

# 相関ステレオ法のための探索範囲の限定と隠ぺい検出

鈴木 俊生 瀬戸 義仁  
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応する前に、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 に特有のテン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基づいて、各階層ごとに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。あらかじめオクルージョン領域を除去し、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、視差が大きく変化する部分でも高精度な対応付けが可能になる。

## 2. スキャンラインごとの色領域分割

本章では、平行ステレオ画像に対して、その色領域分割画像を求めるまでの処理の流れを以下に示す。

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: コンピュータで一般的に使用される 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: スキャンライン上に存在する各色領域の中で隣接した領域の色差を全て求め、その中で最も色差の小さい領域同士を統合する。そのとき統合前の2つの領域の平均色を統合領域の色とする。

Step 4: あるしきい値以下の隣接領域の色差がなくなるまで、Step 3 を繰り返す。

上記のような処理を行う結果、色領域の存在する順番に左右されない色領域分割結果が得られる。

## 3. 対応表によるオクルージョン検出

本章では、前章で述べた左右画像の色領域分割によって得られた各領域の左右対応を求め、オクルージョンを検出する方法を説明する。

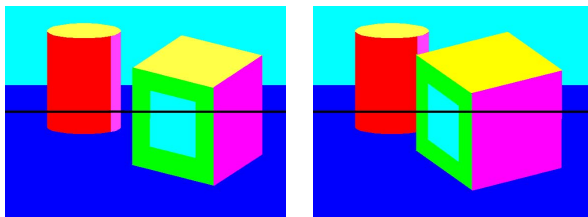
図.1(a)のようなステレオ画像のあるスキャンラインに対して、図.1(b)のような領域分割結果が得られたとする。この領域分割結果をもとに左右画像の対応領域を求めるアルゴリズムを以下に示す。

Step 1: 左画像において各色領域が左から1,2,3,4と存在すれば、右画像でもその順に対応領域が存在すると仮定する。左画像のある領域の色に対して、右画像のそれぞれの領域の色が、あるしきい値以下ならば、対応候補として、対応表を作成する。(図.1 (c))

Step 2: 対応領域が連続する対角線方向の要素のうち、最長要素を最も信頼できるものとして採用し、対応領域として抽出する。(図.1 (d))

Step 3: Step 2 で抽出した最長要素を含む全ての行と列に対して最長対角線要素のみの対応とし、最長対角線要素の行と列を含む他の対応候補を削除する。(図.1 (e))

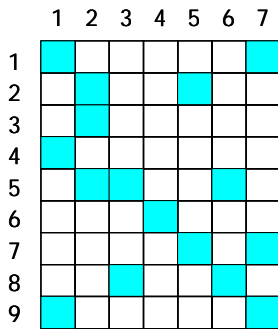
Step 4: 対応表が対応領域と空欄のみになるまで、Step2 から Step3 を繰り返す(図.1 (f))



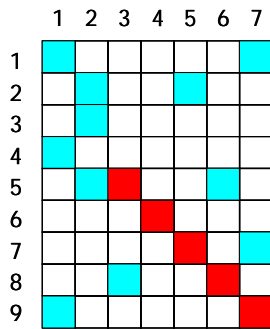
(a) ステレオ画像



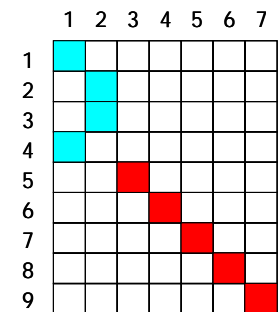
(b) 領域分割結果



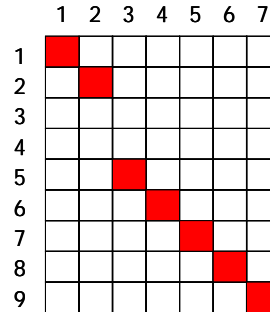
(c)



(d)



(e)



(f)

図 1. オクルージョン検出

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。

#### 4. 階層的領域照合

前章で示した対応表によるオクルージョン検出では、オクルージョン検出が前段階である色領域分割結果に強く依存する。したがって、本手法では複数のしきい値による左右スキャンラインの色領域分割結果をもちいて、各しきい値による色領域分割での対応表によるオクルージョン検出を行う。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。

