

クラスフレーム生成によるフレームの階層化

小泉 和彦 大川 剛直 馬場口 登 手塚 慶一

大阪大学工学部

インスタンスフレームの集合が入力として与えられた場合、これらの記述をもとにクラスフレームを生成し、フレームのクラス階層を生成する方法を提案する。提案手法は、対象となるインスタンスフレームを、ある概念を基準として分類することによって、クラスフレームを生成する。まず、フレームの持つ概念を写像した空間である概念空間を考え、この概念空間を用いてフレームの抽象性を定義することにより、フレーム間に半順序関係を与える。この順序関係の下に、対象となるフレームを順序づけることにより、階層を生成する。また、フレームの分類を行う際の分類基準を設定し、それに基づき、常に適切な分類を選択しながら階層木を拡張し、より一般性の高い概念を持つクラスフレームを構成する。提案手法により、フレームのクラス階層が良好に生成されることを確認した。

Construction of Hierarchical Frames by Generating Class Frames

Kazuhiko KOIZUMI, Takenao OHKAWA, Noboru BABAGUCHI, Yoshikazu TEZUKA

Faculty of Engineering, Osaka University

2-1 Yamadaoka, Suita-shi, 565, JAPAN

We propose a method for constructing hierarchical class frames from instance frames. In this method, instance frames given as input data are classified by a criterion according to their properties. For this process we first define a *concept space* as the space spanned by the concept which an instance frame should possess. Then the abstractness of frames will correspond to the inclusion relation between concept spaces. Class frames are generated on the basis of abstractness. We verified that this method can effectively yield a hierarchical structure which consists of highly generalized class frames.

1. まえがき

フレームの特徴は、オブジェクトを単位とした構造化された記述であり、各記述単位が抽象-具体関係に基づいて、階層化されていることと言える。この時、記述の対象となるオブジェクトが世界における1つの個体であるならば、オブジェクトはインスタンスと呼ばれる。また、いくつかの個体から形成される1つの抽象的概念をオブジェクトとして捉えた場合、それはクラスと呼ばれる。

さて、実際にフレーム形式で知識ベースを作成する段階では、問題とする対象世界のクラスが、必ずしも明らかにされているとは限らない。この時、対象世界に関して得られる記述は、世界に存在する個々のインスタンスに関する記述のみである。しかし、これらの記述は階層構造を持たず、本来フレームが持つ階層性の利点を十分生かすことはできない。そこで、これらの記述をもとに階層構造を生成することが必要となる。ここでは、以下の点を想定し、フレームのクラス階層を生成する方法について検討する。

まず、入力されるフレームは、対象世界に存在する個々のインスタンスの特徴を記述したインスタンスフレームとする。また、これらのフレームは、クラス概念を考慮されずに作成されるため、本来はクラスフレーム内に記述されるべき内容についても冗長性を持たせてインスタンスフレーム内に記述されるものと想定する。対象世界のクラス概念が明らかではない場合、その世界に存在する個々のインスタンスに関する特徴は、そのインスタンス固有の特徴であるか、あるいはそのインスタンスが属するクラスが持つ特徴であるかを、単にそのインスタンスから得られる情報に基づいて区別することは困難である。しかし、クラスとしての特徴が実際に存在するならば、個々のインスタンスの持つ特徴が、両者の特徴を含んでいることは明らかである。本研究では、この点に着目し、インスタンスフレームの持つ情報から、対象世界のクラスに関する特徴を獲得することにより、フレームのクラス階層を生成することを目的とする。クラス階層の生成は、対象の概念記述に基づ

く分類クラスの生成問題である概念クラスタリング[1-5]にきわめて深い関連があると考えられる。しかし、フレームを対象とした概念クラスタリングの例は、筆者らの知る限りあまり見られない。

ここでは、フレームの概念空間[6]という考え方を導入する。フレームの概念空間とは、フレームを構成する各スロットにより特徴付けられるフレームの概念を空間上に写像したものである。これを用いてフレームの抽象度を定義し、フレーム間に半順序関係を与える。この順序関係に基づいて、分類基準となるフレームの下に、対象となるフレームを順序付けることにより階層を生成する。また、概念クラスタリングを行う上で最も問題となる分類基準の設定法についても検討を加える。分類に使用する属性を決定する際に、各属性を個々に評価するだけでなく、さらに、属性間の相関を調査し、これを分類基準設定における尺度として用いる。また、クラスに関する唯一の直接的情報であるIS-Aスロットが、入力されたフレームに明示されている場合には、これらを特別に取扱い、分類基準に利用する。

本稿では、まずクラス階層の生成はクラスフレームの生成に帰着できることを明らかにし、クラスフレーム生成アルゴリズムを考える上で重要な概念であるフレームの持つ概念空間とフレームの抽象度について定義する。さらに、クラスフレーム生成アルゴリズムを考案する上での着目点、ならびにアルゴリズムの詳細について述べる。

