

## 知識利用型画像検索システムの構成

大川 剛直                      馬場口 登                      手塚 慶一

大阪大学 工学部

一般画像を対象とし、意味情報から検索が可能な画像検索システムについて提案する。システムは主に、画像記述、画像解釈知識といった2つの知識ベース、および推論エンジンから構成される。画像記述は画像中に存在するオブジェクト並びにオブジェクト間の関係についての記述でありフレームモデルを用いて表現される。画像解釈知識は、人間が画像を解釈するプロセスを知識ベース化したものであり、プロダクションルールによって記述される。提案システムは、画像解釈知識を用いて後向きに推論し、抽象度の高い検索要求を画像記述のレベルまで具象化することにより、意味情報に基づいた検索を実現している。

Design of a Knowledge Based  
Image Retrieval System

Takenao OHKAWA      Noboru BABAGUCHI      Yoshikazu TEZUKA

Faculty of Engineering, Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita-shi, 565, Japan

This paper presents a knowledge based image retrieval system capable of the retrieval by elements as well as that by semantics. The units that play prominent roles in our system are image description, knowledge for interpreting images, inference engine and supervisor. Three types of image description based on frame models are employed. Knowledge for interpreting images is represented as production rules in order to draw conclusions in cooperation with the inference engine for an abstract input query. The supervisor always observes the behavior in the system. In addition, our system provides the explanation facility in case of no images retrieved. It enables a user to show how the retrieval process has failed so that he can update the knowledge base interactively.

## 1. まえがき

近年のエレクトロニクス技術・光技術の発達による画像情報処理機器の普及、情報の伝送・蓄積の大容量化等に伴い、大量の画像情報が生成、蓄積されている。これらは構造化・整理され、必要な部分を目的に応じて適切な形で抽出、利用される必要がある。そのため画像情報の蓄積、管理、検索を目的とした画像検索システム(image retrieval system)の実現が望まれている。

画像は数値・文字情報と比べ、情報の量、構造等の点でその取扱いが異なり、従来の数値・文字情報を対象とした情報検索システムとはその構成法を大きく異なる[1][2]。特に画像の検索が他の数値・文字データベースにおける検索と比較して特徴的である点の1つに、以下のような検索形態の多様性が挙げられる。大まかに分類すると、

- ①画像に付加された付属情報による検索[3]
- ②画像の属性情報による検索[4]
- ③ガイド画像、索引画像、スケッチ等による検索[4]~[7]

等の検索機能を持つシステムがこれまでに提案されている。

さて、実際に人間が画像を見て何らかの情報を得る際には、書誌の情報、属性情報、表層情報といった具体的な情報を個々に得ているのではなく、それら具体的な情報を基に解釈した、より抽象的な意味情報を得ていると考えられる。例えば、風景写真を見た場合、そこに描かれている表層情報から自動的に季節、天候等の抽象的な情報を得ることができる。従って、画像と意味情報は密接な関係にあり、画像検索システムの高度化、知能化には、抽象的あるいは意味的な情報を検索キーとする検索機能を持たせることが、不可欠な要素となる。しかしながら筆者らの知る範囲では、意味情報に基づく一般画像の検索についてはあまり検討されていない。

そこで筆者らは、一般画像を対象とし、人間が画像中の個々の具体的な情報を基にして画像を解釈する際に使用している知識(画像解釈知識(knowledge for interpreting images)と呼ぶ)を利用することにより、画像の持つ意味のレベルから検索が可能な画像検索システムを構成する[8]。提案システムは、

- ①画像解釈知識の知識ベース化による意味情報からの画像検索
- ②検索失敗時の原因の説明

## ③対話的な画像解釈知識の追加

といった特徴を有する。本研究のねらいは、意味情報からの検索機能を持つ画像検索システムのフレームワークを与えることであり、知識ベースの変更、更新により様々な対象領域への応用が可能である。

