

コンサルテーション型画像処理用エキスパートシステム†

鳥 生 隆** 岩 瀬 洋 道**
後 藤 敏 行** 吉 田 真 澄**

多様化、高度化の傾向が強まっている画像利用ニーズに対応するため、これまでに構築された画像処理用サブルーチンパッケージの有効活用が課題となっている。これに対処するために筆者らはシステムがパッケージ内の技法を自動的に選択あるいは組み合わせて目的に応じたアルゴリズムを構築できる画像処理用エキスパートシステムを開発し、初心者でも容易に画像処理を実行できるようにした。この開発にあたっては、画像処理の専門知識をデータベース化し、それを活用することで対象画像の性質や処理目的に応じた画像処理アルゴリズムを自動的に構築できるようにした。画像処理の専門知識は、専門家の経験に基づくノウハウと各種技法の機能に関する知識の二つに区分してデータベース化し、アルゴリズムの構築は、専門家の経験に基づく処理の流れの推論と、技法の知識に基づく最適技法選択の二段階で行うようにした。過去の経験は260個のプロダクションルールで表現し、技法の知識は160個のフレームで表現してある。このシステムを利用すれば、画像の性質に関するシステムからの質問に答えてゆくだけで、初心者でも容易に様々な画像処理が実行できる。

1. ま え が き

画像処理研究の歴史も20年を越え、数多くのアルゴリズムが考案された。その結果、アルゴリズムを構成する様々な画像処理技法の中から、特定の画像だけに通用するのではなく、幅広く活用できる技法をとりまとめた画像処理用サブルーチンパッケージが開発された^{1)~3)}。最近では、多様化、高度化する画像処理ニーズに対応するために、パッケージ内の技法を自動的に選択または組み合わせることで、目的に応じたアルゴリズムを推論する画像処理エキスパートシステムの研究も行われるようになった^{4)~6)}。

画像処理エキスパートシステムは、新しい研究分野であるために、現行の研究はまだ体系化できる段階になっておらず、基礎から応用面まで様々な観点からの研究が進められている。初期の研究として、技法名の系列を入力するだけでプログラムの引数を自動的に設定するシステムが提案され、プログラム作成の効率化が計られた⁷⁾。しかし、ユーザが技法の組合せを決定しなければならないので画像処理の経験者でなければ活用が困難であった。初心者対応として、最近では画像処理の目的や画像が持っている様々な性質に関してユーザとシステムとの間で質問応答をするだけで技法の系列を自動的に導くコンサルテーションシステムの研究が進められるようになった^{8),9)}。また、抽出した

い特徴をサンプルとして提示するだけで、その特徴を抽出するためのアルゴリズムを導く特徴例示型システムも考案されている^{10),11)}。

こうした中で、本稿で述べる画像処理エキスパートシステムは、これまでに構築された画像処理システムの有効活用を目指したコンサルテーションシステムとして位置付けられる。これは、とくに汎用的な利用目的をもって開発された会話型画像処理システム^{12)~14)}に対して、マンマシンインタフェースの高機能化を実現するための技術である^{15)~17)}。

一般に、会話型画像処理システムは基本的な画像処理演算を高速に実行する画像処理プロセッサ、および様々な画像処理技法をプロセッサの組合せまたはソフトウェアのプログラムとして実現したサブルーチンパッケージからなる。このシステムの運用にあたっては、画像処理の目的に応じてパッケージ内の適切な技法を選択してその名前を入力することはもちろん、実行に必要なプログラムの引数などの入力が必要である。また、技法の選択にあたっては、各サブルーチンで使用されているプロセッサの特性を把握し、画像処理の効果を的確に予測することが必要である。これは単なるシステムの操作と異なり、画像処理における技法やプロセッサについての知識をもった一握りの専門家でなければできない高度で複雑な作業である。これを初心者でもできるようにするのがコンサルテーションシステムの役割である。具体的には、画像処理システムの中に画像処理に関する知識やノウハウを持たせ、しかもそれらを初心者でも活用できるようにすることで、目的に応じたアルゴリズム（技法の系列）を

† An Expert System for Image Processing—A Consultation System—by TAKASHI TORIU, HIROMICHI IWASE, TOSHIYUKI GOTOH and MASUMI YOSHIDA (Pattern Information Processing Laboratory, Information Processing Division, Fujitsu Laboratories Ltd.).

