

色領域分割による領域輪郭の3次元形状復元

河野 祐輔 北川 大二
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 area-based matching によるステレオ視の手法では、画像中に繰り返しパターンが存在するような場合、相関値によって一意に対応付けすることができず、視差を決定できないという問題点がある。そこで、色領域分割された画像をスキャンラインごとに照合していくことにより、ロバストな対応付けを行うことのできる、密な視差マップを得られる新しいステレオマッチングの手法が提案されている [1]。本論文で提案する手法では、さらに画像全体の色領域分割結果とスキャンラインごとの対応結果から、境界上の対応点が最大の領域を選ぶことにより、正確な対応領域を決定することができるだけでなく、誤対応を修正することができる。

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 [2] 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、画像中に繰り返しパターンが存在するような場合、一意に対応付けすることができず、視差を決定できないという大きな問題点がある。この問題に対して、色領域分割された画像をスキャンラインごとに照合していくことにより、ロバストな対応付けを行う新しいステレオマッチングの手法が提案されている [1]。本論文で提案する手法では、さらに色領域分割結果とスキャンラインごとの対応結果から、境界上の対応点が最大の領域を選ぶことにより、正確な対応領域を決定することができるので、領域輪郭の3次元形状を復元することができるだけでなく、誤対応を修正することもできる。また、アルゴリズムも単純化され、従来手法より対応点探索に費やす計算量を軽減できる。

2. 色領域分割

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: SUSAN 平滑化フィルタ [3] を用いて雑音を除去する。
- Step 2: 色空間をコンピュータ上のカラー画像フレームメモリとして一般に使われる RGB 系から、比較的人間の視覚特性に近い表色系である $L^*u^*v^*$ 系へと変換する [4]。
- Step 3: 非階層的クラスタリング (ISODATA 法) [5] を用いて左右画像を1つの分割対象画像とし、色領域分割を行う。これにより、2視点での撮像のタイミングのずれによる画像特性の違いを吸

収できる。

- Step 4: 色領域に分割された画像は、同じ色である2つの領域が、画像中で離れて存在していても1つの領域として扱われてしまうので、ラベリング処理を行うことにより、これらの領域を連結成分ごとに分離する。

3. 対応点の探索

本手法は、左右のライン画像から色領域の境界をそれぞれ抽出し、境界の左右領域の色情報をもとに以下で説明する対応表を作成し、対応点を決定している。求めた対応点から視差情報を取得することで、物体の3次元形状の復元を行う。

3.1 対応表の作成

色領域分割した結果が図1のような平行ステレオ画像を例にとり、領域境界の対応表の作成手順について説明する。画像中の第 i 番目のスキャンライン上では、図2のような5つの色領域に分割されていたとする。ただし、 A, B, C はそれぞれの領域の色を、 $1, 2, 3, 4$ は領域の境界を表現している。次に、左画像のある境界の両側の色に対して、右画像でそれぞれの境界の両側とも色が一致すればそのマス塗りつぶし、右側のみ一致すれば右下向きの三角形、左側のみ一致すれば左上向きの三角形、両側とも一致しない場合は空欄として、図3のような対応表を作成する。図1のようにシーン中にオクルージョンやノイズがまったく存在しなければ、図3のように行列の対角線方向の要素が連続して両側対応となることは明らかである。また、オクルージョンやノイズは画像中の一部にしか存在しないと仮定すれば、ほとんどの領域で対角線方向に両側対応が連続していることになる。したがって、カラー領域の境界の対応が最大となるように対応境界を選択することが自然であり、これにより繰り返しパターンが存在するような場合でも誤対応を軽減することができる。そこで、単に両側対応が連続する最長の対角線方向の要素をもつ部分を抽出することにより、対応境界を決定する。