本稿では、システムの構成、動作手順を説明すると共に風景画像を対象とした動作例を示す。

## 2. 提案システムの特徴

### 2.1 対象とする画像

画像検索システムとは、大量の画像情報を蓄積、管理し、利用者の検索要求に応じて何等かの情報を提供することを目的としたシステムである。既存システムとしては、例えば設計図の検索、医用画像の検索、ランドサット画像の検索というように、対象は主に図面ないしは平面的構造を持つ画像を扱ったものがほとんどである。提案システムは、3次元の構造を持つ一般画像を対象とし、それに対して以下に述べる高次検索を実現する。

### 2.2 検索機能

本システムは次の2種類の検索形態を想定している。

#### (1)一次検索(要素による検索)

画像中に存在する画像の構成要素並びにその属性を検索キーとした検索のことを指す。

例) 白い自動車の写っている画像の検索

#### (2)高次検索(意味による検索)

画像の内容を基に解釈して得られる情報を検索キーとした検索のことを指す。

例) 天気が曇りである画像の検索

本システムの特徴ともいえる検索形態は高次検索であり、これは画像を解釈する際に人間が用いている知識を知識ベース化することにより実現する。尚、一次検索と高次検索はシステム側からみた機能面での分類であり、実際には検索利用者がその両者を区別することなくシステムを使用することが可能である。

## 3. 画像内容の記述

画像に対して、内容に基づいた検索をするためには、画像を物理画像(physical picture)ととらえてアクセスするのでは不十分であり、個々の画像をその内容から論理画像(logical picture)としてアクセスする必要がある[9]。そのため本システムでは、あらかじめ画像の内容について記述しておき、それを実際の検索

対象として扱う。ここではこの記述を画像記述(image description)と呼ぶ。画像認識技術の利用により、画像の内容を自動的に抽出することができれば、検索時の情報抽出ないしは画像記述の自動作成が可能となる。しかし現状では内容レベルの画像特徴の自動抽出は甚だ困難であり、より一層の画像認識、画像理解技術の進歩を待たねばならない。本研究では、知識を利用した画像の検索に重点を置き、画像内容の自動記述については対象外とする。

本システムは3次元の構造を持つ一般画像をその検索対象としている。一般画像はそこに存在する個々のオブジェクトの集合で構成される。そこで、画像記述としては、オブジェクト自身についての記述、オブジェクト間の関係についての記述が必要となる。本システムでは画像記述のモデルとしてフレーム型の知識表現モデルを用いる[10]。フレームモデルは本来、人間のシーン理解に関する認知心理学的概念に立脚したモデルであるため、一般画像の内容の抽象化モデルとしてごく自然であるといえる。

画像記述は次の3種類のフレーム記述によって構成される。

(a) 画像記述フレーム

画像全体の特徴、画像中に存在するオブジェクトについて記述したものであり、原画像に一対一に対応して記述される。本フレームが最終的な検索対象に一致する。

(b) 構成要素インスタンスフレーム

画像中に存在する個々のオブジェクトを1つのフレーム単位として、その特徴、他のオブジェクトとの関係についての記述したものである。

(c) 構成要素クラスフレーム

構成要素インスタンスフレームに対するクラスとしての性質を持つフレームであり、オブジェクトに共通する特徴等を記述したものである。本フレームと継承機能の利用により記述の冗長を回避する。

構成要素インスタンスフレームと構成要素クラスフレームを総じて構成要素フレームと称する。なおスロットは画像記述時に自由に拡張が可能である。

表1, 2に画像記述フレームを構成する基本的なスロット及び構成要素フレームを構成する基本的なスロットの例を各々示す。また図1の原画像に対する画像記述の例(抜粋)を図2に示す。

表1. 画像記述フレームの基本的なスロット

FRAMETYPE	フレームタイプ (IMAGE)
IMAGE_NUMBER	対応する原画像の識別番号
CONSIST_OF	画像を構成しているインスタンス
COLOR	画像全体の色彩, 色調
BRIGHTNESS	画像全体の輝度

