

カラー画像分割

- ファジィ理論を応用した輪郭検出と領域抽出の併合 -

伊東直子 亀倉龍 嶋津義久 横山光男 松下温

慶應義塾大学 理工学部 計測工学科
松下研究室

画像処理の基礎技術である画像分割に関しては、多くの研究が行なわれている。しかし、既存の画像分割手法を用いて、処理を行なう場合には、画像に応じて、手法の選択、パラメータの調整といった作業を行なう必要がある。そこで、本稿では、画像ごとに手法を変えたり、あるいはパラメータを調整したりする必要のない有効な画像分割の手法を提案する。本手法では、ファジィ集合で表現した色相、明度、彩度を利用するため、カラー画像がもつ色彩情報を有効に利用することができる。さらに、輪郭抽出、領域抽出の2つのアプローチから分割処理を行なって、これらの2つのアプローチから得られた結果を併合するため、より良い分割結果が得られる。

Color Image Segmentation

- Combining Edge Detection and Region Extraction Based on Fuzzy Logic -

Naoko ITO Ryu KAMEKURA Yoshihisa SHIMAZU
Teruo YOKOYAMA Yutaka MATUSHITAMatsushita Lab., Dept. of Instrumentation Engr.,
Faculty of Science and Technology, Keio Univ.

Many successful research projects about image segmentation have been done. However, one problem in image segmentation is that the user must select the methods to be applied as well as input and adjust the parameters as needed. This paper proposes a method which can be applied to a wide variety of images and does not require the user to set up parameters. This method utilizes hue, lightness and saturation information in color images as quantified by fuzzy logic. The segmentation is done by combining the results of parallel and independent edge detection and region extraction procedures, thus providing better results.

1 はじめに

画像分割とは、画像を、ある意味を持った特定の部分、領域、あるいは対象物に分割する処理をいい、シーン解析や画像解析といった画像認識処理において不可欠な基礎技術である。画像分割の手法は、現在までに数多く提案されており、実際の処理を行なう際に、これらの手法の中から、対象となる画像や処理の目的に応じた手法を、選択するということが行なわれている。さらに、手法によっては、画像に応じて、パラメータの調整が行なわれている。しかしながら、RGB値などの数値で表現された画像の色彩情報を、一般の人間が、「色」として感覚的にとらえることは難しく、これらの作業は、熟練した人間の経験則や勘に基づいて行なわれてきた。

従来、画像分割の処理は、主として特定の目的のために行なわれてきたため、目的に応じた最適な処理が、専門家によって行なわれれば問題はなかった。しかし、一般のユーザが画像を扱う機会が増加しつつある現在、専門的な知識を持たないユーザが、様々な画像を処理できるような、汎用性のある画像分割の手法が望まれる。

このような観点に基づき、本研究では、柔軟性において優れているファジィ理論の、画像分割に対する応用を試みた。ここで提案する手法では、色相、明度、彩度は、ヒストグラムから自動生成されるファジィ集合により表現されるため、画像に応じてパラメータ設定などを行なうことなく、画像に含まれる色彩情報を有効に活用することが可能である。さらに、輪郭抽出、領域抽出の2つのアプローチから画像分割を行ない、これら2つのアプローチからの画像分割結果を併合するため、それぞれの長所を活かしたより良い分割結果が期待できる。

2 コンセプト

画像の分割に関しては、現在までに様々な手法が提案されている。これらの手法は、そのアプローチの仕方により、次の2つに大別される。1つは、明るさなどの特徴の急激な変化、すなわち不連続性に注目し、領域と領域の境界を検出するもので、輪郭抽出と呼ばれる。もう1つは、特徴の一様性に注目し、各ピクセルをその属性によって分類して領域に分けるもので、領域抽出と呼ばれる。

画像分割に関する数多くの研究は、画像処理の分野において、多大な成果を挙げているが、一方、組織的な研究はほとんど行なわれていない[1]。各手法は、独自のアプローチに基づき、独自のアルゴリズムを構築しており、その多くは、特定の対象画像以外の画像に対しては、全く適用できない。つまり、各手法には向き不向きがあり、目的に応じて、手法を選択する必要がある。さらに、手法によっては、処理を行なう際にパラメータを調整する必要がある。