2. クラス階層生成

2.1 クラス階層生成のプロセス

本手法が対象とする入力インスタンスフレームはその記述の持つ抽象度の面から考えると、最も抽象度の低い状態にあると言える。従って個々のフレームは階層構造を持たず、抽象度は各々同一レベルにあると考えられる。

一方、フレームが概念の抽象度をもとに階層化された状態とは、抽象度の高い概念がより上位に位置するフレームに、また抽象度の低い概念がより下位に位置するフレームに分割して記述された

状態である。そして各フレームは抽象度の異なった他のいずれかのフレームと抽象-具体関係 (IS-A関係) によって結ばれている。

従ってフレームの階層生成のプロセスは、個々の入力インスタンスフレームからその上位フレームの中に記述されるべき記述を抽出し、クラスフレームとしてまとめ、これらをIS-A関係で結合するプロセスと考えられる。

2. 2 クラスフレーム生成のステップ

上述したように、クラス階層を生成するためには、与えられたインスタンスフレームに対して、その上位にクラスフレームを生成する必要がある。これは、以下の手順に従って生成される。

- (1) インスタンスフレームの集合から、それらが共通して持つ概念を求める。
- (2) インスタンスフレームを、(1)で得られた各々の概念に従って分類し、それらを同クラスに属するフレームとする。
- (3) 分類されたインスタンスフレームの集合が共通して持つ概念の記述をフレーム形式でまとめたものを、それらのフレームに対するクラスフレームとする。

3. フレームの持つ概念と概念空間

3. 1 概念空間の定義

フレームは“属性-値”のペアを成すスロットの集合で構成されており、個々のスロットはその属性と値によって何らかの概念を表している。また個々のフレームが表す概念はそれらのフレームが持つスロットが表す概念を同時に満足するような概念である。ここでスロットのファセットがすべて“value”であるフレームの集合を考えた場合、そのスロットが表す概念は、他のスロットの値を参照したり何らかの付加手続きを行うことなく、そのスロットの値のみによって決定することが可能である。つまり、スロットが表す概念は各スロット相互間では独立であると考えられる。そこで個々のスロットの属性を一つの次元と考えることにより、フレームが表す概念を空間として特

徴付ける。ここでこの空間を概念空間 (Concept Space) と名付け、フレーム F の概念空間を $CS(F)$ と表記する。

3. 2 概念空間の例

図1はフレームの概念空間をスロットの数が3つの場合を例にとり、図示したものである。ここでは3つの座標軸にSHAPE, COLOR, MADE_OFの3種類のスロットの属性が写像されており、座標軸上にはその属性が持ち得る値が写像されている。ここで図中に示したフレームFRAME1, FRAME2, FRAME3についてこれらのフレームが表す概念をこの空間に写像したものを考える。まずFRAME1は属性: SHAPE, 値: ROUNDのペアから成る単一のスロットによって構成されている。このフレームは他の属性であるCOLOR及びMADE_OFについては特別な記述がなく、これらの属性はいかなる値にも束縛されない。ゆえに、FRAME1が表す概念は常にSHAPEの値がROUNDである点の集合、すなわちSHAPEに対応した軸に垂直であり、その値がROUNDである点を含む平面Sへと写像される。同様にしてFRAME2は点(a)に、またFRAME3は点(b)に写像される。

3. 3 フレームの抽象性

フレームの持つ概念は概念空間中で広がりを持つ。図1の例で明らかのように、より記述の少ないフレーム、つまり抽象性の高い概念を持つフレームほど大きい空間に写像され、記述が多く、より具体的なフレームほど小さい空間に写像される。従って、フレームの抽象性は対応する概念空間の包含関係により表される。

そこで2つのフレーム F_1 , F_2 の間に

$$CS(F_1) \subset CS(F_2)$$

なる関係が成立するとき、

『 F_2 は F_1 よりも抽象性が高い』

と定義する。

例えば、図1におけるFRAME2およびFRAME3の表す概念空間はFRAME1の表す概念空間の部分空間であり、FRAME1はFRAME2よりも抽象性が高く、FRAME1はFRAME3よりも抽象性が高いと言える。

