

画像処理に関する知識を組み込んだ画像処理支援システム IPSENS-II†

谷口 倫一郎†† 古賀 慎一郎†† 河口 英二††

著者らは、画像処理に関する知識を組み込んだ画像処理システム IPSENS-II を開発した。このシステムは既に著者らが開発した IPSENS の使用経験を基に開発したものであり、画像処理に関する知識をシステム側に持たせることで、経験の少ないユーザに対しても効率のよい画像処理環境を提供することを特に目指したものである。IPSENS-II に組み込んだ知識は、画像の内容に依存しないものと依存するものの2種類であり、前者は画像データのクラスと処理アルゴリズムに関する知識をフレーム構造で記述し、後者は経験的な知識を IF-THEN 型のルールとして記述するようにした。システムはこれらの知識を基に、ユーザが利用したい画像処理手法を実現するための手順を自動的に生成することができる。また、画像処理の実験を進める上で不可欠である処理の履歴管理を行っており、履歴情報に基づいた処理手順の変更と再実行の機能も組み込んだ。本論文では IPSENS-II について、その設計方針、システム構成を述べる。

1. ま え が き

近年、デジタル画像処理に関する研究開発が盛んになり、その適用範囲も拡大の一途をたどっている。しかし現実には、画像を処理したい者がすべて画像処理の専門的な知識を持っているわけではないので、適切な処理手法や処理パラメータを決定することができず、期待した処理結果を得られないことが多い。その大半は、処理の目的に応じた処理機能は選択できても、その機能を実現するために必要な細かい手順が分からないという場合である。このような困難をユーザが感じる原因は以下の2種類に大別できると考えられる。

- (1) 画像処理アルゴリズムを利用するのに必要な画像データの形式やパラメータが多様で、使用方法が分かりにくい。すなわち、個々の画像処理アルゴリズムが処理対象とする画像データのタイプが異なるため、ユーザは事前に処理アルゴリズムとデータタイプの対応関係をよく把握しておかなければならない。また、実行に必要なパラメータの種類と指定すべき値についても理解しておかなければならない。
- (2) 一般に、画像の内容や性質によって最適な処理パラメータや処理アルゴリズム、あるいは処理の手順が異なる。したがって、そのような状況に応じた知識なしには有効な処理結果は得られない。

これらの問題に対処するために、上記のような画像処

理に関する知識をシステム内に何らかの形で組み込んで、専門的な知識のないユーザでも簡単に画像処理が行えるようにしようという研究が行われている¹⁾⁻³⁾。

しかしながら、これらのシステムは、

- (1) 対象とする画像の種類が少なく、適用分野が限られる。例えば、2.5 D 画像あるいはカラー画像やリモートセンシング画像のようなマルチスペクトラル画像等、多次元画像を扱うことができない。
- (2) 知識を記述する際に用いる画像データの属性の種類が限定されているため、新たな知識を付け加えることが容易ではない。特に、画像の内容に依存するような知識では、その世界でしか意味のない属性があるので属性の動的管理が必要である。
- (3) 画像処理の履歴管理がなされていない。すなわち、後で処理の結果得られた画像がどのような処理を施されていたかを参照することができず、処理手法を蓄積することが必ずしも容易ではない。また、履歴情報に従って処理の手順を再構築する機能がなく、試行錯誤的実験を行う場合の手順が煩雑である。

といった点でまだ不十分な点が残っている。

そこで著者らは、各種の画像処理に関する知識を組み込んで様々なユーザに対して十分に使いやすいシステム環境を提供するために、上述の問題点を解消すべく IPSENS-II (Image Processing Support System for ExperimentaL Studies-II)を開発した。本論文では、IPSENS-II について、設計方針、画像処理に関する知識ベース、システムの構成等を述べる。

† IPSENS-II: An Image Processing Support System with Knowledge-base for Image Processing by RIN-ICHIRO TANIGUCHI, SHIN-ICHIRO KOGA and EIJI KAWAGUCHI (Department of Information Systems, Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University).

†† 九州大学大学院総合理工学研究科情報システム学専攻

2. IPSENS-II の概要

IPSENS-II は“ユーザが実現したい画像処理の機能を選択したときに、画像処理の知識ベースを参照して、入力画像から最終的な結果を得るまでの手順を自動的に作成する”ことを主目的として開発した。ここではまず、この目的を達成するための基本的な設計方針、およびシステム構成の概要について述べる。

2.1 設計方針

IPSENS-II は、既に筆者らが開発した画像処理支援システム IPSENS⁴⁾ の使用経験を基に開発したものである。IPSENS の主な特長は、ユーザごとの独自の画像処理コマンド体系を構築するための画像処理コマンドプロセッサ、多面的な画像データを扱うための画像データ管理方式等にあったが、IPSENS-II では1章で述べた問題点を解決すべくさらに以下のような点を基本設計方針として開発を進めた。

