



領域分割処理によるカラー画像情報の構造化*

大田 友一** 金出 武雄** 坂井 利之**

Abstract

This paper describes a technique for constructing the "nonpurposive" symbolic description of a color image. The global structure and details of the image data are extracted as regions, and the image is symbolically described in terms of its properties and relations.

The specifications needed for the segmentation technique are discussed. Some discussions are presented on the kind of color features which are effective for the color image segmentation. A powerful region splitting process has been developed based on the recursive thresholding method. A scheme of symbolic description follows the segmentation process to organize the segmented image into a data structure which facilitates the efficient and flexible retrieval of image information.

1. ま え が き

計算機による画像パターンの解析処理は、基本的には、(1) セグメンテーション、特徴抽出、(2) 抽出された特徴による画像の解析 という段階からなる。しかし、対象パターンが複雑になれば、前処理段階で完全なセグメンテーション、特徴抽出を行うのは非常に困難となる。そこで、セグメンテーション段階にも対象に関する先験知識を導入して、セグメンテーション、特徴抽出をうまく導こうとする手法が広く用いられている^{2),3)}。この方法は、対象パターンのクラス、処理の目的が限定されている場合には有効である反面、取扱対象の変更が、しばしばセグメンテーションアルゴリズムの根本的変更を伴うこと、対象パターンについての先験知識が充分でない場合には適用が困難なことなどの欠点がある。

これらの点を踏まえ、最近、特定目的に対しては、その目的用に洗練されたセグメンテーション技術には劣っても、できるだけ広い応用範囲に対して第1近似的な能力で対応しうるセグメンテーション技術の必要性が再認識されてきた⁴⁾⁻⁶⁾。このようなセグメンテーション技術で重要なのは、ある目的に必要な情報のみ

を抽出するという情報削減の役割ではなく、画像情報の構造化の役割である。すなわち、音声情報における音韻パラメタ抽出処理のように、信号として表現されている原画像から、それが持つ情報をできるだけ豊富に抽出し、しかも、高位の処理プログラムまたは人間からみて取扱いやすいかたちで記述しておくことが重要となってくる。さらに、記述からの情報導出という面からは、分割結果を単に画面として、または、領域の集合などとして表現、記述しておくにとどめるのは好ましくなく、記述の構造化が必要である。Marr の Primal Sketch⁴⁾は、この観点に基づいた画像情報の記述方法であり、画像中のエッジを種々の局所的なフィルタにより検出し、記号表現に変換、記述したものである。

我々は、領域分割処理によりカラー画像情報の構造化記述を行うシステムを開発した。我々の記述法は次の特徴を持っている。(1) 分割結果は領域、境界、頂点の集合として整理して記述され、それらが互いに有機的に関係づけられている (Fig.6 参照) ので、種々の特徴量の導出、評価が高速に行える。(2) 記号記述されているため Lisp などの記号処理言語で取扱いやすく、特徴抽出機能の作成が容易である。(3) 領域に基づいた記述であるため、明暗、色彩、テクスチャなど、面が持つ性質の表現が自然に行える。

2章ではカラー画像分割および構造化記述処理の仕様について述べ、3章で領域分割処理法、4章では分

* Structured Description of Color-Image Data by Region Splitting by Yu-ichi OHTA, Takeo KANADE, and Toshiyuki SAKAI (Department of Information Science, Faculty of Engineering, Kyoto University).