このため、画像処理に関する専門的知識のない一

般のユーザが、専門家の助けなしに、これらのアルゴリズムを利用するのは難しい。一般のユーザが、自由に画像処理を行なえるようにするためには、どのような画像についても適用できるような手法が必要である。この際、パラメータの設定といった難しい作業を行なう必要がないということも重要である。

このような手法を実現するためには、柔軟性をもったファジィ理論の考え方を応用することが有効であり、実際、ファジィ理論に基づく画像処理に関して、既にいくつかの提案がなされている[2][3][4]。ファジィ理論では、「明るい」、「暗い」、「青い」など我々が日常使う形容詞を、ファジィ集合によって曖昧に表現することができるため、これを利用して画像処理を行なうことができ、より人間の感覚にあった画像処理が可能となる。

本研究では、画像の分割を効果的に行なうために、色相、明度、彩度の3つの色彩情報を用いた画像分割の手法を提案する。これらの色彩情報を記述するファジィ集合は、処理する画像の特性に合わせて自動生成される。これらのファジィ集合を用いて、明度と色相情報の2つをそれぞれ独立に利用した輪郭抽出、および、色相情報を利用した領域抽出のアプローチから、画像分割の処理を行なう。このように、各ピクセルに対する処理が並列的で、他のピクセルで得られる結果と独立している「輪郭抽出」と、処理が逐次的で、各ピクセルに対する処理と他のピクセルに対する処理が相互に影響し合う「領域抽出」という、全く異なるアプローチを併用することにより、より良い結果が期待できる。

3 色彩情報の記述

3.1 表色系

既存の手法による画像処理においては、明度(あるいは濃度)情報のみを利用することが多い。しかし、明度情報だけでは上手く画像分割を行なえない場合がある。例えば、影や陰影の影響が大きい自然画像、あるいは、明度の変化が少ないデザイン画像などを扱う場合である。このような場合においても、より良い処理結果を得るためには、明度だけでなく、色に含まれる他の情報についても利用した方がよい。

そこで、本研究では、「明度」に加えて、「色相」、「彩度」の情報を利用する(ただし、彩度は補助的に用いるのみ)。これらの3つの属性の組合せによる色の表現は、知覚的表色系と呼ばれ、明度は画像の明るさの度合を、色相は色合いの種別を、彩度は鮮やかさの度合を表す。知覚的表色系による色の表現の利点は、属性間の相関が小さく、各属性値が独立に変化するため[5]、値の操作が容易で、色彩情報がより有効に利用できるということである。

知覚的表色系の3つの属性値は、RGBの3つの属性値から計算できる。いくつかの計算式が提案されているが[6][7][8][9]、ここでは、次の計算式を用いた

[6]。

まず、明度 L は、 R, G, B から次のように計算される。

$$L = 0.3R + 0.59G + 0.11B$$

また、色相 H および彩度 S は、次のように求められる。

$$H = \tan^{-1}(C_1/C_2)$$

$$S = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}$$

ここで、 C_1, C_2 は、

$$C_1 = R - L = 0.7R - 0.59G - 0.11B$$

$$C_2 = B - L = -0.3R - 0.59G + 0.89B$$

で表される色差信号である。このとき、色相、明度、彩度の関係は、図1のようになる。

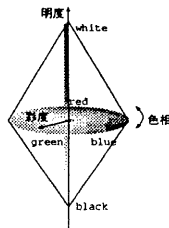


図 1: 知覚的表色系

すべての色は、 RGB の3つの属性値の組合せにより表現できるわけであるが (RGB 表色系: 物理的表色系)、物理的表色系には、 RGB の3つの属性値から「色」を判断するのが困難であるため、値の操作が難しく、また、属性間の相関が強く、3つの属性すべてが陰影等の明度の変化に敏感であるといった問題があるため [10]、本研究では知覚的表色系を用いる。