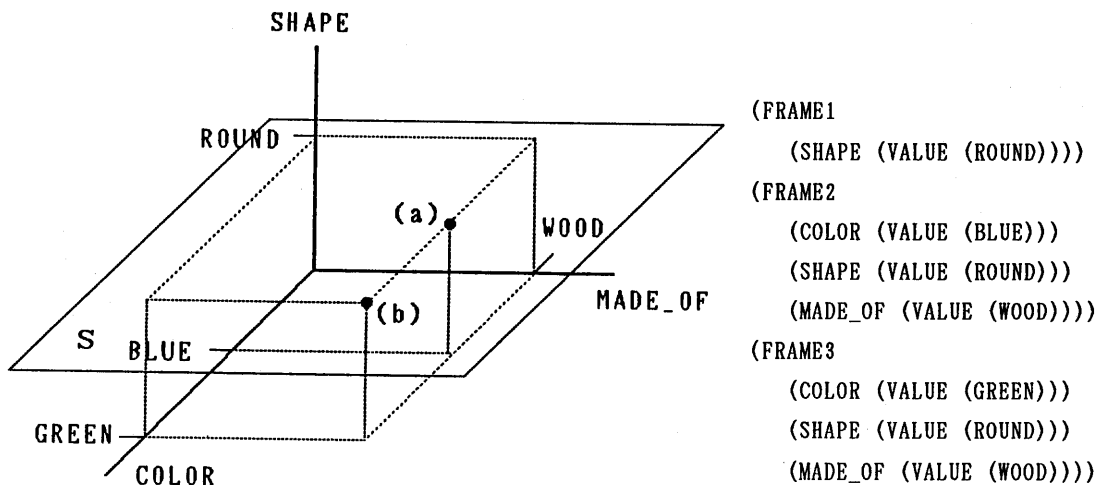


図1. フレームの持つ概念空間

4. 分類によるクラスフレームの生成

4.1 分類基準

クラスフレームの生成は複数のインスタンスフレームの集合が与えられた場合、それらを分類する基準となる概念を獲得することに帰着される。前節では、フレームの持つ概念はフレームを構成するスロットによって特徴づけられることを明らかにした。従って、フレームの分類基準となる概念を獲得するためには、フレームを構成するスロットに着目することが重要であると考えられる。そこで、スロットがとり得る値を用いて分類基準となるフレームを生成する。そして分類対象となるフレームを写像した概念空間が、分類基準となるフレームを写像した概念空間に包含される場合、対象フレームをその分類基準フレームの下位概念を持つフレームとして分類する手法をとる。但し、分類基準を生成する上では、次に述べるIS-Aスロットの取扱いについて特に考慮する。

4.2 IS-Aスロットの取扱い

フレームが構造化されている状態では、各々のフレームの中に、それが他のどのフレームと抽象-具体関係を持つかを記述したスロット (IS-Aスロット) が存在する。入力インスタンスフレームを作成する段階では、クラスの概念が明らかでない

ため、このようなIS-Aスロットの設定は厳密には不可能である。しかし、記述対象とするインスタンスについて得られる特徴の1つとして、そのクラス名が明示的に与えられることもある。これは、IS-Aスロットの値として、入力インスタンスフレームに組み込まれる。

この場合、入力インスタンスフレームは上位のクラス階層の構造を考慮せずに作成したものと仮定しているため、IS-Aスロットの値も厳密にそのインスタンスの直接上位のクラスを記述しているとは限らない。例えば図2のように、インスタンス1、及び2は本来クラス2の下位に分類されるべきクラスであるにもかかわらず、これらのインスタンスフレーム作成の段階では、クラス2の存在が明らかではないため、IS-Aスロットに抽象度の異なったレベルのクラス名が記述される場合が考えられる。このような場合に、IS-Aスロットの値を他のスロットの属性と同様に分類に用いると、本来同じ概念を持つインスタンスフレームが別のクラスに分類される可能性がある。従ってIS-Aスロットは特別なスロットであると考え、分類基準を生成するための属性としては使用しない。しかし、IS-Aスロットの値は不完全ながらもクラスに関する情報であると考えられるため、分類基準の選択選択には積極的に利用する。

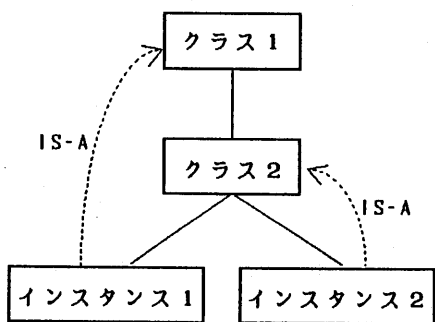


図2. IS-Aスロットの示すクラス

4. 3 分類基準の選択

フレームをいかなる概念に基づいて分類するかという問題は、分類基準にいかなる属性を用いるかという問題と考えることができる。そこで分類基準として用いるべき属性の条件として以下の点を考慮する。

(1) 単一の属性をもとに分類基準を生成する。

適切なクラスとは、そのクラスに属するオブジェクトの特徴が互いに類似しており、かつ、他のクラスに属するオブジェクトとそのクラスに属するオブジェクトとの間に、大きな特徴の差異が生じるクラスであると考えられる[7]。従って、クラスを発見するためにはクラス間の特徴の差異が最も大きくなる基準、つまり互いに素となる分類基準を設定することが必要である。そこで、ある単一の属性に着目しその属性を用いて生成した概念を分類基準に用いることが重要となる。ここで、分類基準を作成する上で単一の属性を用いることは以下の理由による。まず分類基準として次の