- (1) 経験の浅いユーザにも使いやすいシステムとするため、画像処理アルゴリズムの使い方（パラメータの種類や値等）に関する知識をなるべくシステムに持たせ、処理のためにユーザの行う手順を簡略化できるようにする。
- (2) 画像処理に習熟している者の持つ経験的知識（画像の内容に依存した知識）を記述し、利用できるような機能をシステムに持たせることにより、経験のないユーザでも適切な画像処理ができるようにする。
- (3) 様々なタイプの画像データや画像の属性データを取り扱えるようにする。特に、知識の記述において属性の種類を動的に変更できるようにする。
- (4) 画像処理の履歴の管理を行う。機能としては、単に履歴を蓄積し、後で参照できるようにするだけでなく、履歴を基に処理パラメータや処理アルゴリズムを部分的に変更して処理手順を再構築し、実行する機能を組み込み、処理実験の能率化を図る。

2.2 IPSENS-II のシステム構成

IPSENS-II は、図1に示すようなハードウェア環境下で開発したものであり、システムの記述には Kyoto Common Lisp および C を用いた。画像データは SIDBA フォーマット⁵⁾ に準拠した形で蓄積する

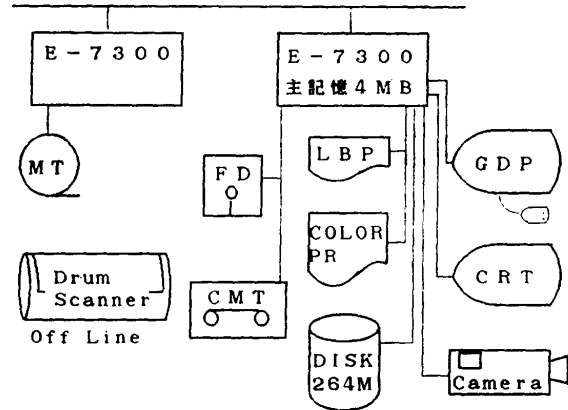


図1 IPSENS-II のハードウェア構成
Fig. 1 Hardware configuration of IPSENS-II.

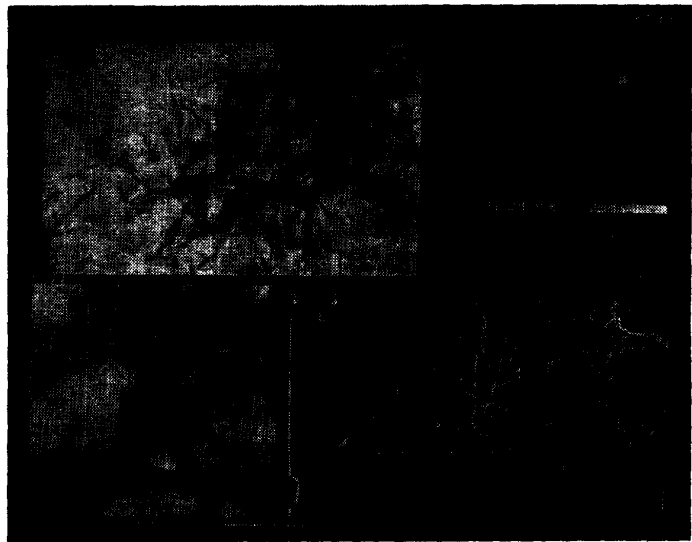


図2 IPSENS-II のスナップショット
Fig. 2 Snapshot of IPSENS-II.

が、履歴情報や画像の属性情報は Lisp ベースで記述することとし、SIDBA フォーマットに連結してファイルの最後尾に格納することにした。

IPSENS-II のコマンドは、グローバルコマンド（画像の読み込みや画像データベースの指定等、システムに対するコマンド）とウィンドウコマンド（表示されている画像に対し、画像処理やウィンドウ操作を行うもの）の2種類に分け、各々ポップアップメニュー方式で与えるようにした。また、画像処理の実行は Lisp レベルの関数呼び出しという形でも可能である。図2に IPSENS-II が動作中のスナップショット（グローバルコマンドのメニューが出ている状態）を示す。

3. IPSSENS-II の知識ベース

3.1 画像処理に関する知識

一般にユーザは、あらかじめ画像処理の結果に対する“期待”をある程度持っている。したがって、これを基にシステム側が提示する各処理の機能説明を参照し、最終的に自分が使用すべき処理機能を選択することはそれほど困難でないと思われる。しかし、入力画像にその処理機能を具体化するアルゴリズムをすぐに適用できない場合には、そのアルゴリズムを実行するまでに必要な手順をユーザが構築できないことが多い。IPSSENS-II の知識ベースシステムはそのようなユーザに対し、最終的に使用する処理機能を実行するまでに必要な画像処理の手順生成を支援することを主な目的としている。

基本的には、1つの画像処理は“画像データ（画像情報に関連するデータまでを含めて広く考える）のタイプ、すなわち画像のクラスを変換する変換器”ととらえられる。例えば二値化処理はモノクロ濃淡画像というクラスから二値画像というクラスへの変換器と考えられる。したがって、画像処理の手順生成とは、“入力画像のクラスから出力結果のクラスに至るまでの変換器の系列を生成すること”である（図3(a)）。また、画像処理に関する知識とは大まかに言えば、“画像のクラスAから他のクラスBへ変換するためのどのようなプロセスを使用するか”ということを表したものである。

