

## 画像処理エキスパートシステム IMPRESS におけるゴール転換機能について

深見幸靖・ 長谷川純一・ 鳥脇純一郎・  
・名古屋大学工学部 ・・中京大学教養部

ゴールを図形で提示すると必要な画像処理手順を自動構成するエキスパートシステム IMPRESS において、従来実現されていなかった上位レベルの制御構造について検討し、その予備実験の結果を報告する。ここでの制御構造の中核は、ある問題の解決に失敗したときそれとほぼ等価な別の問題に置き換えて解く“ゴール転換”の機能である。ゴール転換機能の実現により、従来システム内で個別にしか稼働できなかったいくつかの異なる問題を解く推論エンジンを一つの問題に総動員できるようになるため、個々のエンジンに手を加えることなしにシステム全体を従来の“あきらめやすい”システムからなかなか“あきらめない”システムへと変えることができる。今回は、とりあえずこのゴール転換機能の存在意義を確認することを目的とし、とくに、面図形抽出問題と線図形抽出問題の間の転換にしばり、転換の必要性がどちら方向にも存在することを実際の胸部 X 線像、粒子顕微鏡画像、および、人工的な濃淡画像を用いて確認する。

## GOAL TRANSFORM FUNCTION IN THE IMAGE PROCESSING EXPERT SYSTEM IMPRESS

\*Yukiyasu FUKAMI      \*\*Jun-ichi HASEGAWA      \*Jun-ichiro TORIWAKI

\*Faculty of Engineering, Nagoya Univ.    \*\*Faculty of Liberal Arts, Chukyo Univ.

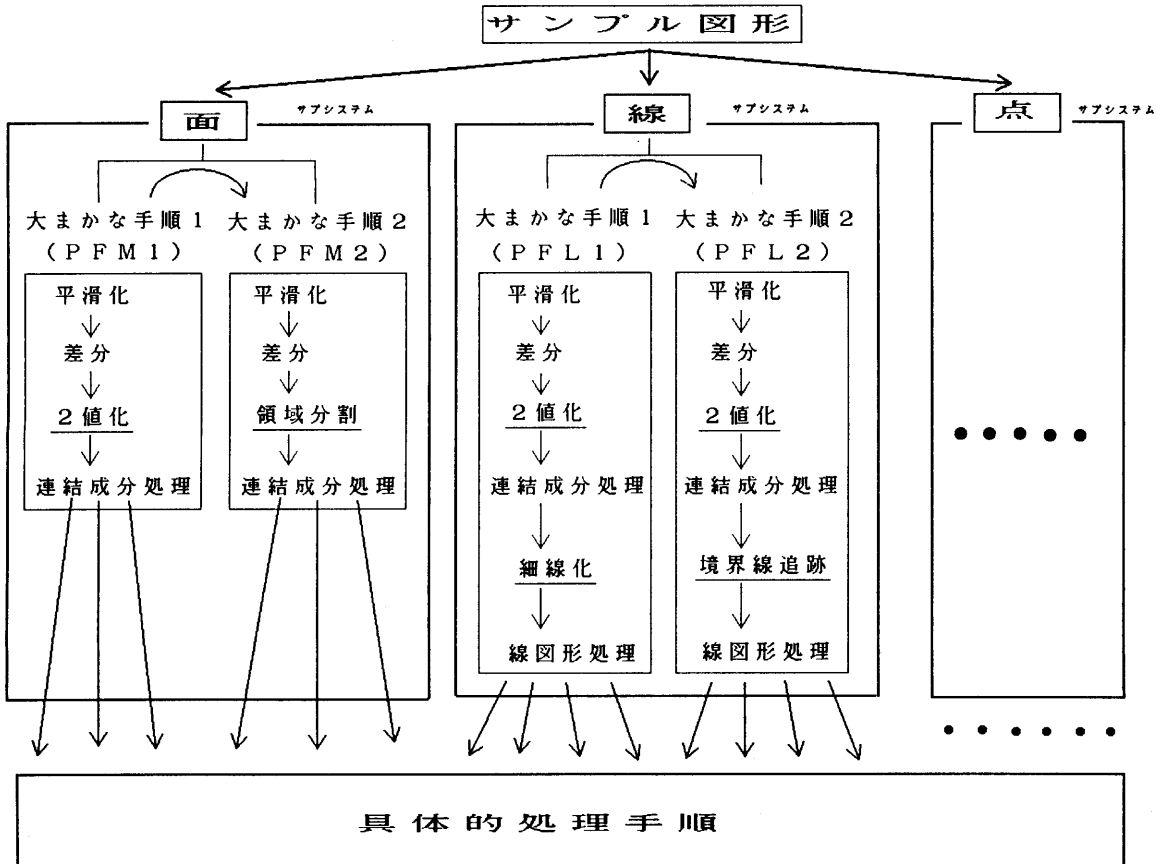
Furo-cho, Chigusa-ku, Nagoya, 464 JAPAN    101, Tokodate, Kaizu-cho, Toyota 470-03 JAPAN