3.2 ファジィ集合による色の表現

本研究では、色相、明度、彩度といった色情報、ファジィ集合を用いて表現される。明度、色相に対するファジィ集合の例を図2に示す。

画像分割に用いるファジィ集合は、対象画像 (あるいはそれと類似した画像) の明度、色相値の分布を表すヒストグラムに基づいて生成される (4.1節参照)。ヒストグラムの各山は、ある明るさや色をもつ領域の存在を表すため、これにファジィ集合を割り当てることにより、各領域を1つのファジィ集合で表現することができる (図3参照)。

このように、色をクラスタリングするという方法は、従来より、領域抽出のアプローチにおいては用いられてきたが、本研究では、これらのファジィ集合を輪郭検出のアプローチに用いることにより、輪郭検出においても、画像に応じて、弁別すべき色相や明るさの段階を変化させることができるようにした。

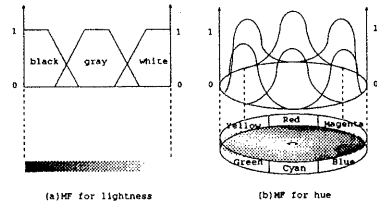


図 2: ファジィ集合の例

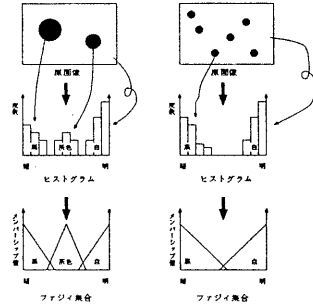


図 3: 画像に応じたファジィ集合の生成

4 ファジィ推論を利用したカラー画像分割

4.1 メンバーシップ関数の生成

メンバーシップ関数は、対象画像の明度、色相それぞれに対するヒストグラムに基づき、自動生成される。図4に示すカラー画像を例にとって、この過程を説明する。図4の画像の明度、色相に対するヒストグラムは、図4(a), (b) に示す通りである。

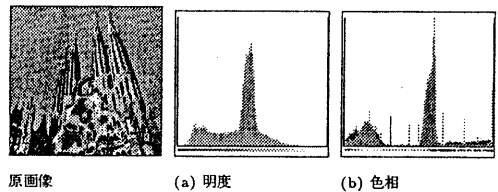


図 4: 原画像とそのヒストグラム

1. まず、図4(a), (b) に示すヒストグラムの平滑化を行なう (図5参照)。

このとき、色相に関するヒストグラムからは、低彩度のピクセルを除外する。

2. 平滑化したヒストグラムの各山に1つ、三角形のファジィ集合を割り当てる (図5参照)。

ヒストグラムのピークが存在すると認められるピクセル値を頂点とし、ピークと谷の度数に応じた傾きをもつ、三角形のメンバーシップ関数を設定する。以後、この頂点 (メンバーシップ値が1となる点) のピクセル値で表される、明度あるいは色相をその集合の「代表色」と呼ぶ。

ヒストグラムのピーク付近の度数が非常に大きい場合には、台形型のメンバーシップ関数を定義する (図5(b)左から2番目の集合参照)。また、明度に関するメンバーシップ関数は、両端に位置している集合が、明度定義域の両端の値を含むように定義される。

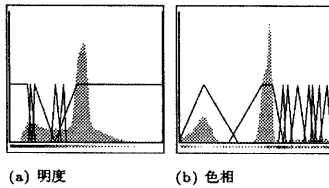


図5: メンバーシップ関数の生成過程 (1)

3. 2で生成された集合のうち、代表色同士が弁別できないものは、1つの集合にまとめる (図6)。代表色が弁別できるかどうかは、ヒストグラムのピークと谷との度数の差、および代表色のピクセル値の差から判断する。

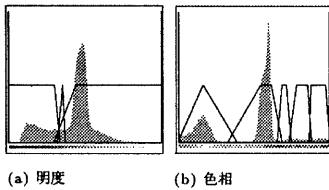


図6: メンバーシップ関数の生成過程 (2)

