

サンプル図形提示方式による面図形抽出手順の 自動構成法について†

高 須 晶 英^{††} 長谷川 純 一^{††*} 鳥 脇 純 一 郎^{††}

本論文では、処理要求を言葉でなく、直接画像（サンプル図形）の形で与える新しい方式の画像処理エキスパートシステムの実現例として、面図形抽出手順の自動構成エキスパートシステムについて述べる。とくに、手順推論の過程で用いられる“期待画像”の導き方を具体的に示し、それに基づく処理手順細部の決定方法を与える。この方法を、実際の胸部X線写真、および、顕微鏡写真からの特定領域の自動抽出の問題に適用し、その結果、与えられたサンプル図形にかなり近い面図形を抽出する手順の構成が原理的に可能であることを検証した。本方法は一般の面図形抽出問題に適用可能なこと、および、処理目的の視覚的な入力が可能なことなどから、画像処理手順開発のための知的道具となりうるであろう。

1. ま え が き

約20年にわたる画像処理研究は、多くの基本処理アルゴリズム、および、それらを実際の画像に適用するための多くの有用な方法を生みだした。前者のかなりの部分は近年、画像処理アルゴリズムパッケージとして^{1),2)}広く一般に提供されているものの、後者の成果はまだ一般ユーザが容易に利用できる形にまとめられていないのが現状である。このため、この画像処理の専門的知識を一般ユーザに理解しやすい形で提供するためのエキスパートシステムの開発が最近さかんに行われている³⁾⁻¹⁰⁾。とくに画像から特定の性質を持った領域を切り出す、いわゆる画像のセグメンテーションは最も基本的な画像処理の一つであるが、その応用範囲が極めて広いため、それを実際の画像に適用する際の技術的ノウハウのエキスパートシステム化が強く望まれている。

筆者らもこの問題に対して、処理対象画像（原画像と呼ぶ）とそこから抽出したい画像特徴（サンプル図形 (sample figure) と呼ぶ）を抽象的な言葉ではなく、画像として計算機に提示することにより、原画像からそのサンプル図形になるべく近い図形を抽出する処理手順を自動的に構成する新しい画像処理エキスパートシステム IMPRESS [IMage PROcessing Expert System accepting Sample figure presentation] を提案した (図 1)¹¹⁾。そして、サンプル図形が線図形の場合

合に対するその実現例の詳細を前報で報告した^{11),12)}。そこで、本文ではこのシステムの第2の実現例として、サンプル図形が面図形の場合、すなわち面図形抽出手順の自動構成方法について詳しく述べる。なお、一般濃淡画像からの面図形抽出というかなり一般的な問題に対して、画像の形で与えられた処理目的から最適な処理手順を自動構成させることはこれまでに試みられていない。以下、IMPRESS の概要を述べた後、面図形抽出手順自動構成の具体的方法を実験結果とともに報告する。

2. システム IMPRESS の概要

IMPRESS の目的は、入力された原画像とそれに対応するサンプル図形（原画像から抽出したい画像特徴を図形で示したもの）から、実際の画像処理手順を自動的に作成することにある。システムの基本動作は以下の5つのステップに分かれる¹¹⁾。すなわち、(1) サンプル図形への適当前処理、(2) その図形特徴に基づいた大まかな処理手順 (Procedure Frame) の選択、(3) その手順に基づいた、サンプル図形、原画像等の参照による具体的な処理手順の決定、(4) 処理結果のサンプル図形による評価（ここで評価が良好でなければ(1)または(2)に戻る。）、そして、最初に入力された原画像とサンプル図形が多数組である場合には、(5) 多数個の処理手順を一つにまとめる処理手順の集約が行われる。ここで、ステップ(2)の大まかな処理手順は、いくつかの基本的処理（処理モジュールと呼ぶ¹¹⁾）の系列で表現されているが、まだ具体的な処理の種類やパラメータの決まっていない処理手順のことをいい、システム内にはそのような手順が基本的な図形特徴（面、線、点）に対応してそれぞれ複数

† Automated Construction of Mass Pattern Extraction Procedures Based on Sample-Figure Presentation by AKIHIDE TAKASU, JUN-ICHI HASEGAWA and JUN-ICHIRO TORIWAKI (Faculty of Engineering, Nagoya University).