画像処理の知識は1章で述べた従来の知識を持たない画像処理システムの問題点に対応して

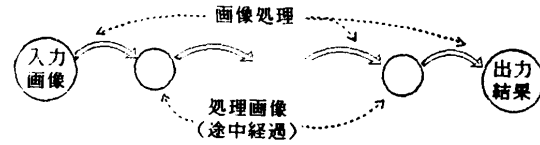
(1) 画像の内容に依存しない知識

画像処理アルゴリズムの機能や使い方、すなわちアルゴリズムが入力とする画像データや結果として出力する画像データのタイプや、アルゴリズムの実行に必要なパラメータの種類や値の範囲等に関する知識

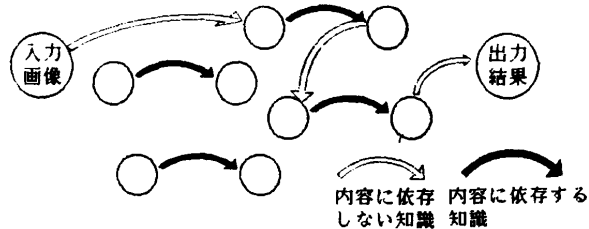
(2) 画像の内容に依存する知識

その分野の専門家が有している経験に基づいた知識であり、類似の機能を持つアルゴリズムからどれを選択するか、あるいは処理パラメータとしてはどのような値が最適であるかといった知識

に分けられると考えられる。これらを、知識を利用するという側面から考えると、まず画像の内容に依存する知識を優先して利用し、それだけでは画像処理の手順として完全でない場合に内容に依存しない知識で補



(a) 画像処理手順の模式図
(a) Model of image processing.



(b) 内容に依存しない知識と依存する知識
(b) Domain independent knowledge and domain specific knowledge.

図3 画像処理の知識

Fig. 3 Knowledge of image processing.

表1 IPSSENS-IIにおけるデータクラスの例
Table 1 Data classes in IPSSENS-II.

画像データ	濃淡画像, カラー画像 (RGB, HIS), エッジ画像, エッジ強度画像, 二値画像, クリッピング画像, 細線化画像, クラス画像, ラベル画像, 2.5D 画像, レンジ画像, 複素画像, LANDSAT 画像, ステレオ画像, フーリエ変換像等
属性データ	濃度ヒストグラム, チェイン・コード, 点列, 座標変換行列, 長方形領域, 点, 数値等

うと考えればよい（図3(b)参照）。IPSSENS-II ではこのような考えに基づいて経験的な知識が不完全でもそれに基づいた処理が構築できるようにした。

IPSSENS-II では、画像の内容に依存しない知識に関しては、画像データのクラスと画像処理の機能に関する知識を、フレーム構造を用いて記述した（各々知識ベース I および知識ベース II とする）。一方、内容に依存する知識に関しては IF-THEN 型のルールとして記述することにした（知識ベース III とする）。

3.2 画像のクラスに関する知識

画像のクラスとは、濃淡画像、二値画像、エッジ画像のように画像としての性質が異なる画像の集合として定義できる。どのような画像クラスを定めるかは処理システムの対象によるが⁹⁾、IPSSENS-II の場合は、SPIDER⁷⁾をはじめ組み込む画像処理アルゴリズムを分析し、画像およびその属性を表現するデータのクラス約 50 を定めた（表1参照）。ここでは単にモノクロ濃淡画像のようなスカラ値の画像だけでなく LANDSAT 画像等多次元画像も知識記述の対象にした。ま

た、3.1節で述べたように、画像処理を画像クラス間の変換器ととらえるため、詳細な手順を構築するにはクラスを精密に分類しておく必要がある。例えば、エッジ情報を表す画像についてもここでは図4のようにクラスを細分化した。画像クラスについての知識は、フレーム構造で以下のように記述している。

- (1) CLASS: 画像クラス名
- (2) SUPER-CLASS: 上位の画像クラス名
- (3) SUB-CLASS: 下位の画像クラス名
- (4) ATTRIBUTE: 属性の一覧 (属性名, 属性値の範囲, 省略値, 属性値を求める手続き等)
- (5) APPLICABLE-MODULE: 適用可能な画像処理モジュールのリスト
- (6) RASTER-MAKING: 表示用データ (2次元のラスタデータ) を生成するための手続き
- (7) IMAGE-DATA-DEFINITION: 多次元画像の構造を定義する画像関係データ

IPSENS-II は、2.5D 画像, LANDSAT 画像等、多くの画像データのクラスを扱えるように構成したが、その際問題となるのは画像データの入出力や表示である。ここでは、各クラスの画像データの入出力の方法を、システムのデバイスに依存しないような形でフレーム内に記述することでこの問題に対処した。そのためのスロットが、RASTER-MAKING と IMAGE-DATA-DEFINITION である。

RASTER-MAKING には、そのクラスの画像を表示するための2次元ラスタデータ (ビットマップ情報) を生成する手続きを記述しておく。システムは画像を表示する際にその手続きを呼び出して画像データをラスタデータに変換し、ウィンドウ管理部を起動

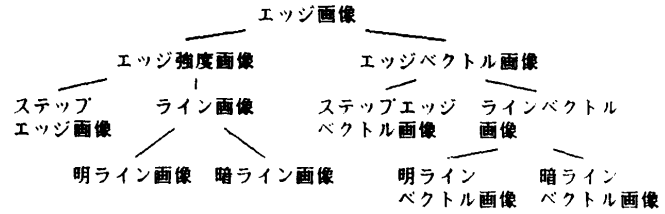


図4 エッジ画像の分類
Fig. 4 Classification of edge image.

