

DIA-Expert システムとその知識表現方法†

田村 秀行^{††} 佐藤 宏明^{††}
坂上 勝彦^{†††} 久保 文雄^{††††}

画像処理の専門家のもつ知識・ノウハウを利用して、画像解析・認識の問題解決を支援する DIA-Expert システムについて述べる。これは、対象となる画像とその解析目的が与えられたとき、知識ベースに蓄えられた画像処理モジュールや問題領域に関する知識を駆使して、画像処理モジュールの系列を設計する対話型のエキスパートシステムである。我々は、粒子画像解析用のエキスパートシステム開発などを実際に体験して、画像処理特有の知識の表現を可能にするシェル DIA-Expert Kernel を構築した。対象領域の知識に依存しないこの Kernel は、いわゆるフレームやプロダクションルールといった基本構造の上に、(a) 処理手法選択のための知識、(b) オペレーションの効果・副作用の知識、(c) 画像の状態を評価するための知識、等の記述を容易にする機構を有している。本論文は、総称としての DIA-Expert システムの設計理念を述べるとともに、Kernel における知識表現方法や実行環境について述べる。

1. ま え が き

画像処理技術と知識工学の新しい関わりを目指すものとして、筆者らは数年前から画像解析エキスパート・システム (Digital-Image-Analysis Expert System) の考え方を提唱してきた¹⁾。これは、専門家としての画像処理研究者・技術者の持つノウハウを知識ベース化し、与えられた画像解析・認識の問題に対する解決、すなわち処理モジュール系列の設計と実行プログラムの生成を支援しようというものであった。そこには、画像認識・理解の普遍的な枠組を確立するのは困難でも、対象画像と解析目的を限定すれば、これまでに構築されてきた画像処理・パターン認識技術は十分な問題解決能力がある、との考えが根底をなしている。

画像処理技術自身に関する知識 (用途、使用条件等) の利用と実行プログラムの生成という発想については、類した研究開発が活発に行われるようになってきた²⁾⁻⁸⁾。

しかし、こうしたいくつかの試みからは、まだ画像処理エキスパート・システムとしての一般的な構造を見出すことはできない。また、これまでに開発されたシステムの適用範囲や能力には、かなりの違いがある。これは、エキスパート・システムとして目指すと

ころが異なるだけでなく、画像処理技術に関するノウハウ・知識自体に違いがあるためと考えられる。例えば、末田らの EXPLAIN^{3),4)} や鳥生らの IPEX⁵⁾ は、いわゆるエキスパートシェルを提供しているが、画像処理・解析に関する知識の表現について十分な検討がなされているとはいえない。一方、松山らの LLVE⁶⁾ や長谷川らの IMPRESS^{7),8)} はゴールを明確化することにより、処理結果の評価を自動化している (すなわち、ユーザが介入する必要はない) が、まだまだ限られた画像特徴に関する適応能力しかない。いずれにしても、画像処理・解析に関して、専門家のもつ能力のある一面を把握しているにすぎない。

我々は、DIA-Expert システム構想の実現に当たって、画像処理・解析に関する専門家のノウハウを整理しながら、徐々に知識表現・利用方法を確立していくという方針をとった。これは、いわゆる知識工学の枠組に頼ろうとする前に、画像処理の専門家が問題解決の過程で用いる知識の形態を分析することが肝要であると考えたからである。

具体的には、病理標本画像や流れの可視化画像の解析における我々の知識の整理を試みた後、エキスパートシステム化の対象としては、画像の形態や処理目的が多様な粒子画像を選び、DIA-Expert/PA1 (Particle Analyzer version 1) を開発した。この PA1 における知識の整理をもとに、画像処理・解析に関する知識の記述を容易にする枠組 DIA-Expert Kernel を実現した。すなわち、DIA-Expert Kernel に対象領域固有の知識ベースを結合させて初めて DIA-Expert/PA1 などのエキスパート・システムができるわけで

† DIA-Expert System and Its Knowledge Representation Scheme by HIDEYUKI TAMURA, HIROAKI SATO (Canon Inc.), KATSUHIKO SAKAUE (Electrotechnical Laboratory) and FUMIO KUBO (Stanley Electric Co., Ltd.)

†† キヤノン(株)

††† 電子技術総合研究所

†††† スタンレー電気(株)

あり、DIA-Expert というのはその総称である。一方、DIA-Expert Kernel はいわゆるエキスパートシェル的一种であるが、フレームやプロダクションシステムといった基本構造の上に、さらにもう一層設けて画像処理特有の知識記述の機能を実現したものである。

本論文では総称としての DIA-Expert システムの設計理念や DIA-Expert Kernel による知識表現方法について述べる。DIA-Expert/PA1 のうち、粒子画像解析に関する知識をいかに整理し知識ベース化したかについての事例は別論文⁹⁾に譲る。なお、以下では、例として PA1 特有の用語も若干登場するが、他の領域にも一般化し得る話題についてのみ論じている。