†† 名古屋大学工学部情報工学科

* 現在 中京大学教養部
Faculty of Liberal Arts, Chukyo University

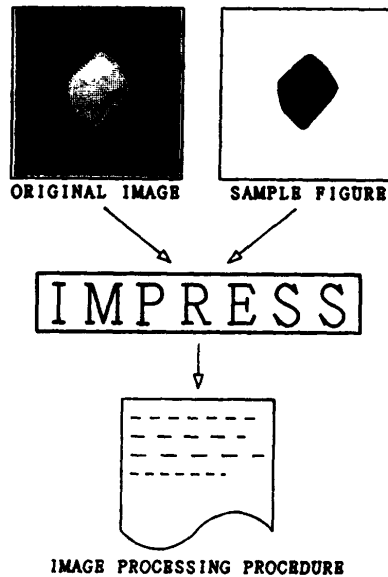


IMAGE PROCESSING PROCEDURE

図 1 IMPRESS の概要

Fig. 1 Outline of IMPRESS.

個登録されている。また、ステップ(3)では、具体的な処理手順の決定に先立って、サンプル図形を用いることにより各処理モジュールに入力されるべき画像(期待画像 (expected image) と呼ぶ)が処理手順とは逆方向に逐次的に推定される¹¹⁾。この期待画像が各処理モジュールの最適処理を決める際の基準となる。したがって、システム内には、期待画像の推定に関する知識、および、各処理モジュールの要素として利用できる具体的な処理手法に関する知識が置かれ、処理手順の自動構成に利用される。

本文中で述べる面図形抽出手順の自動構成エキスパートシステムは、上記 IMPRESS のサブシステムとして稼働し、IMPRESS の作動中、面図形抽出手順の構成が必要なあらゆる場面で起動される。

3. 面図形抽出手順の自動構成方法

ここでは、文献 11) に述べられているシステムの基本的考え方に基づいて、面図形抽出手順の自動構成方法^{12), 13)}を説明する。本文の主眼は、上記ステップ(3)の具体的な手順の自動構成方法の実現に置かれるので、入力されるサンプル図形は理想的(前処理不要)な面図形であると仮定する。したがって、システムの動作は、既に登録されている面図形抽出のための大まかな処理手順の中の1つを選択することから始まる。現在登録されている大まかな処理手順は以下の2つ、

PFM 1:

[平滑化→差分→2値化→連結成分処理]

PFM 2:

[平滑化→差分→領域分割→連結成分処理]

(PFM: Procedure Frame for Mass pattern extraction)

である。これらの手順の選択方法としては、サンプル図形の特徴の理解に基づく方法や、あらかじめ定められた優先順位に従う方法があるが、ここでは実験の便宜上後者とする。ただし、最初に選択した大まかな手順での構成が失敗すれば次の手順が試みられる。以後、上記の2つの手順について、具体的な手順を構成する方法を述べる。

3.1 2値化を含む手順 (PFM 1) の構成法

システムが大まかな処理手順として PFM 1 を選んだ場合、まず、システムは図 2 のように手順を {平滑化, 差分}, {2値化, 連結成分処理} の2つのモジュール・グループ¹¹⁾に分け、2値化直前の期待画像を推定した後、各モジュール・グループごとに具体的な処理手順を決定する。

3.1.1 2値化直前の期待画像の推定

2値化直前の理想的な画像とは、しきい値処理によってサンプル図形に極めて近い図形が得られるような画像である。よってサンプル図形上の平均濃度値と、その周辺の近傍領域の平均濃度値に差があることが必要で、さらに、安定した2値化出力が得られるためには両者の差が大きく、加えてサンプル図形上と近傍上で、それぞれ濃度値が安定している方がよい。このような性格を持った画像をここでの期待画像(図 3)とする。ここで近傍領域の決定には4近傍距離変換を用

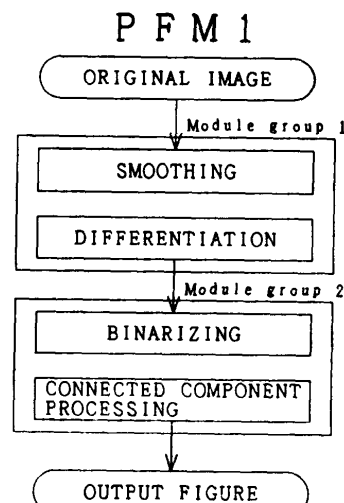


図 2 大まかな処理手順 1

Fig. 2 Procedure frame¹⁾.