** (株)富士通研究所情報処理研究部門パターン研究部

導かせる機能の実現にある。

以下、本稿では専門家の画像処理アルゴリズム構築手順を分析した後、それを自動化するために開発したシステムの機能と構成について述べる。さらに、実画像を用いたアルゴリズム推論事例を紹介する。

2. 画像処理アルゴリズムの構築手順

2.1 専門家による画像処理

画像処理エキスパートシステム開発における問題は、アルゴリズム内に潜む専門家の知識やノウハウの抽出とアルゴリズムの構造への対処である。これを明確にするために、専門家がどのようにして画像処理を実行しているかを考察する。

専門家によるアルゴリズムの構築手順を図1に示す。専門家は、対象画像を念頭において、最初に大まかな処理の流れを推定し、次にそれを実現する具体的な技法を導出する。特に、処理の推定や技法の導出では自らの経験や学習によって得た知識やノウハウを活用することで、目的に応じた画像処理を実行できるようにする。専門家の作業内容をまとめると以下のようになる。

1) 処理の流れの推定

対象画像を見ることで、画像の持っている様々な性質をとらえる。その後、それが自らの処理目的の達成にとって有益かどうかを過去の経験に照らし合わせながら判断し、画像処理の実現に対する大きな流れを構築する。例えば、風景画像などで空、雲、海を個別に分離する領域分割という目的に対しては、“まず、画像中に散在している細かい雑音を取り除き、次に、ぼけて見えるのを鮮明にして、そして…”のように言葉による概念として表現する。

2) 技法の選択

概念的に表現した大きな流れが実行できるアルゴリズム（技法の系列）を作成する。ここでは最初に、数

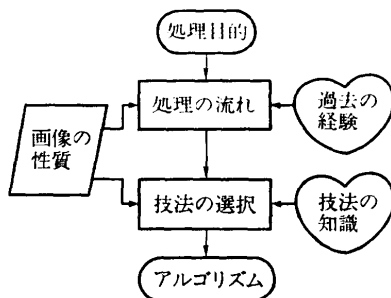


図1 専門家の手順

Fig. 1 Algorithm constructing flow by experts.

多く存在する様々な技法を思い浮かべながら、“最初の雑音除去はメディアンフィルタ法がよい。次の鮮明化はラプラシアンフィルタによる画像強調法がよい。…”といった多数の技法の選択と組合せを決定する。

2.2 システム化の問題点

画像処理エキスパートシステムを実現するためには、専門家が行っている作業内容を定型化し、それをシステムに盛り込まなければならない。一方、専門家が自分の目や頭で実画像から獲得する画像の性質は、それと同様のことが素人でも実行できるようなマンマシンインタフェースを実現する必要がある。

そのときの具体的な問題点は次のようになる。

1) 画像の性質

画像を見た素人に対して、日常的な言葉での会話を通じてシステムが画像に関する専門的な性質を把握できるようにする。

2) 処理の流れ

専門家の持っている経験的知識をデータベース化し、それによって処理の流れが推論できるメカニズムを構築する。

3) 技法の選択

画像処理の概念と具体的な技法との対応付けをデータベース化し、それを用いて最適な技法が選択できる推論メカニズムを構築する。

3. エキスパートシステム

3.1 機能概要

開発したシステムの機能概要を図2に示す。システムの実現にあたっては、図1で示した専門家によるアルゴリズムの構築手順をそのままコンピュータの世界

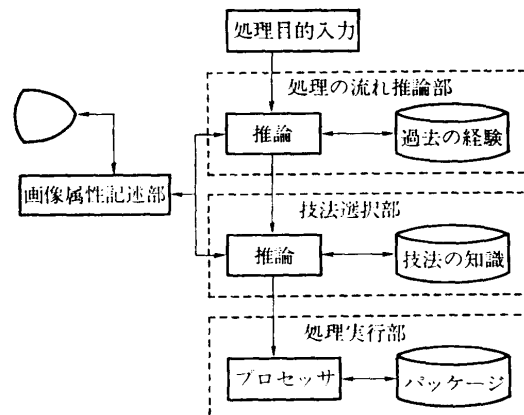


図2 機能概要

Fig. 2 Functional configuration.

に移行させた。このシステムでは最初にユーザが自分の実行したい処理目的を入力する。これは TSS 端末の画面上に表示するメニューを選択すればよい。あとは、図 2 の流れにそってアルゴリズムが自動的に構築される。

画像の性質は画面を介した人間とシステムの質問応答によって把握され、その結果は画像属性記述部に記入される。処理の流れは専門家の過去の経験を知識ベースとしてルールベース化し、技法はそれぞれのもつ処理効果をフレーム構造でデータベース化した。知識ベースの適用による推論は処理の流れ、技法の選択のいずれの場合もプロダクションシステムで実現した。

選択された技法は処理実行部に送られる。そこでは、多数の技法からなるパッケージと画像処理プロセッサがあり、それらによって推論されたアルゴリズムは直接実行されるようになっている。

3.2 画像属性記述部

システムは“きず、しみ”、“太い、細い”、“あらい、細かい”などの言葉で利用者に対象画像についての質問を行い、その答えから雑音の程度、線幅、テクスチャの状態などの性質を導く。画像の性質は属性名と属性値で表現される。例えば雑音という性質に関してはユーザに“きずやしみがありますか。”と問いかけ、“かなりある。”と答えれば、システムは属性名が雑音の程度であり、属性値が大であると判断する。