2. DIA-Expert システムの設計理念

2.1 基本機能と前提

DIA-Expert システムとは、対象画像と処理・解析の目的が与えられたとき、それまでに知識ベースとして蓄えられている画像処理モジュールや問題領域 (PA1 の場合、粒子の状態や意味など) に関する知識を駆使して、画像処理モジュールの系列を決定するものである。ここで、DIA-Expert システムの構築と利用に関しては、次の三者が関わることを前提としている。

◆**DIA-Expert Designer (DED)**——画像解析エキスパート・システム構築の基本的枠組である Kernel 部の設計、知識表現方法の検討を行う。現在の Kernel 部は主に特徴量計測の問題に必要な機能を用意している。DED は、問題に応じてその枠組を強化し、知識表現能力を拡張する。

◆**DIA-Expert Engineer (DEE)**——画像解析のエキスパートで、当該分野の処理に十分な経験 (PA1 の場合、実際に多数の粒子画像を扱ったことがあること) を持つ。Kernel 部の上にその知識をインプリメントし、DIA-Expert システムを作成する。

◆**DIA-Expert User (DEU)**——開発されたシステムを利用して、具体的な対象についての解析・処理手順を設計したいユーザである。

DIA-Expert システムは、理想的には画像の初期状態と与えられた目的から、自動的に所望の処理モジュール系列を得たいが、実際には、

- (a) 処理の効果 (作用) が画像の状態によって大きく左右されること
- (b) 画像処理の状態表現をうまく記述できないこと

(c) その自動評価ルーチンが実現しにくいことなどの理由により自動化は難しい。

このため、システムは (1) 入力画像や中間画像の状態、(2) 処理結果の満足度、などを DEU に問いかけることによって、知識処理を制御する必要がある。したがって、多様な対象を扱おうとするほど、システムと DEU の対話が頻繁になる。DEU が画像処理・解析に関する基本的な概念・用語に慣れていない場合は、これを説明する (いわゆる) help 機能を充実させる必要がある。

DIA-Expert システムは、DEE の知識に誘導された DEU のための画像処理手順作成システムと考えることができる。知識処理システムとしての機能は DEE の知識の質に左右されるが、画像処理実験システムとしての機能は処理モジュールのライブラリに依存するところが大きい。したがって、与えられた課題によっては、現状の画像処理技術では目的が達成できないと判定されてしまうこともあり得る。その意味では、DIA-Expert は、手順の設計用試行錯誤システムであり、問題解決可能性の判定システムでもある。

2.2 画像解析過程のモデル化

我々は先に、DEE が行う画像処理手順の設計過程を図 1 のように考え、そこに関わる 3 種の知識について論じた¹⁾。すなわち、与えられた問題 (解析目的と対象画像) を達成するためのサブゴールの設定と処理結果からのフィードバックによる試行錯誤を通じて画像処理手順の作成が行われる。ここで、DEE の知識は、入力画像と目的だけから結論を出せるほど静的かつ確定的ではなく、図 1 に示すプロセスの中で動的に使われている。

サブゴールの設定は、例えば、「画像の 2 値化」とか、「不適當な成分の除去」といった大まかなレベルの処理目的を考えることから始まり、さらに状況判断を行うことで詳細化を行い、最終的に実行モジュール

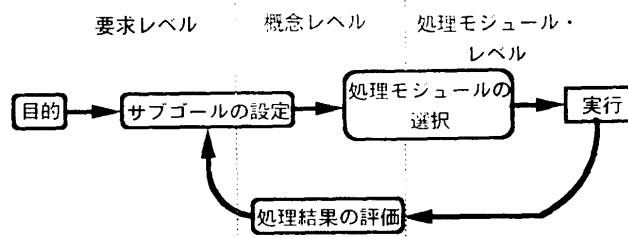


図 1 設計過程における試行錯誤
Fig. 1 Trial-and-error process in the design work of image analysis procedures.

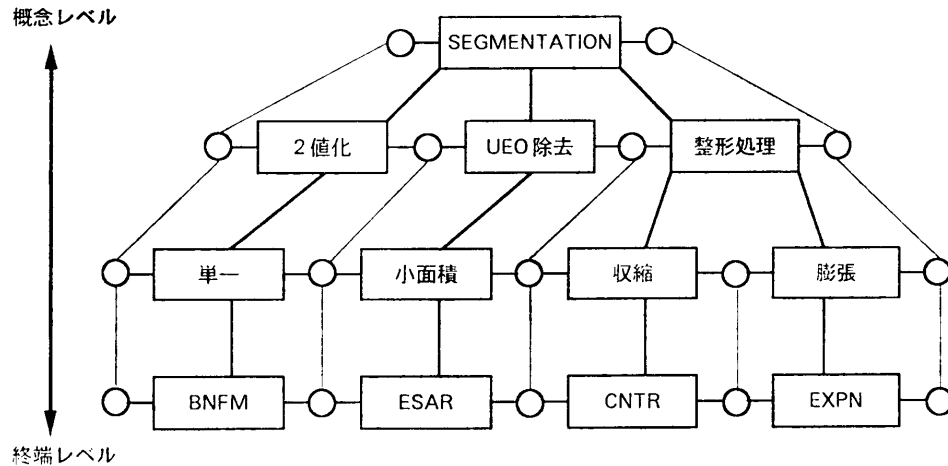


図2 粒子のセグメンテーションのオペレーション木
Fig. 2 An example of the operation tree.