する。したがってユーザは新たなクラスを定義する際でも表示系の細かい仕様を全く意識せずに表示アルゴリズムを記述することができる。同様に、IMAGE-DATA-DEFINITION は画像データの生成時、および補助記憶と主記憶間のデータ転送時に参照されるもので、一般には画像クラスのデータの特長 (多次元画像の場合、要素画像の種類等) を示す画像関係データを記述する。

画像クラスを記述するフレームの例 (二値画像と2.5D 画像) を図5(a)(b)に示す。また、システム内の画像データは、上で述べた各画像クラスのインスタンスとしてとらえられるが、実際のデータ構造として図5(c)のようなリスト構造で表現する。

さらに、属性を動的に定義するために、知識ベースⅢ中に以下の定義を記述することで新たな属性を追加できるような機能も組み込んでいる。

```
(DEFINE-ATTRIBUTE (CLASS 画像クラス名)
(属性名 属性値の定義域
[属性値を求める手続き]; オプション
[省略値の指定] ; オプション
. . . . .
)
```

```
((CLASS BINARY-IMAGE)
(SUPER-CLASS CLASSIFIED-IMAGE)
(SUB-CLASS THINNED-BINARY)
(APPLICABLE-MODULE
SPIDER1-BDFL1
SPIDER1-BDFL2
. . . . .)
(ATTRIBUTE
(SIZE X FIXNUM)
(SIZE Y FIXNUM)
(CONTENT SYMBOL))
(RASTER-MAKING BINARY-TO-RASTER)
(IMAGE-DATA-DEFINITION)
)
```

(a) 二値画像のクラス定義
(a) Definition of binary image.

```
((CLASS 2.5D-IMAGE)
(SUPER-CLASS DUPL-IMAGE)
(SUB-CLASS)
(APPLICABLE-MODULE
SPD2-SFIL1
. . . . .)
(ATTRIBUTE
(SIZE X FIXNUM)
(SIZE Y FIXNUM)
(CONTENT SYMBOL))
(RASTER-MAKING 2.5D-TO-RASTER)
(IMAGE-DATA-DEFINITION
(ELEMENT TILT SLANT)
(STRUCT= TILT SLANT)))
```

(b) 2.5D 画像のクラス定義
(b) Definition of 2.5D image.

```
((VAL data) ; 画像データの実際の値
(CLASS GRAY-SCALED-IMAGE) ; データのクラス
(ATTRIBUTE (MIN 6) ; 属性値
(MAX 222)
(SIZE X 512)
(SIZE Y 512)
. . . . .)
(HISTORY (LOADDI "GIRL")) ; 履歴情報
(RASTER-DATA raster-data) ; 表示用のデータ
(VIEW (STARTX 0 STARTY 0 ; 表示される範囲
PITCHX 1 PITCHY 1
SIZE X 512 SIZE Y 512)))
```

(c) 画像データの構造 (濃淡画像)
(c) Image data structure. (Gray-scaled image)

図5 画像クラス定義フレームと画像データ
Fig. 5 Image class definition and image data structure.

3.3 画像処理の機能に関する知識

画像処理の機能に関する知識とは、“ある画像処理機能を実行するためのアルゴリズムおよびその使用方法（パラメータの種類や数）に関する一般的な条件”を表すものである。ここでは、画像処理を画像クラス間の変換器と見なしているため、画像処理アルゴリズムとその入出力となる画像のクラスの関係をフレーム構造で以下のように記述した。（以後1つのフレームで記述される画像処理アルゴリズムを画像処理モジュール（もしくは処理モジュール）と呼ぶ。）

- (1) MODULE-NAME: 処理モジュール名
- (2) LEVEL-0-FUNCTION: 大分類による機能（概略機能）
- (3) LEVEL-1-FUNCTION: 小分類による機能（詳細機能）
- (4) PRIORITY: 同一詳細機能での優先順位
- (5) EXPLANATION: 機能説明文
- (6) INPUT-IMAGE-CLASS: 入力画像のクラス名
- (7) INPUT-PARAMETER: 入力補助パラメータのリスト（パラメータ名、省略値、パラメータの計算法等）
- (8) OUTPUT-IMAGE-CLASS: 出力画像のクラス名
- (9) OUTPUT-ATTRIBUTE: 出力される属性のリスト

ここでは、画像処理モジュールは、画像処理手順の生成が簡単になるように、1つの主入力データと複数個の補助パラメータを入力とし、1つの主出力データと複数個の属性情報を出力するものと定めた。なお、2種類の画像を入力とする画像のマッチング処理のようなものに関しても、テンプレート画像を補助パラメータとして扱うこと等で対処可能にした。

また、機能分類に関して、詳細機能名が同一の処理モジュールは入出力の画像クラスが同一という条件を設けた。IPSENS-II には、SPIDER を含む約400個の画像処理モジュールとそれに関する知識を組み込んでいる。表2に処理モジュールの機能一覧を、図6に画像処理モジュールに関する知識の記述例（ある閾値で二値化を行うモジュール SPIDER-SLTH 1）を示す。