(COLOR (VALUE (BLUE))) …(a)

(SHAPE (VALUE (ROUND))) …(b)

なる2つの概念を用いたとする。これらを図1の例において考えると、(a)に対応する概念空間は平面Sである。一方、(b)に対応する概念空間は平面Sに垂直な位置関係をもつ平面となる。これらの平面は明らかに交わりの部分を持つ。すなわちこれら2つの概念は互いに素であるとはいえない。3つ以上の属性を用いた場合にも同様のことがいえる。従って、分類基準として複数の属性を用い

ることは望ましくないと考えられる。

(2) より多くのオブジェクトが持つ属性を分類基準に用いる。

人間がオブジェクトを分類するプロセスでは、オブジェクトの集合の中から、最も多くのオブジェクトが持つ概念に基づいて分類しているものと考えられる。ここで、このような概念を一般性の高い概念と呼ぶ。これは、即ち、より多くのオブジェクトを分類し得る概念と言える。これをフレームを分類する場合に対応づけて考えると、各属性のとり得る値の種類の数と同じであるならば、より多くのフレームが持つ属性によって一般性の高い概念が作られるといえる。例えば、例1について考える。

[例1]

	FRAME1	FRAME2	FRAME3	FRAME4	FRAME5
属性1 :	A			B	
属性2 :		β	β		α
属性3 :	2	1		1	2

FRAME1, …, FRAME5の分類基準を生成する属性を考えた場合、明らかに属性1よりも属性2を、また属性2よりも属性3を使用するのが望ましい。なぜなら、属性が分類対象となるフレームに関して値を持たない場合、それらの属性を分類基準の生成に用いても、それらのフレームを分類できないためである。従って、より多くのフレームの分類基準には、より多くのオブジェクトが持つ属性を用いることが望ましいと考えられる。

(3) 一つの属性に関して、その属性がとり得る値の種類がより少ない属性を分類基準に用いる

ある単一の属性に着目した場合、その属性がとり得る値が多いほど分類基準となる概念は多数生成される。分類対象となるフレームにおいて、ある属性を持つフレームの数が一定であると仮定するならば、分類基準を作る属性がとり得る値の種類が少ないほどその値から作られる概念によって分類されるフレームの数が多くなる。例えば、例2に示す属性、及び値を持つフレームを考える。

[例2]

	FRAME1	FRAME2	FRAME3	FRAME4	FRAME5
属性1 :	A	A	A	B	B
属性2 :	α	β	ε	γ	δ
属性3 :	3	1	5	4	2

例2において、各属性の持ち得る値の種類を比較した場合、属性1が持ち得る値の種類は最も少ない。それに対応して1つの概念によって分類されるフレームの数は最も多い。すなわち、属性1を用いて分類基準を生成した場合、最も一般性の高い概念を作ることができる。(2)で明らかにしたように、分類基準として用いる概念の一般性は、より高い方が望ましい。従って、1つの属性がとり得る値の種類が少ない属性を分類基準として用いることが望ましいと考えられる。

(4)上位の分類に相関が強い分類基準を生成する属性を優先して分類基準に用いる。

相関が強い分類基準とは、2つの分類基準を考えた場合、一方の基準に基づく分類結果が、もう一方の基準に基づく分類結果に非常に類似する場合を意味する。例えば、例3に示すフレームを分類する場合、分類基準生成に使用する属性の使用優先度について考える。

[例3]

	FRAME1	FRAME2	FRAME3	FRAME4	FRAME5
属性1 :	A	A	A	B	B
属性2 :	α	β	β	γ	γ
属性3 :	3	1	2	1	2

ここではまず属性1を使用して分類基準を生成することが決定していたとする。問題となるのは分類基準として属性2、属性3のどちらを優先させて使用の方が望ましいかという点である。そこで、両者それぞれについて一方を優先させて分類基準生成に用いて分類を試みた結果、図3に示す階層木が得られた。但し、図3(a)は属性1に続いて属性2、属性3の順で用いた場合、図3(b)が属性1に続いて属性3、属性2の順で用いた場合

である。

属性2及び属性3の取り得る値は共に3種類であり、とり得る値の種類は同じであるにもかかわらず、上から2つ目のレベルのクラスに着目すると、図3(a)では3クラスに分かれているのに対し、図3(b)では5クラスに分かれている。この理由は例3を参照することにより明らかにすることができる。つまり属性1を用いて基準を作成すると、これらのフレームはFRAME1, 2, 3で構成されるクラス（これをクラスAとする）とFRAME4, 5で構成されるクラス（これをクラスBとする）に分類される。

ここで属性2及び3のとり得る値を調べると、属性2はクラスA、もしくはクラスBのいずれかでしかとり得ない値を持つ。一方、属性3はクラスA及びBの両方がとり得る値を持つ。つまり属性2のとり得る値は属性1を用いて作成した分類基準に相関があるといえる。

