

画像処理エキスパートシステム用知識エディタ

A Knowledge Base Editor for the Image Processing Expert System

松尾昭彦, 斎藤由香梨, 斐東善, 秋元晴雄

Akihiko MATSUO, Yukari SAITO, Tozen HAI and Haruo AKIMOTO

富士通研究所

FUJITSU LABORATORIES LTD.

あらまし 近年、画像処理のニーズの多様化に伴い、画像処理エキスパートシステムの必要性が高まっている。しかし、エキスパートシステム構築上のボトルネックは知識獲得であり、専門家から知識を整理された形で獲得するのは困難である。そこで筆者らは画像処理エキスパートシステム用知識エディタを開発した。このエディタの特徴は二つある。一つは、ルールを人間にとって判りやすい図形にして表示・編集する機能であり、もう一つはルールの矛盾を検出・警告する機能である。またこれらに加えてルールの半自動生成機能についても検討している。これは、ルール間の類似を利用して次に入力するルールの内容を推測するもので、知識の入力と整理の効率向上に対する大きな効果が期待される。

Abstract Recently, numbers of expert systems for image processing have been developed with a view to satisfying the demands of image processing in various fields. And there is a bottleneck of the knowledge acquisition in the process of building expert systems. Then we have developed a knowledge base editor for the image processing expert system. There are two features in this editor. One is the ability that allows users to use diagrams in editing rules for easy handling. The other is to detect the inconsistency among rules. In addition an examination of assisting to create rules is described. It is to infer the rule to be input next, making use of the similarity of the rules in the knowledge base. It is effective for knowledge acquisition and organizing of knowledge base.

1. はじめに

画像処理技術の近年における基礎研究、応用研究の進展に伴い、様々なアルゴリズムが開発、蓄積されており、この数は膨大なものとなっている。一方、画像処理に対するニーズの多様化のために、画像処理の初心者でも処理が行えるようなシステムが必要となってきた。

だが、素人がこの膨大な数のアルゴリズムを使いこなすのは困難である。このため、利用者との対話により画像処理のアルゴリズムを推論・実行するエキスパートシステムの開発が進めら

れている。

しかし、一般にエキスパートシステム構築上のボトルネックは知識獲得であるといわれている通り、画像処理の専門家から知識を整理された形で獲得してシステムに取り込むのは大変困難な作業である。

その困難を軽減させるため、筆者らは画像処理エキスパートシステム用の知識エディタを開発した。このエディタには二つの特徴がある。一つは、ルールの内容を、人間にとって見やすい図形に変換して表示・編集する機能であり、もう一つは、ルール内・ルール間の矛盾を検出

し、警告するという機能である。これらの機能により、ルールの入力・編集・デバッグの作業が大幅に効率化された。

これらに加えて、筆者らはルールの半自動生成機能についても検討している。これは、既にシステムに入力されているルールの内容から、次に入力するルールの一部を推測し利用者に提示する機能である。この機能により、類似が認められる一群のルールの入力に要する手間を大幅に削減することができる。

本稿では、まず画像処理エキスパートシステムの概要とその中の知識エディタの位置付けについて述べた後、知識エディタの図形表示機能、矛盾検出機能、半自動生成機能について述べる。

2. システムの概要

本知識エディタ^{2) 3)}は、富士通画像情報システム「FIVIS」の一環として開発された画像処理エキスパートシステム^{4) 5) 6)}の知識ベースを入力、編集するためのものである。以下にその画像処理エキスパートシステムと本知識エディタの概要を述べる。

2.1 画像処理エキスパートシステム

本システムは会話処理部と画像処理サブルーチンライブラリから構成される。図2.1にシステム構成図を示す。会話処理部はコマンドサブシステム、メニューサブシステム、ガイダンスサブシステムの三つの会話処理形態を持ち、利用者の様々な処理要求レベル及び画像処理に対する知識レベルに対応できるようになっている。コマンドサブシステムは画像処理と本システムに関する十分な知識を持った利用者を対象とし、サブルーチンパッケージ内の技法名とその実行に必要なパラメータをコマンド形式で入力して処理を進めるようになっている。メニューサブシステムは、画像処理に関してはある程度の知識を持っているが、本システムに関しては十分な知識を持たない利用者を対象とし、階層をもったメニューの選択によって目的とする技法を容易に検索・実行できるようになっている。そしてガイダンスサブシステムは画像処理の初心者を対象としており、処理要求及び画像の状態を利用者に問い合わせることによって画像処理アルゴリズムを推論・実行する。