3.4 画像の内容に依存した知識

3.1 節で述べたように画像の内容に依存した知識には、“…という状況下では、…のような画像処理を用いることが有効である”といったプロダクションルー

```
(MODULE-NAME SPIDER1-SLTH1)
(LEVEL-0-FUNCTION "閾値処理")
(LEVEL-1-FUNCTION "二値化処理")
(PRIORITY 1)
(EXPLANATION
  "濃淡画像を閾値(パラメータTHRESHOLD)で二値化する。
  閾値の標準値は大津の方法(最小二乗近似)で求める。")
(INPUT-IMAGE-CLASS GRAY-VALUED-IMAGE)
(INPUT-PARAMETER
  (THRESHOLD THRESHOLD
    (IF-NEEDED SPIDER1-THDS2)))
(OUTPUT-IMAGE-CLASS BINARY-IMAGE)
(OUTPUT-ATTRIBUTE)
```

図6 画像処理モジュールに関する知識
Fig. 6 Knowledge of image processing module.

ル形式のものが多い。したがって、IPSENS-II では、画像の内容に依存した知識は IF-THEN 型のルールで記述することとし、そのための知識ベースシステムを組み込んだ。一般に、ルールの条件部は画像データを実際に処理せずに、最初の入力対象画像の限られた属性のみで評価できるものと、実際に処理を進めた後でないと評価できないものがある。そこで、IPSENS-II ではまず、前者の条件のみを評価して使用可能なルールを絞り込み（プランの作成と呼ぶ）、その上で再度ルールを評価しながら処理を進める（プランの実行と呼ぶ）という2段階の手順で行った（4章で詳述する）。

ルール記述の対象は、

- (Type 1) ある画像処理機能を実現するための画像処理モジュールの指定
- (Type 2) ある画像処理モジュールを使用するための前処理の指定
- (Type 3) あるクラスの画像を生成する時に実行すべき処理の指定
- (Type 4) ある画像処理モジュールを使用する時のパラメータ値の指定

の4種類とし、この順の優先順位でを使用することとした。ルールは以下のように記述するが、これは IF 以下の条件部 (Condition-1~Condition-n) がすべて真ならば THEN 以下を順次実行するということを意味する。

```
(IF Rule-Identifier
  Condition-1
  . . . . .
  Condition-n
  THEN Action-1
  . . . . .
  Action-m )
```

ただし、

- (1) Rule-Identifier: ルールの使用目的 (Type 1-Type 4) を指定する
- (Type 1) (FUNCTION 機能名)
 - (Type 2) (GOAL-MODULE 画像処理モジュール名)
 - (Type 3) (GOAL-CLASS 画像クラス名)
 - (Type 4) (EXECUTION 画像処理モジュール名)

```
(IF (GOAL-MODULE REGION-CLUSTERING-1)
  (INPUT-IMAGE-ATTRIBUTE CONTENT
   (EQ ATTRIBUTE-VALUE 'LANDSAT-MSS))
  THEN (STRIP-NOISE-REDUCE (SIZE 6)))

(IF (GOAL-CLASS BINARY-IMAGE)
  (PROCESSED-IMAGE-ATTRIBUTE SEPARABILITY
   (< ATTRIBUTE-VALUE 0.7))
  THEN DYNAMIC-THRESHOLDING-1)
```

図 7 内容に依存した知識の例
Fig. 7 Examples of domain specific knowledge.

- (2) Condition-i: ルール使用の条件
- (a) (INITIAL-IMAGE-ATTRIBUTE 属性名 Lisp 式)
処理対象画像の属性に関する条件を記述 (プラン作成時に評価)
属性名: 処理対象画像の属性名を指定する.
Lisp 式: この Lisp 式には変数 ATTRIBUTE-VALUE を含む条件式を記述する. 条件の真偽をチェックする際に属性の値が ATTRIBUTE-VALUE に代入され, 式が評価される.
- (b) (PROCESSED-IMAGE-ATTRIBUTE 属性名 Lisp 式)
ルールの実行部を実行する際に入力となる処理経過画像の属性に関する条件を記述するのに使用する (プラン実行時に評価). 記述方法は (a) と同じ.

(3) Rule-Identifier が Type 1~Type 3 の場合, Action-i には, 処理モジュール名を記述する. Action が複数の場合は, 前段の処理モジュールの主出力が次段の処理モジュールの主入力になる. 補助パラメータは, 知識ベース II (3.3 節参照) を参照して決定するが, 必要に応じてパラメータの値を明示的に記すことも可能としている. 一方, Type 4 の場合は, 陽に指定するパラメータ名と, その値を対にして記述する.

簡単なルールの記述例 (クラスタリングの前処理に関するルールと二値画像を生成する時に必要な処理に関するルール) を図 7 に示す.

