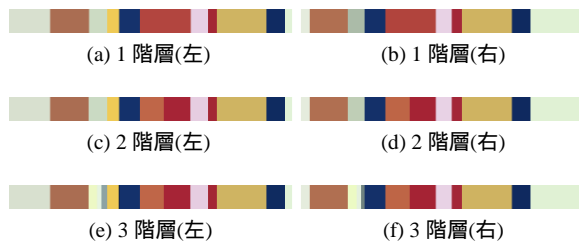


図 13. 階層的な色領域画像(スキャンライン)



図 14. 検出したオクルージョン領域(黒い部分)

図 16. 視差グラフ(本手法)

図 12 のような実画像の 1 つのスキャンライン(Y 座標:228)に対して, 本手法で提案したツリー構造に基づく領域照合を行った結果, 階層的に色領域分割を行った 1 階層から 3 階層までの左右スキャンラインの色領域画像は図 13 のようになった. それぞれの階層の色領域の境界の位置は, それより下の階層の色領域でも保持されていることがわかる. さらに図 14 のように, 左右スキャンラインに 3 つのオクルージョン領域が抽出された. ただし, 前節と同様に黒色の部分がオクルージョン領域を表している.

このように一様な色パターン領域がオクルージョン領域であっても, ツリー構造の階層を深くして, 細かい小領域も照合していくことで, 検出することができる.

また, 対応領域は 2 領域となり, これらに対して相関法を適用した. 対応の判定では 4 つの基準を C_1 を 0.9, C_1/C_2 を 1.3, C_3 を 0.2, C_4 を 5 としている. その結果の視差グラフを図 16 に示す. 相関法のみで求めた図 15 の視差グラフと比べると, 相関法の場合, 誤対応が生じている箇所が見られるのに対し, 本手法を適用した場合, ほぼ正確な視差が取得されていることがわかる.

6. おわりに

本論文では, 相関ステレオ法を適応する前に, スキャンラインごとに左右両画像を同時に色領域分割し, 左右領域の同一色系列パターンを検出するにより, マッチングを行う範囲を限定して, 対応点探索が行える手法を提案した. このような前処理を行うことにより, オクルージョン領域をあらかじめ除去することができるため, 視差すなわち奥行きの不連続な境界でも誤対応が軽減されることを明らかにした. また, 階層的な色領域分割を行って, 粗から密な分割領域の色情報をツリー構造によって表現し, これに基づいて, 各階層にまたがって照合を行うことにより, 左右画像の分割結果の違いを吸収できることを示した. さらに, 得られた対応領域に対応点探索の範囲を限定して, 相関法を適用すれば, あらかじめオクルージョン領域を除去しておくことができることで, 正確な対応付けが可能になることも明らかにした.

図 15. 視差グラフ(相関法のみ)

参考文献

[1]松山隆司, 久野義徳, 井宮淳, "コンピュータビジョン: 技術評論と将来展望", 新技術コミュニケーションズ, June 1998 .

[2]S.M. Smith and J.M.Brady, "SUSAN-A New Approach to Low Level Image Processing", Int. Journal of Computer Vision, Vol.23, No.1, pp.45-78, May 1997 .

[3]山口証, 高地和隆, 井口征士, "石像の 3 次元計測のためのステレオ対応付け", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J81-D- No.4, pp.716-725, April 1998 .

キーワード.

相関ステレオ法, 色領域分割, オクルージョン .

Summary.

Limitation of Search Range by Color Segmentation for Correlation Stereo Method

Hiroyoshi Kudo

Division of Engineering, Graduate School, Hosei University

Masami Iwatsuki

Faculty of Engineering, Hosei University

In conventional correlation stereo methods, it is difficult that the disparity is obtained with accuracy in occluded parts, since correct corresponding points cannot be found. In this paper, we propose a new stereo method that can limit the range for the matching by segmenting each scanning line in right and left images and detecting same color series pattern of the right and left regions before it is adapted to a correlation method. The fault correspondences can be greatly reduced even in the discontinuous boundary of the depth by this preprocess, since occluded regions are removed.

Keywords.

Correlation Stereo Method, Color Segmentation, Occlusion