の選択に至る。詳細化の過程では、処理目的を達成する処理モジュールが想定され、この処理モジュールが適切に働くための入力画像の条件を対象画像が満足していないならば、条件を満たすのに必要な前処理を適用する。また、処理モジュールの効果・副作用が思いのほか異なる場合は、実際の処理結果を見て判断する。得られた処理結果が処理目的を満足していない場合、状況に応じ、

- ① 適切な出力画像となるように後処理を加える
- ② 別の実行モジュールを選択する
- ③ 処理系列自体を変更する。あるいは、別のサブゴールからアプローチする

などの方法をとる。DIA-Expert システムもまた、このような問題解決プロセスを実行できるよう設計する必要がある。

ここでは、画像解析の大まかなレベルから詳細レベルまでの処理をすべて「オペレーション」と呼ぶ。オペレーションには大別して、「端末オペレーション」と「概念レベル・オペレーション」の2種類がある。端末オペレーションとは、画像処理実行部（後述）で用意されている実行モジュール群である。一方、概念レベル・オペレーションとは非端末オペレーションの総称であり、抽象度の高いものから端末に近いレベルまで階層がある。

DIA-Expert システムは、高位の概念レベル・オペレーションが与えられたとき、その下位レベルのオペレーション系列を選択・展開する。この動作を全オペレーションが端末レベルに到達するまで再帰的に繰り返すことにより、画像処理手順の設計が完了する。こ

例を図2に示した。この例は、「segmentation」という上位の概念レベル・オペレーションが、試行錯誤の結果、「2値化」、「UEO (Unexpected Object: 不要物) 除去」、「整形処理」へと展開され、各々は、より詳細な概念レベル・オペレーションに具体化され、「BNFM (固定しきい値2値化のコマンド)」等の端末オペレーションの系列へ至ったことを示している。

2.3 エキスパート・システムとしての意義

一般に、画像解析は、「与えられた画像から特定の目的に合うように変換された画像を得る変換手順を決定せよ」という問題である。ここでは、特徴量も変換された画像データの形態であると考えている。つまり、画像処理・解析の過程の主要な部分は使用可能な画像処理アルゴリズムを組み合わすことによる画像の変換手順の設計であり、「与えられた画像を初期状態、変換された画像をゴール、画像処理アルゴリズムを作用素とするプランニングの問題」と考えることができる。DIA-Expert システムはこの問題を、上記のオペレーション木の構成要素の選択と展開に帰着させているわけである。

3. 知識表現の方法

3.1 システム構成と画像処理の知識

DIA-Expert システムは、図3に示された知識ベースと操作作用のワークメモリ、それらを参照・操作する推論エンジンおよび図示されていない画像処理実行部から構成されている。ここで使用される知識には、

- (a) 処理手法選択のための知識
- (b) オペレーションの効果・副作用の知識

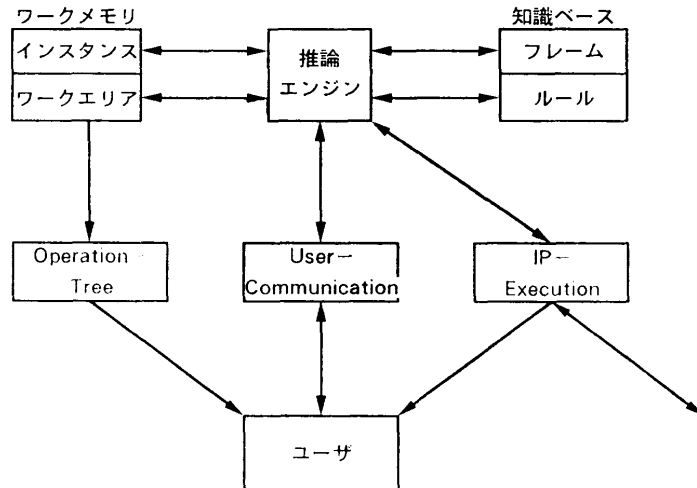


図 3 DIA-Expert システムのモジュール構成
Fig. 3 Internal structure of DIA-Expert system.

等がある。

これらの知識の表現方法として「フレーム」と「ルールシステム」を用いる。(b),(c)はそれぞれ「オペレーションフレーム」、「データフレーム」として表現する。一方、(a)はすべてのプロダクション・ルールの形で表現する。

ワークメモリ内では、インスタンスエリアにオペレーションや画像データのインスタンスが格納され、ワークエリアにオペレーション木、その他の内部情報が格納されている。推論エンジンはルールの制御、適用によりインスタンスを生成し、ワークエリアを更新する。

オペレーション木の選択・展開に必要な知識のうち、

- (a) 処理手法選択のための知識は、さらに、
- (a-1) 上位概念を具体化する系列選択の知識
 - (a-2) 副作用回避のための予防的オペレーションの知識
 - (a-3) 意図した効果を達成するための付加的オペレーションの知識
 - (a-4) 別系列を選択するためのバックトラックの知識