This paper presents an examination of the high level control structure that has not been realized in the image processing expert system IMPRESS which automatically constructs image processing procedures from a sample-figure presented as a goal of the processing, and shows results of experiments. This control structure is a “Goal Transform” that we often employ to solve an analogy problem again instead of the original problem which is more difficult. We can improve the system without improving each reasoning engine if Goal Transform is realized, because we can use the reasoning engine at once. We find the necessity of the transform between mass patterns and closed lines in chest x-ray images, particle microscope images, and artificial gray images.

# 1. ま え が き

画像処理の非専門家に対して、基本的な処理アルゴリズムの知識だけでなく<sup>(1)(2)</sup>、実際面で必要な効果的な処理手順の選択や具体的なパラメータの決定など、画像処理専門家の経験を知識ベースとして提供しようとする画像処理エキスパートシステムの開発が活発に試みられている<sup>(3)-(5)</sup>。現在、筆者らもその一つとして、IMPRESS (IMage PROcessing Expert System accepting Sample-figure presentation) と名づけたゴール提示型画像処理手順自動構成システムの開発に取り組んでいる。このシステムの特徴は、抽出したい画像特徴(処理のゴール)を、ユーザに抽象的な言葉ではなく、サンプル図形とよぶ図形そのもので直接提示させ、それに基づいて最適な処理手順を推論する点にある。現在までに、入力されるサンプル図形が面図形、線図形および点図形の場合の抽出手順

自動構成法がそれぞれ個別のサブシステムとして実現されている<sup>(6)(7)(9)</sup>。そこで次の段階として、各サブシステム間にまたがる制御機能の実現が必要である。その中心的な機能の一つとなるのがゴール転換機能であると考えられる。ゴール転換とは、ある問題を解くこと(ゴールへ到達すること)が不可能かあるいは極めて困難であるとわかったとき、その問題をそれとはほぼ等価で解ける可能性のありそうな別の問題に置き換えることをいい、IMPRESSではゴールを面、線、および点図形の間で転換することに対応する。このような機能が実現すれば、各サブシステムの能力は現状のままでも、システム全体の機能向上につながる可能性がある。本文では、その手はじめとして、IMPRESSにおける面-線間のゴール転換に注目し、その可能性と意義を種々の画像を用いた実験で確認したのでその結果を報告する。



P F M , P F L : procedure frames for mass, line pattern extractions

図1 画像処理手順自動構成システムIMPRESSの制御構造の概要

## 2. システムの概要

上で述べたゴール転換を検討するために、まず現状のIMPRESSの動作を簡単に述べておく。システムは、原画像とそれに対応するサンプル図形を入力されると、まず、(1) サンプル図形に適当な前処理を施した後、(2) その図形特徴に基づいた大まかな処理手順の選択を行う。次に、(3) その手順を基本として、サンプル図形に対応する原画像上の濃度構造の特徴などから具体的処理手順を決定する。最後に、(4) 処理手順の良さをサンプル図形で評価し、良好であれば処理手順を出力する。そうでなければ、(1) または (2) に戻る。また、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は、全ての組からそれぞれの処理手順の構成を終了した後、(5) 得られた複数の(一般には異なる)処理手順を集約し、最終的に一つの処理手順を出力する<sup>(8)</sup>。

以上を行うためのシステム全体の制御は、図1に示すような階層構造をとる。まず、サンプル図形の形状(面、線、および点図形)に応じて、それぞれ専用のサブシステムが用意されている。各サブシステム内にはそれぞれ、いくつかの大まかな処理手順が登録されており、システムは最初にどれか一つ大まかな処理手順を選択し、次に具体的な処理手順を推論する。構成された手順の良否は、その手順で処理した結果とサンプル図形との図形的一致度によって評価する。一致度の値があるしきい値以上ならばその手順構成は成功とし、構成された手順を出力して作業を終了する。失敗の場合には、別の大まかな手順を選択し同様の構成を試みる。すべての大まかな手順について推論が失敗した場合は、手順構成は不可能と判断して終了する。すなわち、各サブシステム内では大まかな手順間でバックトラックが可能だが、サブシステム間(面、線、点間)でのバックトラックは実現されていないのが現状である。