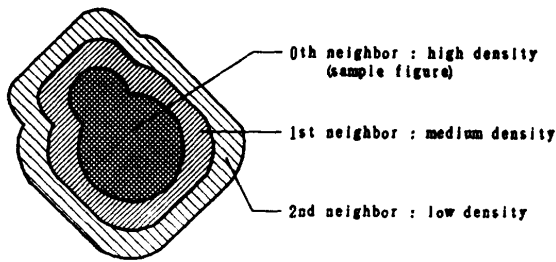


図3 2値化直前の期待画像の例
Fig. 3 An example of the expected image for binarization module.

いて、サンプル図形からの距離が n 以下の部分として定義する。ただし、 n は距離値が0から n までの近傍領域の全面積がサンプル図形の4倍以下である最大の n とする。

3.1.2 平滑化および差分処理の具体的決定

ここでは、原画像に平滑化と差分処理を施した画像が、先に述べた期待画像（例えば図3のような画像）に最も近くなるような具体的な平滑化、差分の処理の組を決定する。なお、差分の種類は二階差分、4近傍あるいは8近傍ラプラスアンの中から選択し、二階差分の方向については縦、横、斜め ± 45 度方向を考慮する。以下、その具体的決定方法を説明する。

(a) 原画像に平滑化、差分処理を適用して得られた画像において、サンプル図形から距離値 i の領域（第 i 近傍領域と呼ぶ）内の画素での濃度値集合についてそれぞれ平均値 μ_i 、標準偏差 σ_i 、画素数 ν_i を求める。 $i=0$ の場合はサンプル図形上を表す。

(b) $1 \leq k \leq n$ で、かつ、上記 μ_i, σ_i が次の2つの条件を同時に満たす最大の k を求める。

$$(1) \quad \sigma_i \leq 1.4\sigma_1, \quad (i=1, 2, \dots, k)$$

$$(2) \quad \mu_0 \leq \mu_1 \leq \dots \leq \mu_k, \text{ または,} \\ \mu_0 \geq \mu_1 \geq \dots \geq \mu_k$$

ここで条件1は、特にサンプル図形の近くにある他の濃度の塊状図形の影響を抑えるためである。

(c) 求められた k の値により、距離が1以上 k 以下のすべてをまとめた近傍領域の画素数 N_k 、濃度値の平均値 M_k 、および、標準偏差 Σ_k を計算し、下の式で示される評価値 r を求める。

$$r = |\mu_0 - M_k| / \sigma_w \quad (1)$$

$$\text{ただし, } \sigma_w = \sqrt{(\nu_0 \sigma_0^2 + N_k \Sigma_k^2) / (\nu_0 + N_k)} \quad (2)$$

ここで、式(1)の分子の値が大きいほどサンプル図形上の領域とその近傍領域の分離がよく、また、分母の値が小さいほど処理後の画像に雑音が出にくいと考えられる。なお、近傍として第1近傍から第 k 近傍ま

でをひとまとめにして考えているが、これはサンプル図形上の画素数と、近傍上の画素数をなるべく同じ程度とし、両方の分散が同程度に評価式に反映されるようにするためである。この尺度は、線図形抽出手順の場合¹¹⁾と基本的には同じものである。

(d) 上記の(a)から(c)を、可能な範囲の平滑化、差分のすべての組について行った結果、評価値 r が最も大きい値をとるものを期待画像に一番近い画像であると判断し、そのときの平滑化、差分の種類、パラメータをこのモジュールの最適手順として採用する¹³⁾。

3.1.3 しきい値処理の決定

ここでは、しきい値処理の種類としきい値を求める。まず、上記平滑化と差分の決定の際に得られた μ_0 と M_k の大小関係から、サンプル図形に対応する領域が1、それ以外が0となるようなしきい値処理を選ぶ。すなわち、 μ_0 が M_k より大きい場合は、しきい値以上を1とするしきい値処理を、そうでない場合は、しきい値以下を1とするものを選択する。

