

集合の概念に基づくフレームの拡張

吉良賢治 三石彰純 辻秀一
三菱電機(株) 情報電子研究所

集合の概念に基づいてフレームを拡張した知識モデル K S I (Knowledge Model for Set Inference) において、より豊富な推論機能の実現を試みた。K S I ではフレームに集合・個体という意味づけを行ない、クラス・インスタンス関係を集合とその要素の関係に拡張し、動的な継承機構を実現する。また、スロットアクセス機能に加えて、集合・要素間の帰属関係の判定、集合の探索、要素の列挙、集合間の包含関係の判定、集合の合成など、集合の概念に基づく様々な推論の枠組みを提供する。診断や設計支援の評価実験の結果、K S I を用いると、知識を自然な形でモデル化でき、集合の概念による推論が有効に機能することを実証することができた。

本稿では、K S I の概要をフレームの拡張という観点から述べ、その評価実験の結果を報告する。

Enhancement of Frames using the Concepts of Sets

Kenji KIRA, Akitoshi MITSUISHI, and Hidekazu TSUJI

Information Systems & Electronics Development Laboratory, Mitsubishi Electric Corporation

5-1-1, Ofuna, Kamakura, Kanagawa 247, JAPAN

We made an experiment to provide richer inference functions in the knowledge model KSI (Knowledge model for Set Inference) which is an enhanced frame model using the concepts of sets. In KSI, frames are recognized as sets and individuals. And the relation between classes and instances are extended to the one between sets and elements, and dynamic inheritance mechanism is realized. KSI provides not only methods to access slots, but also ones based on the concepts of sets. According to the results of evaluation on diagnosis and design assistance, we showed that knowledge can be represented naturally in KSI, and inference mechanism using the concepts of sets are effective.

In this paper, we describe the outline of KSI from the viewpoint of enhancement of frames and report the results of its evaluation.

1 はじめに

フレームは対象世界を記述する知識表現手法としてその有効性が認められ、エキスパートシステムにおける知識ベース等に普及している。また最近では、常識を格納する大規模な知識ベースの構築の枠組みとしても用いられている[1]。

フレームは、スロットにより構造を持つ対象をモデル化し、継承機構により知識の局所化、効率化を実現し、付加手続きの起動によりデータ駆動型の処理記述を可能にする。これらの特性はいずれも複雑な対象を知識ベース内にモデル化するために有効である。

このように処理対象の記述に有効なフレームではあるが、手続きの記述という観点から見ると、付加手続きの管理は一般にユーザまかせであり、対象に施すべき処理の記述の枠組みとしては必ずしも十分ではない。そのため、フレーム表現が手続きを表現するためのルール表現と併用して用いられることも多く、また一方では、フレームベースに対してスロットアクセス以外の推論を行なう機能拡張の研究も行なわれてきた[2,3,4]。

本稿では、集合の概念に基づいてフレームを拡張した知識モデルKSI(Knowledge Model for Set Inference)[5,6,7]において、より豊富な推論機能を実現する試みについて述べる。

KSIは単に特定のエキスパートシステムシステムのための知識モデルを組むのではなく、診断、検索、設計など多目的に用いられる知識ベース構築のための知識モデルをめざした。多目的な知識ベースであるためは、同じ知識ベースに対してさまざまな角度からの質問を行なうことができなければならない。KSIではフレームのスロットアクセス機能に加えて、集合の概念に基づく様々な推論の枠組みを提供することで、同一知識ベースの多目的使用を狙った。また、KSIでは集合の概念になぞらえることにより知識モデルの抽象度を高め、個々の知識片に明確な意味を与えられることを期待した。

なお、KSIモデルの有効性を実証する手段として、AIワークステーションPSI上にKSIを用いた知識ベースの操作システムSIGMA[8,9]を開発し、それを用いた評価実験を実施した。

本稿では、まず知識モデルKSIの概要について述べ、次に従来のフレームからの拡張点をまとめ、さらに評価実験によるKSIの評価結果について述べた後、最後にそれらをまとめる。

2 知識モデルKSIの概要

2.1 知識表現

2.1.1 オブジェクト

KSIは実世界を集合とその要素としてモデル化する知識モデルである。実世界の「もの」をKSIでモデル

化したものをオブジェクトと呼ぶ。

オブジェクトには、実世界の实体(個体)を表現するための個体オブジェクトと、それらを集めた概念の枠組み(集合)を表現するための集合オブジェクトがある。集合オブジェクトはオブジェクト(個体及び集合)を要素とすることができる。今後、特に誤解の生じないかぎり、個体オブジェクトのことを単に“個体”、集合オブジェクトのことを単に“集合”と呼ぶことにする。

2.1.2 個体オブジェクト

個体は知識の中に現れる概念の最小単位を表わす記述である。個体はフレームであり、個体名とスロット記述部からなる(図1)。

スロット記述部には、その個体自身の状態を表現するためのスロットについての記述を行なう。スロットはスロット定義及びスロット値からなる。ここでスロット定義とは、デフォルト値、付加手続きなどスロットファシットの定義をさす。

KSIではスロット定義に多重定義を許す。即ち、同一のスロットについて、スロット記述部に与えられた定義のほかに、後述するように、集合オブジェクトから要素スロット定義を継承することができる。

2.1.2 集合オブジェクト

集合は知識の中に現れる“もの”の“集合”の記述であり、オブジェクト(個体、集合)をその要素とする。集合はオブジェクトの集まりであり、かつ、それ自身がひとつのオブジェクトである。