4.2 輪郭検出

4.2.1 推論ルール

輪郭点の3×3ピクセルの近傍として、図7の6つのパターンが考えられる。図7の(a)は垂直方向の輪郭、(b)は水平方向の輪郭、(c), (d), (e), (f)は対角方向の輪郭を表す。図7において、斜線、あるいはグレーで表されるピクセルは、それぞれ「同じ」色相 (あるいは明度) をもつ、すなわち同じピクセル値をもつピクセルである。ここで、ピクセル値が同じで

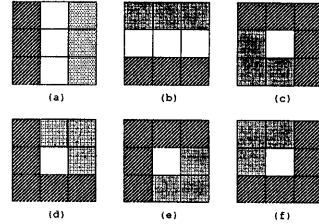


図7: 輪郭のパターン

あるとは、ピクセル値が同じファジィ集合 (4.1節で生成されるメンバーシップ関数により特性付けられる) に属することをいう。

画像中の各ピクセルは、その3×3の近傍が、図7の6つの輪郭パターンのいずれかと適合していれば、そのパターンをもつ輪郭点として検出される。この推論は、例えば、図7のパターン(a)に対しては、次のようなルールで表現される。

```
IF      the pixel values of the 3 pixels on the left side is  $\alpha$ 
AND IF the pixel values of the 3 pixels on the right side is  $\beta$ 
THEN   the center pixel is thought of as an edge point
       where  $\alpha \neq \beta$ 
```

同様に、図7のパターンを基に、輪郭検出のための6つの推論ルールを作成する。

これらの6つの推論ルールに基づき、輪郭の検出を行なう場合には、「同じ」であるべき各ピクセル (図7の斜線、あるいはグレーのピクセル) の値は、ある決まったファジィ集合に属することが要求される。このため、近傍にノイズがあっても、中心ピクセルは輪郭点とは検出されない。これに対し、いわゆるテンプレート・マッチングなどの方法では、近傍に1ピクセルでも値が大きく異なるピクセルがあると、中心ピクセルは、輪郭点として検出されてしまう。

また、テンプレート・マッチングなどの方法を用いた場合、その境目にあたるピクセル間の値の差が小さいと、そこで検出される輪郭点の強度が小さくなる。これに対し、ファジィ集合により色 (明度、色相) を定義した場合には、ピクセルの値そのものの差ではなく、各ピクセル値がどのファジィ集合に属しているかということが問題となるため、たとえピクセル値の差が小さくとも、異なる集合に属していれば、輪郭点であると明確に検出される。したがって、例えば、白と黒の境界の輪郭も、灰色と黒の境界の輪郭も、同様に検出することができるわけである。さらに、このとき、弁別すべき色の違いは、4.1節で生成されるファジィ集合によって決まるため、画像の特性に応じて、黒は粗く、灰色は細かく弁別するといったことも可能となる。

4.2.2 輪郭検出の手順

カラー画像の情報を最も良く表現する特徴量は明度であり、次いで、色相である [11]。明度と色相は独

立性が高く、互いの値に与える影響が少ない。ここでは、信頼性を上げるために、明度、色相情報に基づき、それぞれ独立に輪郭を検出する(図8参照)。

輪郭検出は、以下の手順で行なわれる。

- 4.1節の手順に従い、明度および色相に関するメンバーシップ関数を生成する。
- 1で生成されたメンバーシップ関数を用い、各ピクセルの近傍の明度、色相各々の値に対し、推論ルールを適用し、輪郭強度 $EDGE_{LIG}$ 、 $EDGE_{HUE}$ を求める。