次にしきい値を決定する。原画像に既に決定された平滑化と差分を施した結果に対し、 μ_0 から M_k の範囲でしきい値を変化させてしきい値処理を行い2値画像を得る。この2値画像とサンプル図形の一致度 P_{ev} が最大となるようなしきい値を決定する。ただし、サンプル図形を F_1 、上記2値画像中でサンプル図形と共通部分を持つ連結成分の全体を F_2 とするとき、 F_1 と F_2 の一致度 P_{ev} は次式で与える¹³⁾。

$$P_{ev} = S_0 / S_1, \quad (3)$$

S_0 = 両図形の共通部分の面積、

S_1 = 両図形の和集合の面積。

3.1.4 連結成分処理の組み込み

連結成分処理はいくつか考えられるが、現在のところ実現されているのは、雑音除去処理である図形融合(fusion)のみである。ここではその組み込み方法について述べる。

図形融合の種類は、収縮・拡散の順番とその組合せで定まり、収縮・拡散の回数がパラメータとなる。そこで、2値化後の画像に、(組み込まない場合も含めて)システム内に用意した可能な図形融合のすべてを施して、先に述べた一致度 P_{ev} が最も大きくなるものを選ぶ。図形融合を組み込まない場合の一致度が最大のときには、図形融合は採用されない。なお、ここで得られる最終的な一致度がPFM1を用いて自動構成された面図形抽出手順の最終的な評価尺度となる。

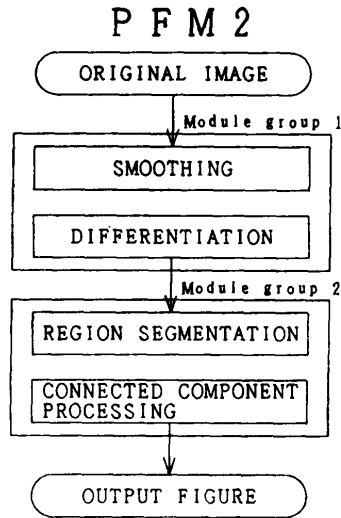


図 4 大まかな処理手順 2
Fig. 4 Procedure frame 2.

3.2 領域分割を含む手順 (PFM 2) の構成法

システムが大まかな処理手順として PFM 2 を選んだ場合、システムはまず図 4 のように手順を {平滑化, 差分}, {領域分割, 連結成分処理} の 2 つのモジュール・グループに分け、領域分割直前の期待画像を推定した後、各モジュール・グループごとに具体的な処理手順を決定する。

3.2.1 領域分割直前の期待画像の推定と平滑化・差分の決定

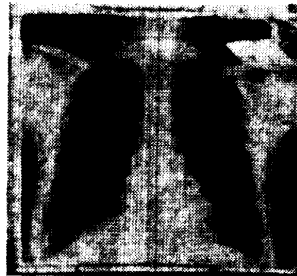
サンプル図形が一つの連結成分であるときには、領域分割直前の期待画像として、3.1.1 項の 2 値化直前の期待画像と同じものを用いることができる。したがって、平滑化・差分の決定は、3.1.2 項と同様にして行える。しかし、サンプル図形が複数の連結成分からなる場合には、とくに領域分割のアルゴリズムが局所的な濃度値構造に基づくものであれば、期待画像を各連結成分ごとに定義した方がよい。このときは、各連結成分ごとに近傍定義と評価値計算を行い、その評価値の平均が最大となる平滑化、差分の種類、パラメータを最適な手順として採用する¹³⁾。

3.2.2 領域分割のパラメータの決定

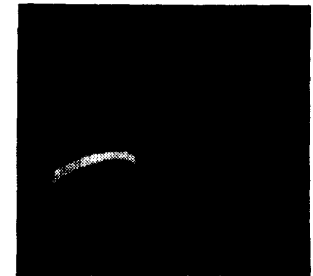
既に決定された平滑化・差分を原画像に施し、その結果に領域分割を施す。これを分割処理の種類とパラメータを変化させて実行し、その結果とサンプル図形との一致度が最も高くなる種類とパラメータを決定する。ここで、領域分割の結果はラベル画像 (各画素にその画素の属する連結成分の名前を表すラベルが入っている) であるので、一致度の定義が少し異なる。詳細は文献 13) にゆずる。なお、実際の領域分割のアルゴリズムは、SPIDER²⁾ 内に登録されているものを利用した。