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 2 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。

Step 1: 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最も高いしきい値をルート階層に初期化する。

Step 2: 対応表によるオクルージョン検出を全ての階層に対して行う

Step 3: 全ての階層で対応の取れない領域をオクルージョンとする。

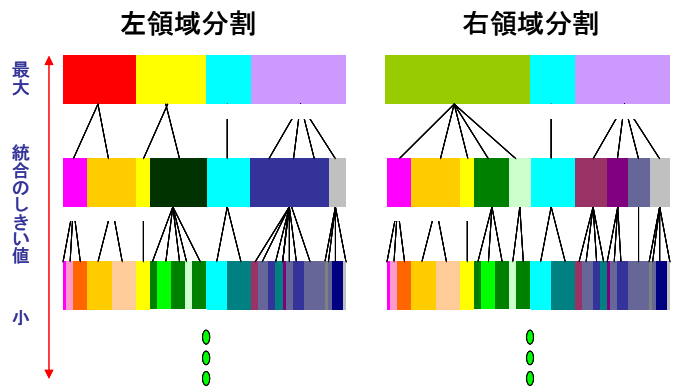


図 2. 階層的領域分割

上記のような処理を行った結果、領域分割のしきい値の選びに依存しない安定したオクルージョン検出が可能となる。

## 5. 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．[2]

### 4.1 相関法

図3のように、左画像上の各ウィンドウについて、次式を用いて右画像とのRGB値の和の相関をとる．

$$C_{ij,d} = \frac{\text{cov}_{ij,d}(f, g)}{\text{var}_{ij}(f) \cdot \text{var}_{ij,d}(g)}$$

$g_{m+d,n}$ 、 $f_{m,n}$  はそれぞれ左右画像上のピクセルのRGB値の和であり、 $\bar{g}$ 、 $\bar{f}$  はそれぞれ左右画像のウィンドウのRGB値の和の平均であり、 $\text{cov}_{ij,d}$ 、 $\text{var}_{ij,d}$ 、 $\text{var}_{ij}$  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．

$$\text{cov}_{ij,d}(f, g) = \sum_{m=i-K}^{i+K} \sum_{n=j-L}^{j+L} (f_{m,n} - \bar{f})(g_{m+d,n} - \bar{g})$$

$$\text{var}_{ij}^2(f) = \sum_{m=i-K}^{i+K} \sum_{n=j-L}^{j+L} (f_{m,n} - \bar{f})^2$$

$$\text{var}_{ij,d}^2(g) = \sum_{m=i-K}^{m+i+K} \sum_{n=j-L}^{n+j+L} (g_{m+d,n} - \bar{g})^2$$

$C$  は-1 から+1 まで変化する．もし  $C$  が大きければ、両ウィンドウの濃淡値パターンが類似するとして、左右画像間の対応する局所領域とみなされる．

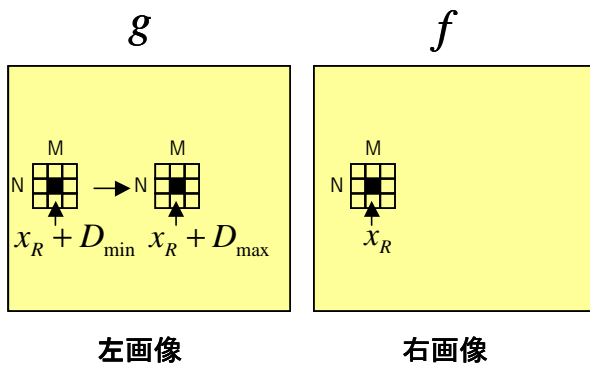


図3. 探索方法

### 4.2 対応の判定

探索範囲内で、相関値  $C$  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(図4)．相関グラフが明確で唯一の大きいピークを持つときは、その対応は確からしいと考えられる．しかしピークが小さかったり、複数の似たような高さのピークが存在する場合は、対応付けの確からしきは低い．

そこで、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( $C_2$ )
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つで評価を満たさない場合は対応を取らない．