4. 知識を利用した画像処理手順の生成

3.1 節で述べたように, ここでは “最終的に使用すべき処理機能はユーザに選択させることを仮定し, そこに至るまでの画像処理手順を構築し, 実行する” というのが基本的な考え方である. IPSSENS-II では機

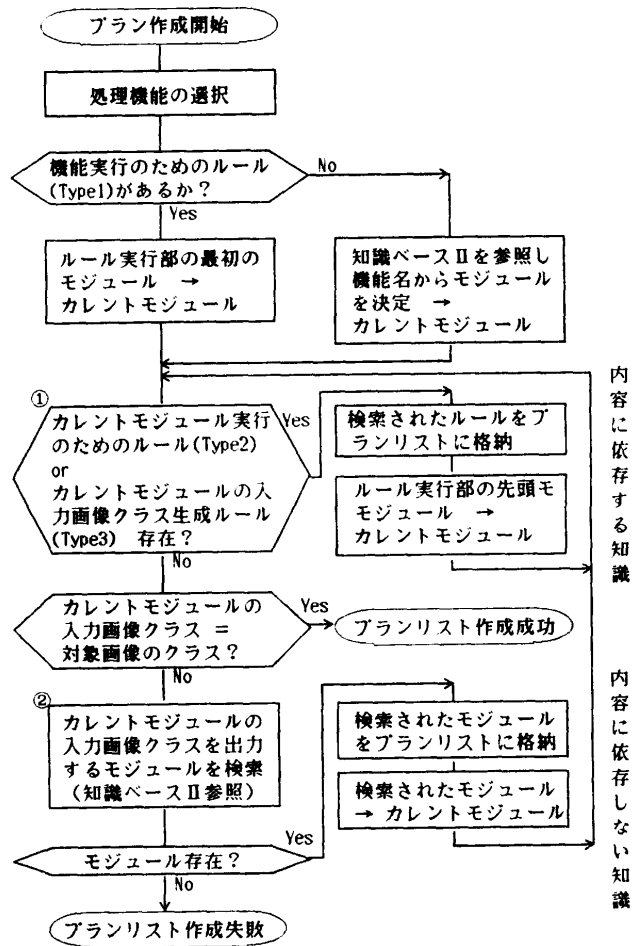


図 8 プラン作成の概略手順
Fig. 8 Flow of plan generation.

能選択に関して, システムが画像処理の概略機能, 詳細機能 (表 2 参照) を順次示してメニュー形式で問い合わせ, ユーザに選択させるという方式を採ることにした.

実際の画像処理手順の構築, 実行は, まず対象画像の属性に関する条件 (INITIAL-IMAGE-ATTRIBUTE 条件) で使用可能なルールを絞り込んで画像処理のプランを作成し, そのプランに従って, 処理画像

表 2 IPSSENS-II の画像処理モジュールの機能
Table 2 Image processing modules in IPSSENS-II.

概略機能	詳細機能 (一部)
閾値処理	二値化, クリッピング, n 値化等
雑音除去	平滑化, マスク処理, エッジ保存型等
強調/鮮鋭化	コントラスト強調, 高域強調等
エッジ検出	ステップエッジ, ピークエッジ検出等
変形	膨張, 収縮, 細線化等
領域分割	領域合併法, 領域間境界検出型等
位置合わせ	相関法, アフィン変換等
直交変換	フーリエ変換, アダマール変換等
統計量計算	ヒストグラム, 平均, 分散等
境界処理	境界線抽出, 直線近似等
線画像処理	特徴点抽出, 直線近似等
形状測定	ラベル付, 面積, 円形度, 距離変換等
三次元形状	単眼による復元, 二眼による復元等
画像符号化	DF-符号化, 予測符号化等
分類	最尤法, 最短距離法等
その他	四則演算, 型変換, 濃度変換等

の属性に関する条件(PROCESSED-IMAGE-ATTRIBUTE 条件) で処理経過を評価しつつ処理を進めて最終的な結果を得るという手順で行う。すなわち、ルールをあらかじめ絞り込むことで実行時に無駄な処理をしなくて済むようにしている。

プラン作成の概略手順を図 8 に示す。プランは最終的に実行する処理機能を実現するルールもしくは処理モジュールから逆向きにたどって作成され、実行する可能性のあるルールもしくは処理モジュールのリスト(プランリストと呼ぶ)として得られる。なお、ルールの条件部の INITIAL-IMAGE-ATTRIBUTE 条件の真偽の判定は図 8 の①のルール探索の際に行っており、真となったルールのみが選ばれるようにしている。

図 8 の①②で複数のルールもしくは処理モジュールが選択された場合、それらのすべてに対しプラン作成のループを繰り返すため、最終的に得られるプランリストは図 9 のような木構造となる。この図では、木の最下位レベルのノードが、対象画像に直接適用されるルールもしくは即実行可能な処理モジュール(以下では、即実行可能な処理モジュールも恒真の条件部を持つルールとみなす)の候補を示している。プランの実行時には、優先順位の高いルールから順々に適用し、条件(PROCESSED-IMAGE-ATTRIBUTE 条件)が真になった所でルールの実行部を実行し、木を上っていく。もし、条件が偽となった場合は、次の順位のルールを適用する。なお、処理モジュール実行の際に Type 4 のルールがあれば、処理パラメータ値はその

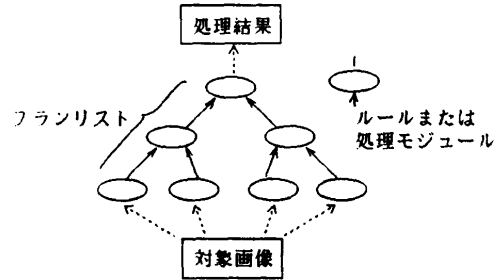


図 9 プランリストの構造
Fig. 9 Structure of plan list.

```
((*START*)
(IF (GOAL-CLASS GRAY-VALUED-IMAGE)
THEN SPIDER1-FMIN)
(IF (GOAL-CLASS BINARY-IMAGE)
(PROCESSED-IMAGE-ATTRIBUTE SEPARABILITY
(< ATTRIBUTE-VALUE 0.7))
THEN DYNAMIC-THRESHOLDING-1)
SPIDER1-CLAB-8
(IF (GOAL-MODULE SPIDER1-RFLP1)
THEN (SPIDER1-ERSR3 (AREA 5)))
SPIDER1-BFLP1
*GOAL*)
.....)
```

図 10 生成された画像処理のプラン (一部)
Fig. 10 A part of generated plan of image processing.

