

ルールと例題の類似性に基づく  
学習法の一提案

5L-5

森 敏昭 大川 剛直 馬場口 登 手塚 慶一

大阪大学 工学部

1. まえがき

代表的な機械学習法である類似性に基づく学習[1][2]は、与えられた複数の例題が共通して持つ性質を明らかにすることにより、例題を説明する一般的な概念を獲得するものであり、学習時に大量の例題が必要とされる。一方、人間は、例題間の類似性だけでなく、例題と蓄積された知識の類似性にも着目し、数少ない例題から学習することが可能である。すなわち、獲得したい概念の例が、既に獲得されている概念と多くの類似した特徴を有しているならば、その類似点、及び差異を観察することによって、その概念の特徴を決定付けることができる。そこで本稿では、1つの例題を、知識ベース内の既存のルールを利用することにより一般化し、新たなルールを生成する手法を提案する。

2. 既存ルールの利用によるルールの生成

2.1 ルール生成の手続き

ここでは、次に示す形式を持つルールを対象とする。

$$B \Leftarrow A1 \wedge \dots \wedge A_k$$

$A1 \wedge \dots \wedge A_k$ をルールの前件部、 $B$ をルールの後件部と呼ぶ。 $A1, \dots, A_k$ , 及び $B$ は述語形式のアトムとする。目標概念は1つの述語によって表す。入力例題は目標概念の正の例題であり、アトムによって表す。

手続きの概略は次の通りである(図1参照)。

- (i) 目標概念 $C$ とその正の例題 $E1, \dots, E_m$ を入力する。
- (ii) 目標概念の例題を基に、目標概念と最も類似した概念を定義するルールを知識ベースより抽出する。ここで、目標概念とルールの表す概念の類似性は、概念の例題と、既存ルールの前件部との類似性により求める。ルールの前件部 $A11 \wedge \dots$ と例題 $E1, \dots, E_m$ との類似性は、ルールの前件部の各アトム $A11, \dots$ に対して、例題におけるアトム $E_j (j=1, \dots, m)$ を対応づけたときに、対応づけられた $E_j$ の連言が最もルールの前件部と類似するように求める。
- (iii) 抽出されたルール $Bt \Leftarrow Bt1 \wedge \dots \wedge Btk$ (以下、基準ル

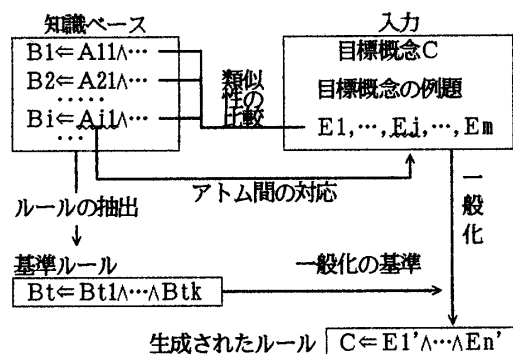


図1 ルールの生成

ールと呼ぶ)を基に、(ii)で対応づけられた $E_j$ を $E_j'$ に一般化し、その連言を前件、 $C$ を後件とするルール $C \Leftarrow E1' \wedge \dots \wedge E_n'$ を生成する。

2.2 述語の性質

ステップ(ii), (iii)のルールの抽出、及び入力例題の一般化は、ルールと入力例題間の類似性に着目して行われる。この類似性はルールを構成するアトムと例題を記述したアトムの類似性に帰着できると考える。そこで、アトムの類似性を明確にするために、各述語に対してその性質を次のような形式で記述する。

(述語名(argument: 引数の型)  
(category: 述語が属する範疇))

argumentの値は $(V1, \dots, Vn)$ で表す。ここで、 $i$ 番目の引数がインスタンスのとき $Vi=INSTANCE$ とし、それ以外のとき $Vi=CLASS$ とする。またcategoryの値は、例えばONやABOVEの場合には「位置関係」、SHAPEやSIZEの場合には「物体の外形」等のように、述語の表す意味に基づいて定められる。例えば述語FATHERに対しては、以下のように記述する。

(FATHER (argument: (INSTANCE, INSTANCE))  
(category: 家族関係))