ここで再び図3(a)、及び(b)の階層木を考えると(3)で明らかにしたように、分類基準を作るには使用する属性のとり得る値がより少ない方が望ましい。従って、階層木を拡張するために選択する属性は、上位の分類に相関の強い分類基準を生成する属性を優先して分類基準に用いることが重要であると考えられる。

(5)IS-Aスロットの値が異なる分類を生成する属性を優先して分類基準に用いる。

前節で述べたようにIS-Aスロットにはクラスに関する情報が含まれていると考えられる。そこで、

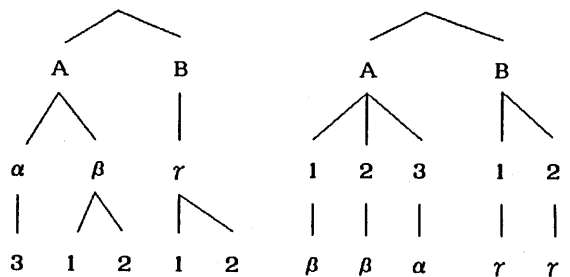


図3. 例3から生成される階層木

IS-Aスロットの値を最良の分類基準を選択するために利用できる場合がある。例えば図4のように、ある属性に基づいてフレームを分類した結果、それらはA、Bの2つのクラスに分類されたとする。ここで、A、B各々に分類されたフレームの持つIS-Aスロットが異なった値を持つならば、それらのフレームは、その分類基準によって互いに異なるクラスへ分類されたと考えることができる。そこで、IS-Aスロットが同じ値を持つフレームが、できるだけ別のクラスに分類されないような分類基準を生成する属性を優先的に選択する。

しかし、異なったIS-Aスロットの値を持つフレームを分類する場合、それらのフレームの持つIS-Aスロットの値が示すクラス間に抽象-具体関係があるならば、それらのフレームを別のクラスに分類することは好ましくない。従って、この基準は使用するIS-Aスロットの値の間に抽象-具体関係が成立する場合は適用しない。

以上の(1)~(5)を考慮して、ある特別な分類基準の重要性、またはその分類基準がクラス概念を決定する上で決定的な要素となることが明らかではない場合について、分類アルゴリズムを検討す

る。分類基準に用いる属性の決定には、分類アルゴリズム全体を通じて(1)の点を考慮し、階層木の拡張においては(2)以下の点を(5)、(4)、(2)、(3)の優先順位で考慮する。

4.4 クラス生成アルゴリズム

本節ではフレームのクラス階層手続きを示す。まずクラス生成のアウトラインについて述べる。

分類の準備として、対象とするフレームに使用されているスロットの属性をその使用頻度の高い順に順序づける。但し使用頻度が同数のものはその属性がとる値の種類が少ないものを優先させる。これらの順序付けられた属性の集合をPSとする。ここで最初の分類基準を作るために使用する属性を選択する。

次に、その属性及びその属性がとり得る値を用いて単一スロットからなるフレームを生成する。このフレームの持つ概念が対象フレームの分類基準であり、この基準を用いて対象フレームを分類する。これを図示したものが図5である。図において、CFは分類基準である概念を持つフレームであり、FSは分類されたフレームの集合である。

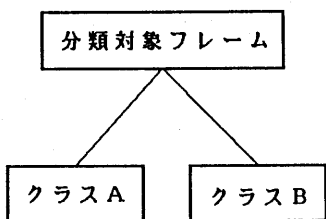


図4. 2つのクラスへの分類

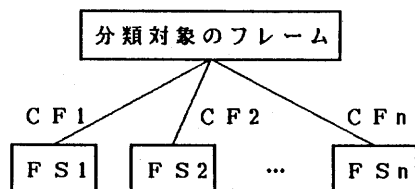


図5. 最初の属性を用いた分類

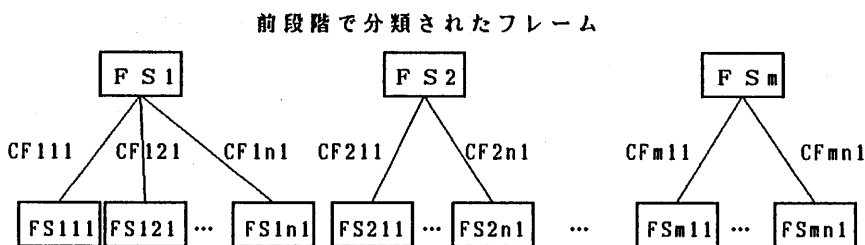


図6. 属性P1を用いた分類

上記の分類が終了すると、PS中の属性を用いて階層木を拡張する。PSから属性を1つ選び、上記と同様の方法を用いて分類済みの各フレーム集合の要素を分類し、階層木を生成する(図6)。このような階層木をPS中の全ての属性を用いて別個に生成し、その中から最良の分類木を採用する。