この推論に用いられるルールの実行部には、抽象的な処理目的がより具体的な処理目的の組

み合わせとして記述されており、属性・属性値の組として表された画像の状態がルールの条件部の記述と一致すると、条件部の記述に沿って画像処理が行われる⁷⁾。

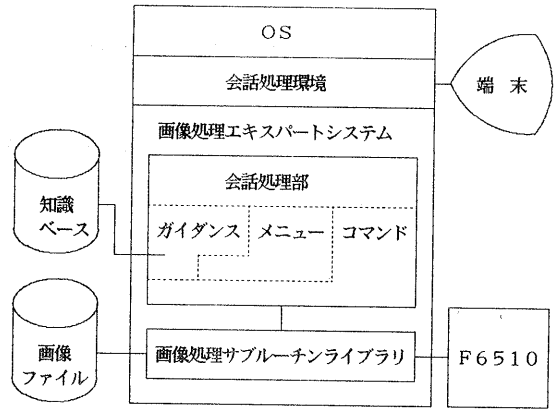


図2.1 画像処理エキスパートシステム構成図

2.2 知識エディタ

筆者らが開発している知識エディタの構成図を図2.2に示す。本エディタは、前述の画像処理エキスパートシステムの知識ベースを入力・編集するツールである。エキスパートシステムの内部に詳しくない画像処理の専門家でも知識ベースを作成できるように、ルールの編集はその内部表現を意識する必要なく行えるようにな

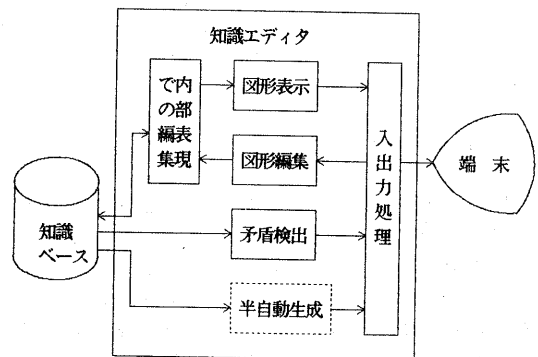


図2.2 知識エディタ構成図

っている。

ルールは図形表現で表示され、その編集には図形を操作するコマンドを用いる。図形操作コマンドは、エディタ内では内部表現への操作に変換される。矛盾検出部は知識ベース内のルール群をチェックし、記述の矛盾を検出する。また、現在検討しているルールの半自動生成部では、知識ベース中にある既存のルール群から次に入力するルールの内容を推測し、表示する。

編集作業は対話的に行い、利用者からのコマンド入力に対してその実行結果が即座に表示される。

3. 図形表示機能

一般に、ある情報が与えられ、その内容を把握しようという場合に、その情報がコンピュータ言語を用いて記述されていたとすると、それらの内容について理解するのは容易ではない。しかし、その情報が図形を用いた形で表現されていると、人間にとって馴染みややすく内容を直観的に理解しやすくなる。

これはルールの内容についても当てはまる。ルールの内容をその内部表現のまま理解し、編集するのは容易ではなく、記述の誤りも起こりやすい。ルールの編集には、人間が直観的に内容を把握できるような表現形式を用いるのが望ましい。