数学においては、2種類の方法で集合を定義することができる。ひとつは「集合Sの要素はa、b、cの3つである」というように要素を列挙する方法(外延的定義)であり、もうひとつは「集合Sの要素は、1以上5以下の自然数である」というように要素の満たすべき条件を提示する方法(内包的定義)である。

KSIにおいても、数学における集合の定義にしたがって、ユーザが定義する一般の集合には要素列挙型集合と、条件提示型集合の2種類があり、これらをまとめて一般集合と呼ぶ。またそれらの他に、後述する類別により生成される分割集合がある。

以下にそれぞれの定義について述べる。



図1 個体オブジェクト

2.1.2.1 一般集合

一般集合は条件提示型集合と要素列挙型集合の総称である。条件提示型集合は、集合の内包的定義に対応するもので、その集合の要素となるべきオブジェクトの条件を記述して定義する。また、要素列挙型集合は、集合の外延的定義に対応するもので、その集合の要素であるオブジェクトのオブジェクト名を列挙して定義する。

一般集合は、個体と同様にフレームにより実現され、集合名、集合自身の性質を記述した自己記述部、その集合に属する要素が持つべき性質を記述した要素記述部からなる(図2)。

(1) 自己記述部

自己記述部は、集合自身をひとつのオブジェクトとして見てその属性を記述したものであり、上位集合記述部とスロット記述部からなる。上位集合記述部は、その集合の直接の上位集合を指定するものである。

ここで、ある集合の上位集合とはその集合を包含する集合をいう。例えば、哺乳類の集合は犬の集合の上位集合である。

集合Aの上位集合に集合Bが指定されていれば、集合Bに帰属し、かつ集合Aの要素判定方法記述部の規定を満足するもののみが集合Aの要素である。

KSIでは上位集合指定において複数の上位集合を指定することができ、複数の上位集合からの多重継承を実現する。継承については3.3に述べる。

スロット記述部については個体と同様である。ここで、スロット記述部に定義されるスロットは集合自身の状態を表現するもので、後に述べる要素スロット定義と区別するため、特に自己スロットとも呼ぶ。

(2) 要素記述部

要素記述部は、その集合の要素となるオブジェクトが持つべき性質について記述した部分であり、要素スロット定義記述部、要素判定方法記述部、要素デモン記述部からなる。

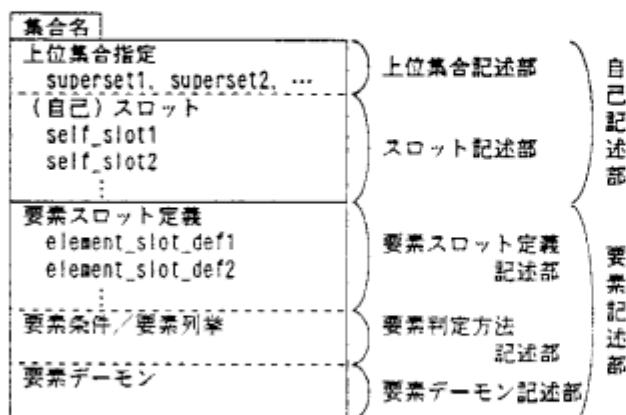


図2 集合オブジェクト

要素スロット定義には、その集合の要素が持つべきスロットについての記述を行なう。要素スロット定義はそれが定義されている集合が持つスロットではなく、その集合の要素となるオブジェクトが持つスロットの定義であるため、スロットとしての実体はなく、スロット値の記述はない。

要素判定方法記述部はオブジェクトがその集合の要素であるかどうかを判定する方法を与えるものである。条件提示型集合の要素判定方法には、要素となるための条件(要素条件)を記述する。但し、KSIの集合は集合要素間の帰属関係に曖昧さを許すファジー集合であり、要素条件は集合と要素の帰属の確信度(帰属確信因子: 0.0以上 1.0以下の実数)を与えるメンバシップ関数である。一方、要素列挙型集合の要素判定方法には要素のオブジェクト名を列挙する。

要素デモン記述部には、あるオブジェクトがその集合の要素であるかどうかを判定したことがきっかけとなって起動される処理(要素デモン)を記述する。要素デモンを用いるとオブジェクトと集合の帰属確信因子の値によって推論を制御することができる。

2.1.2.2 分割集合

集合を定義する際、あるひとつの集合をいくつかの集合の組に分割する場合がある。例えば、「人間には男性と女性がある」というような分類や、「スイッチがONの場合とOFFの場合がある」というような状況の判断において、各々の分類や状況を集合を用いて表現する場合がそれに当たる。

集合を、互いに共通な要素を持たない部分集合の組に分割することを類別と言う。類別に用いられた部分集合を元の集合の分割集合と呼ぶことにする。

KSIでは任意の集合を1個以上の部分集合に類別することができる。

ある集合の類別を定義するには、分割すべき集合名の指定、分割に用いる分割集合名とその要素条件(分割条件)の記述が必要である。

各分割条件は、条件提示型集合の要素条件とは異なり、帰属関係に曖昧さを許さず、帰属確信因子が1.0となる条件を与えるように制限する。これは、「排反性を持たせた集合の分割と、曖昧性のない帰属確信因子」という統一をとるためである。