3.2.3 領域分割後の連結成分処理の組み込み

領域分割後の画像は 2 値画像ではなくラベル画像である。したがって、領域分割後の連結成分処理は大きく 2 つに分けられる。一つは小面積成分のその周囲の連結成分への取り込み等の、ラベル画像のまま行う処

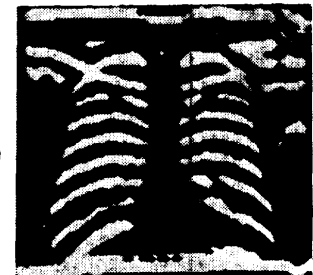


(a) original image



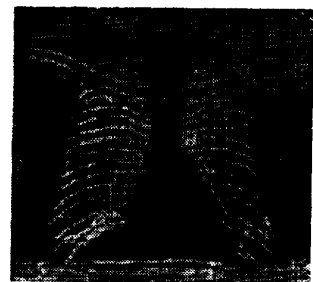
(b) sample figure

Smoothing
↓ (no need)
Differentiation
↓ (2nd order, vert., dist.=12)
Binarizing
↓ (threshold=10)
Fusion
(type:exp.-shr.-exp.)



(c) construction result based on PFM1

Smoothing
↓ (no need)
Differentiation
↓ (2nd order, vert., dist.=12)
Region segmentation
(Tomita's algor., param.=6)



(d) construction result based on PFM2

図 5 胸部 X 線像からの肋骨抽出への適用例
Fig. 5 Result of procedure construction applied to rib region extraction from chest x-ray images.

理であり、もう一つは不要連結成分への0代入等の、いわゆる「背景」を作り出す処理である。これらの組み込み方法は基本的には2値化後の連結成分処理と同様に、一致度が最大となるものを採用する。そして、ここで得られる最終的な一致度が、PFM2に基づいて自動導出された面図形抽出手順の最終的な評価尺度となる。なお、この連結成分処理の組み込みについては、現在検討中である。

4. 実験結果と考察

以上の構成法に基づいて実験を行った結果を図とともに示す。なお、サンプル図形は、グラフィックディスプレイ端末に表示された原画像上で会話的に手入力されたものである。また、実験のため大まかな処理手順は2種類とも使用した。