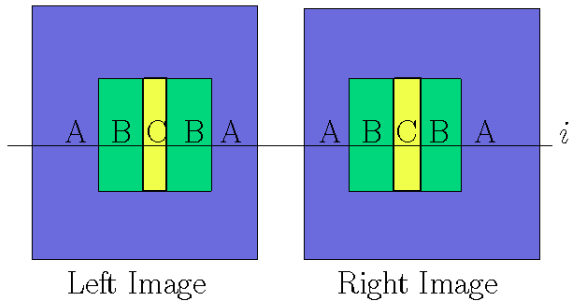


図 1. 平行ステレオ画像



図 2. 色領域分割結果

	R	1	2	3	4
L					
1		Red		Green	
2			Red		Blue
3				Red	
4			Blue		Red

- 両側対応
- ▲ 片側対応 (右)
- ▼ 片側対応 (左)
- 空欄 非対応

図 3. 対応表

3.2. 対応点抽出アルゴリズム

前節の原理に基づいて作成された対応表から、以下のような手順により最長の対応境界の系列を決定することで、対応点の抽出を行う。

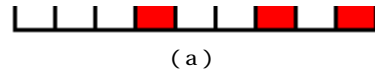
Step 1: 左画像において、図 2 のように各境界が左から順に 1,2,3... と存在すれば、右画像でもその順に対応境界が存在すると仮定する。また、対応境界の視差は、ある適当に決められた範囲内にあるとしている。この 2 つの条件に満たさないものは、対応境界の候補からはずす。

Step 2: 図 4 (a) に示すように、両側対応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、対応境界として抽出する。ここで、対応表には対応境界のマスに“M”とマークしている。

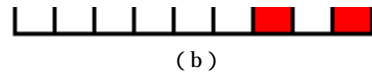
Step 3: 図 4(b) に示すように、得られた部分要素を含む

すべての行と列に対して最長対角線要素のみ対応境界とし、ほかをすべて空欄、つまり非対応とする。

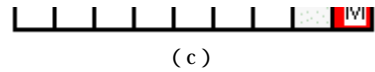
Step 4: 対応表が対応境界と空欄のみになるまで、Step 2, Step 3 を繰り返す。結果として図 4 (c) のように対応境界が一意に決定される。



(a)



(b)



(c)

図 4. 対応点抽出の様子

4. 領域輪郭の三次元形状の復元

本手法では画像を 2 次的に色領域分割したあと、ラベリング処理によって連結成分ごとに分離している。したがって、一度すべてのスキャンラインに対して、前節までに述べた手法によって対応を決定したあとに、その対応結果から領域ごとの対応を決定することが可能である。これにより、誤対応の修正や、ノイズや画像の垂直

方向のずれによる異常な視差の修正を行うことができる。

4.1. 対応領域の決定

前章で述べた手法を用いれば、繰り返しパターンに対して誤対応の少ない対応境界を決定できるが、境界上の疎な点群の視差情報しか得られない。そこで、色領域を1つのまとまりとして、その境界全体の視差情報を得ることができれば、領域の面としての構造を復元することも可能になる。そこで、領域分割によって連結成分ごとに分離されている領域境界の対応の数を調べ、最も多く対応がとられている境界同士を対応領域として採用することにより、境界全体の視差情報を取得する。

まず、前章で述べた手法を用いて、すべてのスキャンラインについて対応点探索を行う。その後、ラベリング処理された左画像中における各ラベル番号の領域の輪郭上で対応境界の数を求める。誤対応の境界は正しい対応の境界に比べて少数である、という仮定にもとづき、最も多く対応付けられている対応先をその左画像中の領域に対する対応領域とする。

例えば、図5のように、左右画像に対応境界が得られたとする。左画像中の1つの連結領域Aにおける6点の境界に対して、右画像中の連結領域B,CおよびDの同一スキャンライン上において、図のように対応がとられたとする。その6点それぞれの右画像中での対応先を調べると、