ただし、ピクセルが低彩度で、かつ、低明度あるいは高明度である場合には、そのピクセルの色相値は用いず、無彩色のピクセルとして扱う。

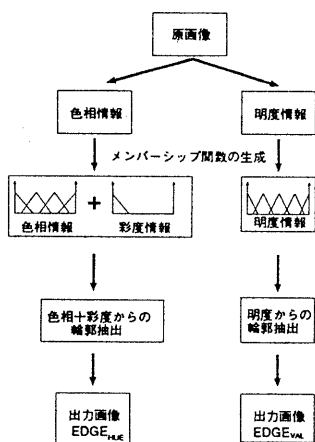


図8: 輪郭検出の手順

4.3 領域抽出

4.3.1 領域抽出の方法

画像中の各領域を特徴付けるものとして、「色」を考え、色が一定の部分を1つの領域として抽出する。ただし、色の属性としては色相のみを利用する。各領域は、1つの物体などを表すため、一般に、その色相は一様であっても、明度については、影や陰影の影響により変化するからである。

各部分が、ある特定の色相をもつかどうかは、4.2節の輪郭検出と同様、4.1節で生成したメンバーシップ関数を用いて、その部分の色相値が属しているファジィ集合を求めることにより決定する。しかし、図2から明らかのように、ファジィ集合は互いに重なり合っており、重なり部分に対応するような色相値をもつピクセルについては、それがどちらの色相に属するか、つまりどちらの領域に属するか、一意には決

められない。ここでは、この問題を解決するために、一種の coarse-to-fine 法をとる。

まず、重なり部分に対応する色相値をもつようなピクセルは除外して、明らかに1つのファジィ集合に属するような色相値をもつピクセルのみを対象とする、大まかな領域抽出を行なう。次に、重なり部分に対応するピクセルが、どの領域に属するかを、そのピクセルと近傍の 3×3 ピクセルの色相値から決定する。

この方法では、クラスタリングの処理において、概して必要となる「繰り返し」を行なうことなく [12][13]、良い分割結果が期待できる。

4.3.2 領域抽出の手順

領域抽出は、以下の手順で行なわれる。

- 4.2.2節の輪郭検出と同様、色相に関するメンバーシップ関数を生成する。
- 明らかに特定の色相をもつようなピクセル、すなわち、ある特定のファジィ集合に対するメンバーシップ値のみが、正であるような色相値をもつピクセルについては、その色相に対応する領域に割り当てる。

ただし、無彩色であるとみなせるピクセル、すなわち、低彩度で、かつ、低明度あるいは高明度のピクセルは、無彩色の領域に割り当てる。

- 2において処理の対象外となったピクセルを、2で生成された領域のいずれかに割り当てる。各領域への割り当ては、色相と彩度の関係を考慮に入れ、次のように行なう。

- 低彩度で、かつ、色相についてのメンバーシップ値の最大値が小さい場合には、そのピクセルは、低彩度の領域に割り当てる。
- (a)の条件を満たさず、かつ、色相についてのメンバーシップ値の最大値が、正の値を取る場合には、そのピクセルは、最大値を与えるファジィ集合に対応する色相の領域に割り当てる。
- (a)、(b)のいずれの条件も満たさない場合、すなわち、彩度があまり低くなく、また、色相に対するメンバーシップ値が0である場合には、そのピクセルは、その色相値との距離が最小となるようなファジィ集合に対応する色相の領域に割り当てる。

- 孤立色ノイズをフィルタリングによって除去する。フィルタリングには 3×3 マスクを用い、各ピクセルの色相を、その8近傍に最頻出する色相に置き換える。
- 4で得られた結果から、領域の輪郭強度 $REGION_{HUE}$ を検出する。

4.4 輪郭検出と領域抽出の併合

輪郭検出と領域抽出の併合は、既にいくつかの研究において試みられており、いずれも良い結果が得られている [14][15]。これらの研究では、領域分割を行なう際に、輪郭の強度を利用するという方法をとっているが、処理を繰り返す行なうため、計算量の増大は免れない。ここでは、これを防ぐために、輪郭検出と領域抽出の各処理を並列に行ない、得られた結果を併合するという方法をとる。

4.4.1 分割結果の特徴

各処理の結果を併合する際には、それぞれの処理結果の特徴を考える必要がある。明度、色相情報に基づく輪郭検出、領域抽出の処理結果については、次のような特徴が考えられる。