集合の類別を導入することにより、以下に示す利点を得る。例として、集合AをB, C, Dに類別した場合をとって考える(図3)。

①部分集合間の排反性の利用

eをAの要素とする。eがB, C, Dのいずれに帰属するかを判定する場合、eがBに帰属することが判明すれば、もはやeはCやDに帰属することはない。従って、

eを帰属させる集合の探索範囲からC、D及びそれらの部分集合を取り除くことができる。

②被覆性の利用

①と同様、Aの要素eがB、C、Dのいずれに帰属するかを判定する場合、eがBにもCにも帰属しないことが判明すれば、Dの要素条件の評価を待たずにeがDに帰属することがわかる。従って、Dの要素条件の評価を省略することができる。

③「その他」の表現の簡略化

以上の①、②はシステムの探索効率を向上する観点に立ったものであったが、ユーザにとっても類別の導入により知識の表現が簡略化されるという利点がある。

Dを「その他の集合」と解釈すれば、類別を用いて「Bの場合には……」、「Cの場合には……」、「その他の場合には……」という表現が可能である。この時、分割集合B、Cのための要素条件にはそれぞれに帰属するための条件のみを記述すればよく（Cの要素条件の中には「Bに帰属しない」という条件を書かなくてよい）。「その他」であるDの要素条件は省略することができる。



図3 集合の類別

2.1.4 オブジェクトの体系

知識ベース内に定義されたオブジェクトは、意味と構造によりひとつの体系をなす。以下にその体系について述べる。

(1) ワールド

ひとつの知識ベースの中にも、例えば「人間に関する知識を表現する集合や個体」と「物に関する知識を表現する集合や個体」のように、意味上の取り扱いが異なる場合がある。このように、オブジェクトの意味の種類を区別するため、知識ベースをワールドと呼ぶ空間に分割して管理する。ワールドはオブジェクトの型（集合、個体）と直交する概念で、ひとつのワールドの中にそれぞれ集合や個体が存在する。

知識ベース内で、ワールドは同じグループに属する全ての集合及び個体を要素とする、ひとつの仮想的な集合として取り扱う。

ワールドを設けることにより、以下に示す利点を得る。

①グループの異なるオブジェクトを区別して管理することにより、ユーザの理解が容易になる。

②オブジェクトがワールドに分割されていることにより、オブジェクト探索時の探索範囲を狭めることができるため、システムにとって探索効率を高めるこ

とができる。

(2) ベキレベル

集合には集合、集合の集合、集合の集合の集合、……のようにベキの関係による一次元構造がある。そこで、この構造に1から始まる整数を対応させて集合の構造を表現することができる。この対応を拡張し、個体に0を対応させて、オブジェクトの構造を0から始まる整数で表現し、その数をベキレベルと呼ぶことにする。

(3) 基底集合

これまでに述べたワールドとベキレベルは直交する概念である。すなわち、ユーザの定義した任意のワールドに対して任意のベキレベルが想定される（図4）。

図4に示したように、ワールドとベキレベルを指定することによりひとつの空間（めりつぶしたところ）が決定する。その空間は、あるワールドの全個体の集合、ベキレベル1の全集合の集合、ベキレベル2の全集合の集合、…のように、それぞれベキレベルが1高い集合として表現される。

この様に、ワールドとベキレベルを指定するとひとつの集合が決定する。この集合を基底集合と呼ぶ。

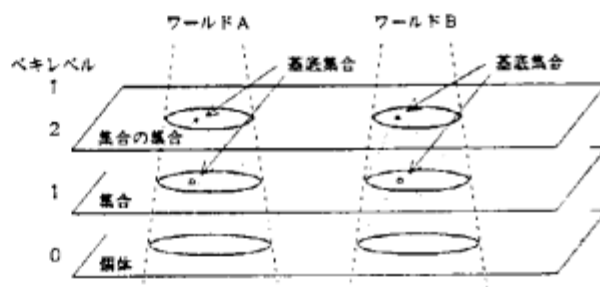
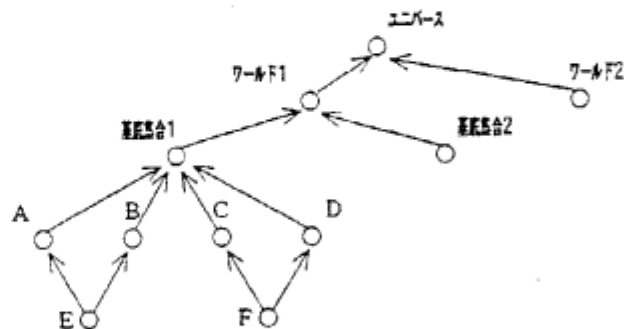


図4 ワールドとベキレベル

(4) ユニバース

ワールドが同じグループに属する全ての集合及び個体を要素とする仮想的な集合として扱われることは既に述べたが、それらのワールド全てに共通する仮想的な上位集合としてユニバースを定義する。つまり、ユニバースは知識ベース内に定義された全てのオブジェクト（集合、個体）を要素とする集合とみなす。



(注) $X \rightarrow Y$ はXがYを上位集合とすることを意味する。

図5 集合が形成する有向グラフ

(5) 集合が形成する有向グラフ

ユニバースを除く全ての集合は上位集合指定を持つ。この上位集合指定を下位集合から上位集合へのアローと考えると、知識ベースの中の集合全体が上位集合指定により一つの有向グラフを構成する。

図5は集合の作る有向グラフの例である。図で、集合Eは集合A、Bを上位集合としている。このように、上位集合の複数指定を許しているのが集合の作る有向グラフは一般には木構造にはならない。

2.2 推論

2.2.1 スロット操作

オブジェクト(集合/個体)のスロットに対して、通常のフレームと同様、スロット値の参照、追加、削除の操作が可能である。その際、デーモンの起動、対話的なスロット値の獲得等の処理を行なう。