質問応答の結果は画像属性記述部に記入される。ここでは、原画像や一連の画像処理の過程で次々と作られる画像のそれぞれに対して画像フレームが割り当てられ、画像ごとに性質を記入するようになっている。各フレームには属性名ごとにスロットが設けられており、そこに質問応答の結果が記入される。実際には属性名ごとのスロットにはユーザに属性値を問い合わせるための質問用関数がデフォルトとして結合されており、推論部がスロットを参照したが未だ属性値が記入されていなかった時にその関数が起動されてユーザに質問が提示されるようになっている。ユーザの応答結果はスロットに記入されるので同じ質問を繰り返すことはない。なお、濃淡画像か二値画像かといった画像種はシステム自身があらかじめ把握・管理しているので、質問用関数の代わりにデータ属性管理テーブルを参照する関数がデフォルトになっている。また、原画像以外の画像に対しては、その画像がどの画像に対してどの技法を施したことによって得られたのかを示す

画像名: IMAGE001	
画像種	: 濃淡画像
雑音の程度	: 大
細い線状雑音	: 目立つ
画像名: IMAGE002	
細い線状雑音	: 目立たない
MADE-BY	: メディアンフィルタ
MADE-FROM	: IMAGE001

図 3 画像属性記述部の記述例

Fig. 3 Example of description in the image characteristics description section.

MADE-FROM スロットと MADE-BY スロットが設けられており、画像処理の履歴が保存されるようになっている。

図 3 は画像フレームへの記入例を示す。最初に入力画像 IMAGE001 の画像フレームが生成され、推論部から画像種、雑音の程度に関する性質が参照された。スロットの値は未記入であったので、データ属性管理テーブルの参照やユーザへの質問が行われ、その結果から画像種が濃淡画像であること、雑音の程度が大であることが記入された。その後、細い線状雑音についての質問応答がされ、その答えから雑音を除去するための技法としてメディアンフィルタが選択され、IMAGE001 は IMAGE002 に変換された。ここで、IMAGE002 の画像フレームが生成され、MADE-FROM スロットには IMAGE001 が MADE-BY スロットにはメディアンフィルタが記入された。さらに、メディアンフィルタ処理によって変化した性質(細い線状雑音が目立たなくなった)に関して変化後の属性値がスロットに記入された。以下、同様な画像フレームの生成と画像の性質に関する質問応答が繰り返されるが、その結果はすべて画像属性記述部に記録される。なお、IMAGE002 のフレームには画像種や雑音の程度に関するスロットが記入されていないが、これらの属性値は MADE-FROM スロットに記入されている画像 (IMAGE001) が持つ属性値をそのまま継承するものとしている。

3.3 処理の流れ推論部

ユーザが入力する処理目的は“特徴抽出”や“領域処理”といった抽象度が高い処理概念であり、その実現には一般に複数個の技法を適切に組み合わせることが必要である。処理の流れ推論部では、ユーザとの質問応答をもとに、抽象度の高い処理概念を段階的により具体的な処理概念の組合せに置き換え(処理概念の展開)、最終的に“雑音除去”、“微分演算”のような

単一の技法で実現できる処理概念（実現機能）の系列を導出する。これらの実現機能は技法選択部に送られ、そこで各実現機能ごとに具体的な技法が選択される。

例えば“特徴抽出”という処理概念を具体化した過程を図4に示す。抽象度の高い処理概念“特徴抽出”は、ユーザとの質問応答を通して“対象物ごとの濃度平均抽出”という処理概念に変換され、その後、“領域分割”と“領域ごとの濃度平均抽出”の組合せに展開される。“領域分割”の処理概念はさらに他のより具体的な処理概念に展開され、最終的に、“雑音除去”、“微分演算”、“エッジの非極大抑制”、“内部領域抽出”、“連結成分のラベル付け”、“領域ごとの濃度平均抽出”といった実現機能の系列が導出される。これらの実現機能は順次技法選択部に送られ、そこで最適な技法が選択される。

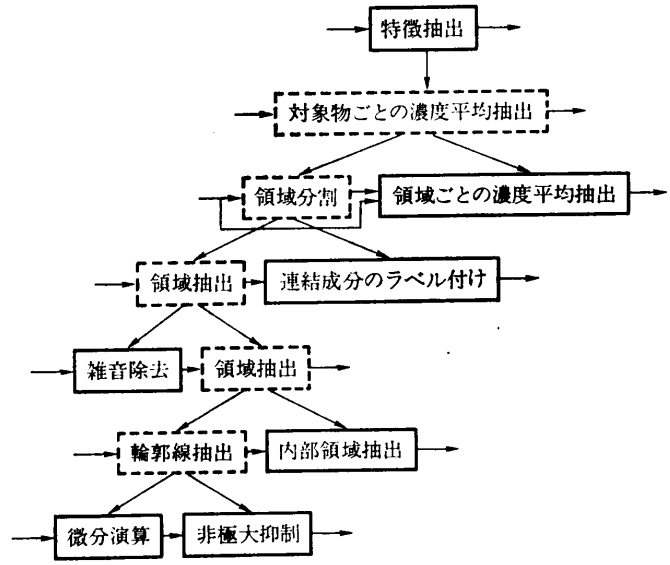


図4 処理概念の展開例
Fig. 4 Example of expansion of an operation.