明度の場合 カラー画像の情報を最も良く表現する明度を用いて画像分割を行なった場合、比較的良好な結果が得られる。しかし、明度値は影や陰影の影響を受けやすいため、過剰な分割が起こることも多い。また、色の違いがあっても、明らかに輪郭が認められる部分であっても、その隣接した領域の明度が同程度である場合には、輪郭は検出されない。

色相の場合 色相を用いて画像分割を行なった場合、上記の問題は解決される。しかし、色相の値にはばらつきが多いため、各ピクセルの処理を独立に行なう輪郭検出により画像分割を行なった場合には、ノイズを拾いやすいといった欠点がある。この問題は、領域抽出により画像分割を行なうことにより改善される。

色相を用いた場合には、ある特定の色で表される部分を1つの領域とみなすため、物体の角、折り目あるいは継ぎ目等の存在は無視されることになる。

4.4.2 分割結果の併合

画像分割は、その目的から、次の2つに大別される。1つは、画像のもつ情報量を失うことなくデータ量を減らす、いわゆる略画生成等を目的とした画像分割であり、もう1つは、画像認識、合成等の前処理として、画像から特定領域を抽出することを目的とするものである。

そこで、結果の併合に際しても、2通りの方法を考える必要がある。ここで、4.4.1節で述べた特徴が利用できる。

略画生成等を目的とした場合には、明度に基づく結果を重視し、1つの物体内に存在する角、折り目、継ぎ目等の輪郭までも検出するように、結果を併合する。また、領域の切り出しを目的とした場合には、色相値から得られた結果を重視し、1つの領域を囲む輪郭が途切れないように、結果の併合を行なう。

明度、色相の各分割結果の4通りの組合せについては、次のような結果の併合を行なう。ここで、 $EDGE$ は、注目ピクセルの最終的な輪郭強度を表す。

1. 明度、色相の両方から輪郭が検出される場合、注目ピクセルは、明らかに輪郭を構成しているピクセルである。

$$EDGE = \frac{EDGE_{LIG} + EDGE'_{HUE}}{2}$$

2. 色相からは輪郭が検出されるが、明度からは検出されない場合、注目ピクセルは、色(色相値)は異なるが、明度値はほぼ同じであるような領域間の境目に位置するピクセルであり、輪郭を構成しているピクセルであると考えられる。

$$EDGE = EDGE'_{HUE}$$

3. 明度からは輪郭が検出されるが、色相からは検出されない場合、注目ピクセルは、物体の明るい部分と暗い部分の境目に位置するピクセル、すなわち影、角等の境目に位置するピクセルであると考えられる。

- 略画生成等を目的とした場合には、明度からの結果を重視する。

$$EDGE = \begin{cases} \sqrt{EDGE_{LIG} \times EDGE'_{HUE}} & \text{for } 0 \leq \sqrt{EDGE_{LIG}} \leq 0.5 \\ \sqrt{EDGE_{LIG}} & \text{for } 0.5 < \sqrt{EDGE_{LIG}} \leq 1.0 \end{cases}$$

- 領域の切り出しを目的とした場合には、色相からの結果を重視する。

$$EDGE = EDGE_{LIG} \times EDGE'_{HUE}$$

4. 色相値、明度値の両方より輪郭が検出されない場合、注目ピクセルは、輪郭を構成するピクセルではない。

$$EDGE = 0$$

ただし、

$$EDGE'_{HUE} = \begin{cases} \sqrt{REGION_{HUE} \times 2EDGE_{HUE}^2} & \text{for } 0 \leq EDGE_{HUE} \leq 0.5 \\ \sqrt{REGION_{HUE} \times (1 - 2(1 - EDGE_{HUE})^2)} & \text{for } 0.5 < EDGE_{HUE} \leq 1.0 \end{cases}$$

とする。

5 処理結果

4章で述べた手法を、図9の3つのカラー画像に適用した。図9の画像は、写真をスキャナー (EPSON GT-8000) で取り込んだもので、 256×256 pixel、RGB各8bit/pixelである。HLS各値もRGB値より各8bit/pixelで求めた。