表2. 構成要素フレームの基本的なスロット

FRAMETYPE	フレームタイプ (INSTANCE, CLASS)
AKO	抽象度が上位の概念
SCENE	対象が登場するシーン
COLOR	対象の色彩, 色調
PART_OF	対象によって構成される全体
CONSIST_OF	対象を構成している部分
MADE_OF	対象を構成している素材
NUMBER	対象の数
SHAPE	対象の形状
BRIGHTNESS	対象の輝度
HAVE	対象の所有物
WEAR	対象の着用物
ON, IN, OUT, OVER, UNDER	
RIGHT_OF, LEFT_OF	
BACK_OF, FRONT_OF	対象の相対的な位置



図1 原画像

```

<IMAGE9
(FRAMETYPE (VALUE (IMAGE)))
(IMAGE_NUMBER (VALUE (9)))
(CONSIST_OF (VALUE (HOUSE9-1) (TREE9-1)
                (SKY9-1) (ROAD9-1)
                (TREE9-2) (FLOWER9-1)
                (FLOWERBED9-1))))
<HOUSE9-1
(FRAMETYPE (VALUE (INSTANCE)))
(AKO (VALUE (HOUSE)))
(SCENE (VALUE (IMAGE9)))
(STORY (VALUE (1)))
(CONSIST_OF (VALUE (ROOF9-1) (WALL9-1)
                (WINDOWS-1) (DOORS-1)
                (WINDOWS-2) (SHUTTERS-1)
                (PILLERS-1) (CHIMNEY9-1)
                (CHIMNEY9-2) (BEAM9-1)
                (ROOF9-2) (WINDOWS-3))))
<ROAD9-1
(FRAMETYPE (VALUE (INSTANCE)))
(AKO (VALUE (ROAD)))
(SCENE (VALUE (IMAGE9)))
(MADE_OF (VALUE (STONE)))
(FRONT_OF (VALUE (HOUSE9-1)))
(RIGHT_OF (VALUE (FLOWERBED9-1))))
<TREE9-1
(FRAMETYPE (VALUE (INSTANCE)))
(AKO (VALUE (TREE)))
(SCENE (VALUE (IMAGE9)))
(CONSIST_OF (VALUE (LEAF9-1) (TRUNK9-1)))
(NUMBER (VALUE (5)))
(ON (VALUE (FLOWERBED9-1)))
(FRONT_OF (VALUE (HOUSE9-1))))
<TREE
(FRAMETYPE (VALUE (CLASS)))
(AKO (VALUE (PLANT)))
(CONSIST_OF (DEFAULT (LEAF) (BRANCH)
                (TRUNK)))
(COLOR (DEFAULT (GREEN)))
(ON (VALUE (GROUND))))