2.3 一般-特殊関係に基づく類似性

アトムの類似性を比較する際に、述語やその引数となる値の一般-特殊関係を利用する。一般-特殊関係は、知識ベース内の次の2つのうちのいずれかの構造をもつルールにより定義される。

$$P(X1, \dots, Xn) \Leftarrow Q(X1, \dots, Xn) \quad (1)$$

$$R(Y1, \dots, Yi, \dots, Yn) \Leftarrow R(Y1, \dots, Yi', \dots, Yn) \quad (2)$$

(但し、 $Yi, Yi'$ はインスタンスではない)

(1)は述語に関する一般-特殊関係を表し、述語 $P$ は述語 $Q$ よりも一般的であることを意味する。(2)は項に関する一般-特殊関係を表し、 $Yi$ は $Yi'$ よりも一般的であることを意味する。ここで、述語が $P1$ であるアトムと、述語が $P2$ であるアトムに、それぞれ適宜ルールを適用した結果、同じ述語が得られたとき、 $P1$ と $P2$ に一般-特殊関係に基づく類似性が存在するという。また、項についても同様に定義される。

以上のような述語の性質や、一般-特殊関係に基づく述語と項の類似性を利用して、ルールの抽出と入力例題の一般化を行う。

3. ルールの抽出

入力例題を一般化する際に基準となるルールは、知識ベースに蓄えられているルールの中で最も目標概念に近い概念を定義していることが望ましい。ここでは、概念が近いルールには、構造的に、また各記号の表す内容に共通点が多くみられるという考えに基づき、入力例題との比較により基準ルールを選択する。比較を行うためには、既存ルールの各アトムが、入力例題のどのアトムに対応するかを知る必要がある。そこで、ルールを構成す

るアトム  $P_i(X_{i1}, \dots, X_{in})$  と例題集合内のアトム  $Q_j(Y_{j1}, \dots, Y_{jn})$  の対応関係を以下のように求める。但し、初期状態として  $P_1(X_{11}, \dots, X_{1n})$  と  $Q_1(Y_{11}, \dots, Y_{1n})$  は対応しているものとする。

(1) アトム  $P_1(X_{11}, \dots, X_{1n})$  と  $Q_1(Y_{11}, \dots, Y_{1n})$  の対応から、引数の対応関係  $\sigma = \{X_{11}; Y_{11}, \dots, X_{1n}; Y_{1n}\}$  を定める。これは、項  $X_{11}$  と項  $Y_{11}, \dots, X_{1n}$  と項  $Y_{1n}$  が対応することを表したものである。

(2)  $i > 1$  である  $P_i(X_{i1}, \dots, X_{in})$  について、 $Q_j(Y_{j1}, \dots, Y_{jn})$  を選択し、 $P_i(X_{i1}, \dots, X_{in})$  と  $Q_j(Y_{j1}, \dots, Y_{jn})$  を対応づける。この結果得られる引数の対応関係を  $\sigma' = \{X_{i1}; Y_{j1}, \dots, X_{in}; Y_{jn}\}$  とする。但し、 $Q_j(Y_{j1}, \dots, Y_{jn})$  の選択は、 $\sigma' \cup \sigma$  が矛盾しないように行う。ここで引数の対応関係が矛盾するとは、ある1つの項が2つ以上の異なる項と対応することを意味する。また、対応する  $Q_j$  が複数個得られた場合には、述語の性質、一般-特殊関係に基づく類似性を基に1つを選択する。

(3)  $\sigma \cup \sigma'$  で  $\sigma$  を更新する。

(4) 全ての  $P_i(X_{i1}, \dots, X_{in})$  について(2)(3)を繰り返す。

例えば、2つのアトム  $P_1(X_1, X_2)$ 、 $Q_1(Y_1, Y_2)$  に対応関係が存在するとする。このとき、引数の対応関係  $\sigma$  は、 $\{X_1; Y_1, X_2; Y_2\}$  となる。さて、ここで入力例題に  $Q_2(Y_1, Y_3)$ 、 $Q_3(Y_4, Y_5)$  の2つのアトムが存在し、また、ルールにアトム  $P_2(X_1, X_3)$  が存在していた場合について考える。 $P_2(X_1, X_3)$  と  $Q_2(Y_1, Y_3)$  より得られる引数の対応関係  $\sigma_1'$  は  $\{X_1; Y_1, X_3; Y_3\}$  であり、また  $P_2(X_1, X_3)$  と  $Q_3(Y_4, Y_5)$  より得られる引数の対応関係  $\sigma_2'$  は  $\{X_1; Y_4, X_3; Y_5\}$  である。このとき  $\sigma \cup \sigma_1'$  は矛盾し、 $\sigma \cup \sigma_2'$  は矛盾しないため、 $P_2$  に対応するアトムは  $Q_2$  と定まり、引数の対応関係は  $\{X_1; Y_1, X_2; Y_2, X_3; Y_3\}$  に更新される。