2.2.2 集合操作

KSIではフレームに集合、個体という意味付けを行なっている。この意味付けに従って行なわれる推論を集合操作と呼ぶ。KSIが提供する集合操作には、①集合・要素間の帰属関係の判定、②あるオブジェクトが帰属する集合の探索、③ある集合の要素の列挙、④集合間の包含関係の判定、⑤合成集合の生成などがある。以下にそれぞれについて述べる。

(1) 帰属関係の判定

2.1に示したようにKSIモデルの集合は要素判定方法記述部を持っており、そこに指定された要素条件あるいは列挙された要素名に従って、オブジェクトが自分の要素であるかどうかを判定することができる。これを集合・要素間の帰属関係の判定と呼ぶ。KSIモデルにおける集合は帰属関係に曖昧さを許すファジー集合であるため、ここでの帰属関係の判定は、実際にはメンバシップ関数値(帰属確信因子: 0.0以上 1.0以下の実数)の評価である。

ここで、集合とオブジェクトの帰属確信因子は、その集合の上位集合とそのオブジェクトの間の帰属確信因子の値と、もとの集合に定義された要素判定方法により決定される確信因子の値とから算出する(例えばそれらの積)。上位集合は一般に複数存在するので、上位集合との帰属確信因子の算出にあたっては、それぞれの上位集合との間の帰属確信因子を求め、それらの帰属確信因子の合成(例えば積)を行ない、最終的に一つの確信因子にまとめる。

また、帰属関係の判定の後、集合に指定された要素デーモンが起動される。要素デーモンにより帰属関係判定後の推論の制御を行なうことができる。

図6に帰属関係の判定の例を示す。図の集合に与えられた要素条件には、要素であるオブジェクトのスロット

ageの値が20以上である場合に帰属確信因子の値を1.0とし、それ以外の場合には(ageのスロット値)÷20とすることが指定されている。ここで図の個体a1のスロット ageのスロット値は18であるから、要素条件を実行した結果、集合adult と個体a1の帰属確信因子は 0.9となる。さらにこの場合、集合の要素デーモン定義の指定に基づいて、得られた帰属確信因子に従ってメッセージを出力する。

このように、KSIの集合は従来のフレームの拡張として要素判定方法の記述を持つが、これにより、従来のフレームが提供していたスロットへのアクセス機能の他に、集合と要素の帰属関係の判定という手続きが可能になった。

帰属関係の判定を用いると、例えば医療診断における「患者Aに胃潰瘍の疑いがあるか?」という問題のように、対象(この場合は患者A)と目標(この場合は胃潰瘍)が与えられて、対象が目標の条件を満たすかどうかの判定を行なうことができる。

(2) 集合の探索

(1)に述べた集合・要素間の帰属関係の判定機能を用いると、集合の上位下位関係が形成する有向グラフをたどり、ある特定のオブジェクトを帰属させる集合を捜し出すことができる。これを集合の探索と呼ぶことにする。

集合の探索においては、「オブジェクトがある集合に帰属しないならば、そのオブジェクトはその集合のいかなる下位集合にも帰属しない。」という性質を利用し、無駄な探索を省くことができる。すなわち、集合の形成する有向グラフを上位から下位へとたどり、与えられたオブジェクトとの帰属確信因子が0になるまで集合を探索すれば、そのオブジェクトを帰属させる全ての集合を見つけることができる。

集合の探索の中でも特に有効なのが次に述べる極小集合の探索である。

あるオブジェクトを与えたとき、そのオブジェクトを要素として帰属させるが、そのいかなる下位集合もそのオブジェクトを要素として帰属させることのない集合を与えられたオブジェクトの極小集合と呼ぶ。極小集合は、局所的にみれば与えられたオブジェクトを帰属させる最

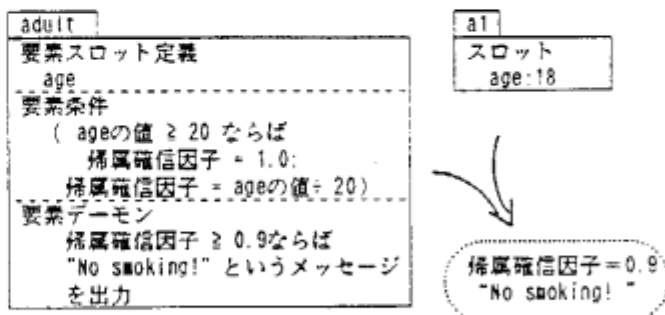


図6 帰属関係の判定

も下位の集合にあたる。すなわち、与えられたオブジェクトに対して最も詳細な、つまり最も適合する概念を表わす集合である。

例えば医療診断において、様々な症状のパターンと病気の分類をを集合で表現し、患者をその要素と考えると、極小集合の探索を用いるとその患者に対して最も適合する病名を探し出すことができる(図7)。

(3) 要素の列挙

K S Iでは集合を与えてその要素を列挙することができる。

与えられた集合が要素列挙型集合の場合は、列挙された要素(のうち上位集合に帰属するもの)を、条件提示型集合または分割集合の場合は、与えられた要素条件を満足するオブジェクトを検索してそれらを列挙する。

要素の列挙を用いれば、例えば医療診断において「風邪の患者は誰か?」というような検索問題を解くことができる。

(4) 包含関係の判定

ふたつの集合を与え、一方が他方に包含されるかどうかを判定する。

ここで、 $set1$ が $set2$ に包含されるとは、

「 $set1$ の任意の要素 $obj1$ について、 $set1$ と $obj1$ の帰属確信因子の値を $CF1$ 、 $set2$ と $obj2$ の帰属確信因子の値を $CF2$ とおくと、 $CF1 \leq CF2$ 」