```

図2 画像記述の例

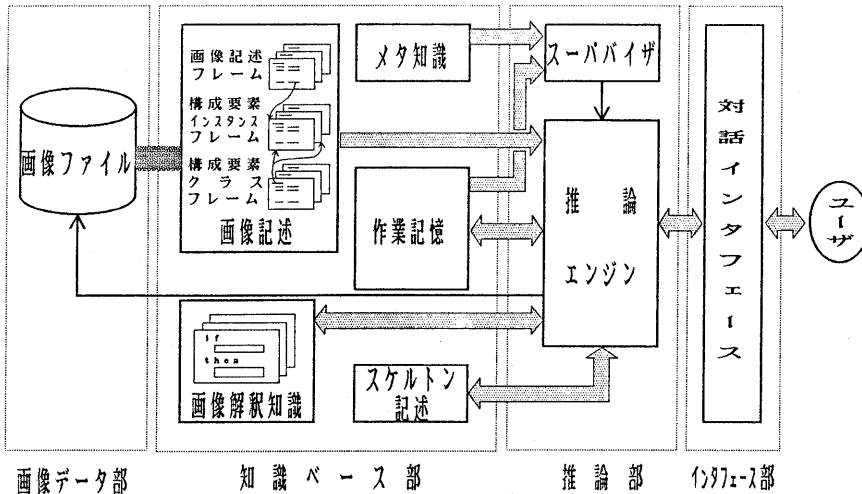


図3 システム構成

#### 4. 画像検索システムの構成

##### 4.1 システム構成

図3にシステムの全体構成を示す。システムは同図に示すように画像データ部、知識ベース部、推論部、インターフェース部の4ブロックから構成される。現段階ではこのうち知識ベース部並びに推論部を中心に検討しており、インターフェース部、画像データ部の詳細設計は今後の課題である。

以下、システムの各モジュールについて説明する。

##### (1) 画像記述

画像内容について記述したものである。(3.参照)これを基に要求に合致する画像を検索する。

##### (2) 画像解釈知識

画像情報はきわめて具体的な情報の集合であると考えられる。人間がその画像の持つ意味を読み取り解釈する場合、何等かの知識をもとにして具体的な事実をより抽象的なレベルへ変換していると考えられる。本知識はそういった人間が画像を解釈する際に用いている知識を、次のようなプロダクションルールで表現したものである。

```
IF      【具体的現象, 事実】
THEN   【抽象的現象, 事実】
```

ここで「具体的」「抽象的」というのは相対的な抽象度のレベルに基づいたものであり、絶対的な判断基準ではないことに注意されたい。

「現象, 事実」は述語を用いて記述される。以後これをファクトと呼ぶ。基本的にルール中ではファクトは一般的な(述語 ... )の形式で記述可能であるが、

```
if  述語 exist が存在しない
then ルールをさらに適用する

if  項目数が4以上のファクトが存在
then ルールをさらに適用する

if  属性がインスタンスフレームのスロットリストのメンバーでない
    項目数が3のファクトが存在
then ルールをさらに適用する

if  属性が画像記述フレームのスロットリストのメンバーでなく
    かつ述語 exist でもない項目数が2のファクトが存在
then ルールをさらに適用する

if  上記以外の場合
then フレームを探索する
```

図4 メタ知識

フレーム検索時における検索条件として使用可能なファクトとしては次の3種類のパターンが存在する。すなわち①(述語 オブジェクト)、②(述語 値)、ならびに③(述語 オブジェクト 値)であり、オブジェクトおよび値には変数を使用できる。このプロダクションルールを後向きに順次適用することにより、検索要求の具象化レベルを上げる。

##### (3) メタ知識, スーパーバイザ

スーパーバイザは作業記憶を監視し、メタ知識に従って推論エンジンの推論・検索対象を制御する。図4にインプリメントしているメタ知識の一例を示す。これらはフレームを検索する場合にファクトに最小限成立しなければならない条件の記述である。

##### (4) 推論エンジン, 作業記憶

画像解釈知識と共にプロダクションシステムを構成する。作業記憶には現在の検索条件が記述されており、推論エンジンは画像解釈知識(ルール)を適用しながら作業記憶を書き換えて推論を進めていく。また推論エンジンは作業記憶を満足する画像記述の検索も行う。

(5) スケルトン記述

画像解釈知識の述語と変数を骨格とし、他の部分は自由に値が代入可能な記述である。例えば、

```
IF (述語1 変数1 ***)
THEN (述語2 *** 変数1)
```

といった記述形式をしている。この“\*\*\*”の部分(変動部)に利用者が任意の値を代入することによって知識の構成を行うことができる。本記述は新しい画像解釈知識を追加する際のガイドとして機能するが、これは同一概念を形成する画像解釈知識の形式的な類似性を利用したものである。

4.2 システムの動作

図5にシステムの動作フローを示す。以下、動作手順について詳細を述べる。

(STEP1) 検索要求の入力

検索要求はファクトの積集合によって表現する。ファクトは述語を用いて記述され、要求記述内で有効な局所変数(“?+変数名”)の使用が可能である。例えば、次のような形で検索要求を入力する。