また、特に本エキスパートシステムのルールはその実行部が複雑な処理目的の組み合わせを表しているのので、これを人間にとって判りやすく表示・編集する機能は不可欠である。そこで本エディタでは、ルールを図形に変換して表示編集するという方法を採用している。

```

(DEFRULE
  *方向別微分値検出
  *(CLASS (%VALUE (GENERIC)))
  *(SUPER (%LINK (RULE)))
  *(OUTPUT (%VALUE (4)))
  *(TRIGGER (%VALUE ((方向別微分値検出))))
  *(EXECUTION (%IF-NEEDED (#G:EXPAND)))
  *(CONDITION (%VALUE ((AND (1 画像 濃淡 画像))))))
  *(EXPAND
    (%VALUE (((INPUT:1) 微分 (WORK:1 WORK:6)
      (WORK:1) 四方向分割
        (WORK:2 WORK:3 WORK:4 WORK:5)
        ((WORK:2 WORK:6) AND (OUTPUT:1))
        ((WORK:3 WORK:6) AND (OUTPUT:2))
        ((WORK:4 WORK:6) AND (OUTPUT:3))
        ((WORK:5 WORK:6) AND (OUTPUT:4)))))))
  
```

図3.1 ルールの例 (LISP表現)

3.1 図形による表示

本エキスパートシステムのルールは処理目的ごとに分類され、ある処理目的を達成するために、その処理目的を持つ一群のルールが試される。また、ルールはその実行部の内容によって二つに分類される。一つは技法選択ルールと呼ばれ、その実行部には画像処理サブルーチン名が記述されている。このルールは成功すると直接画像処理サブルーチン呼び出し、画像に対する処理を実行する。もう一つは展開ルールと呼ばれ、その実行部には処理目的をより具体的な処理目的の組み合わせとして展開したものが記述されている。このルールは成功すると、記述されている組み合わせに沿って処理目的を呼び出す。

システム内部では、これらのルールをLISP表現で記述している。このうち展開ルールを記述した例を図3.1に示す。ルールの条件部はCONDITIONを含む1行に記述され、条件が満たされた場合はEXPANDからの8行に記述されている内容が実行される。これだけでその内容を把握するのは、ルールの形式を見慣れた人間にとっても困難である。

本エディタでは、このルールを処理の流れを示す図形表現に変換して表示する。その表示例を図3.2に示す。ここで、箱は処理を表し、線は画像データの流れを表している。この図形表現により、ルールを作成する専門家は一目で現在編集中の内容を把握でき、誤りも容易に発見

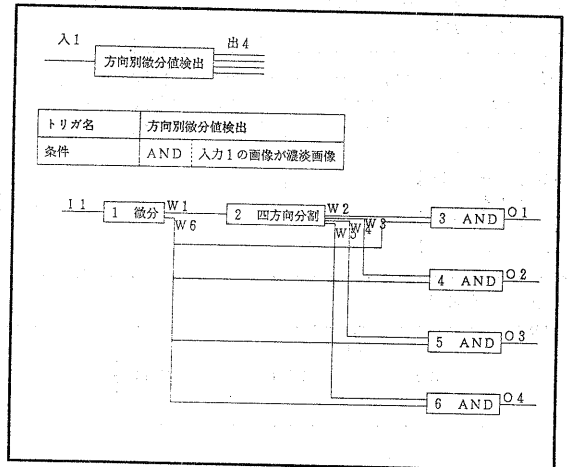


図3.2 ルールの例 (図形表現)

できるようになった。

3.2 図形による編集

ルールを図形で表示できても、その編集に内部表現を意識しなければならないのでは、図形表示の効果は半減する。利用者が、図形に対する直観的な操作によってルールを編集でき、内部表現について知る必要がないのが理想的である。また、操作した効果は即座に画面上に現れ、現在の編集状況が常に表示されていることも必要である。