値を優先して利用する。作成されたプランの例(濃淡画像からオブジェクトの輪郭を抽出するプランの一部)を図 10 に示す。

5. 履歴の管理

画像処理の履歴管理は、処理手法の蓄積という面だけでなく、処理実験の簡易化という面からも非常に重要である。すなわち、画像処理を試行錯誤的に行っている場合、以前の処理の履歴を参照して、新たな処理を実行することが多いが、その際に履歴情報から処理手順が自動的に再構築されることが望ましい。例えば、前処理における平滑化の繰り返し回数の変更が最終的な処理結果に与える影響を調べたい場合、処理の履歴を参照し、前処理の繰り返し回数を変更して再度実行することが必要になる。そのような時、画像処理のためのコマンドをすべて再入力するのでは、ユーザに対する負担が大であり、ユーザにとっては変更箇所のみを指示するだけで処理が再実行される方がよい。このような点に対処するため IPSSENS-II では履歴情報を画面上に表示し、変更箇所を指示すれば、システムが再実行の必要なモジュールを判別し、自動的に処理を繰り返すような機能を組み込んだ。

IPSSENS-II では、履歴情報は、各処理モジュール

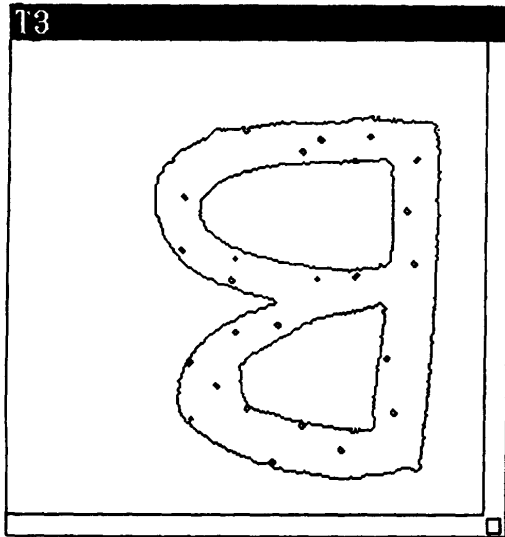
が実行される際に自動的に更新され、処理モジュール名と入力データの履歴を要素としたリストが付加される。すなわち、履歴情報は、

(処理モジュール名 履歴1……履歴*n*)

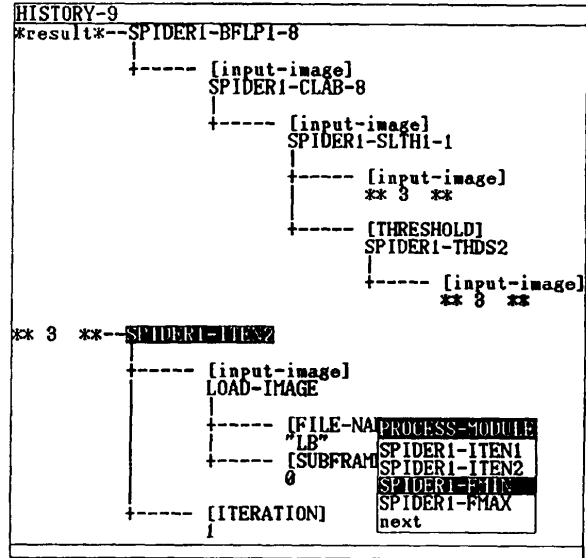
という再帰的リスト構造で表現する。ただし、履歴*i*は上と同様なリスト、もしくは定数(定数、文字列、配列等)である。

処理の再実行時には、まず履歴情報を画面上に木構造で表示する。変更可能な要素は、処理モジュールお

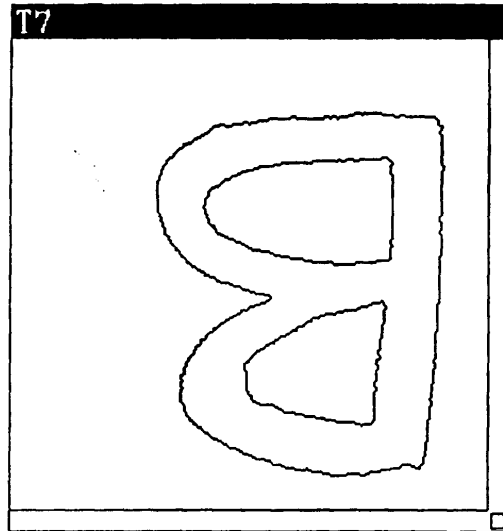
よび定数であり、ユーザは画面上の木の対応するノードを指示することにより変更する箇所を指定する。変更するものが処理モジュールであれば、システムは知識ベースIIを参照して類似の機能(すなわち、処理機能の分類で詳細機能名が同一のもの、3.3節参照)を持つものを選択し、メニューでどの処理モジュールに変更するかをユーザに問い合わせる。また、定数パラメータを変更する場合は、ユーザに直接値を問い合わせるが、その場合は、入力された値が交換可能な型で



(a) 処理画像
(a) Processed image.