以上の操作を繰り返しさらに下位へと分類を進める。これを図示したものが図7である。図中でC_nは生成された階層木であり、これは使用した属性P_nに対応している。×印の付いたリンクでつながるノードは不採用の階層木である。また、図中のPSは分類基準に使用された一例である。

[クラス生成アルゴリズム]

- (1) PSを生成し、最初分類に用いる属性P₀を選択する。なお、ここで属性P₀をPSから削除する。
- (2) 分類対象とするフレームを参照することにより、属性P₀が持ち得る値をリストアップする。ここで、属性P₀はm種類の値V_j(j=1, ..., m)をとるものとする。

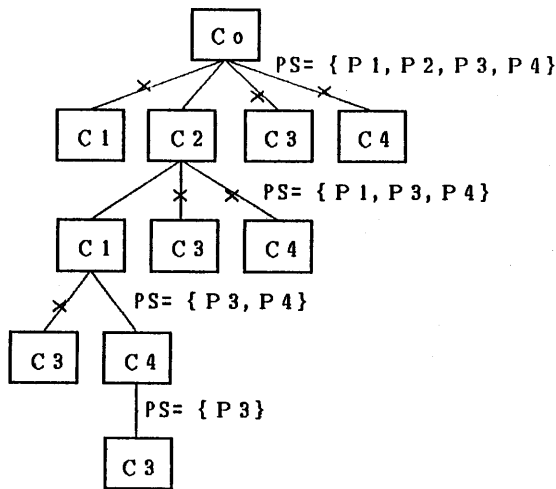


図7. 階層木の拡張例

まずm個の値それぞれについて、属性P₀と値V_j(j=1, ..., m)のペアを用いてスロットを生成し、そのスロットのみで構成されるフレームC_Fi(i=1, ..., m)を生成する。

- (3) ステップ(2)で求めたm個のC_Fi(i=1, ..., m)について

$$CS(F) \subset CS(C_{Fi})$$

なる関係の成り立つフレームFを、対象とするフレーム全体から選択し、これらをC_Fiの下位フレームとして分類する。ここでC_Fiの下位フレームに選択されたフレームの集合をF_Si(i=1, ..., m)とする。

ここで、いかなるC_Fiの下位フレームとしても分類されないフレームは、さらに別のクラスに属するフレームとしてまとめ、新たにステップ(1)以下のアルゴリズムを適用する。

- (4) PSの要素である1個の属性P_k(k>1)を全て用いることにより、ステップ(2)と同様に単一のスロットを持つフレームC_Fijk(i=1, ..., m, j=1, ..., n_k, k>1)を生成する。但し、n_kは属性P_kが持ち得る値の種類数である。

- (5) 各F_Siの要素であるフレームを、ステップ(4)で生成したC_Fijkを用いることにより、ステップ(3)同様の方法で分類する。ここで

$$CS(F) \subset CS(C_{Fijk})$$

によって分類されたフレームFの集合をF_Sijkとする。

- (6) 同じiの値を持つ各F_Sijkの集合について、PSの要素を再順序付けする。

さらに各iについて、下に示す評価基準1から、分類に用いるP_kを決定する。但し、評価基準1に該当するP_kが存在しない場合、評価基準2を適用し、P_kを決定する。同時にこのP_kをPSから削除する。

このP_kを基準として作られたC_Fijkがクラスフレームとして採用される。

F_Sijk=φなるF_Sijkに対応するC_Fijkは削除される。

- (7) F_Sijk≠φなるF_Sijkに対し、ステップ

(4)以下のアルゴリズムを繰り返すことにより、各抽象度のレベルでクラスフレームを生成し、最終的にクラス階層を生成する。

[評価基準1]

$I(FS)$ をフレーム集合 FS 中のフレームのIS-Aスロットが持ち得る値の集合、 $F_n(I)$ ($n \geq 1$)を全インスタンスフレームの中で I の要素をIS-Aスロットの値としてもつフレームとする。

このとき、

$\exists j_1, j_2 (j_1 \neq j_2)$

$$\bigcap_n CS(F_n(I(FS_{j_1k}))) \subsetneq \bigcap_n CS(F_n(I(FS_{j_2k})))$$

$$\bigcap_n CS(F_n(I(FS_{j_2k}))) \subsetneq \bigcap_n CS(F_n(I(FS_{j_1k})))$$

$$I(FS_{ij_1k}) \cap I(FS_{ij_2k}) = \phi$$

が同時に成り立つ k を求め、それに対応する P_k を分類基準を生成する属性として用いる。

[評価基準2]