4.1 胸部X線像への適用

原画像は胸部X線像で、濃度レベル数 256、画素数

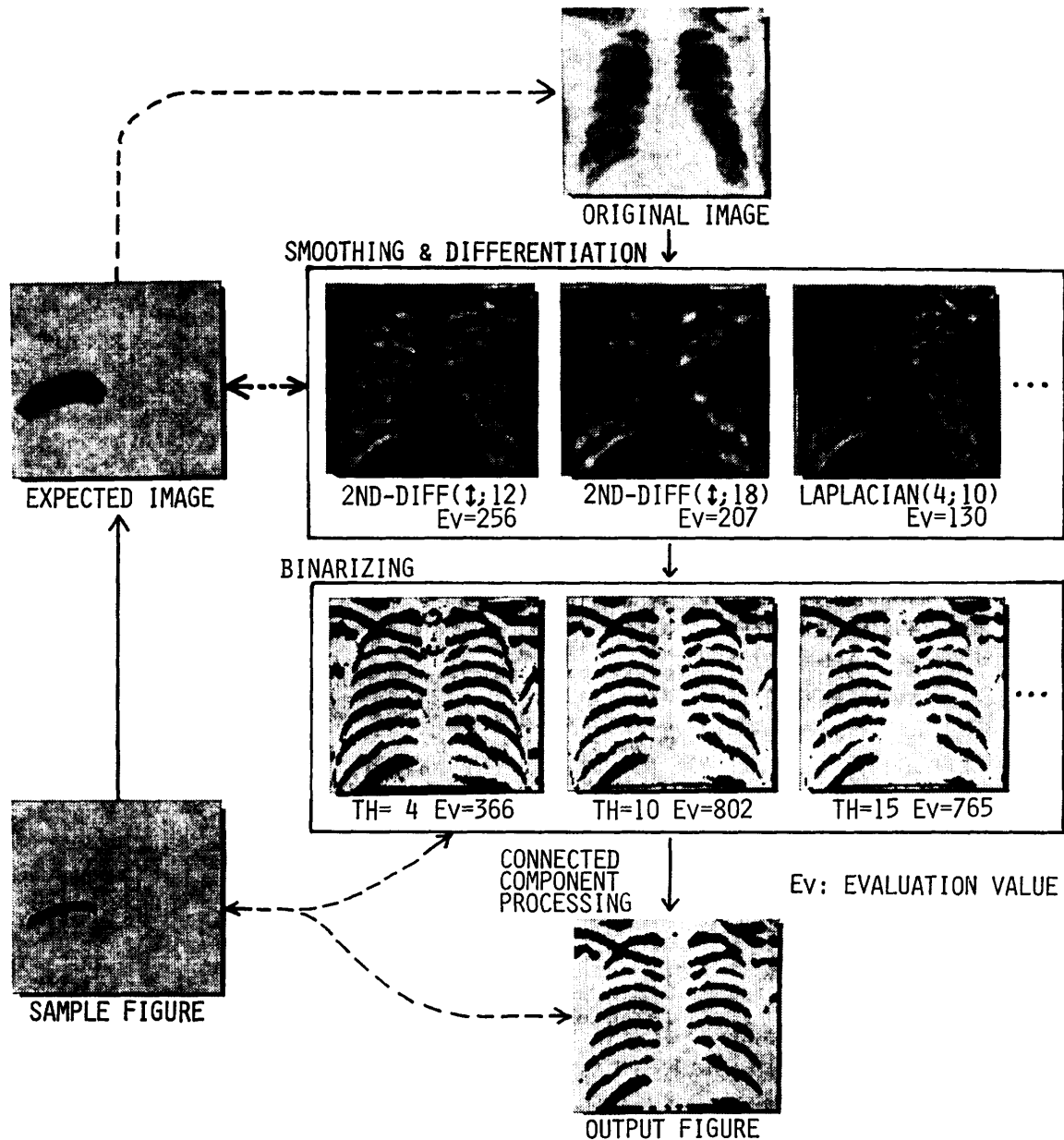


図6 手順決定の流れ
Fig. 6 Process to fix details of the constructed procedure.

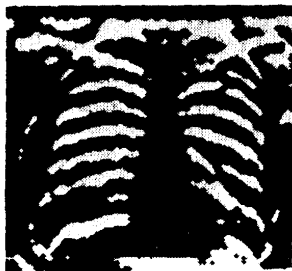
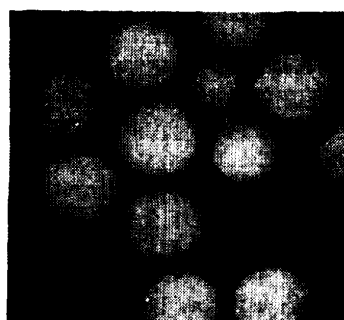
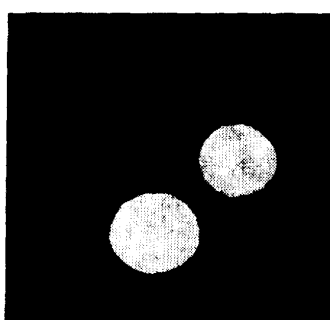


図7 構成された識別手順の別の原画像への適用例
Fig. 7 An example of the application of the constructed procedure to a picture different from the design sample.

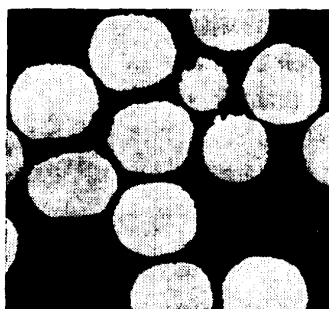


(a) original image



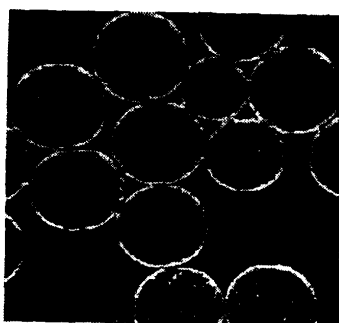
(b) sample figure

Smoothing
↓(no need)
Differentiation
↓(8-Laplacian, dist.=120)
Binarizing
↓(threshold=-10)
Fusion
(type:exp.-shr.)