①「人の写っている画像」

```
(exist ? x)
(ako ? x human)
```

②「四角い窓のある家の画像」

```
(exist ? x)
(ako ? x house)
(consist-of ? x ? y)
(ako ? y window)
(shape ? y square)
```

③「晴れた日の画像」

```
(weather fine)
```

入力された検索要求は作業記憶上に記述される。この状態がプロダクションシステムの初期状態となる。

(STEP2) 作業記憶の状態監視

スーパーバイザは状態変化の度に作業記憶を監視し、その内容に応じてメタ知識を適用することにより、推論エンジンに対して、推論、制御対象の変更を指示する。すなわち、さらに画像解釈知識を適用して推論を進める(プロダクションシステムとして動作)か、あるいは画像記述の検索(フレーム検索システムとして動作)を行うのかを判定する。場合によっては画像解釈知識(ルール)が一度も適用されることなく、作業記憶を書換えずに画像記述の検索へ制御変更するケースも考えられ、これが一次検索に相当する。

(STEP3-a) 画像解釈知識の適用

スーパーバイザにより、プロダクションシステムとしての動作を指示された場合、推論エンジンは画像解釈知識を用いて、作業記憶の記述を具象化する。画像解釈知識は人間が画像を見た時に、画像中に存在している具体的な事象から、より抽象的な事象へ変換する過程を知識ベース化したものであり、4.1(2)で示したように、IF【具体】THEN【抽象】という形で表す。ここでは、このプロダクションルールを後向きに適用することにより作業記憶を書換え、その抽象度の低下をはかる。ルールの適用に成功すれば再び(STEP2)に戻る。適用可能なルールが存在しない時は、既存知識のみでは作業記憶のこれ以上の具象化は不可能であるという結論に到達し、検索失敗と

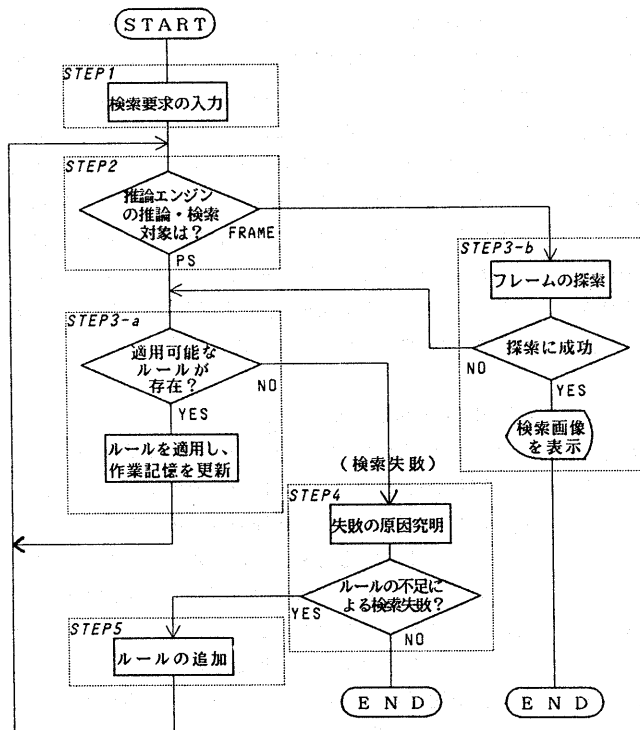


図5 動作フロー

いうことを利用者に示して検索処理を終了する。これに対して利用者は、なぜ検索に失敗したのかをシステムに質問することができる(STEP4)。

#### (STEP3-b)フレームの検索

スーパーバイザにより、フレームの検索を指示された場合、推論エンジンは作業記憶の内容記述をすべて満たすフレームを検索する。この段階で作業記憶の内容は、4.1(2)で示した3種類のファクトの形式になっており、すなわちそれらは、オブジェクトの属性値ならびに画像全体の属性値に成り立つ条件の組合せと見なすことができる。ファクトの形式は7種類に詳細分類でき、その各々に対してフレームの検索を以下のように行う。