処理の流れ推論部には処理概念ごとに、それを展開する方法をルールベース化してある。“対象物ごとの濃度平均抽出”に関するルールの例を図5に示す。各ルールは画像が持っている性質を示す条件部（IF部）と、処理概念をどのような他の処理概念の組合せに展開するべきかを指示する展開指示部（THEN部）からなる。

例えば、同図(a)のルールは“対象物ごとの濃度平均抽出”という処理概念を実現するためには、まず入力画像 IN-1 を“領域分割”し、その結果得られる画像 WORK-1 と IN-1 を用いて“領域ごとの濃度平均抽出”を行えばよいことを指示している。また、同図(b)は“領域分割”という処理概念を展開するための二つのルールを示しているが、ルール1は画像種が濃淡画像ならば“領域抽出”と“連結成分のラベル付け”の組合せに展開するべきであると指示しており、ルール2はもし画像種が二値画像ならば“連結成分のラベル付け”の処理を実行すべきであることを指示し

```

(DEFRULE TAISHOUBUTSU-GOTO-NO-NOUDO-HEIKIN-CHUUSHUTSU '(
((NUM-IN 1) (NUM-OUT 1))
(IF T)
(THEN ((RYOUIKI-BUNKATSU (IN-1) (WORK-1))
        (RYOUIKI-GOTO-NO-NOUDO-HEIKIN-CHUUSHUTSU
         (IN-1 WORK-1) (OUT-1))))))
(a) 対象物ごとの濃度平均抽出

(DEFRULE RYOUIKI-BUNKATSU '(
((NUM-IN 1) (NUM-OUT 1))
(IF (IN-1 GAZOU-SHU NOUTAN)))
(THEN ((RYOUIKI-CHUUSHUTSU (IN-1) (WORK-1))
        (LABELING (WORK-1) (OUT-1))))))
(IF (IN-1 GAZOU-SHU NICHI)))
(THEN ((LABELING (IN-1) (OUT-1))))))
(b) 領域分割

(DEFRULE RYOUIKI-CHUUSHUTSU '(
((NUM-IN 1) (NUM-OUT 1))
(IF (IN-1 ZATSUON-NO-TEIDO DAI)))
(THEN ((ZATSUON-JOKYO (IN-1) (WORK-1))
        (RYOUIKI-CHUUSHUTSU (WORK-1) (OUT-1))))))
(IF (AND (IN-1 ZATSUON-NO-TEIDO SHOU)
          (IN-1 TAISHOU-NAIBU ICHIOU))))
(THEN ((IKICHI-KETTEI (IN-1) (WORK-1))
        (IKICHI-SHORI (IN-1 WORK-1) (OUT-1))))))
(IF (AND (IN-1 ZATSUON-NO-TEIDO SHOU)
          (IN-1 TAISHOU-NAIBU ICHIOU-DENAI))))
(THEN ((RINKAKUSEN-CHUUSHUTSU (IN-1) (WORK-1))
        (NAIBU-RYOUIKI-CHUUSHUTSU (WORK-1) (OUT-1))))))
(c) 領域抽出
  
```

図5 プロダクションルールの例
Fig. 5 Example of production rules.

ている。同図(c)は“領域抽出”に関するルールであるが、雑音の程度が大きい場合、雑音の程度が小さくて対象物内部の濃度が一樣である場合、雑音の程度が

小さいが、対象物内部の濃度は一様でない場合のそれぞれについて処理概念の展開方法が記述されている。

ここでの推論は画像属性記述部に記述されている画像の性質と、知識ベース内のルールを照らし合わせることによって行う。ルールの検索は処理概念名をキーとして行うが、推論の順序を制御するために、推論の対象である処理概念名を一定の順序で格納する制御スタックを設けてある。ユーザが自らの処理目的を入力するとシステムはその処理概念名を制御スタックに積む。次にシステムは制御スタックから先頭の処理概念名を引き出し、それに対応するルールを選択する。もし対応するルールが存在しなければシステムはその処理概念は実現機能であると判断し、その実現機能名を技法選択部に通知する。対応するルールが存在するときには、各ルールの条件部と質問応答で得られた画像の性質とを照らし合わせ、両者が一致するただ一つのルールを選択する。最後に、選択したルールの展開指示部に従って処理概念を展開し、その結果として得られる複数の処理概念名を制御スタックに積む。その後、制御スタックから再び処理概念名を引き出し、ルールの選択、処理概念の展開、制御スタックへの積み込みを実行する。このような再帰的な処理概念の展開を繰り返し、制御スタックが空になった時点で推論を終了する。