以下、処理の流れを追って、結果を示す。

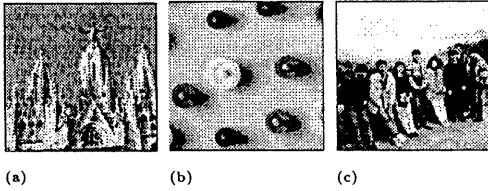


図9: 原画像

図9の各画像に対して、明度、色相に関するメンバーシップ関数は、それぞれ図10, 11のように生成される。図10, 11より、メンバーシップ関数がそれぞれ画像の特性に合わせて生成されているのが分かる。

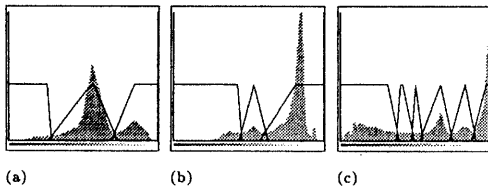


図10: 明度に関するメンバーシップ関数

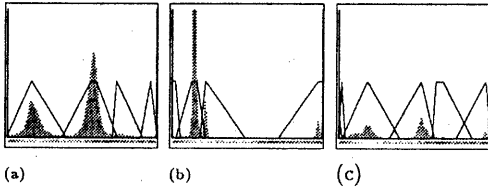


図11: 色相に関するメンバーシップ関数

図10, 11のメンバーシップ関数を用いて、図9の画像の分割を行なった結果、 $EDGE_{LIG}$, $EDGE'_{HUE}$ は、それぞれ図12, 13のようになった。図12, 13の結果を見ると、4.4.1節で述べたように、 $EDGE_{LIG}$ では、物体と背景の境目が検出されない部分が存在し、また、 $EDGE'_{HUE}$ では、物体中に存在する角や継ぎ目等が検出されない部分が存在するのが分かる。

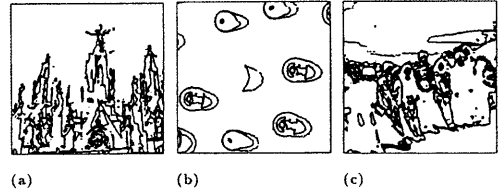


図12: 明度より検出される輪郭 ($EDGE_{LIG}$)

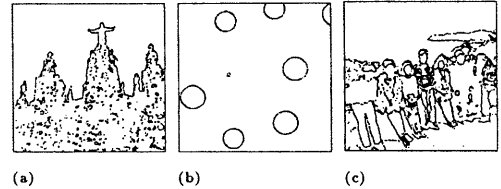


図13: 色相より検出される輪郭 ($EDGE'_{HUE}$)

そこで、4.4節で述べた方法により、図12, 13の結果 $EDGE_{LIG}$, $EDGE'_{HUE}$ を併合した結果、図14, 15に示すようになった。図14, 15より、 $EDGE_{LIG}$ において、検出されなかった物体と背景の境目が、明度重視、色相重視のいずれの結果においても検出されているのが分かる。さらに、明度重視の結果では、物体の外形に加えて、物体中に存在する角や継ぎ目等まで検出されているのに対し、色相重視の結果では、物体の外形のみが検出されており、目的に応じた画像分割が可能となっているのが分かる。