Bへの対応・・・4点
Cへの対応・・・1点
Dへの対応・・・1点

となる。したがって左画像中の領域Aに対応する右画像中の領域として、対応境界数の最も多いBを採用する。

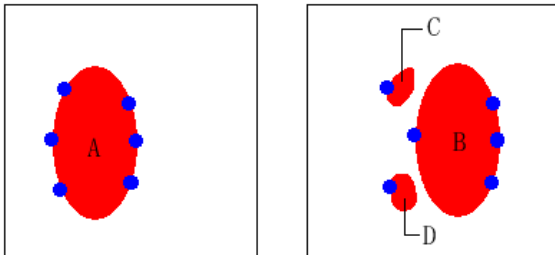


図5. 対応領域の決定

4.2. 誤対応の修正

前節で述べたように対応領域を決めることができれば、図6のように、誤対応と判定された領域CおよびDの対応境界を領域B上に修正することは容易にできる。また、対応領域が決定できたことにより、これまでに対応のとることのできなかった境界についてもスキャンラインごとに単純に対応させれば領域境界全体に対する視差情報を得ることができる。

さらに、領域輪郭上のある対応境界の視差がその前後の視差と大きく異なっていることはほとんどありえない。そこで、選ばれた対応境界の視差がある閾値Tについて次式で定義する条件を満たしていれば、輪郭上でその対応点の前後にある対応境界の視差の平均値に修正する。

$$\min(|D_2 - D_1|, |D_2 - D_3|) < T \quad \dots (1)$$

ここで、 D_1 D_2 および D_3 は、それぞれ対応境界の視差およびその輪郭上での前後の視差である。すなわち、領域輪郭上の対応境界の視差が、その前後の視差のどちらとも大きく異なっている場合、修正を施す。



図6. 誤対応の修正

5. 実験

5.1. 実験環境

図7のように、産業用ロボットマニピュレータ上にカラーCCDカメラを搭載し、実験を行った。本手法では、平行ステレオ視することで、2つの異なる視点から2枚のカラー画像を取得している。



図7. 実験環境

5.2. 実験結果

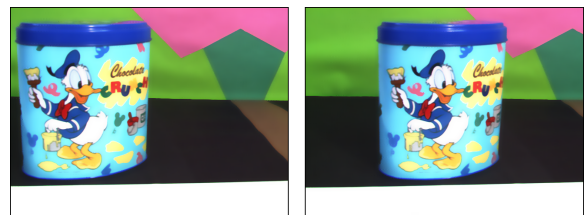


図8. 取得画像

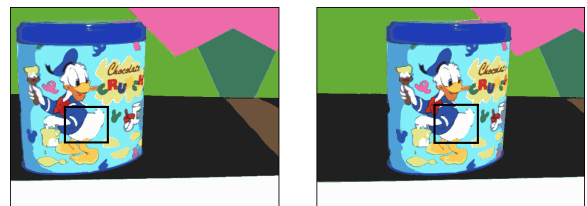


図9. 色領域分割結果

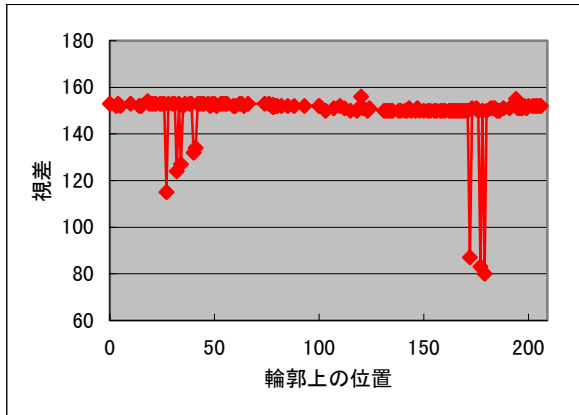
図8のような平行ステレオ画像を用いて実験を行った。この平行ステレオ画像を左右同時に色領域分割した結果を図9に示す。図9の左画像中の四角で囲まれた دونالدダックのお尻部分の輪郭上で対応境界をもつ領域の対応数を表1に示す。この表からわかるように、右画像中のラベル番号10の領域が対応する領域となる。この領域は図9の右画像中の四角で囲まれた Donaldダックのお尻部分であり、正しい対応がとられていることがわかる。この領域の実際の3次元形状は平坦である。また、図10(a),(b),(c)および(d)に、この領域に対して、スキャンラインごとの照合を行った輪郭上の視差、対応境界に基づく誤対応境界の削除を行ったときと修正を行ったときの視差および式(1)にもとづくノイズ除去を行った視差を示す。図10(a)では、視差が大きく異なる点が8点ある。これは表1にある他の領域へ対応している点である。このときの対応境界数は128点である。図10(b)では、表1で示された8個の誤対応が除去されている。また、図10(c)では、8個の誤対応が修正され、これまで対応のとれなかった境界についてもスキャンラインごとに対応をとることができ、対応領域境界数が120