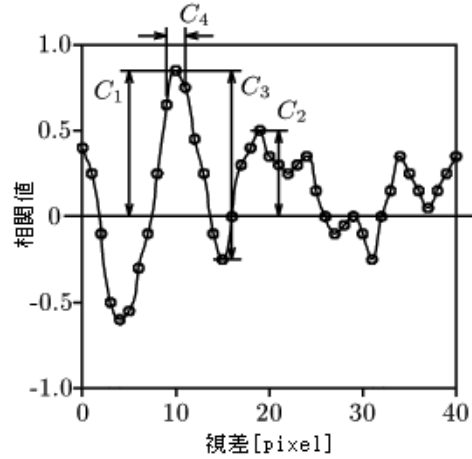


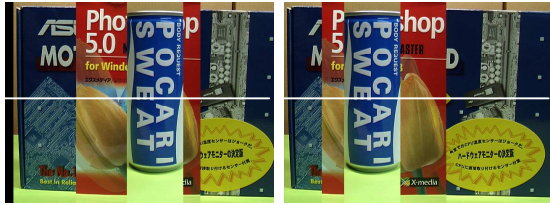
図4. 相関グラフ

## 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



(a) 左画像 (b) 右画像

図 5. ステレオ画像



図 6. オクルージョン領域(黒い領域)

1つのスキャンライン( $Y$ 座標:222)に対して、本手法である対応表に基づくオクルージョン検出を行った結果、オクルージョン領域は図6のようになった。図6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、赤い色の部分が対応領域を示している。図5と図6からわかるように、左右スキャンライン両方ともに、ほぼ適切なオクルージョン領域が検出されたといえる。

また、そのスキャンライン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,  $C_2$ 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7に示す。この図と相関法のみで求めた図8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9と図10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。

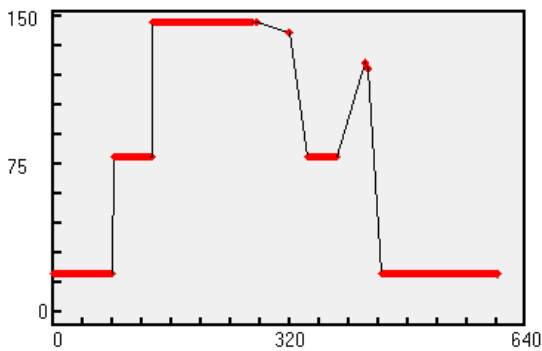


図 7. 視差グラフ(相関法のみ)

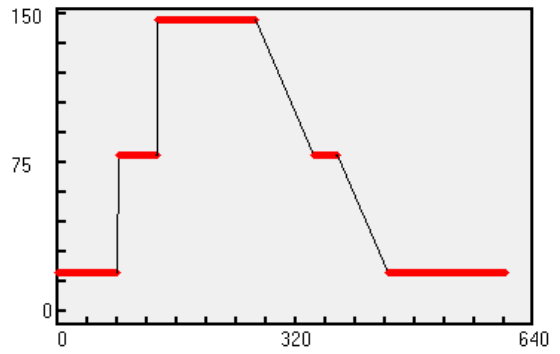


図 8. 視差グラフ(本手法)



図 9. 視差画像(相関法のみ)

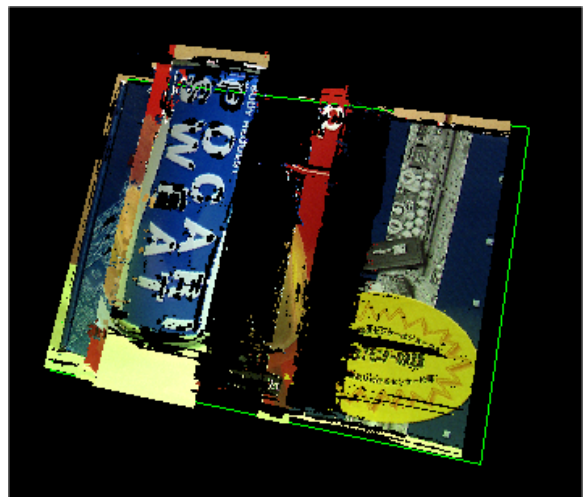


図 10. 視差画像(本手法)

## 5.2 実画像



(a) 左画像 (b) 右画像  
図 11. ステレオ画像



図 12. オクルージョン領域(黒い領域)