** 京都大学工学部情報工学科

割結果の構造化記述法を詳述し、処理結果を示す。

2. カラー画像の分割と構造化記述処理の仕様

カラー画像は赤 (R), 緑 (G), 青 (B) の3枚の画像として与えられる。領域分割処理は、入力カラー画像を明るさ (色を含めて) の一様な領域に分割して、原画像中の構造的な情報の抽出を行う重要な操作である。我々は、分割処理の仕様を次のように設定した。

a) 256×256 画素程度の (人工知能的立場からの研究では) 比較的大きなカラー画像を処理できる。

b) 原画像中の大局的な構造はもちろん、細かな構造もできるだけ忠実に抽出する。

c) なるべく広いクラスの画像に適用できる (特定の対象についての知識は導入しない)。

d) テクスチャの差異による分割は考えないが、テクスチャ部分がむやみに細分されるのは防ぐ。

分割結果の記述法に対しては以下の仕様を設定した。

e) 領域、境界、頂点などの概念的にまとまりのあるものを単位として記述し、記述からの画像情報の高速な導出を可能とする。

f) 記述に必要な記憶容量は、たかだか、原画像をそのまま記憶する程度におさえる。

g) 抽出された各々の領域の位置的な関係のほか、色彩による関係 (たとえば、類似の色を持つ領域同志など) も記述する。

h) 記述する事項は必要最小限にとどめ、それ以外のもは、必要時に、記述されている事項の組合わせで導出するようにする。

3. 領域分割処理

3.1 繰返し閾値処理法

領域分割の手法はすでにいくつか発表されているが⁷⁾、我々は繰返し閾値処理法によるものを採用した。これは、ヒストグラムの谷から領域分割のための閾値を決定し、領域を切出す操作を繰返す、単純だが効果的な方法で、富田等⁸⁾により人工テクスチャ画像の分割に利用され、カラー画像の分割には Ohlander⁹⁾ によって適用されている。

この方法は、ヒストグラムを分割の手がかりとして用いるため、大局的な構造の抽出に適しており、大きな画面の処理には region growing¹⁰⁾ による方法よりも有効である。反面、画面中の細かな構造を見おとし

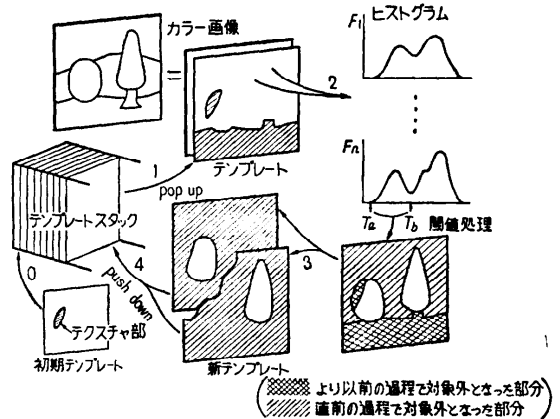


Fig. 1 Recursive thresholding.

やすい欠点があるが、Ohlander のアルゴリズムでは、画面中の大まかな構造の抽出に主眼が置かれ、この点への対策はとられていない。また、彼のシステムでは、ヒストグラムからの閾値の決定、分割結果の評価に人間が介入しなければならない問題点がある。さらに、ヒストグラムをとるのに9つのカラー特徴を用いており無駄が多い。我々は、これらの点に検討が加え、前節 a)~d) の仕様を満たす分割アルゴリズムを作成した。

Fig. 1 に繰返し閾値処理法による分割アルゴリズムを模式的に示した。リカーシブな操作を行うため、テンプレートを積上げる画像スタックを用いる。テンプレートは、1個の連結領域を表す2値パターンであり、分割処理過程で分割途中の領域を記憶する。図では斜線のない部分が、そのテンプレートにより表わされる領域である。分割アルゴリズムを以下に示す。

①原画像からテクスチャ部を抽出、非テクスチャ部のテンプレートを作成し (3.3 参照) スタックの底に置く……図中矢印0。

②スタックが空ならストップ (分割終了)。

③スタックからテンプレートを一枚取出す。それが示す領域を S とする……図中矢印1。

④ S の面積が充分に小 ($< T_1$) であれば、 S を分割結果に登録して go to ②。

⑤いくつかのカラー特徴について S 内のヒストグラムを作成する……図中矢印2。

⑥すべてのヒストグラムが単峰なら go to ④。

⑦ヒストグラムの谷から分割の閾値を選択し、そのヒストグラムに対応するカラー特徴画面上で閾値処理を行い S を分割する……図中矢印3。

⑧抽出された部分と残りの部分から一定値以上の面積 ($> T_2$) を持つ連結領域を取出し、それぞれ別のテンプレートを作成してスタックに積む……図中矢印4. go to ②.