という関係が成り立つことを意味する。この関係は、ファジー集合における包含関係の定義であり、帰属確信因子の値が0又は1であると制限することにより、

「 $set1$ の任意の要素 $obj1$ ($obj1 \in set1$) について、 $obj1 \in set2$ 」

という関係が成り立つことという定義に変換される。この条件は普通の集合の包含関係の定義になっている。

包含関係の判定を用いれば、例えば医療診断において「風邪の患者は熱が高いか?」という問題のように、「風邪の患者」という分類が「熱が高い患者」という分類の中に含まれるかどうかを知ることができる。

(5) 合成集合の生成

K S Iでは集合を与えて、それに集合演算を施して得られる集合を新たに定義する。新たに定義された集合を

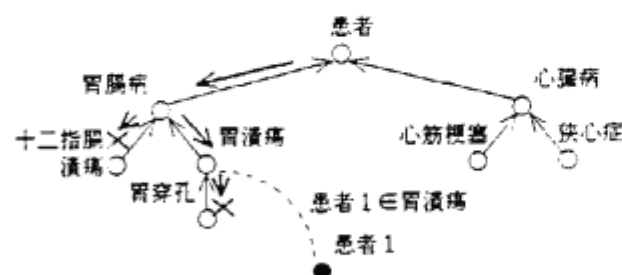


図7 極小集合の探索

合成集合と呼ぶ。合成集合の生成により、基本的な概念の組み合わせにより複雑な概念を表現することができる。

集合演算として、①和集合 ($A \cup B$)、②積集合 ($A \cap B$)、③差集合 ($A - B$)、④補集合 ($C(A)$)、⑤べき集合 (2^A) の5種類を与える。

3 従来のフレームとの相違

3.1 集合と要素の関係

従来のフレームはクラスとインスタンスの関係を固定的なものとして扱っていた[2, 10, 11]。すなわち、インスタンスの生成時にそれがどのクラスのインスタンスであるかを指定し、決定されたクラス・インスタンス間の関係はその後変更されることがなかった。

インスタンスの生成時にそのクラスを固定的に決定する方法は、フレームベースに定義された実体に大きな変化が生じないモデルにおいては処理効率上の利点がある。しかしその反面、実体が大きく変化するモデル(例えば年齢が20を越えることにより子供が大人になる、幾何の証明の過程で三角形の二辺の長さが等しいことがわかり二等辺三角形としての性質が使えるようになるなど)においては同じ実体を表わすインスタンスを新たに生成しなおす必要が生じるという不自然さがあり、クラス・インスタンス間の関係を動的に決定する研究が行なわれている[12, 13]。

K S Iにおいても、集合とその要素間の関係を、従来のクラスとインスタンスの関係とは異なり、推論実行中に動的に変化して行くものとして実現した。つまり、あるオブジェクトが集合の要素であるかどうかは推論(2.2参照)を実行する過程で判明し、それにとりなう属性の継承(3.3に述べる動的継承)が行なわれる。また、ひとつのオブジェクトが同時に(必ずしも包含関係のない)複数の集合の要素になることが許される。

例えば、図8はある人間を表わすオブジェクトと集合の間の関係の変遷を表わしている。図で年齢が20を越えるまでは「子供」及び「学生」という集合の要素であり、年齢が20を越えると「大人」及び「学生」の要素となり、さらに就職をすると「大人」及び「社会人」の要素となる。このようにK S Iでは特定のオブジェクトと集合との関係を推論により動的に変化させて行くことができる。

K S Iにおける集合と要素の関係は後述する集合と要



図8 帰属関係の変化

素の間の帰属関係の判定により決定するが、K S Iにおける集合は 2.1にも述べたようにファジー集合であり、要素との帰属関係に曖昧さが許される。これも従来のクラス・インスタンス間の関係と大きく異なる点のひとつである。

3.2 集合操作

従来より、フレームベースシステムにおいて、パターンマッチングによる質問[10]、新しい概念の適切な配置[2]、手続き(ルール)との連動による探索[4]など、スロットアクセス(及びそれに伴う付加手続きの起動)以外の推論を付加する試みが行われてきた。

K S Iにおいても、集合操作機能を実現することにより、フレームベースの推論能力を高める試みを行なった。

3.3 継承機構

3.3.1 継承機構の概要

K S Iが提供する継承機構には、集合要素間の動的な継承と集合間の静的な継承がある。以下にそれぞれについて述べる。

(1) 動的継承

あるオブジェクトとある集合の間の帰属関係を判定した際、オブジェクトが集合の要素であれば(帰属確信因子が正)、集合の要素スロット定義記述部に定義されている全要素スロット定義を要素であるオブジェクトに与える。このような、集合からその要素であるオブジェクトへのスロット定義の伝達をスロット定義の配布と呼ぶ(図9)。

スロット定義の配布を行なう際、配布を受ける側のオブジェクトに同名のスロットが既にあれば、そのスロットに要素スロット定義が追加され(多重定義)、同名のスロットがなければ新たにスロットを生成する。配布により与えられた複数のスロット定義を、配布元の集合との帰属確信因子の値とともに格納し、その帰属確信因子の値を優先度と見なして管理する。この優先度管理は継承制御(インヘリタンス・ルール)の効果を持つ。