1つのスキャンライン(Y座標:224)に対して、本手法である対応表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.12 のようになった。図 12 と図.11 から、左右スキャンラインの2つのオクルージョン領域に対して、ほぼ適切に抽出されていることがわかる。

さらに、そのスキャンラインにおいて、相関法を用いて視差を求めた結果と、本手法で探索範囲を限定して視差を求めた結果を図.13 と図 14 に示す。対応の判定はそれぞれ、 $C_1=0.7$ ,  $C_2=1.2$ ,  $C_3=0.3$ ,  $C_4=2.0$  とした。

相関法のみではオクルージョン部分で誤対応があるが、本手法を適用した場合、正確な視差情報が取得できていることがわかる。

また図.11 の画像の全スキャンラインにおいて相関法を適用した結果と、本手法を適用して物体を復元した結果を図.15 と図.14 に示す。これらの図から、オクルージョン付近での復元が正確に行われていることがわかる。

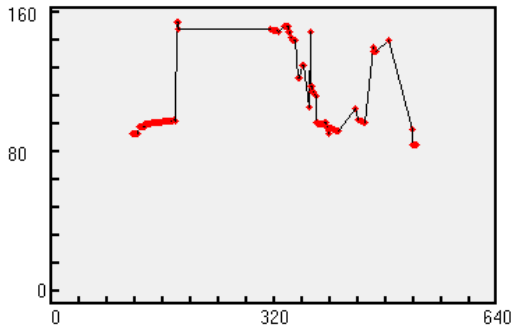


図 13. 視差グラフ(相関法のみ)

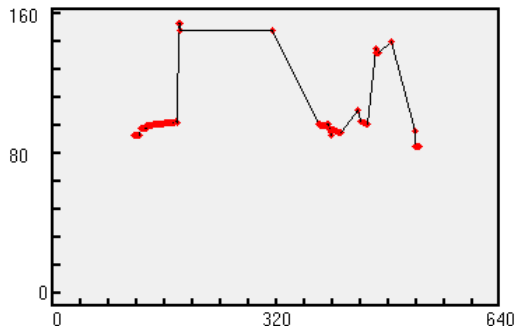


図 14. 視差グラフ(本手法)

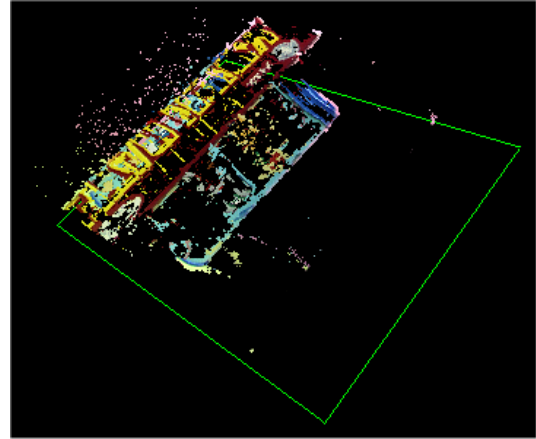


図 15. 視差画像(相関法のみ)

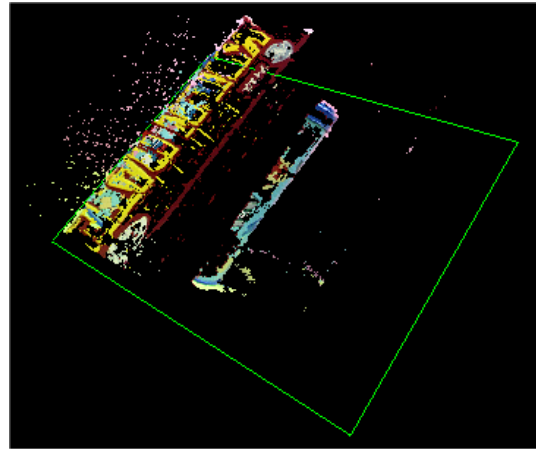


図 16. 視差画像(本手法)

## 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もとに、対応表を用いて各階層ごとに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。

### 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” 新技术コミュニケーションズ, June 1998.
- [2]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 - ジョン

-----

Summary.

## **Limitation of Search Range and Detection of Occlusion for Correlation Stereo Method**

Toshio Suzuki   Yoshihito Seto  
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. Therefore, this paper proposes 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