⑨ S の面積が大でなければ ($< T_3$), S を分割結果に登録して go to ②.

⑩小窓走査法により S 内の細部構造の抽出を試みる(3.4 参照). もし抽出できれば go to ⑧. できなければ S を分割結果に登録して go to ②.

256×256 の画面を処理する場合、閾値 T_1, T_2, T_3 は、それぞれ 50, 8, 1536 (いずれも画素数単位), 小窓は 32×32 に設定しているが、分割結果の良否はこれらの値に極端には左右されず安定である.

3.2 カラー特徴の選定

ヒストグラムを作成するためのカラー特徴として何を採用するかは興味ある問題である. カラー特徴の種類を多く用いれば分割結果は改良されるが、メモリと処理時間の面からは少数の方が望ましい. Ohlander はカラー特徴として、3 原色 RGB の強度の他に、明度、色相、彩度や、カラーテレビ信号の伝送に用いる Y, I, Q の合計9つを用いている. しかし、色相、彩度のように R, G, B^* からの導出に非線形な演算を含むものは、そのヒストグラム上に、にせの山谷を生じ、繰返し閾値処理法では利用しにくい. したがって、我々は、カラー特徴として R, G, B の線形変換により得られるもの(線形カラー特徴と呼ぶ)のみを考える.

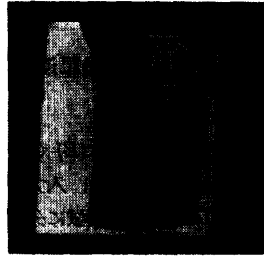
成分分析法によるカラー特徴の導出

3.1 の分割アルゴリズムのステップ ⑤ で、分割を行おうとする領域 S 内の画素の RGB 値の共分散行列を A とする. $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ を大きい順に A の固有値とし、 $w_i = (w_{Ri}, w_{Gi}, w_{Bi})^t$ を固有ベクトルとすると、次の(1)式で与えられる C_1, C_2, C_3 を、領域 S の分割に際してヒストグラムをとるのに用いるカラー特徴とする.

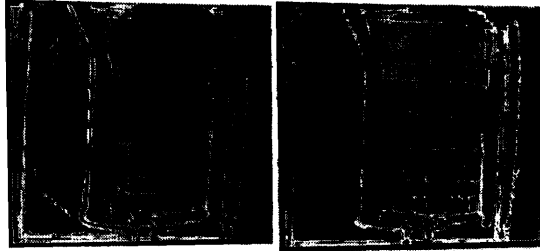
$$C_i = w_{Ri} \cdot I_R + w_{Gi} \cdot I_G + w_{Bi} \cdot I_B \quad (\|w_i\|=1, i=1\sim3) \quad (1)$$

ここで I_R, I_G, I_B は各色成分の強さの値である.

(1) 式で得られる線形変換中、 C_1 の分散が最大でその値が λ_1 であることは主成分分析法でよく知られている. したがって、カラー特徴 C_1 が最も分割能力が高いと考えられ、 C_2 は C_1 に直交するものの中で最大の分割能力を与える. この操作を分割アルゴリ

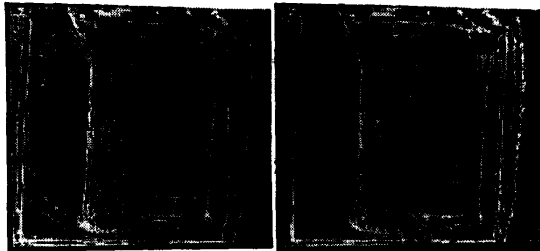


(a) Scene of a cylinder with color stripes.



(b) Component analysis.

(c) R, G, and B.



(d) R+G+B and R-B.