## 3. ゴール転換

上で述べたサブシステム間でのバックトラックを実現する方法の一つがゴール転換の機能である。ここでのゴール転換とは、例えば、図2に示すように、ある領域(面)の抽出問題をその領域の境界線(閉曲線)の抽出問題に転換したり、線図形抽出問題を特徴点抽出問題に転換したりすることに対応し、こうすることによって、例えば面図形抽出手順の構成が全部失敗しても、それを線図形抽出問題に転換して改めて

推論を試みる事が可能になる。

さて、このような転換のあらゆる場合を一度に検討することは困難なので、以下では図2の最初の例のような、「面図形から線図形」、あるいは「その逆」の転換について検討する。ただし、図2にもあるように、面から線へは面の輪郭を抽出することで一意に求まるが、逆に線から面へは一般に決まらないので、ここでは最も単純な場合である閉曲線で与えられる線図形のみを考えることにする。

次に、面図形と線図形間のゴール転換の正当性の検証を行なう前にIMPRESS内の面図形抽出手順および線図形抽出手順それぞれの自動構成サブシステムで用いられている評価尺度(図形的一致度)についてもう少し詳しく言及しておく必要がある。前出の一致度の尺度には、線図形の場合、主にサンプル図形の各点から評価対象図形上の点までの最小距離の平均値、その他を利用している。一方、面図形の場合、サンプル図形と共通部分を持つ連結成分のみを考え、サンプル図形との共通部分の面積を $S_0$ 、サンプル図形との和集合の面積を $S_1$ とした場合、 $S_0/S_1$ を利用している。このように、面図形と線図形で異なった尺度を使っているため、同じ抽出対象に対してサンプル図形を面図形または線図形(輪郭線に対応)で提示した場合、面図形抽出手順推論部で構成された手順と線図形抽出手順推論部で構成された手順の良否を比較するには、どちらかの形状に統一して評価する、すなわち、「同じ「土俵」で勝負」する必要がある。ここでは、最初に提示されたサンプル図形の形状に統一することにする。例えば、線図形から面図形への転換が行われた場合、面図形に転換して構成された手順による処理結果(面図形)をいったん線図形にして、最初に与えられたサンプル図形(線図形)との線図形一致度を求め、この値を初めから線図形として処理した結果の線図形一致度と比較する。逆に、サンプル図形が面図形で与えられた場合も同様である。

ところで、ゴール転換はどのような対象が与えられたときに起こる(あるいは起こるべき)であろうか。これをある程度予想するために、IMPRESSの各手順推論部で用いられている大まかな手順の内容についても少し触れておかねばならない。線図形抽出手順構成部には図1のように大まかな処理手順が2つ登録されており、サンプル図形が閉曲線の場合に限って、境界線追跡が軸となっている手順の方(PFL2)を

主力として推論を行なう。面図形の場合には、2値化が軸となっている手順の方（PFM1）が主力となっている。また、本システムの手順推論では、構成すべき大まかな処理手順をいくつかのモジュール・グループに分け、“期待画像”という考え方を利用している<sup>(6) (7)</sup>。期待画像とは各処理モジュールに入力されるべき画像で、サンプル図形を用いることにより処理手順とは逆方向に逐次的に推定される。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。例えばPFL2の場合、{平滑化、差分}、{2値化、連結成分処理}、{境界線追跡、線図形処理}の三つのモジュール・グループに分け、サンプル図形を出発点として境界線追跡直前および2値化直前の期待画像を順に推定する。PFM1の場合、{平滑化、差分}、{2値化、連結成分処理}の二つのモジュール・グループに分け、2値化直前の期待画像を推定する。

PFM1において、2値化のしきい値の決定方法は次のようである。原画像に既に決定された平滑化、差分を施した結果に対し、ある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が最大となるようなしきい値を決定する。ところがPFL2では、しきい値を変化させずサンプル図形上の平均濃度値をしきい値としている。これは図3に示すように境界線追跡直前の期待画像の推定に図形的な一致度がうまく利用できないからである。