3.4 技法選択部

技法についての知識データベースは二階層のフレーム構造とした。ここでは処理の流れ推論部から通知されるそれぞれの実現機能を親フレームとし、それを達成する具体的な技法を子フレームとしている。この構造は実際には LISP の属性リストで実現した。“雑音除去”の実現機能に対するフレーム構造を図 6 に示す。親フレームには機能名および最適な技法を選択するために参照する画像属性名が記述されている。その配下につながる子フレームには目的を実現する技法名が記述されており、さらに親フレームの属性名に対応

```
(DEFPROP ZATSUON-JOKYO
 '(GAZOU-SHU ZATSUON-NO-TEIDO HOSOI-SEN-JOU-ZATSUON . . .)
 ATTRS)
(DEFPROP ZATSUON-JOKYO
 '((MEDIAN-FILTER
 (GAZOU-SHU ((IN-1 NOUTAN) (OUT-1 NOUTAN)))
 (ZATSUON-NO-TEIDO ((IN-1 DAI) (OUT-1 DAI)))
 (HOSOI-SENJOU-ZATSUON ((IN-1 DAI) (OUT-1 SHOU))))))
 (MAX-MIN-FILTER
 (GAZOU-SHU ((IN-1 NOUTAN) (OUT-1 NOUTAN)))
 (ZATSUON-NO-TEIDO ((IN-1 DAI) (OUT-1 DAI)))
 (KUROI-TSUBUJOU-ZATSUON ((IN-1 DAI) (OUT-1 SHOU))))))
 (MIN-MAX-FILTER
 (GAZOU-SHU ((IN-1 NOUTAN) (OUT-1 NOUTAN)))
 (ZATSUON-NO-TEIDO ((IN-1 DAI) (OUT-1 DAI)))
 (SHIROI-TSUBUJOU-ZATSUON ((IN-1 DAI) (OUT-1 SHOU))))))
 (AVERAGE-FILTER
 (GAZOU-SHU ((IN-1 NOUTAN) (OUT-1 NOUTAN)))
 (ZATSUON-NO-TEIDO ((IN-1 DAI) (OUT-1 SHOU)))
 (HOSOI-SENJOU-ZATSUON ((IN-1 SHOU) (OUT-1 SHOU)))
 (KUROI-TSUBUJOU-ZATSUON ((IN-1 SHOU) (OUT-1 SHOU)))
 (SHIROI-TSUBUJOU-ZATSUON ((IN-1 SHOU) (OUT-1 SHOU))))))
 (KORITSUTEN-JOKYO
 (GAZOU-SHU ((IN-1 NICHU) (OUT-1 NICHU)))
 .
 .
 .
 ) STATICS)
```

図 6 技法の知識例

Fig. 6 Example of knowledge about modules represented by frames.

したスロットが設けられている。属性名ごとのスロットにはその技法が使用できる条件としての入力画像の属性値、およびその技法が使用された結果としての出力画像の属性値が記述される。例えば、“雑音除去”の実現機能に対しては、“メディアンフィルタ”、“最大最小フィルタ”、“平均化フィルタ”などの技法があるが、画像種が濃淡画像で、雑音の程度が大きく、細い線状雑音が目立つならば、“メディアンフィルタ”が適しており、それを施した結果として細い線状雑音が目立たなくなることが記述してある。

技法の選択は画像属性記述部に記述されている画像の性質とフレームの内容を照らし合わせることによって行う。ここでは、まず処理の流れ推論部から通知された実現機能名が記述されている親フレームを選択する。次に、画像属性記述部に記述されている属性値と、各子フレームに記述してある入力画像の属性値とを比較し、それらが一致する技法名を選択する。さらに、入力画像の属性値と出力画像の属性値が異なるような属性に対して、出力画像の属性値を画像属性記述部に記述する。

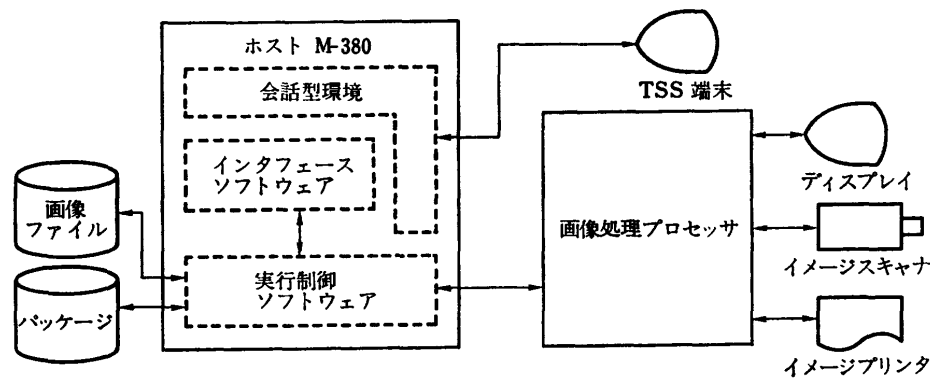


図 7 システムの基本構成

Fig. 7 Basic configuration of the image processing system with which the expert system is incorporated.

表 1 主要諸元
Table 1 Specification.

項目	諸元	
言語	UTILISP	
プログラム規模	7,000 ステップ	
知識数	プロダクション	260 ルール
	フレーム	160 フレーム
技法数	120 個	
画像属性数	40 個	

4. システムの構成

開発したシステムの構成を図 7 に示す。システムは汎用大型コンピュータ FACOM M-380 をホストとし、その配下に画像処理プロセッサ、TSS 端末、パッケージならびに画像ファイルを配置した。画像処理プロセッサにはイメージスキャナ、ディスプレイ、イメージプリンタなどの各種入出力機器が接続する。画像処理プロセッサは 16 MB の大容量画像メモリーと順序フィルタ、空間フィルタ、ラベリングなどの基本的な画像演算を実行する 11 種類の専用ハードウェアモジュールを備えている。また、パッケージにはハードウェアモジュールを制御することでメディアンフィルタやソーベルオペレータなどの 120 種の技法を実行できるフォートランのサブルーチンが収められている^{12), 13)}。

ホストコンピュータ上には画像処理プロセッサ、パッケージならびに画像ファイルを制御するための実行制御ソフトウェアシステムを搭載した。また、会話型環境のもとで実行制御ソフトウェアシステムを容易に利用できるようにすることを目的として、インタフ

表 2 それぞれの処理目的の内容
Table 2 Content of each image processing goal.