(e) R+G+B only.

Fig. 2 Segmentations of the cylinder scene using various combination of color features.

ムのステップ ⑤ で毎回行い、個々の領域の分割に最適なカラー特徴を動的に決定し分割処理を行ったものは、線形カラー特徴により得られる分割の一つの基準となると考えられる.

Fig. 2 (a) は、色紙を帯状に巻いた円筒を手前から照明したシーン(256×256 に量子化)である. (b) は (a) を上述の方法で領域分割した結果であり、各色帯がほぼ完全に分割されている. (c) はカラー特徴を R, G, B の3つに固定した結果であり、(b) に比して色帯の分割が若干不完全であるが大差なく分割され良好な結果といえる.

カラー特徴の検討

分割処理過程で有効に働くカラー特徴を求めると、Fig. 2 のシーンのほか、2 枚のシーン(建物と樹木、水着女性とパラソル)の合計3枚のシーンを上述の成分分析による方法で分割処理し、面積が1,000画素以

* それぞれ赤(R), 緑(G), 青(B) の波長帯に透過率のピークを持つ3枚のフィルタにより、カラー写真を3色分解して得られる色成分

上の領域を双方 200 画素以上の面積の領域に分離した計 65 回の閾値処理について、その閾値決定に用いられたカラー特徴を調査した。Fig. 3 は、これら 65 個のカラー特徴の重みベクトルを w_R, w_B 平面上にプロットしたものである。ただし、 $w_G \geq 0, |w_R| + |w_G| + |w_B| = 1$ となるよう正規化してある。図から判るように、重みベクトルは $R+G+B, R-B$ (or $B-R$) の周辺に分布している。したがって、分割処理で有効に働くカラー特徴は $R+G+B, R-B$ で近似できるものが多いといえる。

Fig. 2 (d) は、 $R+G+B$ と $R-B$ の 2 つのカラー特徴を用いて分割した結果であり、(c) と同程度 (またはより良好) に分割されている。(e) は $R+G+B$ 1 つだけによる分割結果であり、色度についての分割能力がないので、色帯の分割ができていない。

以上の結果から、カラー特徴として R, G, B の 3 つだけを用いてもほぼ満足いく分割結果が得られ、また、2 つだけを用いることも可能であり、その場合には $R+G+B$ と $R-B$ を用いればよいことがわかる。

3.3 テクスチャ部分の処置

原画像中、強いテクスチャ*的性質を持つ部分が分割処理により、むやみに細分されるのを防ぐため、あらかじめテクスチャ部分を抽出、分離し、分割処理は非テクスチャ部分にのみ適用する。テクスチャ部分の抽出は次のように行う。

① G 画像を Fig. 4 (a) のラプラシアン演算子で微分し、閾値 T で 2 値化する。

$$T = (\text{微分値のモード値}) + (\text{微分値の標準偏差}) \times 1.4 \quad (2)$$

② 得られた 2 値化微分画像に Fig. 4 (b) の 9×9 非線形演算子を作用させる。この演算子は 9 個の部分窓 (3×3) を持ち、最低 1 個の 1 を含む部分窓数を真中の点のテクスチャ度として出力する。8 以上のテクスチャ度を持つ点が十分に大きな連結領域を形成する部分をテクスチャ部分として抽出する。