(b) (a)の処理の履歴
(b) History of (a).



(c) 平滑化処理を変更した後の結果
(c) Result based on another smoothing method.

図 11 履歴情報に基づいた処理の再実行
Fig. 11 Redoing of image processing based on the history.

あるかをシステムがチェックする。

履歴情報を基に、処理の再試行を行っている例を図11に示す。(a)は平滑化、二値化を行った後に境界線を抽出した画像であり、(b)がその履歴情報である。(b)では、処理モジュール SPIDER 1-ITEN 2 (加重平均フィルタ) を他の平滑化モジュールに変更する指示を行っているところである (メニューは交換可能な処理モジュールの一覧を表示しており、ここでは、SPIDER 1-FMIN (最小値フィルタ) を選択した)。(c)は変更後再実行した後の処理画像であり、平滑化モジュールの変更でノイズが減少することが分かる。このような手順でユーザは簡単に画像処理の手順を再構築できる。

6. むすび

本論文では、画像処理に関する知識を組み込んだ画像処理支援システム IPSSENS-II について述べた。IPSSENS-II には、経験の少ないユーザでも簡単に有効な画像処理が行えるよう、システムに画像処理に関する知識を組み込み、自動的に画像処理手順が構築できるような機能を持たせた。さらに、処理の履歴管理についても処理の再実行機能等を組み込み、処理手法の蓄積に利用できるようにした。

IPSSENS-II の問題点および今後の課題としては以下のような点が挙げられる。

- (1) 画像処理を適切に行えるかは、ユーザが正しく画像処理の詳細機能を選択できるか否かにかかっており、処理のサンプルを見せることにより、機能の選択を容易にする³⁾ことも考える必要がある。
- (2) 知識の優先度に関しては簡単な規則しか設定していないので、改善の余地が残っている。
- (3) 履歴情報からルールを自動的に作成する機構について検討が必要である。
- (4) 画像のクラスをより一般的なデータにまで拡張することにより、単なる画像処理だけでなく簡単な画像理解のプログラム自体も知識ベース (主に内容に依存した知識) で記述できると考えられ、そのような観点からの研究が今後必要と思われる。

謝辞 本研究に関して、画像処理ソフトウェア技術委員会、同専門委員会での議論に示唆された点が多い。記して感謝の意を表す。また、本論文に対し有益なコメントを頂いた査読者にも謝意を表す。なお、本研究の一部は文部省科学研究費特定研究「多元知識情報」の援助 (課題番号 59218017, 60210021,

61102005) を受けた。

参 考 文 献

- 1) 田村, 坂上, 久保, 佐藤: Dia-Expert システム意味処理部の試作(1), 情報処理学会コンピュータビジョン研究会資料, 43-2 (1986).
- 2) 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, 信学会技術研究報告, PRU 86-49, pp. 73-81 (1986).
- 3) 稲田, 松本: 画像処理エキスパートシステムの検討, 信学会技術研究報告, PRU 86-106, pp. 61-68 (1987).
- 4) 谷口, 一番ヶ瀬, 河口: 画像処理支援システム IPSSENS の開発, 情報処理学会論文誌, Vol. 26, No. 6, pp. 994-1000 (1985).
- 5) Onoe, M., Sakauchi, M. and Inamoto, Y.: SIDBA, Standard Image Database, MIPC Report 79-1, University of Tokyo (1979).
- 6) 阿部, 田村, 坂上, 鳥脇: 画像処理ソフトウェア・パッケージ SPIDER-II の新機能—画像データ型の導入と引数の分類, 第32回情報処理学会全国大会論文集, 1N-2 (1986).
- 7) 電子技術総合研究所: 画像処理サブルーチンパッケージ SPIDER USER'S MANUAL (1980).

(昭和62年6月10日受付)

(昭和63年1月19日採録)

谷口 倫一郎 (正会員)

昭和30年生。昭和53年九州大学工学部情報工学科卒業。昭和55年同大学院工学研究科修士課程修了。同年より九州大学大学院総合理工学研究科情報システム学専攻助手。工学博士。画像理解, 画像処理システムの研究に従事。電子情報通信学会, 人工知能学会各会員。

古賀 慎一郎

昭和37年生。昭和62年九州大学工学部情報工学科卒業。現在, 同大学院総合理工学研究科修士課程在学中。画像処理エキスパートシステムの研究に従事。

河口 英二 (正会員)

昭和15年生。昭和39年九州大学工学部通信工学科卒業。昭和44年同大学院博士課程修了。同年九州産業大学講師。昭和48年九州大学工学部情報工学科助教授。昭和54年同大学院総合理工学研究科情報システム学専攻助教授。現在に至る。昭和59~60年テネシー大学訪問教授。工学博士。音声認識・合成, 画像理解, 情報圧縮, 自然言語処理等の研究に従事。電子情報通信学会, 人工知能学会各会員。