に分けられる。

(a-1) は、上位概念(大まかな機能)をより詳細な機能へと分解し、これらを組み合わせるより具体的な系列を構成するための知識である。これには、「カケの補正を行うときには、膨張、穴埋め、収縮を行う」といった固定的な選択を行うものと、「もし画像中の

不要な物体が目的とする粒子よりも大きければ、面積しきい値処理を行う」といった入力画像の状態による条件付き選択を行うものがある。

(a-2) は、画像処理手法の知識を用いて、その副作用を避け、効果を確実にするための手順の修正に関する知識である。「小面積成分の除去を行う前に穴やカケの補正を行うほうが良い」などはこのような知識の例である。

(a-3) は、特定の機能を達成するために選んだ処理手法の処理結果を評価し、必要な処理効果を補足する処理手法の追加により手順を修正する知識である。これは、例えば、目的とする対象以外の物体を除去する場合に、「不要な物体がある限りいろ

いろな方法の物体除去操作を追加する」といった形で用いられるものである。

(a-4) は、検討中の処理手順を棄却し、別の処理手順を検討するものである。DIA-Expert では、前述の(a-2),(a-3)の知識による処理手順の修正・適応化の能力により、処理結果が不満足であっても直ちにバックトラックを行わない。しかし、DEE 自身が画像処理実験の過程で行詰まったとき、それまで選択した系列を棄却し別の系列へと進むのと同様に、新たな方向へと検討を進めるためにバックトラック機能が用いられる。

3.2 DIA-Expert Kernel における知識表現の枠組

ここでは、DIA-Expert Kernel における知識記述に関し述べる。

3.2.1 ルールの記述

I) ルール記述の枠組み

DIA-Expert Kernel では、ルールは、その適用対象となるオペレーション(およびその状態)ごとにルールセットにまとめられ、図4のように記述する。ルールセット中、OPR はオペレーション名、STAT は状態を示す項で、ルールセット適用後、オペレーションは NEXT の状態に更新される。ルール内の TIMES の項は、バックトラック時などのルール選択の制限に使用される。ルールは IF-THEN 形式を用い、次項の Kernel 標準述語を用いて記述する。

II) Kernel 標準述語

Kernel 標準述語(表1)は、画像処理の知識を書

```
(DEFKS ルールセット名
  (OPR (対象オペレーション 引数リスト))
  (STAT 状態名)
  (MODE モード名)
  (NEXT 状態名)
  (RULE ルール名
    (TIMES 回数)
    (IF 条件部)
    (THEN 操作部))
  (RULE...)
  ...)
```

図 4 ルールセット記述形式
Fig. 4 Description format of rulesets.

表 1 Kernel 標準述語
Table 1 Kernel standard predicates.

述語名	内 容
状態評価用述語	
input-condition	入力画像の状態属性の判定
output-condition	出力 (中間) 画像の状態属性の判定
goal-target	解析目的の指定
selection	メニュー選択
user-qa	ユーザとの質問応答
状態操作作用述語	
replace-op	処理系列の具体化
insert-op	前処理の挿入
append-op	後処理の付加
connect-arg	引数の接続の指定
connected-arg	接続されている引数
push-history	バックトラックするポイントの設定
pop-history	バックトラック
set-par	パラメータの設定
message	メッセージ出力

きやすくするために設けた知識ベース・アクセスのための手続きである。例えば, input-condition, output-condition は, 入力画像, 出力画像 (中間処理結果) の状態属性を判定する述語であり, 内部で判断に必要な画像処理の実行や自動判定ルーチンの起動, ユーザへの質問などを行う。また, replace-op, insert-op, append-op は, 処理系列の具体化, 前処理の挿入, 後処理の付加を行うもので, オペレーション木への部分木の追加やオペレーション, データのインスタンスの生成などを行う。

前節 (a-1) の知識は replace-op, (a-2) は insert-op, (a-3) は append-op, (a-4) は pop-history を用いて記述される。図 5 は, 予防的オペレーションに関するルールを含むルールセットの例であり, OPR で示された小面積成分の除去処理 (Del-small-area) に対し, もし, 入力画像に穴があり, ユーザが穴埋めを許せば, 穴埋め処理を前処理として挿入することを意味している。ここで, 図中の下線部が Kernel 標準述語である。

```
(DEFKS del-small-area-preparation
  (OPR (Del-small-area (*in) (*out) ()))
  (STAT $ Not-Processed)
  (MODE All)
  (NEXT $ Preprocessed)
  (RULE del-small-area-prep-r000
    (TIMES 1)
    (IF (input-condition *in ATTR (Has-hole Hold))
      (user-qa *in "Exec Fill-hole OK?" Hold"))
    (THEN (insert-op (Fill-hole (*a 1) (*a 2) ())))
      (connected-arg *ax *in)
      (connect-arg *ax *al)
      (connect-arg *a 2 *in)))
  ...
)
```

図 5 副作用の回避のためのルールの例
Fig. 5 An example of the rule to reduce side-effects.

```
(DEFRAME オペレーション名
  (SUPER 上位オペレーション名)
  (TYPE オペレーションタイプ)
  (KS ルールセットのリスト)
  (NAME プリント名)
  (ARGUMENTS 引数のリスト)
  (引数名 (TYPE データタイプ名))
  (引数名 (ATTR (属性名 状態名)
    手続き))
  .
  .
  .)
```

(a) オペレーションフレーム

```
(DEFRAME データタイプ名
  (SUPER 上位データタイプ名)
  (VALUE 値)
  (GENMOD 生成オペレーション名)
  (ATTR 属性値)
  (ATTRIBUTE (属性名 (モード 方法 ...)))
  .
  .
  .)
```

(b) データフレーム

図 6 フレーム記述形式

Fig. 6 Description format of frames.