##### ①ファクトが〈述語 オブジェクト 値〉の場合

構成要素フレームを対象として、[フレーム名=オブジェクト]、[スロット名=述語]、[値=値]の成立するフレームを検索する。

##### ②ファクトが〈述語 《変数》 値〉の場合

構成要素フレームを対象として、[スロット名=述語]、[値=値]の成立するフレームを検索する。

##### ③ファクトが〈述語 オブジェクト 《変数》〉の場合

構成要素フレームを対象として、[フレーム名=オブジェクト]、[スロット名=述語]、[値=《変数》]の成立するフレームを検索する。

##### ④ファクトが〈述語 《変数1》《変数2》〉の場合

構成要素フレームを対象として、[スロット名=述語]、[値=《変数2》]の成立するフレームを検索する。

##### ⑤ファクトが〈述語EXIST オブジェクト〉の場合

[フレーム名=オブジェクト]の成立する構成要素インスタンスフレームをもとに、オブジェクトが存在する画像記述フレームを検索する。

##### ⑥ファクトが〈述語EXIST 《変数》〉の場合

[フレーム名=《変数》]の成立する構成要素インスタンスフレームをもとに、オブジェクトが存在する画像記述フレームを検索する。

##### ⑦ファクトが〈述語 値〉の場合

画像記述フレームを対象として、その[スロット名=述語]、[値=値]の成立するフレームを検索する。

なお①～④、⑦における“値”に関してはフレームシステムの基本機能であるデフォルト値、継承、付加手続きの使用が可能である。

フレームの検索は、以上の①～⑦のうち、まず最初

に①～④を行い、次に⑤～⑦の積集合をとることによって画像記述フレームを特定する。

フレームの検索に失敗した場合は(STEP3-a)に処理を移行する。画像記述フレームの検索に成功すれば、そのフレームに対応した原画像を表示して処理を終了する。

#### (STEP4)検索失敗時の処理

画像記述フレームの検索に成功することなく、適用可能な画像解釈知識が存在しなくなると、検索失敗とみなし本処理を実行する。この時点で検索失敗は、

(a)実際に検索要求を満足する画像が存在しなかった。

(b)画像記述知識が不十分なために、検索要求を具象化できなかった。

の2通りに解釈できる。実際にはこの解釈をシステムが行うことはできず、その判断は利用者に委ねられる。本システムでは検索失敗の原因説明機能によってこれに対応する。すなわち検索に失敗した時、なぜ検索に失敗したのかを利用者が問い合わせることができる。利用者が説明を要求すると、フレームの検索段階で失敗したのであれば、検索できなかったフレームの検索時の条件を提示する。また、フレームの検索も行えなかった場合は、フレーム検索の条件(メタ知識)を満足しなかった作業記憶中の記述を提示する。後者の場合は、記述の抽象レベルが画像記述レベルに比較して高すぎると判断できるので、システムは利用者に対して、その記述を(後向きと考へて)さらに具象化する知識の追加(STEP5)を要求する。前者の場合は表示された条件を利用者が見て、その抽象度から前記(a)、(b)のどちらに相当するのか判断する。(b)であれば先ほどと同様に知識を追加する(STEP5)。(a)であれば実際に検索失敗ということで処理を完了する。

#### (STEP5)画像解釈知識の追加

画像解釈知識が不足したために検索に失敗した場合は、知識を追加することによって処理の続行が可能である。基本的に、追加する知識はそのTHEN部に、解決できなかった記述を持つような形をしていればよい。そこでシステムは利用者に対して、追加すべき知識のTHEN部の入力を促す。入力されたTHEN部を基に、そのスケルトン記述を検索する。該当するスケルトン記述が存在すれば、それを利用者に表示し、作成するルールのみな形として使用できるかどうかを質問する。使用可能であれば、利用者は記述の変動部を