から169に増えている。また、この図において、輪郭上の位置が200の付近で誤対応とみなされる視差があるが、これは左右画像での色領域分割結果の違いからくるものであると思われる。さらに、図10(d)から、式(1)にもとづくノイズ除去を行うことにより、輪郭がほぼ正しく復元されていることがわかる。

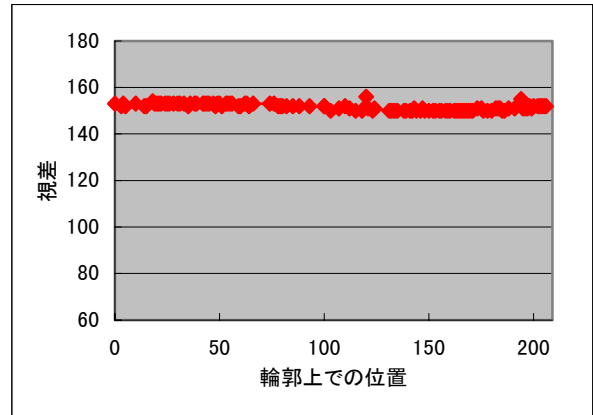
図11に、図8の平行ステレオ画像に対して、本手法を適用し、対応境界の輪郭について3次元構造を復元した結果を示す。この図から明らかなように、誤対応修正とノイズ除去を行った方が精度の高い復元が行えることがわかる。また、領域ごとの対応が決定されていることによって一度の対応点探索では対応のとることのできなかった境界を新たに追加することができるので、修正後は対応点数が増加していることもわかる。