スロット定義の配布を行なうのは、

① 集合要素間の帰属関係が判定するとき

② 配布を瞬に実施するとき

のふたつの場合である。

要素スロット定義の配布を受けたオブジェクトが変化し、配布元の集合にもはや帰属しなくなったとき、集合により配布された要素スロット定義をそのオブジェクトから削除する。この、もと要素であったオブジェクトからの要素スロット定義の削除をスロット定義の回収と呼ぶ(図9)。スロット定義の回収が行なわれた結果スロット定義もスロット値もなくなったスロットは消滅する。

配布は集合オブジェクトからその要素となったオブジ

ェクトへのスロット定義の継承機構である。この継承関係は帰属の判定という推論の実行中に発生するので、特に、動的な継承機構と呼ぶ。

一方、回収の機構は動的に発生した継承関係をやはり動的に解消する機構である。このように、K S Iの動的継承機構は継承関係の解消機能(disinheritance機能)[14]を持つ。

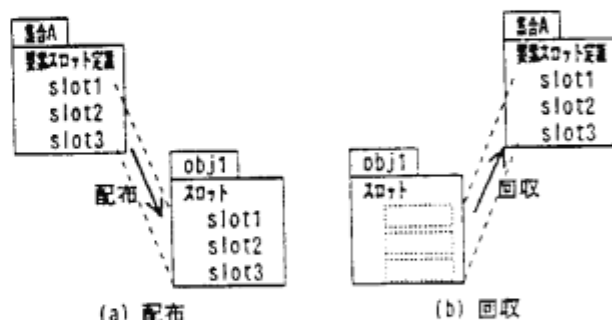


図9 動的継承機構

(2) 静的継承

K S Iの集合オブジェクトはその自己記述部において自分の上位集合を表わす集合名を指定する。上位集合の指定により、上位集合から下位集合へ集合定義の継承が行なわれる。この継承関係は、集合定義時の上位集合指定をきっかけに発生するもので、集合の定義が変更されるまで変わらない関係であるため、特に静的な継承機構と呼ぶ。静的継承により、集合に定義された要素スロット定義が継承されるほか、集合・要素間の帰属関係の判定において上位集合との帰属が確認されることも要素判定方法の継承と見なすことができる。

静的継承は従来のフレームの上位クラスから下位クラスへの継承に対応し、その機構における差はない。

一方、動的継承は従来のフレームのクラスからインスタンスへの継承に対応するが、

① 継承関係が動的に決定すること、

② 継承関係が可変であり、その解消も許されること、

③ 上位・下位の関係を持たない複数の集合から属性を継承できること、

という点で異なり、従来のものより柔軟な継承機構を提供する。

3.3.2 デフォルトの取り扱い

図10は『鳥とペンギン』の例に『飛べるペンギン』がいた場合(すなわち、例外の例外がある場合)をK S Iモデルで表現したものである。図で、集合“鳥”に与えられた要素スロット“飛ぶ”の定義のデフォルト値はyesである。また、集合“ペンギン”は“鳥”を上位集合とするが、独自に要素スロット“飛ぶ”の定義を持ち、そのデフォルト値はnoである。

個体robinは“鳥”の要素ではあるが“ペンギン”の要素ではなく、スロット“飛ぶ”の値を求めると、集合“鳥”から継承したデフォルト値を採用し yesとなる。

個体penguinは“鳥”及び“ペンギン”の要素である。“飛ぶ”のスロット値については、“鳥”から継承したデフォルト値と“ペンギン”から継承したデフォルト値が矛盾しているが、この場合はより下位の集合からの定義を優先しnoとなる。

個体super_penguinはpenguinと同様に“鳥”及び“ペンギン”の要素であるが、スロット“飛ぶ”に具体的な値 yesが既に与えられているため、デフォルト値を見ることなく“飛ぶ”のスロット値が yesとなる。

また図11(a)で、個体unidentified_animalの“鳥”及び“獣”との帰属確信因子がそれぞれ 0.6及び 0.5ならば、スロット定義の優先度管理により“飛ぶ”のデフォルト値として yesを採用する。ところが、(b)に示すように個体unidentified_animalの足の数が4であることがわかり、“鳥”との帰属確信因子が 0.0、“獣”との帰属確信因子が 0.8に変われば、今度は“飛ぶ”のデフォルト値としてnoを採用する。

このように、要素スロット定義の継承において、帰属確信因子のより高い集合、より下位の集合の定義を優先するという機構により、比較的自然なデフォルトが実現することができる。

3.4 オブジェクト群

初期のK S Iモデルの評価実験において、スロットの数やその値が異なるのみで、その他の定義が大部分同じであるオブジェクトが多数使用されることがわかり、その定義の繁雑さが問題となった。

そこで、K S Iモデルを拡張し、同様の定義を持つオブジェクトを一度に定義することができるようにした。これをオブジェクト群定義と呼び、定義される一連のオブジェクトをオブジェクト群と呼ぶ。オブジェクト群定義により集合が定義される場合を集合群定義と呼び、定