3.2.2 フレームによる知識表現

オペレーションフレーム, データフレームは, 図 6 の形式で記述する。

1) オペレーションフレーム

オペレーションフレームに記述される知識で重要なのは, オペレーションの効果・副作用の知識, つまり出力画像と入力画像の状態変化である。図 7 は, 小面積成分除去の実行モジュール (ESAR) のオペレーションフレーム例であり, 下線部に出力データ output の属性として小面積の UEO がないこと (Has-SUEO Not-hold) などが示されている。また, input-

```
(DEFNAME ESAR
  (SUPER OPERATION)
  (TYPE TERMINAL)
  (KS (NULL-KS))
  (NAME "ESAR")
  (ARGUMENTS ((input) (output) (athr))
  (input (TYPE Bina))
  (output (TYPE Bina))
  (output (ATTR (Has-SUEO Not-hold)))
  (output (ATTR (Has-hole Not-hold)))
  (input-data-condition input Has-hole Not-hold)))
  (output (ATTR (Has-hole $Undef)))
  (athr (TYPE Athr))
```

図 7 オペレーションフレームの例
Fig. 7 An example of the operation frame.

data-condition は出力 output の状態が入力画像に応じて変化する場合に用いる付加手続であり, \$Undef はその状態属性が不確定となることを示している。

2) データフレーム

データフレームの記述で, 重要な知識は, 画像の状態属性を判定する方法である。これにはユーザへの質問によるものと自動判定ルーチンによるものがあり, それぞれ,

(ask-user "prompt" 判定方法)

(auto-mode ルーチン タイプ コメント 判定方法)

のように記述する。「判定方法」には, yes/no, 大小関係等があり, 「タイプ」には, 自動判定を無条件に実行するか, ユーザが要求した場合実行するかの 2通りがある。

3.3 DIA-Expert システムにおける知識表現の特長

A. 手順作成の柔軟性

3.2節の枠組は, 3.1節の知識, 特に, (a-2), (a-3)の知識を表すことに特徴がある。これらの知識は, DEE が実際の試行錯誤の中で行う判断 (各処理手法の効果・副作用を考慮し, 状況に応じてより適切な処理手順へと処理系列を修正する判断) を模倣するためのもので, これにより, DIA-Expert システムは, 前もって登録された手順を選択するのではなく, 断片的に与えられた手順の修正 (前処理の挿入, 後処理の付加等) 方法を用いて徐々に手順を作り上げて行く。このような手順の生成を行う長所は, 少ないルール数で多様な処理系列を生成できるという

点である。実際, n 個の前処理に関するルールは, 順序を無視しても 2^n の前処理の組み合わせを構成し得る。逆に, 前もって組み合わせられた手順を選択する方法で知識ベースを構築するならば, 非常に大量のルールを記述しなければならない。

さらに, 柔軟性を高める要素として, 入力画像だけでなく中間的な処理結果をも判断に使用し, これに応じて必要なオペレーションを追加することができる点が挙げられる。この機能を利用すること

で, 選択した処理モジュールの系列の効果が不十分であったとしても, ただちにバックトラックせず, 段階的に目標とする出力画像の状態まで進んで行く。この過程は, DEE が処理結果に応じ, 必要なサブゴールを再設定して処理を進めていくのと同じであり, 自然な誘導ができるという面でも長所となる。

B. Kernel 標準述語による高水準の記述

一般的なフレームやプロダクション・システムの枠組だけから, 画像処理エキスパートシステムを構築するには, 詳細な制御などの部分までを作らねばならず, 画像処理知識の記述以外の労力が必要である。DIA-Expert Kernel では, 画像処理の実行やユーザとの質問応答など, システムの制御機構に関する部分は, 画像処理知識を表しやすいうように設定された Kernel 標準述語の内部動作として押し込められている。したがって, Kernel 標準述語を用いることによ