表1 対応境界数

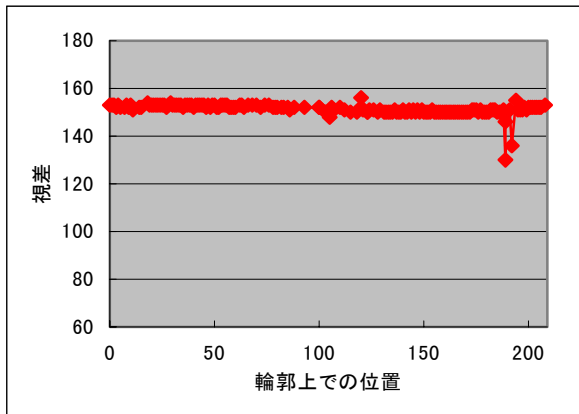
ラベル番号	対応境界数
10	120
81	8



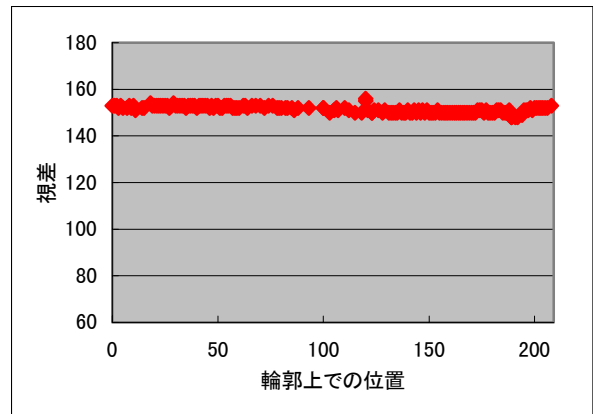
(a) 128点



(b) 120点

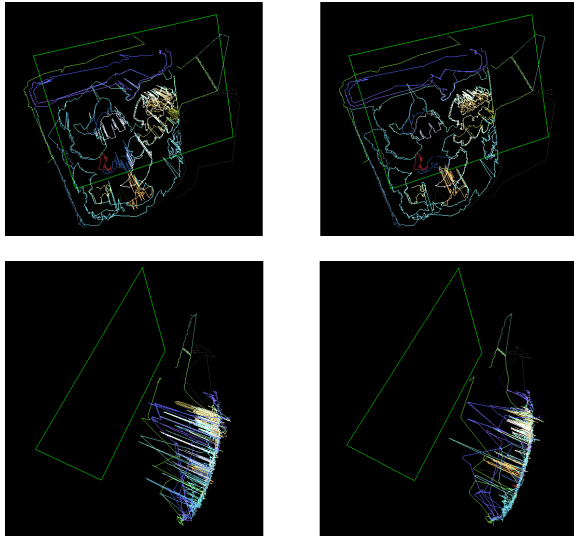


(c) 169点



(d) 169点

図10. 領域輪郭上の視差



対応点数 8292 点 対応点数 9164 点
 図 11. 復元画像 (左 修正なし, 右 修正あり)

6. おわりに

本論文では, 平行ステレオ画像を色領域分割し, スキャンラインごとに対応点探索を行うことにより, 領域ごとの対応を決定し, 誤対応を修正することができることを示した. また, 領域輪郭上で前後の視差の状態から, ノイズによる視差を修正することができることを示した. 今後の課題として, 色領域分割のしきい値を階層的に行うことによって, しきい値による分割結果の違いを吸収できるようにすることが挙げられる. また, 本手法によって得られた領域輪郭の視差情報から, その内部形状を面として復元することができるようにしたいと考えている.

参考文献

- [1] 市山知博, 岩月正見, “ステレオ視のためのカラー画像領域分割による対応領域探索,” 日本ロボット学会学術講演会予稿集 I, pp.321-322, November 1994.
- [2] 松山隆司, 久野義徳, 井宮淳 “コンピュータビジョン,” 新技術コミュニケーションズ, pp.123-137, 1998.
- [3] 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.
- [4] Toshio Uchiyama and Michael A.Arbib, “Color Image Segmentation Using Competitive Learning,” IEEE Trans. on PAMI, Vol.16, No.12, pp.1197-1206, (1994)
- [5] 田村, “コンピュータ画像処理入門,” 総研出版, pp.153-160, 1984.

キーワード.

3次元形状復元, ステレオビジョン, スキャンライン, 対応点探索, 色領域分割, 輪郭

Summary.

3D Reconstruction of Contours of Regions based on Color Segmentation

Yusuke Kawano Daiji Kitagawa
Division of Engineering, Graduate School, Hosei University

Masami Iwatsuki
Faculty of Engineering, Hosei University

In correlation stereo methods, it is difficult that the disparity is unambiguously decided in the case of that the repetitive pattern exists in the images, because corresponding points cannot be uniquely determined by the correlation values. This paper proposes a new robust method of stereo matching by each scanning line in color-segmented images. The correct depth information of contours of regions can be acquired for the scene in which the repetitive patterns are included, because the longest sequence of the same color pattern in both scanning lines is regarded as a matching region. Furthermore, false matching on the contours can be corrected, since correct corresponding regions can be decided by choosing the regions with the largest number of the corresponding points on contours

Keywords.

3D reconstruction, stereo vision, scanning line, corresponding point search, color segmentation, contour