各 k について

$\exists i_1, i_2 (i_1 \neq i_2)$

$$FS_{i_1jk} \neq \phi \quad \text{かつ} \quad FS_{i_2jk} \neq \phi$$

の成り立つ j の個数を求め、その個数を最小にする k に対応した P_k を最適な分類属性とする。但し、最適な分類属性が複数存在した場合は、 PS における優先順位の高い P_k を採用する。

5. まとめ

本稿では対象世界に存在する個々のインスタンスに関する特徴がフレーム形式で入力された場合、それらをもとにクラスフレームを生成することにより、フレームのクラス階層を生成するアルゴリズムを提案した。実際に図8に示す対象に関するフレーム形式の特徴記述を入力とし、本アルゴリズムを適用した結果得られた階層木を図9に、クラスフレームを図10に示す。本アルゴリズムでは分類の各ステップにおいてその段階で分類基準として使用する属性間の相関、IS-Aスロットの性質を用いることにより、常に適切な分類を選択しながら階層木を拡張する。それによって、より一

般性の高い概念をもつクラスフレームから構成されるフレームのクラス階層を獲得することが可能となった。

今後の課題としては、例外の値を持つフレームの取扱い、PART-OF関係などのIS-A関係以外の階層構造をもつフレームの取扱いなどが挙げられる。

参考文献

[1] R.E.Stepp : "Concepts in Conceptual Clustering", Proc. of 10th IJCAI, pp. 211-213 (1987).

[2] R.S.Michalski and R.E.Stepp : "Learning from Observation: Conceptual Clustering", Machine Learning, Vol. 1, Morgan Kaufmann, pp. 331-364 (1983).

[3] K.A.Spackman : "Learning Categorical Decision Criteria in Biomedical Domains", Proc. of 5th Int'l Conf. on Machine Learning, pp. 36-46 (1988).

[4] J.Segan : "Conceptual Clumping of Binary Vectors with Occam's Razor", Proc. of 5th Int'l Conf. on Machine Learning, pp. 47-53 (1988).

[5] E.Wisniewski et al. : "A Conceptual Clustering Program for Rule Generation", Knowledge Acquisition for Knowledge-based Systems, Academic Press, pp.197-215 (1988).

[6]小泉他: "フレームのクラス階層生成についての基礎的考察", 信学会春季全大, D-389, pp. 109 (1989).

[7] R.E.Stepp et al. : "Conceptual Clustering : Inventing Goal-

Oriented Classifications of Structured Objects", Machine Learning, Vol. 2, Morgan Kaufmann, pp. 471-498 (1983).

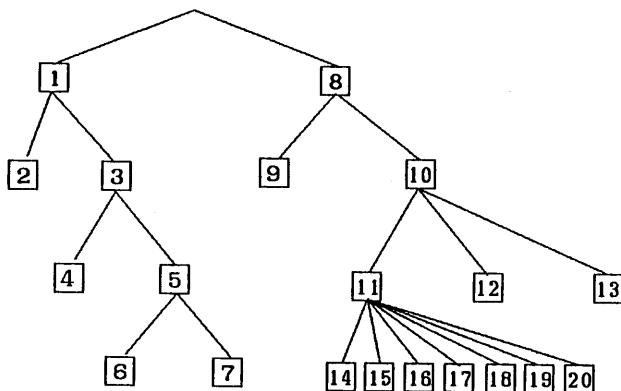


図9. 生成された階層木

```

(CLASS-1
 (CONSIST_OF (CLASS-2
              CLASS-8))
 (WHEEL-COLOR (BLACK)))
(CLASS-2
 (IS-A (CLASS-1))
 (CONSIST_OF (FREIGHT1-3
              FREIGHT5-2))
 (WHEEL-NUM (3))
 (BAGGAGE-NUM (1)))
(CLASS-3
 (IS-A (CLASS-1))
 (CONSIST_OF (CLASS-4
              CLASS-5))
 (WHEEL-NUM (2)))
(CLASS-4
 (IS-A (CLASS-3))
 (CONSIST_OF (FREIGHT1-2))
 (BAGGAGE-NUM (3)))
(CLASS-5
 (IS-A (CLASS-3))
 (CONSIST_OF (CLASS-6
              CLASS-7))
 (BAGGAGE-NUM (1)))
(CLASS-6
 (IS-A (CLASS-5))
 (CONSIST_OF (FREIGHT1-4
              FREIGHT5-3
              FREIGHT7-1))
 (BAGGAGE-SHAPE (ROUND)))
(CLASS-7
 (IS-A (CLASS-5))
 (CONSIST_OF (FREIGHT1-2
              FREIGHT5-1))
 (BAGGAGE-SHAPE (TRIANGLE)))