本エディタでのルールの編集は対話的に行い、

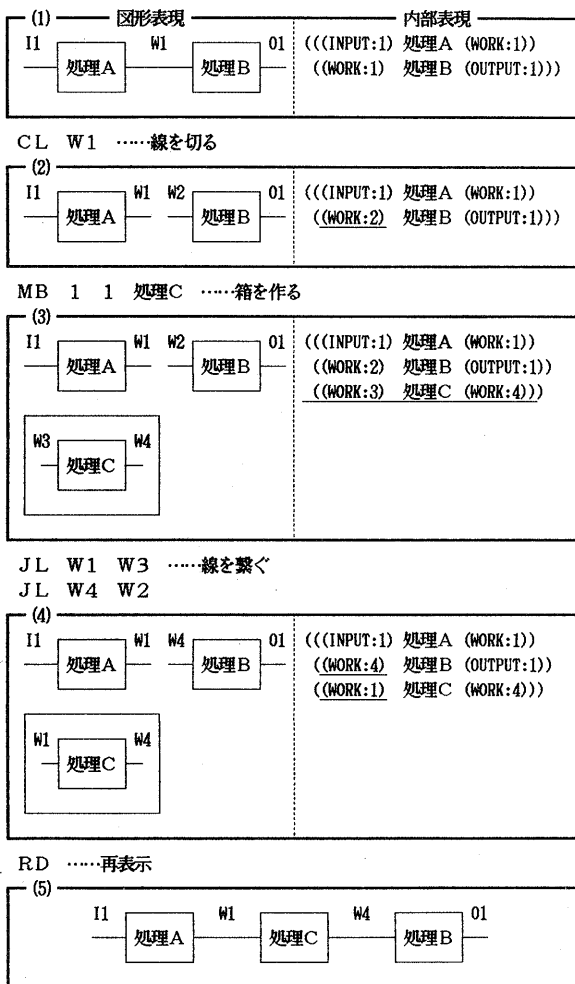


図3.3 図形操作コマンドによる編集例

箱を作る、箱を消す、線を繋ぐ、線を切るという4つの基本的なコマンドを用いる。これらのコマンドによる編集の例を図3.3に示す。編集途中のルールは適宜再表示コマンドを入力することにより消書され、編集結果を確認できる。

また、ルールの条件部は表形式で表示され、書き換え、追加等のコマンドで編集する。

4. 矛盾検出機能

知識ベースの構築中に誤りが入るのは避けられないが、この誤りは知識ベースの完成時までに取り除いておかなければならない。知識ベースのデバッグには、テストケースで推論を実行してその結果が正しいかどうか調べるという方法が考えられるが、この方法ではシステムの推論部が既に完成している必要があり、またテストケースに対して正しい推論結果が得られたというだけでは知識ベースに誤りがないという保証にはならない。そこで、推論の実行に先立って知識ベースの誤りをチェックし、その矛盾を検出し訂正する機能が知識エディタに求められている。

ルールのチェックには、構文的なものとして論理的なものがある。前者は、単にルールの形式の誤りをチェックするもので、本エディタでは入力時にこのチェックを行っている。それに対して後者は、ルール内・ルール間の記述の矛盾をチェックするものである。

構文的なチェックは一般的に行われているが、論理的なチェックはあまり行われていない。しかしこれを行うことによって、ルールのデバッグがルールを入力時から可能になり、デバッグに要する労力を大幅に削減できる。

本エディタでは論理的なチェックとして、一つのルールを対象としたルール内チェックと、複数のルールを対象としたルール間チェックを行っている。

4.1 ルール内チェック

ルール内チェックとは、ルール内の記述の矛盾をチェックするものであり、例えば、決して成功しない条件が記述されていないか、入出力画像数は誤っていないか等が調べられる。

4.2 ルール間チェック

ルール間チェックとは、処理目的ごとに分類された一群のルールを対象に行うもので、条件部を基本とするチェックと、実行部を基本とす

るチェックがある。

4. 2. 1 条件部を基本とするチェック

このチェックは、条件部の矛盾を検出するもので、冗長、競合、包含、部分的な一致、完全性、属性間の関係の6項目をチェックする。以下にその6項目について例を挙げて説明する。

(1) 冗長 (図 4.1)

条件部、実行部がともに一致するルールの組は冗長であるという。この状態では、システムに同じ情報が重複して蓄えられていることになる。デバッグ時に一方のみを修正しても、もう一方が修正されていないので推論結果が変化しない等の問題が生じる。