このように画像処理の中でも重要な処理であるしきい値処理のパラメータの決定方法の違いが大きく効いてくるはずである。即ち、抽出対象が閉曲線なら、サンプル図形を面図形で提示し、面図形抽出サブシステムで手順推論したほうが良いことが予想される。ところが、抽出対象内の濃度値構造にかなりばらつきがある場合や濃度値構造が図4に示すようなパターンになっている場合などは、全体を面として一回の処理で一度に抽出させるのは無理のときもある。即ち、領域全体をもち上げることは無理だが境界線近傍のみをもち上げることは可能なきは、線のほうが良い。以上のことは人間が対象物を面ととらえるか、線ととらえるかという問題と関係が深い。

#### 4. 実験結果と考察

実験は、同じ抽出対象に対してサンプル図形を面図形と線図形（輪郭線）の2通りで提示する方法をとった。こうすれば、システムが初期

ゴールである面図形抽出手順の推論にすべて失敗して線図形へゴール転換した場合と、その全く逆の場合の両方を同時にシミュレーションできる。具体的には、胸部X線像、粒子顕微鏡画像、および、人工的に作った濃淡画像を試料として、同じ抽出対象に対してサンプル図形を面と線で提示し、それぞれに手順を構成したのち、各結果を比較する実験を行った。なお、粒子顕微鏡画像に限り各結果を先に述べたように同じ土俵で評価を行った。

まず、胸部X線像（濃度レベル数256、画素数150×150）を原画像、ある一本の背部肋骨像を抽出対象とした場合の結果の一例を図5に示す。サンプル図形を線図形として提示した場合が左側、面図形とした場合が右側で、それぞれ上から順にサンプル図形、構成された手順による処理結果、構成された手順である。この例を見ると、サンプル図形を面図形で提示したほうが、明らかに処理結果が良好である。全体では10例実験したが、サンプル図形を線図形で提示した場合、10例中3例までが手順推論に失敗し、残り7例も処理結果が良好でなかった。一方、面図形の場合、10例中1例のみ手順推論に失

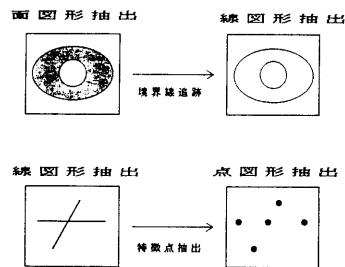


図2 画像特徴抽出問題におけるゴール転換例

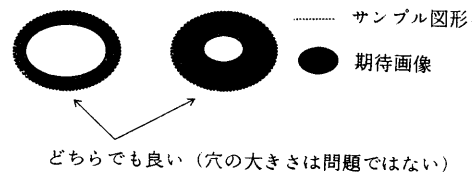


図3 境界線追跡直前の期待画像

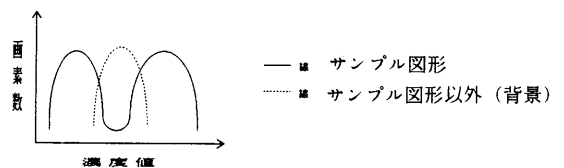
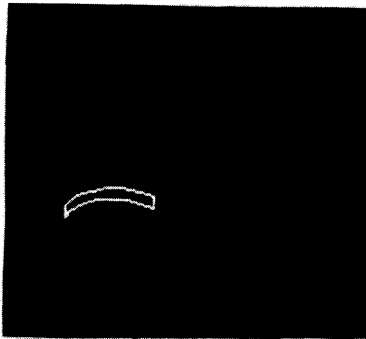


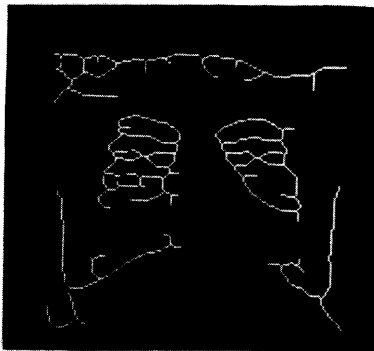
図4 面図形による手順推論で失敗が予想される濃度ヒストグラムパターン

敗したが、9例は手順推論、処理結果ともに良好であった。この結果から、胸部X線像中の個々の背部肋骨像はある方向の差分処理で前処理しさえすれば面図形として抽出しやすく、逆に一本分をそのまま輪郭線としては抽出しにくいという著者らの経験からくる事前の予想と合っている。