この方法はエッジが広く散らばっている部分を抽出するのに有効であり、物体と物体の境界のように強いエッジが線状に分布する部分には感じにくい特徴がある。

3.4 細部構造の抽出

分割アルゴリズムのステップ ⑤ で、領域 S が大きい場合には、ヒストグラムに存在すべき小さな谷が主

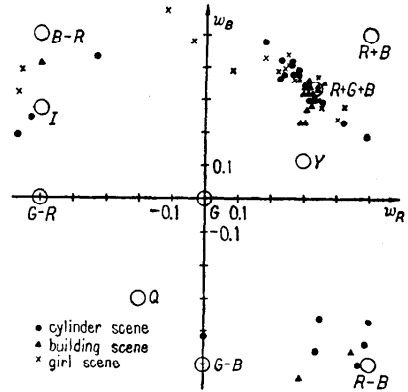
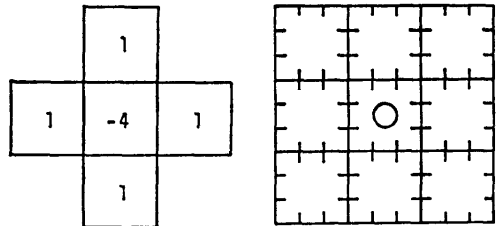


Fig. 3 Weight vectors of the color features obtained by component analysis.



(a) Laplacian operator. (b) 9×9 nonlinear operator.

Fig. 4

要な山に隠されて検出できなくなったり、多数の小さな山がかさなり合って谷が検出できないことがしばしばある。したがって、領域 S の面積が大きい場合には、全領域のヒストグラムで谷が検出できなくても、小さな窓で領域 S を走査して各々の窓でヒストグラムをとり谷の検出を試みる。

小窓という局所的な領域内のヒストグラム上で検出した谷から閾値を決定し、領域 S 全体を閾値処理すれば、そのヒストグラムに無関係で、本来、抽出されるべきでない部分まで切出す危険がある。したがって、閾値処理した結果から、その閾値の決定に用いたヒストグラムに対応する小窓の領域と共通部分を持つ領域のみを抽出するようにする。

以上の手法により、大領域に埋められている細かな構造も発見し分割することが可能となった。

4. 領域分割結果の構造化記述

4.1 記述の作成

画像情報の記述をリレーショナルモデルを利用して行うことが試みられているが¹¹⁾、これはデータベース

*一般的には「ある要素パターンをある規則にしたがって繰返すことにより生成される模様」と定義される。

内の多数の画像の整理と各画像の意味内容の記述に主眼をおいている。我々の目的とする記述では、領域の輪郭を形成する境界の集合のように、数が不定個で順序を持った関係の記述もあり、これらはポイントによる表現の方が自然である。したがって、我々は領域分割結果を、領域、境界、頂点などの要素と、ポイントによる要素間の関係の表現として記述した。

Fig. 5 に示すように、領域の連結性は4連結で考え、境界、頂点は原画像の画素の間に設けたメッシュ上で定義する。境界は2つの異なる連結領域が接する部分であり、始頂点から終頂点に至る4方向のチェーンコードで表現できる。頂点は3つ以上の異なる連結領域が出合う点であり、そこへ出入する境界の端点となる。

記述からの情報導出をより容易にするため、領域、境界、頂点の基本的な3集合に、穴、直線分の2つの集合を加えた。穴は単一の連結領域に囲まれた1つ以上の互いに隣接した領域の集合である。直線分は、境界が直線状になっている部分を抜き出したものであり、境界のチェーンコードに iterative end-point fits 法¹²⁾により直線をあてはめて求める。

特徴量の記述

領域、境界、頂点、穴、直線分の個々の要素には、その性質を示す特徴量を記述する。記述からは、領域、境界などについての種々の特徴量を高速に導出できることが重要であるが、(1)解析処理で必要とする特徴量は多様であり、そのすべてをあらかじめ記述しておくのは不可能であること、(2)画像処理で時間的コストが大きいのは、領域の面積のように画素レベルでの処理を必要とする「一次特徴量」の導出であり、コンパクトネスのような「二次特徴量」は領域の面積、周囲長から高速に導出できること、などの理由から、直接記述するのは一次特徴量のみにとどめ、他は必要時

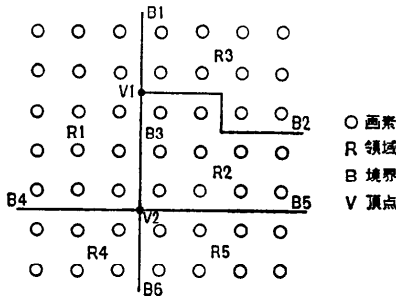


Fig. 5 Regions, boundaries, and vertices.