埋める形でルールを構成する。一方、スケルトン記述が存在しない、もしくは使用不可の場合は、IF部を入力することによってルールを構成する。構成されたルールは利用者の確認のもとに画像解釈知識として追加格納される。ルール追加後は利用者の継続指示に従って再び(STEP2)へ戻る。

### 5. 動作例

風景写真を対象とした動作例を図6(a),(b)に示す。同図中、下線部が検索利用者の入力である。

### 6. まとめ

本稿では、一般画像を対象とし高次検索機能を有する画像検索システムを提案した。高次検索とは画像の意味による検索であり、本システムではこれを、人間が画像を見て解釈するとき用いている知識(画像解釈知識)を知識ベース化し、後向きに抽象から具体へ適用して、抽象度の高い検索要求の具象化をはかることによって実現した。また、本システムは検索失敗に対する原因説明機能ならびに画像記述知識の追加機能を持つ。すなわち検索に失敗した場合、直ちにその原因の究明ができ、さらにそれに対して対話的に知識を追加することにより検索の続行が可能である。

今後の課題としては、インターフェース部、画像データ部を含むシステム全体の構成、誤検索時における知識の修正機能の付加、提案システムに基づいた実験システムのインプリメントおよび評価、画像記述の作成支援環境の整備、等が挙げられる。

### [参考文献]

- [1]若菜：“図形・画像データベース技術”，情報処理,Vol.23,No.10,pp.948-954 (1982).
- [2]木戸出,恒川：“画像情報処理におけるマルチメディアデータベース”，情報処理,Vol.28,No.6,pp.756-764 (1987).
- [3]Y.E.Lien and D.F.Utter：“Design of an Image Database”,Proc. IEEE Workshop PDDM,pp.131-136 (1977).
- [4]篠田,近藤,澤田,沼上,木戸出：“ランドサットMSS画像データベースシステムの開発と評価”，情報処理学会論文誌,Vol.24 No.6,pp.867-876(1983).
- [5]浦谷,柴田,野口,相沢：“静止画検索システムFORKSの試作”，情報処理学会論文誌,Vol.28 No.7,pp.758-766 (1987).
- [6]長谷川,福村,鳥脇：“胸部X線写真データベースのためのスケッチ画像の作成と利用”，電子通信学会論文誌,Vol.J65-D,No.9,pp.1121-1128 (1982).
- [7]林,河合,上原,豊田：“画像データベースの意味検索の試み 一道路地図データベースの略地図による検索一”，情報処理学会知識工学と人工知能研究会資料,44-2 (1986).
- [8]大川,馬場口,手塚：“知的画像検索システムの基礎的考察”，情報処理学会第35回全国大会講演論文集,6P-8,pp.1903-1904 (1987).
- [9]S.K.Chang and S.H.Liu：“Picture Indexing and Abstraction Techniques for Pictorial Databases”,IEEE Trans. on PAMI,Vol.PAMI-6,No.4,pp.475-484 (1984).
- [10]M.Minsky：“A Framework for Representing Knowledge”,in The Psychology of Computer Vision, McGraw-Hill (1975).

検索要求：「川のある画像」

メッセージ及び入力	システム内部の状態, 動作	動作内容
<pre>input query ? &gt; <u>(exist ?x)</u>    <u>(ako &gt;x river)</u></pre>	<pre>WMS=(⟨EXIST ?X⟩       ⟨AKO ?X RIVER⟩) supervising ==&gt; frame search search_frame(??X:slot='AKO',value='RIVER') ?X=(RIVER2-1 RIVER4-1) fget(frame=?X,slot='SCENE') =(IMAGE2 IMAGE4)</pre>	<p>(STEP1) 質問の入力。 作業記憶に記述。</p> <p>(STEP2) スーパーバイザが フレーム検索を指示。 (STEP3-b) 作業記憶の記述を 基にフレームを検索。 画像記述フレームの 特定。</p> <p>検索結果の表示。</p>
<pre>result : success (IMAGE2 IMAGE4) is retrieved &gt;</pre>		