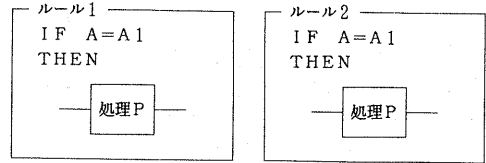


図4.1 冗長

(2) 競合 (図 4.2)

条件部は一致するが、実行部が異なるルールの組は競合しているという。この場合、ルールを試す順序によって推論結果が異なるために問題となる。

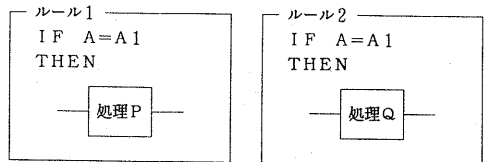


図4.2 競合

(3) 包含 (図 4.3)

あるルールの成功する条件の範囲が、他のあるルールの成功する条件の範囲を完全に含んでいる場合、それらのルールは包含という関係にある。包含しているルールの条件部に、考慮しなければならない条件が欠落していると考えられる。この場合もルールを試す順序によって推論結果が異なることがある。

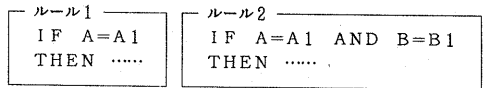


図4.3 包含

(4) 部分的な一致 (図 4.4)

一方のルールの成功する条件の範囲が、他方と一部重なるようなルールの組は部分的な一致しているという。両方のルールの条件部に別々の属性が記述されている場合に起こる。図 4.4 の例では、属性 A の値が A1 かつ属性 B の値が B1 であるときに、両方のルールが成功することになる。これも包含同様に問題となる。

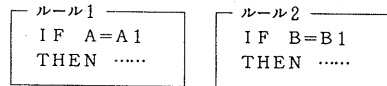


図4.4 部分的な一致

(5) 完全性 (図 4.5)

考えられるすべての条件の組み合わせのうちで、成功するルールがない組み合わせがある場合、そのルールの組は不完全であるという。この場合、条件によっては成功するルールがなくなり、推論が進められなくなる可能性がある。図 4.5 の例では、属性 A の属性値が A2 かつ属性 B の属性値が B2 である場合に起動するルールがないので、このような条件の場合に推論がストップしてしまうことになる。

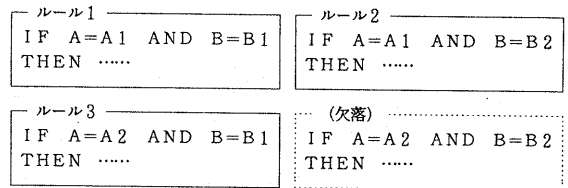


図4.5 完全性

(6) 属性間の関係 (図 4.6)

ある属性が、他の属性のある属性値のときのみ意味を持つ場合、それらの属性間には関係が

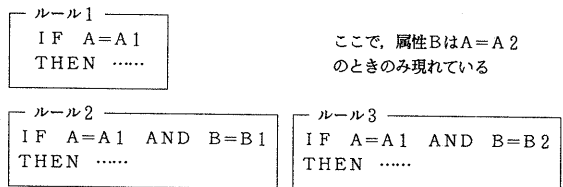


図4.6 属性間の関係

あるという。ある属性値のときのみ現れている属性があれば、エディタはそれらの属性の間に関係があるのかを利用者に確認する。そしてそのような関係がない場合は、ルールを分割する必要があることを警告する。図4.6の例では、属性Bは属性Aの属性値がA2の場合のみに現れているので、エディタは、属性Bは属性Aの属性値がA2の場合のみ意味を持つかどうかを確認する。もしそのような関係がないときは、ルール1を属性Bの値ごとに分割する必要がある。

4.2.2 実行部を基本とするチェック

ルールの実行部には処理目的の組み合わせが記述されているが、この処理目的は呼び出されると内部でまたルールを呼び出す。この呼び出しは、最終的に直接画像処理サブルーチンを呼ぶ技法選択ルールが実行されるまで続けられるしたがって、誤って自分自身を呼び出すようなルールを記述すると、推論実行時に無限循環に陥る可能性がある。また、記述されている処理名の綴りを誤った場合や未入力の場合がある場合、そこで実行が途切れることになる。