Table 1 Described properties.

領域	面積, R,G,B 平均値, テキスチャ度, 周囲長, 重心位置, 画素位置分布の共分散行列, 最小外接長方形, 含む穴の数.
境界	4方向チェーンコード, 長さ, コントラスト.
頂点	座標, 出入する境界数.
穴	周囲長
直線分	方向, 原点からの距離, 長さ, 両端の座標.

に各要素の特徴量や要素間の関係から導出する方針をとる。

各要素における記述内容を Table 1 に示した。領域の記述における面積はその領域が含む画素数、テクスチャ度は Fig. 4 (b) の演算子の出力の平均値である。画素位置分布の共分散行列は、領域の近似楕円形を表わし、最小外接長方形よりも適確に領域の概形を近似できる。境界の記述におけるコントラストは、その境界の両側での RGB 値の差の平均値である。

関係の記述

領域、境界などの各記述要素の間には、それらの位置的な関係を表現する、Fig. 6 に示すようなポイントを設定する。領域、穴の輪郭を形成する境界へのポイントは左廻りになるよう順序づけてある。特徴量の記述の場合と同様の考え方から、ポイントの設置は直接の関係を持つもの間だけにとどめ、他の関係はポイントをとることで導出する方針である。たとえば、ある領域に隣接する領域の集合は、領域→輪郭形成境界集合→各境界の右または左側の領域の集合、として求められる。

位置的には離れているが類似の色彩を持つ領域を関係づける場合、ポイント設置の基準が問題となる。我々は、繰返し閾値処理による領域分割法が類似の色彩を持つ領域を切り出していく処理であることに着目し、分割過程を記録した木(分割木と呼ぶ)を色彩情報の関係記述に利用することにした。

Fig. 7 に示すように、分割木の各節点は各々1つの領域に対応し、その領域を分割して得られた領域を子節点として持つ。子節点は閾値処理により抽出された領域に対応するものと、残された領域に対応するも

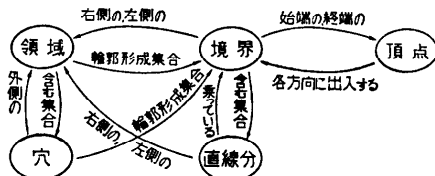


Fig. 6 Relation between the descriptive elements.

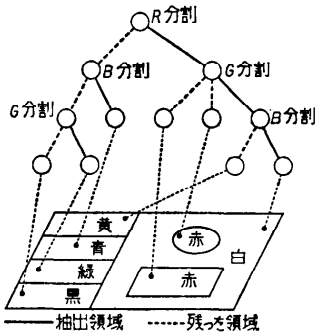


Fig. 7 Example of segmentation tree.

のに分けてある。各節点には、分割に使用したカラー特徴の種類と閾値を記入しておく。分割木の葉は分割結果の領域に、根は全画面に対応する。親子関係の遠い領域ほど大きく異なる色彩を持つとは必ずしもいえないのが難点であるが、同一の親を持つ領域は共通した性質を持ち、分割木は類似領域の検索に有用である。

4.2 記述の操作

領域の統合

領域を基礎として画像解析を行う場合、2つ以上の隣接する領域を統合し1個の領域として考える必要が生じる。この場合、統合領域についての Table 1 の諸特徴量は、原画像を参照しなくても統合される領域の記述から下記の要領で導出できる。

R, G, B 平均値, テクスチャ度, 重心位置……各領域の対応する特徴を面積で加重平均する。

外接長方形……各領域の外接長方形の外接長方形。

共分散行列……各領域の共分散行列を C_i , 重心位置を m_i , 面積を S_i とし ($i=1, n$), 統合領域の重心位置を m とすれば, 統合領域の共分散行列 C は次式で得られる。

$$C = \left(\sum_{i=1}^n S_i \cdot (C_i + (m_i - m)(m_i - m)^T) \right) / \sum_{i=1}^n S_i \quad (3)$$