(c) construction result based on PFM1

Smoothing
↓(no need)
Differentiation
↓(8-Laplacian, dist.=118)
Region segmentation
(Tomita's algor., param.=6)



(d) construction result based on PFM2

図8 顕微鏡画像からの粒子成分抽出への適用例

Fig. 8 Result of procedure construction applied to particle component extraction from microscope images.

150×150 のものを用い、サンプル図形として右肺の第8背部肋骨を手入力したときの結果を図5、図6ならびに図7に示す。図5(a)および(b)は、それぞれ実験に用いた原画像およびサンプル図形の例であり、それらを入力とし、PFM1およびPFM2に基づいて自動構成された手順ならびにそれを(a)の画像に適用した結果をそれぞれ図5(c)および(d)に示す。また、図6は、図5(c)に示した構成例について、その具体的な処理手順が決定されていく様子を途中結果の画像例で示したものである。この例では、図の左側で、まずサンプル図形から期待画像が求められる様子が、次に、図の右側では、具体的な手順決定のために種々

の処理が試みられ、それらが左側の期待画像あるいはサンプル図形と比較されている様子がわかる。その結果、図5(c)に示した具体的な処理手順が得られた。次に、図5(c)、(d)を比較すると、PFM1の手順を用いた方がPFM2の手順を用いたものより良い結果が得られた。これは原画像の濃度値構造が領域分割に適さないためであろう。図7は、図5(c)で得られたPFM1に基づく具体的な処理手順を別の原画像に適用した例である。

以上の結果より、本構成方法で得られた処理手順は、サンプル図形にかなり近い図形を抽出できること、および、その手順は別の画像にもある程度適用可能であることが知られる。

4.2 粒子画像への適用

別の応用例として粒子画像に本方法を適用した結果を図8に示す。原画像は顕微鏡画像で濃度レベル数256、画像の大きさ256×256画素である。図8(a)および(b)は、それぞれ実験に用いた原画像およびサンプル図形の例であり、それらを入力とし、PFM1およびPFM2に基づいて自動構成された手順ならびに処理結果をそれぞれ図8(c)および(d)に示

す。この例では、PFM 1 による手順よりも PFM 2 による手順の方がわずかに良い結果が得られた。これは 4.1 節の場合と異なり原画像の濃度値構造が比較的単純で領域分割に適しているためであろう。

5. む す び

本文では、与えられた入力画像から抽出したい画像特徴を、サンプル図形の形で原濃淡画像の上書き込んで計算機に伝える方式の画像処理エキスパートシステム IMPRESS の実現例として、面図形抽出手順自動構成方法を開発し、それを実際の胸部 X 線写真の肋骨領域抽出、および、顕微鏡画像からの粒子成分の抽出に適用した。その結果、与えられたサンプル図形にかなり近い図形を抽出する手順が具体的に構成でき、面図形抽出手順の自動構成が原理的に可能なことが示された。

今後、システム全体の機能の強化、とくに既に報告されている線図形抽出手順自動構成部¹²⁾との統合、原画像とサンプル図形の組が多数入力された場合の手順構成、サンプル図形の特徴量の計測とその利用方法の開発、および、点図形抽出手順の自動構成方法の検討などを進める予定である。

謝辞 試料画像を提供していただいた電子技術総合研究所の坂上勝彦博士、ならびに、日頃熱心に御討問いただく研究室諸氏に感謝する。なお、本研究には名古屋大学大型計算機センター、ならびに、画像処理パッケージ SLIP¹⁾ および SPIDER²⁾ を利用した。また、本研究の一部は文部省科研費（特定「多元知識情報」、奨励(1) No. 61750328) によった。