処理目的名	内容
画質改善	雑音除去、濃度変換、高域強調、シェーディング補正等の処理によって画像を見やすくする。
領域処理	一様な背景中に複数個の対象物が孤立して存在しているような画像に対して、閾値処理や輪郭線抽出処理によって対象物が占める領域を抽出する。また、連結成分のラベル付けによって画像を領域ごとに分割したり、連結成分の計数や縮退化処理によって対象物の個数を計測する。
位置合わせ	SSDA 法によって二枚の画像の位置ずれを補正したり、方向ヒストグラムの比較による角度差検出と回転、投影分布の比較による平行移動量検出と平行移動によって二枚の画像中の対象物の位置ずれを補正する。複数個の対応点をマニュアルで指定することでアフィン変換による位置合わせも行う。
エッジ・線抽出	微分オペレータやテンプレート型エッジ検出オペレータによって画像中のエッジを抽出したり、線強調オペレータ、エッジの細線化、エッジの非極大抑制によって線を抽出する。
特徴抽出	一様な背景中に複数個の対象物が孤立して存在しているような画像に対して、それぞれの対象物の面積、周囲長、円形度などの形状パラメータ、濃度平均や濃度分散などの濃度分布に関する統計量を算出する。対象物ごとに抽出した特徴量の平均や分散なども算出する。
欠陥検出	対象物が占める領域を抽出した後、対象物外形の細かい凹凸や対象物上のきずを検出する。また、対象物ごとの濃淡の一律性や、複数の対象物どうしの濃淡の一律性を判定する。
照合	二枚の画像の位置ずれを補正した後、二枚の画像の類似性を評価する。

ェスソフトウェアシステムを提供した^{13), 15), 16)}。インタフェースソフトウェアシステムは、ユーザとの質問応答を通じて最適な技法の系列を導出するガイド



図 8 処理目的の一覧

Fig. 8 Menu of goals of image processing.

ス、技法名やパラメータを容易に検索・実行できるメニュー選択、技法名やパラメータを直接入力するコマンド入力の三種類の利用形態を備えており、異なった技能をもつ様々なユーザがシステムを容易に操作できるようにになっている。

画像処理用エキスパートシステムはガイダンスとして実現したが、ここでは、TSS 端末を介した質問応答を通じてアルゴリズムが推論され、それを実行する技法名が順次実行制御ソフトウェアシステムに引き渡される。実行制御ソフトウェアシステムはパッケージ内の技法の連結やパラメータの設定を行って実行モジュールを生成し、画像処理プロセッサを起動する。処理結果はディスプレイに表示されるとともに、利用者の指示があればイメージプリンタにも出力される。なお、画像ファイル中の画像を処理したり、処理結果を画像ファイルに収めたりすることもできる。

画像処理エキスパートシステムの主要諸元を表 1 に示す。本システムはメディアンフィルタ、ソーベル・オペレータ、ラベリングなど、約 120 個の技法が扱え、その組合せとして 1000 個以上のアルゴリズムが推論できる。

5. アルゴリズム推論事例

5.1 処理目的の入力

システムは最初に図 8 のような処理目的の一覧を

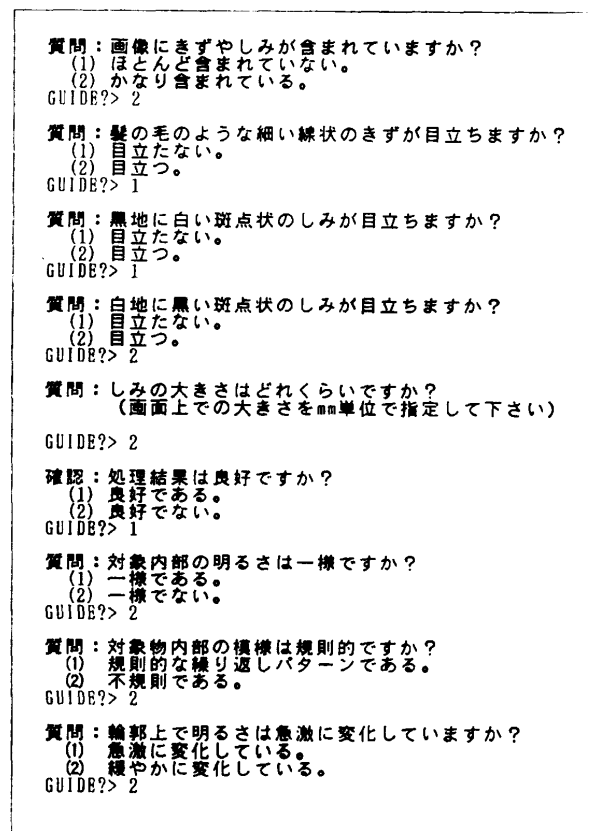


図 9 質問応答例

Fig. 9 An example of questions and answers.