なお、この問題の場合、閉曲線ではなくて上、または下の輪郭線のみをサンプル図形とした場合には、線図形抽出手順構成部のみで手順推論ができる。一本の肋骨の上下輪郭線を同時にサンプル図形とした場合には余り良い結果は得られない。



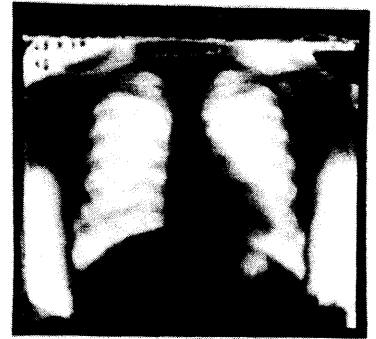
サンプル図形 (線)



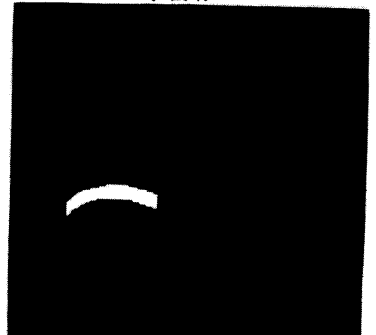
処理結果 (線)

- ・平滑化 一様平滑化
- マスクサイズ 3×13
- ・差分 Prewitt
- ・しきい値処理 しきい値 45以上
- ・小成分除去 743画素以下
- ・フュージョン
- ・細線化
- ・短線除去 長さ64画素以下

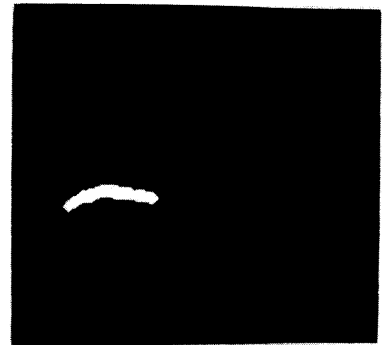
構成された手順



原画像



サンプル図形 (面)



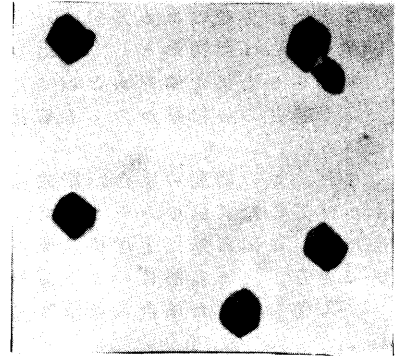
処理結果 (面)

- ・平滑化 なし
- ・差分 二階差分 縦方向 距離12
- ・しきい値処理 しきい値 5以上
- ・フュージョン
- ・小成分除去 185画素以下
- ・重心による除去
- 縦方向 72以下74以上

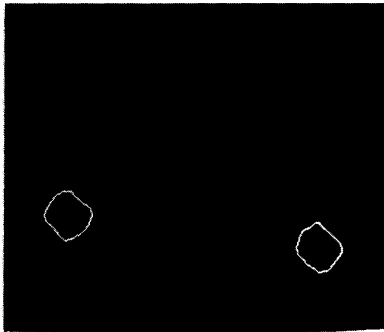
構成された手順

図5 胸部X線像を用いた実験例

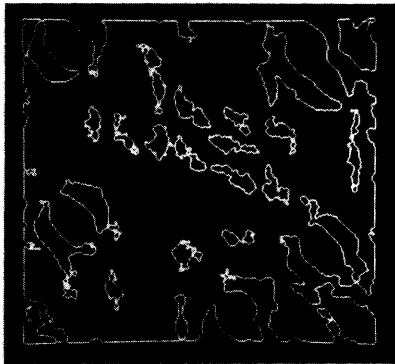
粒子顕微鏡画像（濃度レベル数256、画素数256×256）を原画像、ある粒子成分を抽出対象とした場合の一例を図6に示す。サンプル図形を線図形として提示した場合が左側、面図形として提示した場合が右側で、それぞれ上から順にサンプル図形、構成された手順による処理結果、構成された手順である。この例でもサンプル図形を面図形で提示したほうが、処理結果が良好である。この実験では、種類の異なる16枚の粒子画像に適用したが、16例中15例は面図形で提示したほうが手順推論が良好に行われ、先の胸部X線像を用いた場合と同じく、予想通りの結果となった。