```

```

(CLASS-8
 (CONSIST_OF (CLASS-9
              CLASS-10))
 (WHEEL-COLOR (WHITE)))
(CLASS-9
 (IS-A (CLASS-8))
 (CONSIST_OF (FREIGHT3-3
              FREIGHT8-1))
 (WHEEL-NUM (3)))
(CLASS-10
 (IS-A (CLASS-8))
 (CONSIST_OF (CLASS-11
              CLASS-12
              CLASS-13))
 (WHEEL-NUM (2)))
(CLASS-11
 (IS-A (CLASS-10))
 (CONSIST_OF (CLASS-14
              ...
              CLASS-20))
 (BAGGAGE-NUM (1)))
(CLASS-12
 (IS-A (CLASS-10))
 (CONSIST_OF (FREIGHT6-1))
 (WHEEL-NUM (3))
 (BODY-TYPE (BOX))
 (BAGGAGE-SHAPE (ROUND)))
(CLASS-13
 (IS-A (CLASS-10))
 (CONSIST_OF (FREIGHT2-3
              FREIGHT10-2))
 (WHEEL-NUM (2)))
(CLASS-14
 (IS-A (CLASS-11))
 (CONSIST_OF (FREIGHT3-2))
 (BODY-TYPE (HEXAGON)))

```

図10. 生成されたクラスフレーム

```

(FREIGHT1-1
 (FRAME_TYPE (INSTANCE)) (AKO (FREIGHT))
 (SCENE (TRAIN-A)) (BODY-TYPE (CUP1))
 (WHEEL-NUM (2)) (WHEEL-COLOR (BLACK))
 (BAGGAGE-NUM (3)) (BAGGAGE-SHAPE (BOX))
(FREIGHT1-2
 (FRAME_TYPE (INSTANCE)) (AKO (FREIGHT))
 (SCENE (TRAIN-A)) (BODY-TYPE (HOUSE))
 (WHEEL-NUM (2)) (WHEEL-COLOR (BLACK))
 (BAGGAGE-NUM (1)) (BAGGAGE-SHAPE (TRIANGLE))
(FREIGHT1-3
 (FRAME_TYPE (INSTANCE)) (AKO (FREIGHT))
 (SCENE (TRAIN-A)) (BODY-TYPE (CUP1))
 (WHEEL-NUM (3)) (WHEEL-COLOR (BLACK))
 (BAGGAGE-NUM (1)) (BAGGAGE-SHAPE (HEXAGON))
(FREIGHT1-4
 (FRAME_TYPE (INSTANCE)) (AKO (FREIGHT))
 (SCENE (TRAIN-A)) (BODY-TYPE (CUP1))
 (WHEEL-NUM (2)) (WHEEL-COLOR (BLACK))
 (BAGGAGE-NUM (1)) (BAGGAGE-SHAPE (ROUND))
(FREIGHT2-1
 (FRAME_TYPE (INSTANCE)) (AKO (FREIGHT))
 (SCENE (TRAIN-B)) (BODY-TYPE (CUP1))
 (WHEEL-NUM (2)) (WHEEL-COLOR (WHITE))
 (BAGGAGE-NUM (1)) (BAGGAGE-SHAPE (TRIANGLE))
(FREIGHT2-2
 (FRAME_TYPE (INSTANCE)) (AKO (FREIGHT))
 (SCENE (TRAIN-B)) (BODY-TYPE (BOWL1))
 (WHEEL-NUM (2)) (WHEEL-COLOR (WHITE))
 (BAGGAGE-NUM (1)) (BAGGAGE-SHAPE (BOX))
(FREIGHT2-3
 (FRAME_TYPE (INSTANCE)) (AKO (FREIGHT))
 (SCENE (TRAIN-B)) (BODY-TYPE (BOX))
 (WHEEL-NUM (2)) (WHEEL-COLOR (WHITE))
 (BAGGAGE-NUM (2)) (BAGGAGE-SHAPE (ROUND))

```

図8. 入力フレームの一例

```

(CLASS-15
 (IS-A (CLASS-11))
 (CONSIST_OF (FREIGHT4-2))
 (BODY-TYPE (TRIANGLE)))
(CLASS-16
 (IS-A (CLASS-11))
 (CONSIST_OF (FREIGHT4-3))
 (BODY-TYPE (EGG)))
(CLASS-17
 (IS-A (CLASS-11))
 (CONSIST_OF (FREIGHT9-2))
 (BODY-TYPE (CROWN)))
(CLASS-18
 (IS-A (CLASS-11))
 (CONSIST_OF (FREIGHT3-1
              FREIGHT6-2
              FREIGHT2-1
              FREIGHT9-3
              FREIGHT4-4))
 (BODY-TYPE (CUP1)))
(CLASS-19
 (IS-A (CLASS-11))
 (CONSIST_OF (FREIGHT2-2
              FREIGHT4-1
              FREIGHT9-4
              FREIGHT9-1))
 (BODY-TYPE (BOWL1)))
(CLASS-20
 (IS-A (CLASS-11))
 (CONSIST_OF (FREIGHT8-2
              FREIGHT7-2
              FREIGHT10-1))
 (BODY-TYPE (BOWL2)))

```