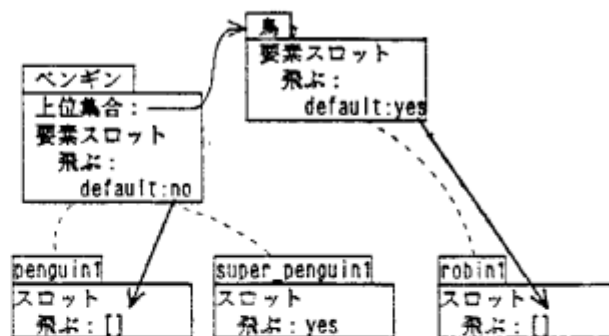


図10 鳥とペンギン

義された一連の集合を集合群と呼ぶ。同様に、個体が定義される場合を個体群定義と呼び、定義された一連の個体を個体群と呼ぶ。

オブジェクト群をオブジェクト群名（そのオブジェクト群に付けられた識別子）と添字により表現する。

オブジェクト群定義は通常のオブジェクトの定義の中で添字を表わす変数を参照する形でおこなわれる。即ち、そのオブジェクト群を代表するオブジェクトを添字に変数をとらせて表現し、その変数の変域を指定した後は、通常のオブジェクト定義に従って代表オブジェクトを定義する。但し、オブジェクト定義の記述の中で、オブジェクト名に与えられた添字の変数をグローバルに参照することができる。

オブジェクト群定義を用いれば、同様のオブジェクト定義が一箇所に集中し、知識の記述量が減り、知識の保守も容易になる。

4 評価実験

K S Iモデルの有効性を検証するため、K S Iモデルによる知識ベース管理を行なう知識ベース操作システム S I G M A [8,9] の上に、知的ヘルプシステム[15]とレンズ設計支援システムを試作し、それぞれの知識ベースをK S Iモデルにより構築した。以下に、それぞれの評価システムでK S Iがどのように用いられたかについて述べる。

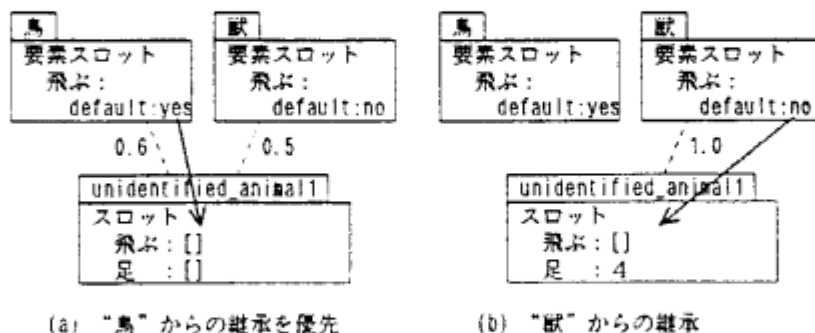


図11 鳥と獣

4.1 知的ヘルプシステム

知的ヘルプシステム（図12）は、ユーザに対して適切なヘルプメッセージを返すためのノウハウを知識ベースとして蓄え、システムについて十分な知識を持たないユーザにも使えるヘルプシステムである。

知的ヘルプシステムの知識ベースには、ユーザモデルを表わす個体と、そのユーザモデルを診断するための集合定義を管理する。

知的ヘルプシステムでは、ユーザの操作をモニタする情報をスロット値としてユーザモデルの個体を与える。

ユーザがトラブルに陥りヘルプ要求を出すと、診断用の集合に照らしてその時点のユーザモデルを診断する。診断はK S Iの極小集合の探索機能を用いて前向き診断として行ない、ユーザの状況（ユーザのおかれている状態、ユーザの意図、ユーザの習熟度）を同定した後、要素デモンによりそれに応じた最適なヘルプメッセージを出力する。

K S Iモデルを用いたことにより、ユーザの状況分析に関する知識を集合の分類階層という形で自然に表現できた。また、極小集合の探索機能によりユーザモデルの診断機能を極めて容易に実現できた。

このように、知的ヘルプシステムの評価実験により、集合探索機能が診断に有効であることを実証した。



図12 知的ヘルプシステムの実行例

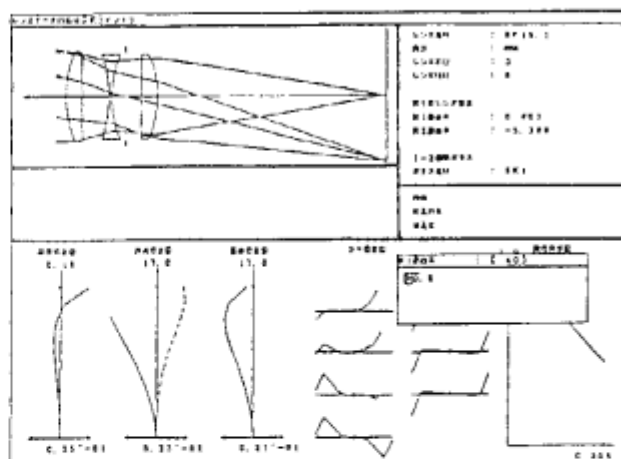


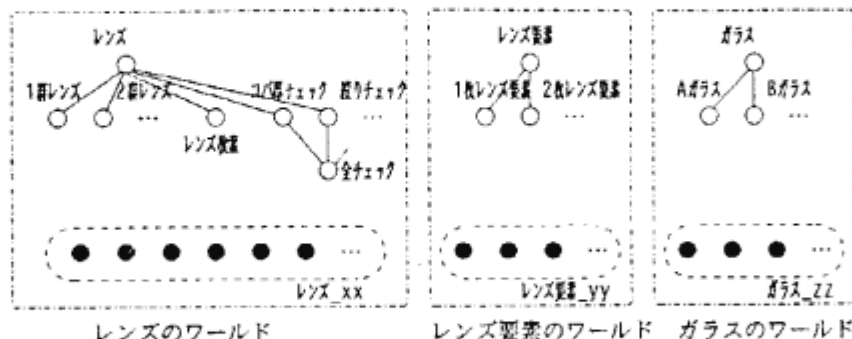
図13 レンズ設計支援システムの実行例

4.2 レンズ設計支援システム

レンズ設計支援システム（図13）は光学レンズの設計を支援するシステムである。過去の設計事例からの類似例の検索、新しく決定したパラメータのチェックといった設計業務における典型的処理を行ない、設計者を支援する。