(a) 一次検索

図6 システム動作例

検索要求: 「季節が冬である画像」

メッセージ及び入力	システム内部の状態, 動作	動作内容
<pre> input query ? &gt; (season winter)  result : failure &gt; why frame(slot='AKO', value='HUMAN') is not found &gt; addrule THEN-PART please ? &gt; (ako &gt;x human)  IF-PART = " (AKO &lt;X ***) " ? &gt; yes '***' = ? &gt; man RULE #12 (IF (AKO &lt;X MAN)) (THEN (AKO &gt;X HUMAN)) is generated OK ? &gt; yes rule #12 is added &gt; continue  result : success (IMAGE6) is retrieved &gt; </pre>	<pre> WMS=((SEASON WINTER)) supervising   predicate 'EXIST' is not found   ==&gt; applying rule rule #4 is applied   (RULE #4 (IF (EXIST &lt;X)                 (WEAR &lt;X &lt;Y)                 (AKO &lt;X HUMAN)                 (AKO &lt;Y COAT))            (THEN (SEASON WINTER))))  WMS=((EXIST ?G1)       (WEAR ?G1 ?G2)       (AKO ?G1 HUMAN)       (AKO ?G2 COAT)) supervising   ==&gt; frame search search_frame(?G1:slot='AKO',value='HUMAN') failure   ==&gt; applying rule rule is not found  search_skeleton("(AKO &gt;X HUMAN)") (SKELETON #1 (IF (AKO &lt;G1 ***)                  (THEN (AKO &gt;G1 ***) )))  WMS=((EXIST ?G1)       (WEAR ?G1 ?G2)       (AKO ?G1 HUMAN)       (AKO ?G2 COAT)) supervising   ==&gt; frame search search_frame(slot='AKO',value='HUMAN') failure   ==&gt; applying rule rule #12 is applied   (RULE #12 (IF (AKO &lt;X MAN))             (THEN (AKO &gt;X HUMAN))))  WMS=((EXIST ?G1)       (WEAR ?G1 ?G2)       (AKO ?G1 MAN)       (AKO ?G2 COAT)) supervising   ==&gt; frame search search_frame(slot='AKO',value='MAN':?G1) ?G1=(MAN2-1 MAN2-2 MANG-1) search_frame(slot='AKO',value='COAT':?G2) ?G2=(COAT3-1 COAT6-1 COAT6-2) search_frame(slot='WEAR',value=?G2:?G1) ?G1=(MANG-1) fget(frame=?G1,slot='SCENE')=(IMAGE6) </pre>	<p>(STEP1) 質問の入力. 作業記憶に記述.</p> <p>(STEP2) スーパーバイザが ルール適用を指示.</p> <p>(STEP3-a) ルール (RULE#4) を 適用.</p> <p>作業記憶の更新.</p> <p>(STEP2) スーパーバイザが フレーム検索を指示.</p> <p>(STEP3-b) フレーム検索に失敗. 再度ルールを適用.</p> <p>(STEP3-a) 適用可能ルールが なく検索失敗.</p> <p>(STEP4) 失敗原因の問いかけ. 理由を表示.</p> <p>(STEP5) ルール追加の要求. THE N 部の入力.</p> <p>THE N 部を基に スケルトン記述を 検索.</p> <p>変動部の値を入力. 入力値を用いて ルールを構成.</p> <p>ルールの追加. 検索続行を要求.</p> <p>(STEP2) スーパーバイザが フレーム検索を指示.</p> <p>(STEP3-b) フレーム検索に失敗. 再度ルールを適用.</p> <p>(STEP3-a) ルール (RULE#12) を 適用.</p> <p>作業記憶の更新.</p> <p>(STEP2) スーパーバイザが フレーム検索を指示.</p> <p>(STEP3-b) 作業記憶の記述を 基にフレームを検索.</p> <p>画像記述フレームの 特定. 検索結果の表示.</p>

(b) 高次検索  
図6 システム動作例