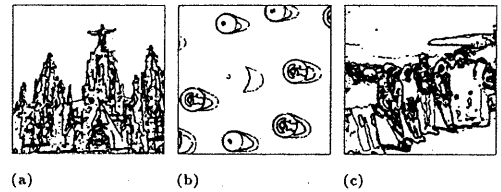


図14: 明度重視の併合結果

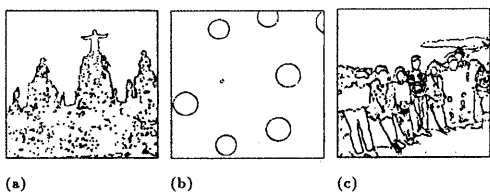


図 15: 色相重視の併合結果

6 おわりに

本稿において、色彩情報を有効に利用したカラー画像の分割手法を提案した。

人間のもつ高度な画像認識能力を計算機によって実現するため、多くの研究において、人間が脳内で行なっている情報処理過程を模擬したアルゴリズムを構築していることを考えると、色をファジィ集合を用いて曖昧さを含んだまま定義することができるということは、人間が色彩情報を判断する際に曖昧な区別を行なっているという視知覚特性に適合しており、カラー画像の処理を人間に近い形で行なうことを可能とした、有効な方法であるということができる。また、輪郭検出および領域抽出の2つのアプローチを用いることにより、計算量を莫大に増大させることなく、より良い画像分割結果を得ることができるようになった。さらに、画像処理に用いるメンバーシップ関数を画像の特性に応じて自動的に生成することにより、パラメータ設定という専門家の経験に頼ることが多い作業を不要とした。

このように、本稿で提案した手法は、一般のユーザが、多種多様な画像に対応した有効な処理が行なえるような、柔軟な画像分割の手法である。

参考文献

- [1] A.Rosenfeld, A.C.Kak, 長尾 真 (監訳). デジタル画像処理. 近代科学社, 1978.
- [2] F.Russo. A User-Friendly Research Tool For Image Processing With Fuzzy Rules. D.Dubois and H.Prade, editors, *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pp. 561-568, San Diego, 1992.
- [3] K.Miyajima and T.Norita. Region Extraction for Real Image based on Fuzzy Reasoning. D.Dubois and H.Prade, editors, *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pp. 229-236, San Diego, 1992.
- [4] 亀倉龍 田代秀夫 伊東直子 横山光男 松下温. ファジィ推論を応用したカラー画像の輪郭抽出. 情報処理学会研究報告, Vol. 93, No. 40, CV 83-5, pp. 33-40, 1993.
- [5] 宮脇隆志, 石橋聡, 岸野文郎. 色彩テクスチャーを用いたカラー画像の解析. テレビジョン学会技術報告, Vol. 14, No. 36, pp. 43-48, 1990.
- [6] 八木伸行 井上誠喜 林正樹 中須英輔 三谷公二 奥井誠人 鈴木正一 金次保明. C言語で学ぶ実践画像処理. 株式会社オーム社, 1992.
- [7] 高木 下田. 画像解析ハンドブック. 東京大学出版会, 1991.
- [8] Y.Ohta, T.Kanade and T.Sakai. Color Information for Region Segmentation. *Computer Graphics and Image Processing*, Vol. 13, pp. 222-241, 1980.
- [9] 宮原誠 清水一夫 吉田育弘 波塚義幸. RGB → MUNSELL(H,V,C) 精密変換. 信学技法, Vol. IE86-66, pp. 41-48, 1986.
- [10] 石橋聡 宮脇隆志 岸野文郎. 人物画像中の色彩情報の入力・記述法. テレビジョン学会誌, Vol. 43, No. 9, pp. 990-993, 1989.
- [11] 清水雅夫 桑原裕之 桑島茂純. 簡単高性能な色抽出装置 CHROMASCAN. 画像ラボ, Vol. 4, No. 7, pp. 17-19, 1993.
- [12] Young Won Lim and Sang Uk Lee. ON THE COLOR IMAGE SEGMENTATION ALGORITHM BASED ON THE THRESHOLDING AND THE FUZZY c-MEANS TECHNIQUES. *Pattern Recognition* Vol.23, No.9, pp.935-954, 1990.
- [13] Alireza Khotanzad and Abdelmajid Bouarfa. IMAGE SEGMENTATION BY A PARALLEL, NON-PARAMETRIC HISTOGRAM BASED CLUSTERING ALGORITHM. *Pattern Recognition* Vol.23, No.9, pp.961-973, 1990.
- [14] T.Pavlidis and Y.T.Liow. Integrating Region Growing and Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 12, No. 3, pp 225-233, 1990.
- [15] S.G.Kong and B.Kosko. Image Coding with Fuzzy Image Segmentation. D.Dubois and H.Prade, editors, *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pp. 213-220, San Diego, 1992.