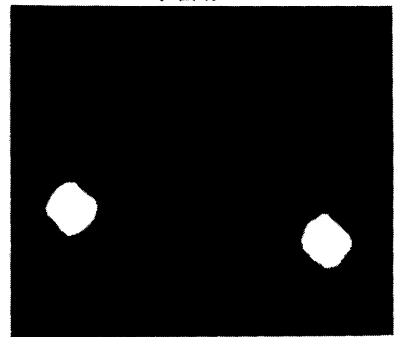
原画像



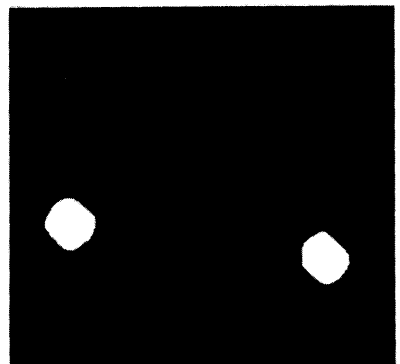
サンプル図形（線）



処理結果（線）



サンプル図形（面）



処理結果（面）

- ・平滑化 一様平滑化  
マスクサイズ 9×9
- ・差分 二階差分 ↗45° 方向 距離10
- ・しきい値処理 しきい値 -2以上
- ・フュージョン
- ・境界線追跡
- ・短線除去 長さ60画素以下

構成された手順

- ・平滑化 一様平滑化  
マスクサイズ 5×5
- ・差分 8方向ラプラシアン  
↘45° 方向 距離72
- ・しきい値処理 しきい値 21以上
- ・重心による除去  
縦方向 131以下202以上

構成された手順

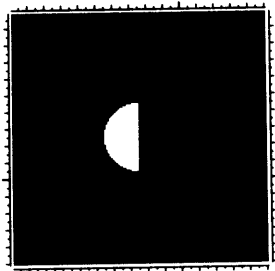
図6 粒子顕微鏡画像を用いた実験例

さて、前の二つの実験の経験から、面図形より線図形の方が良好な手順推論が行われそうな対象を人工的に作って実験した。人工画像（画素数 $150 \times 150$ ）による実験例を図7に示す。この例は、極端に濃度の異なる2つの領域（背景の濃度値100、粒子の左半分の濃度値0、右半分の濃度値200）からなる粒子全体を一回の処理で一度に抽出させようとしたものである。実際に図に示す通り、線の場合はその手順推論に成功したが、全体を面として抽出させようとした場合には失敗した。同じような結果が他の数種類の人工画像の場合でも見られた。

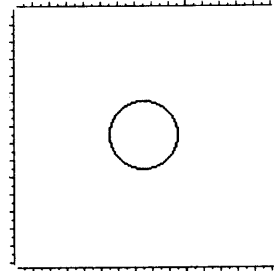
以上まとめると、前章で予想したように、胸部X線像における肋骨像抽出はサンプル図形が線図形（閉曲線）では処理結果が良好ではなく、なかには手順推論失敗例もあった。粒子顕微鏡画像の粒子成分抽出は面図形のほうが手順推論が良好であった。しかし、人工画像、即ち、図4のようなパターンになっている場合は面図形では手順推論に失敗し、逆に線図形としては成功することが確認された。以上より、IMPRESSにおける面図形と線図形間のゴール転換の存在意義が確認された。しかしながら、以下に述べるようにシステム全体としてはまだ検討すべき事柄は多い。

(1) ゴール転換の一般化 本文では面図形と線図形の間のみ、しかも、線図形の方は閉曲線のみ考えているため、より一般的なゴール転換に拡張する必要がある。当面、線図形から点図形へのゴール転換が次の対象となろうが、点から線、線から面、点から面へのゴール転換には一種の仮定という要素が入る可能性があり、その取り扱いはかなり難しいと思われる。