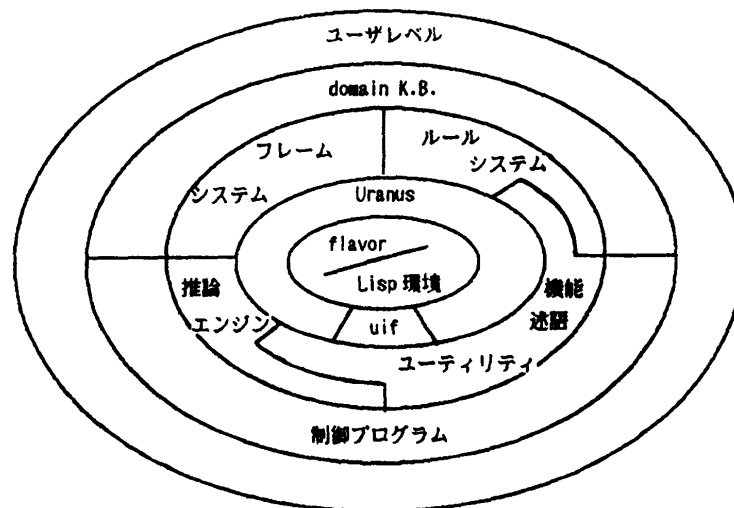


図 8 Symbolics 環境下でのソフトウェア構成
Fig. 8 Software layers upon the lisp-machine environment.

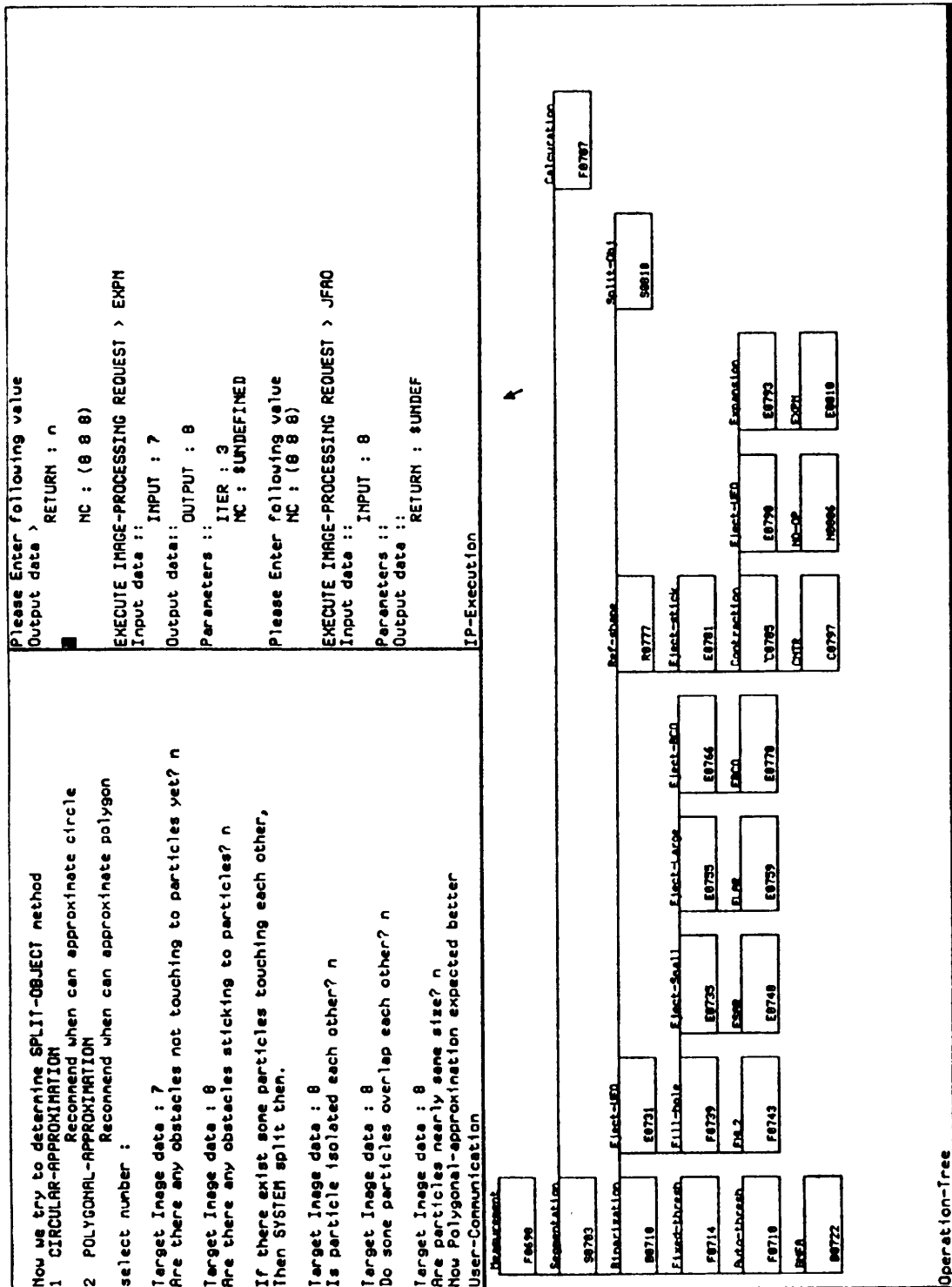


図 9 マルチウィンドウ機能を用いた DIA-Expert/PA1 の実行画面
Fig. 9 A multi-window screen image of DIA-Expert/PA1.