このため、本エディタでは、ルールの呼び出しの関係図を展開・表示することによって循環や実行の途切れ等の誤りを検出する。この関係図の例を図4.7に示す。

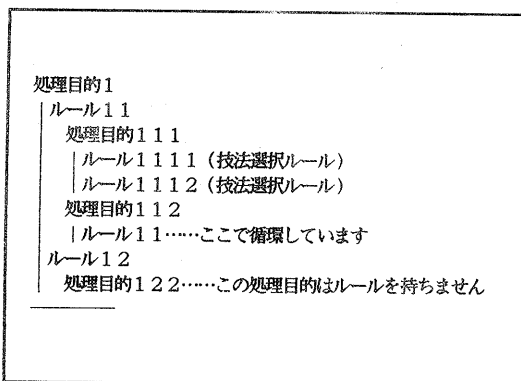


図4.7 関係図の例

5. 半自動生成機能

エキスパートシステムは推論時に膨大な数のルールを必要とする。これらのルールは一つ一つ専門家から獲得され知識ベースに入力されたものであり、その獲得過程には多大な労力を要する。その中でも、内容が類似している一群のルールの入力人間にとって単調な作業となり、誤りや欠落が生じやすい。また、知識の整理がよくなされていないために、類似した表現が可能なルール群でも表現に差異が生じ、知識ベースの見通しが悪くなることもある。

そこで筆者らはルールの半自動生成機能について検討している。これは、ルールの新規入力の際にその内容を推測するものである。推測には、既存のルール群からそれらの間に認められる関係を抽出し、その関係を利用する。この機能によって、ルールの入力に要する労力は大幅に削減される。また、こうして生成された内容を評価することは専門家に対する知的な刺激となり、知識の整理を促すことにもなる。

5.1 既存のルールからの関係抽出

本エディタでは、半自動生成に利用する類似関係として、条件部に記述されている属性値と処理の関係に注目する。これは、入力されたルールの内容を調べた結果、属性値と相関の高い処理が多いという傾向が認められたからである。

この対応関係を得る最も簡単な方法として、専門家が直接関係を入力することが挙げられる。しかし、専門家は常に属性値と処理の関係を念頭に置いてルールを作成している訳ではなく、むしろ出来上がったルール群を見て初めて対応関係に気が付くことが多い。従ってこの方法で対応関係を得るためには専門家に余計な負担と手間を要求することになり、単に知識獲得時の困難を増すだけになりかねない。

そこで本エディタでは、属性値と処理の対応関係を、既に知識ベースに入力されているルール群から抽出する。抽出方法は、同じ処理目的を持つ一群の実行部を比較し、処理の流れを共通部分と相違部分に分割する。そしてその相違部分と条件部に記述されている属性値が関係しているとみなし、対応関係を記録する。関係を抽出するルール群の例を図5.1に示す。これらのルールから、エディタは属性Aの各値と処理の対応を抽出して記録する。この抽出された対応関係を図5.2に示す。この関係は以降の半自動生成において利用される。

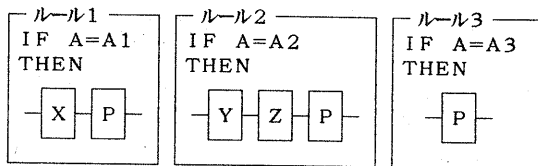


図5.1 関係を抽出するルール群

属性値	A1	A2	A3
処理	[X]	[Y] [Z]	(なし)