統合領域の輪郭を形成する境界集合などの要素間の関係の記述も、ポイントの操作により統合前の記述から容易に導出できる。

特徴量の導出

領域解析システムにおいて、領域の性質または2領域の関係を表現するのに用いられている代表的な特徴量の、記述からの導出法を以下に示す。

明度, 色相, 彩度^{13), 15)}……R, G, B 平均値から算出。

コンパクトネス¹⁶⁾……面積と周囲長から算出。

縦長, 横長など領域の概形¹³⁾……共分散行列から算出。

上下左右など2領域の位置関係^{13), 14), 16)}……重心位置

と共分散行列から導出。

2領域の境界線のコントラスト¹⁰⁾……両領域の輪郭形成境界集合の共通集合内の境界のコントラスト。

2領域の接触度¹⁰⁾……両領域の共通境界の長さと一方の領域の周囲長の比。

2領域の境界の直線性, 方向¹⁵⁾……両領域の共通境界が含む直線分の集合から導出。

領域の検索

ある性質を満足する領域 (の集合) を記述中から検索することは、トップダウン戦略で解析処理を行う場合に必要である。たとえば、「黄色の領域が左にある縦長の領域をすべて」検索する場合、必要な演算量は領域の特徴量を導出する場合よりはるかに大きく、十分に構造化された画像データ記述上で初めて現実的に可能となる。我々は、記述の応用として作成している屋外風景写真解析システム¹⁾において、領域検索の基本的関係として次の3つを作成し使用している。

all-fetch [to-set, from-set, fuzzy-predicate]

ex-fetch [to-set, from-set, fuzzy-predicate]

t-fetch [to-set, region]

all-fetch は from-set で与えられる領域の集合から fuzzy-predicate を満たす領域をすべてとりだし to-set へ入れる。ex-fetch は領域が1つみつければ検索を終了する。fuzzy-predicate 中に、これらの関数を入れ子に記述することにより任意の複雑さで検索を行うことができる。t-fetch は、region で与えられた領域に接する領域をすべてとりだし to-set へ入れる。この機能は all-fetch でも実現可能だが、t-fetch ではデータ構造をうまく利用した検索を行うのでより高速である。t-fetch のような特定目的の検索関数は、分割木を利用するものも含めて、用途に応じて種々考えることができる。

4.3 処理例

Fig. 8 (次頁参照) に自然風景写真を処理した結果を示す。(a) は 256×256, 各点5ビットに量子化したカラー風景写真であり、(b) はカラー特徴として R, G, B の3つを使用して領域分割処理を行った結果である。建物の窓のような細部構造も抽出され、強いテクスチャを持つ樹木の部分の細分化はおさえられている。原画像の第1近似的なセグメンテーションとしては十分な結果である。(c)には境界に対してあてはめた直線分を表示した。(d)は最終的に得られた記述から、各領域にその R, G, B 平均値を塗ることにより再構成した画像である。この例の場合、領域は339個、

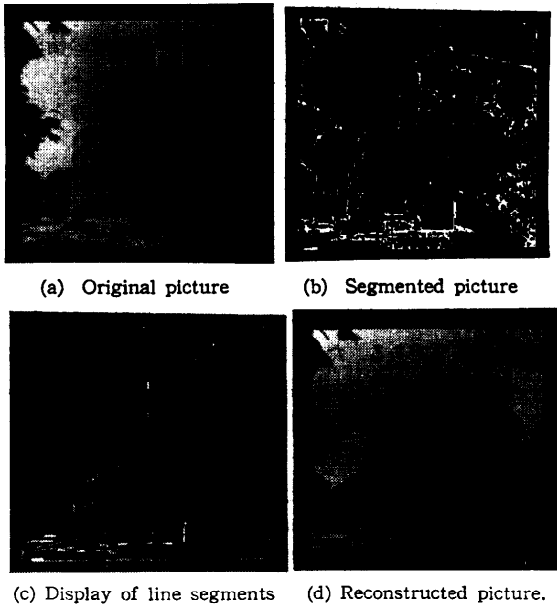


Fig. 8

境界は 914 本, 頂点は 612 個, 穴は 37 個, 直線分は 268 本である。記述に必要な記憶容量は特徴量記述, 関係記述, 分割木など含めて約 90 キロバイトである。