り、通常 DEE が考えるレベルに近い高水準の記述で、画像処理知識を知識ベース化することができる。

C. 画像の状態属性判定のための知識

画像処理エキスパートシステムでは、画像の状態を判定する必要が頻繁にある。DIA-Expert Kernel では、オペレーションフレームに記述された画像処理モジュールの効果／副作用の知識、すなわち、画像処理の結果、どの属性が、どのように変化するかという画像処理モジュール固有の性質を利用して、画像データの状態属性を推定する。また、データフレームに記述された画像データの状態を判定する方法の知識を利用して状態属性の判定を自動化することができる。

4. 実行環境と動作

4.1 実行環境

DIA-Expert Kernel は、Uranus (Prolog/KR¹⁰) の拡張版) 言語で記述された標準的なフレーム・ルールなどの枠組に、Kernel 標準述語などの機能述語、画像処理実行部へのリクエストの生成部などの制御機構を付加したものであり、Lisp マシン Symbolics 3600 シリーズ上に作成されている (図 8)。

DIA-Expert システムは、ユーザ (DEU) が画像および解析目的を提示し、システム側からの質問に答えることによって動作を開始する。ユーザは、図 3 の下半分に示す 3 つのブロックを介して、システムと対話したり、システムの動作を確認したりすることができる。User-Communication は、ユーザとシステムの対話部である。ここで、大半のメッセージはシステムからユーザへの動作の説明か質問である。IP-Execution は、推論エンジンと画像処理実行部との通信内容であり、画像名 (システム内で命名される) やパラメータの値などが授受される。Operation-Tree には、ワークエリア中のオペレーション木の展開状況が示される。

これらは図 9 に示すモニタ上の 3 つのウィンドウに対応している。図 9 の左上が User-Communication、右上が IP-Execution、下半分が Operation-Tree である。画像処理実行部による処理結果は、3 つのウィンドウとは別のイメージディスプレイに表示され、ユーザはそれを見て判断を下す。Operation-Tree ウィンドウでは、水平方向は画像処理オペレーションの系列が、垂直方向にはオペレーションの概念レベルから終端レベルへの具体化が示されている。各列の最も下にあるブロックが実行モジュール名であり、生成さ

れた画像処理手順の系列である。

ここでは、試験的なシステムとして、推論プロセスや画像処理実行部との通信を示したが、システムの完成度が上がり、真のユーザのみが使う場合には、この種のユーザ・インタフェースは最も改良すべきところである。

4.2 オペレーション展開動作

オペレーション木が、ルールによって展開される様子を例を用いて説明する。図 10 は DIA-Expert/PA1 におけるあるサブゴールの達成過程である。ここで、「FHL1」、「ESAR」は実行モジュール名である。

まず、ワークメモリ内のオペレーション木に (不要物 (UEO) 除去) がある (図 10-a)。システムはルールの適用対象オペレーションとしてこれを選択する。「不要物除去」に対するルールセットが選択され、その中のルールの条件部が試される。画像の状態属性を判定するため、処理実行やユーザへの質問が行われ、画像中に目的とする粒子よりも小さい不要物体があると判定すると、「小面積 (成分) 除去」が「不要物除去」処理の一部として生成される (図 10-b)。システムは「小面積の除去」を対象オペレーションとし、「小面積の除去」を行う場合には、前もって「穴埋め」を行うというルールを発火させる (図 10-c)。次いで、システムはこの「穴埋め」を注目し、その対応する終端オペレーションとして、「FHL1」を選択する (図 10-d)。次いで「小面積除去」はこれに続く具体化により終端

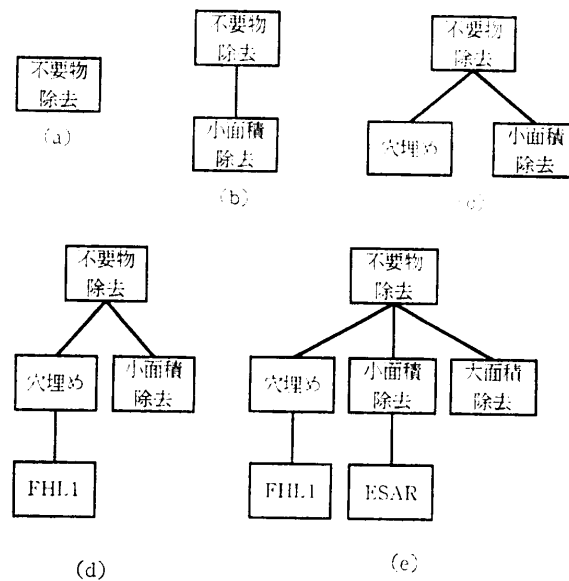


図 10 オペレーション木の展開

Fig. 10 An expansion of an operation tree.