レンズ設計支援システムの知識ベースには、レンズ要素やレンズシステムの種類、ガラスの種類を表わす集合・集合群、パラメータのチェック用の集合、類似検索のための集合、及び設計中の個々のレンズやレンズシステム、ガラスの材質を表わす個体を管理する。知識ベースを“レンズ”、“レンズ要素”、“ガラス”の3つのワールドに分割して管理したことにより、オブジェクトの検索効率が向上した（図14）。また、類似したレンズの定義にK S Iのオブジェクト群定義を適用することで、知識ベースの記述量を3分の1にまで縮小することができた。

レンズ設計支援システムでは、要素列挙機能による意味検索を用いたことにより、過去の設計事例からの類似検索を、また、帰属関係判定機能による後ろ向きの診断を用いたことによりパラメータのチェックをそれぞれ容易に実現することができた。



（注意）○は集合、●は個体を表わす。

図14 レンズ設計支援システムの知識ベース

このようにレンズ設計支援システムの評価実験により、設計業務において、要素列挙機能、帰属関係判定機能が有効であることを実証した。

5 まとめと今後の課題

本稿では、集合の概念に基づいてフレームを拡張した知識モデルK S Iについて述べた。

K S Iでは、従来フレームで静的に決定されていたクラス・インスタンス関係を動的に決定される集合・要素関係に拡張し、スロットアクセスの基本機能の他に集合操作の推論機能を拡張した。また、類似したフレーム群を一度に定義する補助機能も持たせた。

ジェネリック・タスク[16]のように、ルールやフレームといった知識表現手法の記述レベルの低さを問題とし、より高レベルの知識モデルを設定する研究も行なわれている。その意味で、K S Iは集合・個体の定義と集合操作という形でフレームの記述レベルを高めるひとつの試みになったと考える。

K S Iを用いた評価実験の結果、集合の概念に基づく知識表現及び推論が診断や設計のタスクに有効であることが実証された。またフレーム群の一括定義機能の有効性も示すことができた。しかし、これらの評価実験でK S Iモデルの提供するすべての機能を用いたわけではなく、K S Iモデルの真の有効性を示すためには、さらに実用システムへの応用を試みるべきであろう。

今後の課題としては、K S Iモデルのより実用的な応用事例への適用、他の知識表現手段（ルールなど）との結合、知識獲得機能の実現、帰納的な推論[17]などの学習機能の実現がある。

なお、本研究は新世代コンピュータ技術開発機構（I C O T）の再委託業務の一環として行なったものである。末辛ながら、研究の機会を与えていただきましたI C O T第4研究室内田俊一室長、横田一正主任研究員、当研究所知識処理開発部市川照久部長、また、有益な助言をいただきました宮地泰造主事をはじめ知識処理開発部の皆様に感謝致します。

参考文献

- [1]Lenat et al.:Cyc:Using Common Sense Knowledge to Overcome Brittleness and Knowledge Acquisition Bottlenecks, *The AI Magazine*, 6, no. 4 (1986).
- [2]Brachman et al.:An Overview of the KI-ONE Knowledge Representation System, *Cognitive Science*, 9, 2 (1985).
- [3]Brachman et al.:KRYPTON: A Functional Approach to Knowledge Representation, *Computer*, 16, 10 (1983).
- [4]Aikins: A Representation Scheme Using Both Frames and Rules, *Rule-Based Expert Systems*, Addison-Wesley (1984).
- [5]吉良, 三石: 集合による知識表現への試み, 昭和60年電気関係学会関西支部連合大会, (1985).
- [6]吉良, 三石: 集合の概念に基づく知識表現言語K S I, 情報処理学会第32回全国大会, (1986).
- [7]吉良, 三石: 集合の概念に基づく知識表現と推論, 情報処理学会第33回全国大会, (1986).
- [8]三石, 吉良: 知識ベース管理システムS I G M Aの構想, 情報処理学会第32回全国大会, (1986).
- [9]三石, 吉良: 知識ベース操作システムS I G M Aの構築と評価実験, 情報処理学会第37回全国大会, (1986).
- [10]Bobrow et al.: An Overview of KRL, a Knowledge Representation Language, *Cognitive Science*, 1, 1 (1977).
- [11]Liles et al.: The Role of Frame-Based Representation in Reasoning, *Comm. ACM*, 28, 9 (1985).
- [12]小澤, 小林: 動的なクラス・インスタンス関係を考慮した対象指向モデル, 第4回知識工学シンポジウム (1986).
- [13]横山: 設計対象記述のための知識表現システムF R E E D O Mの提案, 本研究会, 60-2 (1988).
- [14]宇田川: C A Dアプリケーションから見たオブジェクト指向データモデルの内訳, 昭和63年電子情報通信学会春季全国大会パネルディスカッション (1988).
- [15]吉良, 三石: 知識ベースを用いたヘルプシステム, 情報処理学会第37回全国大会, (1986).
- [16]Chandrasekaran, Generic tasks in Knowledge-Based Reasoning: High-Level Building Blocks for Expert System Design, *IEEE Expert*, fall (1986).
- [17]吉良, 三石: 知識ベース操作システムにおける帰納的推論の試み, 平成元年電子情報通信学会春季全国大会 (1989).