図5.2 抽出した関係

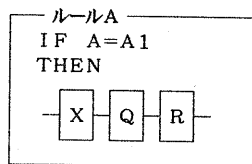


図5.3 原型となるルール

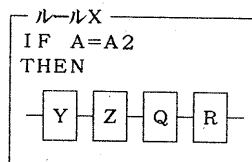


図5.4 生成されたルール

5. 2 ルールの半自動生成

半自動生成は、生成の原型となるルールを用意し、その処理の流れのうち属性値に対応する部分を学習した対応関係によって書き換えることによって行う。

生成の手順は、まず原型となるルールを入力するが、これは通常と同様な作業であり、何の特別な指示も要しない。図5.3に原型となるルールの例を示す。次に、生成するルールの条件部を入力し、生成を指示する。するとエディタは原型となるルールの実行部を調べ、対応関係によって書き換えるべき処理を自動的に探し出す。そしてその処理を条件部に記述された属性値に対応した処理に書き換えて出力する。図5.4に、こうして生成されたルールを示す。専門家は生成された処理の流れを見てその妥当性を判断し、必要があれば修正を加えることができる。

このように、生成に必要な知識は既に入力されているルールから半自動的に獲得するので、専門家はその知識を明示する必要はない。また生成された実行部をもとにして編集することによって表現の不統一を防ぐ効果もあるので、この機能は見通しのよい知識ベースの構築にも大きく貢献する。

6. おわりに

本稿では、画像処理エキスパートシステム用の知識エディタについて述べた。このエディタには、エキスパートシステム構築上のボトルネックとなる専門家の知識入力過程を補助する二つの機能、すなわちルールの図形表示機能と矛盾検出機能を備えている。これらの機能により、ルールの入力・編集・デバッグ過程に要する労力を大幅に削減することができた。また、現在検討しているルールの半自動生成機能は、ルールの内容を推測し利用者に提示することで知識獲得を支援する。

これらの機能は、いずれも単に労力の削減のみを目的としたものではなく、入力・編集作業を通じて専門家を刺激し、より質の高い知識を獲得することを目指している。そのためには、エディタはより知的に、能動的に振る舞うことが要求される。ルールの半自動生成機能はまだ限られた能力しか持っていないが、専門家に対して逆に知識を提示し、その判断を求めることによって能動的な支援を実現する。

今後はさらに、このエディタの使用経験等を踏まえ、知識獲得初期の段階である知識の概念化を補助する機能の検討や、より使いやすいヒューマンインターフェースの採用を検討していく予定である。

謝辞

日頃御指導頂く棚橋部門長、三宅部長ならびに有益な助言を頂いた吉田部長代理、また熱心に討論して下さいました鳥生、岩瀬両氏に深く感謝致します。

参考文献

1) Boose: Personal Construct Theory and the Transfer of Human Expertise, Proc. of AAAI-84, pp.27-33, 1984

2) 小島, 斎藤, 斐, 秋元: 画像処理エキスパートシステム I P E X のルールエディタの開発, 情報処理学会第34回全国大会論文集, pp.1675-1676, 1987

3) 斎藤, 小島, 松尾, 斐, 秋元: 画像処理エキスパートシステム —ルールエディタ—, 情報処理学会第35回全国大会論文集, PP.2095-2096, 1987

4) 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, 電子情報通信学会人工知能と知識処理研究会資料, AI87-27, pp.27-36, 1987

5) 田中, 小松, 鳥生, 岩瀬: 画像処理エキスパートシステム —全体構成—, 情報処理学会第35回全国大会論文集, pp.2087-2088, 1987

6) 脇水, 岩瀬, 鳥生, 二本木: 画像処理エキスパートシステム —ガイダンス部—, 情報処理学会第35回全国大会論文集, pp.2089-2090, 1987

7) 岩瀬, 鳥生, 小松, 二本木: 画像処理エキスパートシステム —推論方式と知識構造—, 情報処理学会第35回全国大会論文集, pp.2091-2092, 1987

8) Waterman: A Guide to Expert Systems, Addison-Wesley, 1985

9) Suwa, Scott and Shortliffe: An Approach to Verifying Completeness and Consistency in a Rule-Based Expert System, AI Magazine, Vol.3, No.4, pp.16-21, 1982

10) Nguyen, Perkins, Laffey and Pecora: Checking an Expert Systems Knowledge Base for Consistency and Completeness, Proc. of 9th IJCAI, pp.375-378, 1985