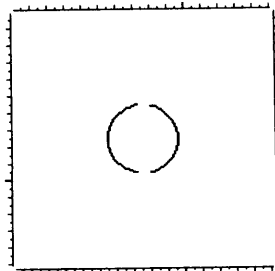
(2) ゴール転換の効率化 本文で述べたゴール転換機能は、あるサブシステムでの推論がすべて失敗したとき初めて別のサブシステムに推論が移ることを前提としているが、初めから失敗しそうなことを何らかの情報で知ることができればより効率のよいゴール転換制御が可能になる。可能性の一つとして、図8に示すような制御構造が考えられる。まず、サンプル図形が閉曲線か否か判別し、そうであれば、次に濃度値情報から面図形として抽出できるかどうかを推論し、できないことがわかればそのまま線図形抽出サブシステムに推論を任せ、それ以外は閉曲線の内部を塗りつぶして面図形に転換した後面図形抽出サブシステムに推論を任せる。ここでは濃度値情報をどのように利用するか検討が必要である。



原画像



サンプル図形（線）



処理結果（線）

- ・平滑化 一様平滑化  
マスクサイズ  $3 \times 3$
- ・差分 一階差分 横方向 距離4
- ・しきい値処理 しきい値 -11以下
- ・小成分除去 309画素以下
- ・細線化
- ・短線除去 長さ47画素以下

構成された手順

図7 人工画像を用いた実験例

## 5. むすび

本文では、抽出したい図形特徴を、直接図形の形（サンプル図形）で提示する画像処理手順自動構成エキスパートシステムIMPRESSにおいて、ゴール転換機能による上位レベルの制御構造の可能性を検討した。ここではその手はじめとして、面図形と線図形間のゴール転換に問題をしばり、その正当性および必要性について実際の画像ならびに人工画像を用いて検証した。すなわち、面図形抽出問題を線図形抽出問題へ転換した方が良い結果が得られる例、および、その逆の例の存在を確認した。このことは、IMPRESSにおいて、個々の手順推論部の能力は現状のままでも、ゴール転換という知的処理によってシステム全体の機能向上が可能となることを意味する。今後の課題として、ゴール転換の効率化、他の種類のゴール転換の検討などがある。

謝辞 最後に日頃熱心に御討論頂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、並びに画像処理パッケージSLIPおよびSPIDERを利用した。また、本研究の一部は文部省科研費および中京大学特定研究助成金によった。

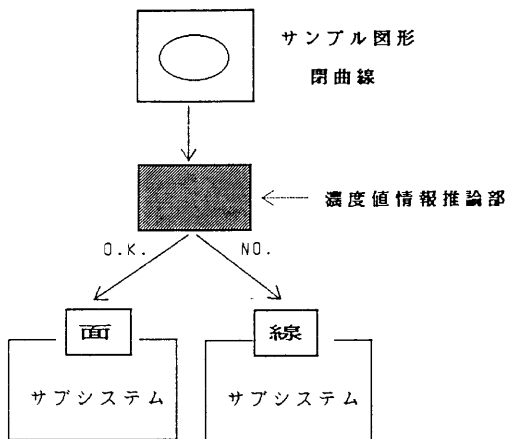


図8 ゴール転換の効率化

## 参考文献

- (1) 鳥脇, 福村: “画像処理サブルーチンライブラリSLIPについて”, 情処学論, 22, 4, pp.353-359 (July 1981)
- (2) 田村他: “ポータブル画像処理ソフトウェアパッケージSPIDERの開発”, 情処学論, 23, 3, pp.321-328 (July 1982)
- (3) 田村: “エキスパート・ビジョン—画像処理と知識処理の接点”, 第16回画像工学コンファレンス論文集, 4-1, pp.89-94 (1988)
- (4) 特集: 画像処理エキスパートシステム, 情報処理学会論文誌, 29, 2 (Feb.1988)
- (5) 白井編: パターン理解, 第7章 エキスパート・ビジョン, オーム社 (1987)
- (6) 長谷川, 高須, 鳥脇: “サンプル図形提示方式による画像処理エキスパートシステムIMPRESS”, 信学論D, J-70-D, 11, pp.2147-2153 (Nov.1987)
- (7) 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”, 情処学論, 29, 2, pp.134-141 (Feb.1988)
- (8) 長谷川, 久保田, 高須, 鳥脇: “画像処理エキスパートシステムIMPRESSにおける画像処理手順集約機能について”, 情処学論, 29, 2, pp.126-133 (Feb.1988)
- (9) 野村, 長谷川, 鳥脇: “画像処理手順自動構成システムIMPRESSにおける特徴点抽出手順自動構成法の実現”, 情処学CV研資, CV54-4 (May 1988)
- (10) 深見, 長谷川, 鳥脇: “ビジョンエキスパートシステムIMPRESSにおけるゴール転換について”, 1989信学春季全大, D-584 (Mar.1989)