ユーザに提示し、ユーザが行いたい項目を選択させる。この画面には“画質の改善”、“領域処理”などの処理目的名とその内容の概略説明が表示される。各項目の具体的な処理内容を表2に示す。

以下、画像中に含まれているそれぞれの対象物の濃度平均を知りたい場合を例として本システムの動作を説明する。ユーザが処理目的の一覧のなかから“特徴抽出”を選択すると、システムはより詳細な目的を質問する。“形状に関する特徴の抽出か、濃淡の統計量の算出か”という質問に対して“濃淡の統計量”、“どのような統計量か”という質問に対して“濃度平均”、“統計量を算出する範囲は”という質問に対して“それぞれの対象物ごと”と答えると、システムは画像の性質に関して次々と質問してくる。

5.2 質問応答と画像処理の過程

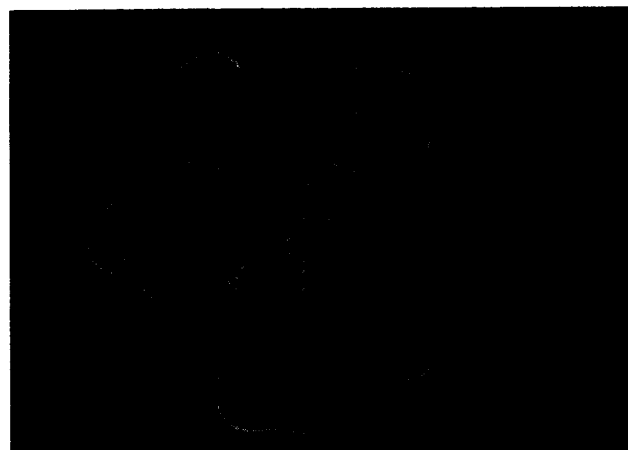
画像の性質に関する質問応答の前半部を図9に、それをもとにしてシステムが実行する画像処理の過程を図10に示す。

“画像にきずやしみが含まれていますか”という質問に対してユーザが“かなり含まれている”と答えると、システムは雑音に関して次々と質問する。ユーザが“細い線状のきずが目立たない；白い斑点状のしみが目立たない；黒い斑点状のしみが目立つ”と順次答えれば、原画像である図10(a)に対して、最大値フィルタと最小値フィルタの繰り返しによって黒い斑点状の雑音を除去する処理を実行する。ここで、処理結果が良好であるかどうかを確認する質問があるが、良好でないと答えると繰り返し回数を変更して処理を再実行する。次に、対象物の数や輪郭に関する質問があり、それらに対して図9に示すように答えていくと微分オペレータによって対象物のエッジを抽出する処理を実行する。その結果を図10(b)に示す。その後、エッジの非極大部分を抑制して輪郭線を抽出した後、線図形の整形、閉領域内部の塗り潰しによって対象物が占める領域を抽出する。さらに、連結成分のラベル付けによって画像を領域ごとに分割し、最後に原画像に対して領域ごとの濃度平均が計測される。その結果を図10(c)に示す。

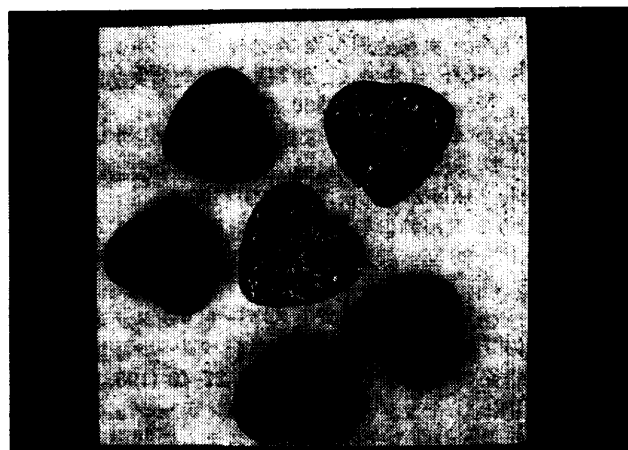
この例が示すように、本システムの利用にあたってはユーザが画像の性質を評価してシステムからの質問に次々と答えていく必要がある。しか



(a) 入力画像
(a) Original image



(b) エッジ検出結果
(b) Result of edge detection



(c) 最終結果
(c) Final result

図10 画像処理の過程

Fig. 10 Image processing lead by conversation between a user and the system.