5. むすび

本論文では, 領域分割処理によりカラー画像情報を構造化し, 記号記述に変換する方法について述べた。繰返し閾値処理法を基礎とする領域分割アルゴリズムに幾つかの検討, 改良を加えた結果, 十分な性能の分割を行うことが可能となった。分割結果を構造化記述することにより原画像の持つ情報を豊富に, しかも利用しやすいかたちで後段の処理に供給できる。

現在のところ, 分割処理に比較的長時間を要するという問題点があるが, このような低レベル処理では, ヒストグラム作成, 閾値処理のごとく並列演算化により高速化できる要因が多く, 大幅な改善の余地がある。

最後に, 3.2 については, 林孝次氏 (現在, 日本電気) の協力に感謝する。

参考文献

- 1) Y. Ohta, T. Kanade & T. Sakai: An Analysis System for Scenes Containing Objects with Substructures, Proc. of 4th IJCP, pp. 752~754 (1978).
- 2) Y. Shirai: A Context Sensitive Line Finder for Recognition of Polyhedra, Artificial Intelligence, Vol. 4, No. 2, pp. 95~119 (1973).
- 3) C. A. Harlow & S. A. Eisenbeis: The Analysis of Radiographic Images, IEEE Trans. Vol. C-22, No. 7, pp. 678~689 (1973).
- 4) D. Marr: Early Processing of Visual Information, A.I. Memo 340, A.I. Lab. MIT, (1975).
- 5) E. M. Liseman & M. A. Arbib: Computational Techniques in the Visual Segmentation of Static Scenes, Computer Graphics and Image Processing, Vol. 6, pp. 221~276 (1977).
- 6) S. W. Zucker, A. Rosenfeld & L. S. Davis: General Purpose Models: Expectations about the Unexpected, Proc. of 4th IJCAI, pp. 716~721 (1976).
- 7) S. W. Zucker: Region Growing: Childhood and Adolescence, Computer Graphics and Image Processing, Vol. 5, pp. 382~399 (1976).
- 8) F. Tomita, M. Yachida & S. Tsuji: Detection of Homogeneous Regions by Structural Analysis, Proc. 3rd IJCAI, pp. 564~571 (1973).
- 9) R. B. Ohlander: Analysis of Natural Scenes, Ph. D. Dissertation, CMU (1975).
- 10) C. Brice & C. Fennema: Scene Analysis Using Regions, Artificial Intelligence, Vol. 1, pp. 205~226 (1970).
- 11) T. Kunii, S. Weyl & J. Tenenbaum: A Relational Data Base Schema for Describing Complex Pictures with Color and Texture, Information Processing 74, pp. 310~316 (1974).
- 12) R. O. Duda & P. E. Hart: Pattern Classification and Scene Analysis, p. 338, John Wiley & Sons (1973).
- 13) K. Price: Change Detection and Analysis in Multispectral Images, Ph. D. Dissertation, CMU (1976).
- 14) J. Tenenbaum & H. Barrow: Experiments in Interpretation-Guided Segmentation, Technical Note 123, SRI, (1976).
- 15) Y. Yakimovsky & J. Feldman: A Semantics-based Decision Theory Region Analyzer, Proc. 3rd IJCAI, pp. 580~583 (1973).
- 16) H. Barrow & R. Popplestone: Rerational Descriptions in Picture Processing, Machine Intelligence, Vol. 6, pp. 377~396 (1971).

(昭和 52 年 11 月 7 日受付)

(昭和 53 年 4 月 3 日再受付)