参 考 文 献

- 1) 鳥脇, 福村: 画像処理サブルーチンライブラリー SLIP について, 情報処理学会論文誌, Vol. 22, No. 4, pp. 353-359 (1981).
- 2) 田村, 坂根, 富田, 横矢, 金子, 坂上: ポータブル画像処理ソフトウェアパッケージ SPIDER の開発, 情報処理学会論文誌, Vol. 23, No. 3, pp. 321-328 (1982).
- 3) 田村秀行: エキスパート・ビジョン—画像処理と知識工学の接点—, 第 16 回画像工学コンファレンス論文集, 4-1, pp. 89-94 (1985).
- 4) Nazif, A. M. and Levine, M. D.: Low Level Image Segmentation: An Expert System, *IEEE Trans. PAMI*, Vol. PAMI-6, No. 5, pp. 555-577 (1984).
- 5) 鈴木, 鳥脇: 画像処理用言語 HILLS とその支援システム SDIP, 電子通信学会論文誌, Vol.

J 68-D, No. 4, pp. 917-924 (1985).

- 6) 田村, 坂上, 久保, 佐藤: DIA-Expert システム意味処理部の試作(1)—設計理念とシステムの機能—, 情報処理学会コンピュータビジョン研究会資料, CV 43-2 (1986).
- 7) 星, 末田, 三亀: 画像処理エキスパートシステム, 第 30 回情報処理学会全国大会論文集, 6 L-6, pp. 1491-1492 (1985).
- 8) 松山, 尾崎: LLVE: トップダウン・セグメンテーションのための画像処理エキスパートシステム, 情報処理学会論文誌, Vol. 27, No. 2, pp. 191-204 (1986).
- 9) 本多, 鈴木, 鳥脇: 画像処理手順の自動生成のための知識ベースについて, 昭 60 電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, p. 456 (1985).
- 10) 折田, 金崎, 小沼, 高藤: 画像処理エキスパートシステムの検討, 電子通信学会技術研究報告, PRU 86-49 (1986).
- 11) 長谷川, 久保田, 鳥脇: サンプル図形の提示による画像処理手順の自動構成方法とその線図形抽出手順構成への適用, 電子通信学会技術研究報告, PRL 85-38 (1985).
- 12) 久保田, 長谷川, 鳥脇: サンプル図形提示による線図形および面図形抽出手順の自動構成方法の実現, 情報処理学会コンピュータビジョン研究会資料, CV 42-5 (1986).
- 13) 高須, 長谷川, 鳥脇: サンプル図形提示方式による面図形抽出手順の自動構成法について, 電子情報通信学会技術研究報告, PRU 87-10 (1987).

(昭和 62 年 6 月 1 日受付)

(昭和 62 年 9 月 9 日採録)



高須 晶英 (正会員)

昭和 61 年名古屋大学工学部電子工学科卒業。現在、同大学院博士課程前期課程在学中。画像処理・知識工学の研究に従事。電子情報通信学会会員。



長谷川純一 (正会員)

昭和 49 年名古屋大学工学部電気・電子工学科卒業。昭和 54 年同大学院工学研究科博士課程(情報工学専攻)修了。同年同大工学部電子工学科助手。工学博士。昭和 57~59 年カナダ・サスカチュワン大学博士研究員。昭和 61 年名古屋大学工学部情報工学科講師。昭和 62 年より中京大学教養部助教授、現在に至る。パターン認識、画像処理、エキスパートビジョンに関する研究に従事。電子情報通信学会、日本 ME 学会、IEEE 各会員。



鳥脇純一郎 (正会員)

昭和 14 年 7 月 20 日生. 37 年名古屋大学工学部電子工学科卒業. 42 年同大学院博士課程修了. 同年 4 月名古屋大学工学部助手. 以後, 45 年同助教授, 49 年名古屋大学計算機センター助教授, 55 年豊橋技術科学大学情報工学系教授, 58 年名古屋大学工学部電子工学科教授を経て, 60 年 4 月より同情報工学科教授. 工学博士. パターン認識, 画像処理, グラフィックス, および, それらの医学情報処理への応用に関する研究に従事. 著書「現代確率論の基礎」(オーム社)(共著). 電子情報通信学会, 日本 ME 学会, 医療情報学会, 米国 IEEE 各会員.