オペレーション「ESAR」に展開される。これにより「不要物除去」は終端オペレーションの系列に展開された。

この後、システムは順に出力画像の状態に関するルールを探索する。「不要物除去」が対象オペレーションとなると、ここには出力画像に不要な物体があるとそれを取り除く処理を追加するルールがある。もし対象粒子よりも大きな不要物があると、ルールの発火により「不要物除去」の内容として「大面積（成分）除去」が追加される（図 10-e）。

以上のように、ルールを適用することによりオペレーション木を展開し、必要な終端オペレーションの系列を発生する。

5. むすび

画像処理の専門家の知識を活用する DIA-Expert システムの設計理念とその知識表現の方法を述べた。具体的には、粒子画像解析を対象とした DIA-Expert/PA1 の開発経験を通して、DIA-Expert Kernel を確立させたが、その知識表現方法は、対象領域に依存しないかなり一般的な形で実現できたと思われる。例えば、選択オペレーションによって動的に変化する対象を木に位置付けたことや、あいまいな作用素によって生ずる効果と副作用に対処する知識を記述することなどは他の開発例にはない新しい試みであり、今後他の領域にも適用し得るものである。

DIA-Expert システムの特徴は、多様な処理対象に応じ、適切な知識を柔軟に組み合わせることにより、多様な処理系列を生成することができる点である。また、その知識表現の方法は、画像処理の専門家の知識を分析することにより作成したもので、画像処理の専門家が自らの豊富な知識を記述しやすくなっている。

知識ベース・システムの最大の効用は、断片的に獲得した知識を統合した形で運用できることにある。一方、ルールとして表現する知識の矛盾の問題がある。これを逆手にとれば、我々の知識自体の首尾一貫性の無さをチェックすることもできる。実際、DIA-Expert システムの構想段階では、画像処理の専門家のノウハウを経験の浅いユーザへトランスファーすることを目標としていたが、この DIA-Expert/PA1 を使ってみた実感では、むしろ画像処理の研究者/技術者自身が自ら経験を反映・統合しながら使うアルゴリズム開発支援システムとしての価値も高い。

本論文の主テーマである画像処理に関する知識表現

の方法は、知識ベースの質には関与できない。しかし、DIA-Expert システム全体の性能としては、PA1 の例を見る限り、手順設計の支援エキスパートシステムとなり得るものである。ただし、これは与えられた（1枚の）画像に関する解析手順の生成について支援を行うだけで、その生成された手順が同種の画像群にそのまま有効なわけではない。多数の画像パターンに適用できるアルゴリズムの設計には、パラメータの調整や手順の統廃合などさらに新しい仕組みを実現しなければならない。これは、現時点ではまだかなり困難な課題ではあるが、本研究はその1ステップとなり得るものである。

謝辞 本研究は、電子技術総合研究所・画像処理研究室で行われたものである。本研究・技術指導の実施に関してご支援下さった関係各位に感謝いたします。とりわけ、Symbolics および Uranus の利用に関して、多大なご協力をいただいた人間機械システム研究室中島秀之氏、言語処理研究室戸村哲氏に深謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 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, 信学技報, PRL 83-49 (1983).
- 2) 田村: エキスパート・ビジョン, 第16回画像工学コンファレンス論文集, 4-1, pp. 89-94 (1985).
- 3) 末田, 三亀, 片桐: 画像処理エキスパートシステム, 東芝レビュー, Vol. 40, No. 5, pp. 403-406 (1985).
- 4) 星, 末田: 画像処理エキスパートシステム知識獲得の一手法について, 第31回情報処理学会全国大会論文集, 8M-2 (1985).
- 5) 鳥生, 岩瀬, 小松, 田中: 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, 信学技報, AI 87-27 (1987).
- 6) 松山, 長崎: 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).
- 7) 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, 信学技報, PRL 85-38 (1985).
- 8) 長谷川, 久保田, 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, 情報処理学会研究会報告, CV 42-5 (1986).
- 9) 久保, 佐藤, 坂上, 田村: 粒子画像解析エキスパートシステム DIA-Expert/PA1, 情報処理学会論文誌, Vol. 29, No. 2, pp. 209-219 (1988).
- 10) 中島秀之: 知識表現と Prolog/KR, 産業図書 (1985).

(昭和62年6月12日受付)

(昭和62年12月9日採録)



田村 秀行 (正会員)

昭和22年生。昭和45年京都大学工学部電気工学科卒業。昭和47年電子技術総合研究所入所。SPIDERの開発等、パターン認識・画像情報処理の研究に従事。画像処理研究室主任研究官を経て、昭和61年4月キャノン(株)入社。現在、同社情報システム研究所知能工学研究部部長。工学博士。昭和60年度論文賞受賞。著書:「コンピュータ画像処理入門」など。IEEE, 電子情報通信学会, 人工知能学会各会員。



佐藤 宏明 (正会員)

昭和35年生。昭和57年東京大学工学部産業機械工学科卒業。同年キャノン(株)入社。現在、同社情報システム研究所に勤務。画像処理システム・知識ベースシステムの研究に従事。



坂上 勝彦 (正会員)

昭和29年生。昭和51年東京大学工学部電子工学科卒業。昭和56年同大学院博士課程修了。同年電子技術総合研究所入所。現在に至る。パターン認識, 画像処理などの研究に従事。工学博士。昭和61年本学会論文賞受賞。IEEE, 電子情報通信学会, 電気学会各会員。



久保 文雄

昭和31年生。昭和55年法政大学工学部電気工学科卒業。同年スタンレー電気(株)入社。技術研究所勤務。画像処理, 知能ロボットの研究に従事。電子情報通信学会会員。