し、ユーザがパッケージ中の技法名や処理内容、技法の実行に必要なパラメータの種類、目的を達成できる技法の組合せ方など、画像処理の様々な手法や画像処理システムに関する知識を十分に習得していなくても、表2に示す範囲の種々の画像処理を実行できるようになった。

6. む す び

画像処理プロセッサと画像処理用サブルーチンパッケージを備えた汎用画像処理システムを初心者でも容易に扱えるようにすることを目的として、パッケージ中の技法を組み合わせることで目的に応じた画像処理アルゴリズムを自動的に導出できるコンサルテーション型画像処理用エキスパートシステムを構築した。このシステムは専門家の過去の経験にもとづく処理の流れの推論と、各技法の処理効果に関する知識にもとづく技法選択の繰返しによって、処理目的や画像の性質に関してユーザと質問応答を行うだけで画像処理アルゴリズムを導くことができる。

本システムの利用によって画像処理や画像処理システムに関する知識を十分に習得していなくても画像処理を実行できるようになった。

なお、画像の性質をシステム自身が評価できるようにすることで、システム利用時のユーザの負担をさらに低減させることは画像処理エキスパートシステムの研究における今後の重要な課題である。

謝辞 日頃御指導をいただく峯島部長に深謝する。

参 考 文 献

- 1) 鳥脇, 福村: 画像処理のためのサブルーチンライブラリ SLIP について, 情報処理学会論文誌, Vol. 22, No. 4, pp. 353-360 (1981).
- 2) 田村ほか: 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. 321-329 (1982).
- 3) 佐藤ほか: 汎用画像処理装置の開発—ソフトウェア—, 第28回情報処理学会全国大会論文集, pp. 995-996 (1984).
- 4) 田村, 坂上: 画像解析エキスパート・システムのための3種の知識, 電子通信学会パターン認識と学習研究会資料, PRL 83-49, pp. 27-40 (1983).
- 5) 松山, 尾崎: 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の開発, 情報処理学会コンピュータビジョン研究会資料, CV 36-3 (1985).
- 6) Nazif, A. M. and Leveine, M. D.: Low Level Segmentation: An Expert System, *IEEE Trans.*, Vol. PAMI-6, No. 5, pp. 555-577 (1984).
- 7) 坂上, 田村: 処理モジュールの構造的知識を利用した画像処理プログラム自動生成システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 26, No. 4, pp. 652-661 (1985).
- 8) 末田, 星: 画像処理エキスパートシステム—EXPLAIN, システムと制御, Vol. 30, No. 6, pp. 358-365 (1986).
- 9) 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).
- 10) 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合成法とその線図形抽出手順構成への応用, 信学技法, PRL 85-83, pp. 35-46 (1985).
- 11) 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, 電子通信学会パターン認識と画像理解研究会資料, PRU 86-49, pp. 73-81 (1986).
- 12) 山本ほか: 多機能な演算器と豊富なアルゴリズムライブラリを備えた画像処理システム, 電子通信学会論文誌, Vol. J 68-D, No. 4, pp. 925-932 (1985).
- 13) 田中, 更谷, 本田: 富士通画像情報システム: FIVIS, *FUJITSU*, Vol. 37, No. 3, pp. 223-229 (1986).
- 14) 鳥生, 岩瀬, 小松: 画像処理用エキスパートシステム「IPEX」, 第33回情報処理学会全国大会論文集, pp. 1665-1666 (1986).
- 15) 田中, 小松: 富士通画像情報システム—FIVIS—, 昭和62年電子情報通信学会総合全国大会, p. 6-279 (1987).
- 16) 小松, 二本木, 鳥生, 岩瀬: 画像処理エキスパートシステム—IPEX— —会話処理部—, 昭和62年電子情報通信学会総合全国大会, p. 6-280 (1987).
- 17) 鳥生, 岩瀬, 吉田: 画像処理エキスパートシステム, *FUJITSU*, Vol. 38, No. 2, pp. 124-130 (1987).

(昭和62年6月1日受付)

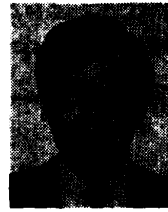
(昭和62年9月9日採録)

鳥生 隆 (正会員)

昭和26年生。昭和50年京都大学理学部卒業。昭和55年同大学理学研究科博士課程修了。昭和57年(株)富士通研究所に入社。以来画像処理方式の開発を経て、画像処理エキスパートシステムの研究に従事。理学博士。電子情報通信学会、人工知能学会、視覚情報研究会各会員。

**岩瀬 洋道 (正会員)**

昭和32年生。昭和55年室蘭工業大学電子工学科卒業。同年(株)富士通研究所入社。情報処理研究部門パターン研究部第一研究室勤務。現在、画像処理の産業応用、エキスパートシステムの研究開発に従事。電子情報通信学会会員。

**吉田 真澄**

昭和21年生。昭和44年北海道大学工学部電子工学科卒業。同年(株)富士通研究所入社。以来ミリ波通信回路の開発を経て、文字認識、図面認識、画像処理および画像理解の研究に従事。電子情報通信学会、人工知能学会各会員。

**後藤 敏行 (正会員)**

昭和27年生。昭和50年東京工業大学理学部物理科卒業。昭和56年同大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻博士課程修了。同年(株)富士通研究所入社。画像処理・画像理解方式の研究に従事。工学博士。電子情報通信学会、視聴覚情報研究会各会員。