基準ルールは、次の手順に従って知識ベースより抽出される。

- 1) ルールの後件部の述語の argument の値が目標概念を表わす述語と同一であるルールを選択する。このとき、ルールの後件部のアトムと、目標概念の述語を持つ入力例題中のアトムより、引数の対応関係を求める。
- 2) ルールの前件部のアトム数と、その中で入力例題と対応関係が存在するアトム数を考慮し、他のルールと比較して入力例題との対応の度合いが高いルールを選択する。
- 3) 対応するアトムの述語間で、category の値が同一である述語が、他のルールより多く存在するルールを選択する。
- 4) 対応するアトムの述語、また述語が同一であれば項に一般-特殊関係に基づく類似性が存在するルールを選択する。

なお、手順の途中でルールが1つに定まった場合は、それを基準ルールとする。

次のような入力を例として、ルールの抽出過程を示す。

目標概念:	GRANDMOTHER	...①
入力例題:	GRANDMOTHER(MARY, PETER)	...②
	MOTHER(MARY, PAUL)	...③
	FATHER(PAUL, PETER)	...④
	MOTHER(LUCY, PETER)	...⑤
	ISA(PETER, ENGINEER)	...⑥
	ISA(PAUL, STUDENT)	...⑦
	.....	

まず1)より、知識ベースから次のルールが選択されたとする。

$COUSIN(x, y) \Leftarrow PARENT(v, x) \wedge PARENT(w, y) \wedge BROTHER(v, w)$   
...⑧

$UNCLE(x, z) \Leftarrow BROTHER(x, y) \wedge PARENT(y, z)$  ...⑨

$GRANDFATHER(x, z) \Leftarrow FATHER(x, y) \wedge PARENT(y, z)$  ...⑩

$PARENT(x, y) \Leftarrow MOTHER(x, y)$  ...⑪

$PARENT(x, y) \Leftarrow FATHER(x, y)$  ...⑫

ルール⑧において、 $COUSIN(x, y)$  と  $GRANDMOTHER(MARY, PETER)$  における引数の対応関係は  $\{x; MARY, y; PETER\}$  であり、この関係を満たすアトムは、ルールの  $PARENT(w, y)$  に対して入力例題中の③と④である。ここで、新たな引数の対応関係として  $w; PAUL$ 、または  $w; LUCY$  が生成されるが、この対応関係を満たすアトムは他に存在しないため、ルール⑧において対応関係を持つアトムは  $PARENT(w, y)$  のみとなる。同様に、ルール⑨とルール⑩についてはすべてのアトムに対応関係が存在するが、ルール⑩とルール⑫については存在しないため、2)によってルール⑨とルール⑫が選択される。この2つのルールに対して、いずれの述語の category の値も「家族関係」であるため、3)ではどちらも選択される。最後に、4)によって対応するアトムの述語の一般-特殊関係に基づく類似性が存在するかどうかを知識ベース内のルールにより調べると、ルール⑩とルール⑫により  $MOTHER$  と  $FATHER$  には存在するが、 $MOTHER$  と  $BROTHER$  には存在しないため、基準ルールとしてルール⑩が抽出される。

#### 4. 入力例題の一般化

抽出された基準ルールの各アトムと対応づけられた入力例題中のアトムを一般化することにより、ルールを生成する。まず、1), 2)により定まった引数の対応関係に基づき、選択されたアトムの定数を変数化する。そして、各アトムの述語または項の間に一般-特殊関係に基づく類似性が存在すれば、同一レベルまで一般化する。なお、異なる述語または項を持つ2つのアトムに対して、同じ数のルールを順に適用した結果、同じ述語または項になったとき、この2つの述語または項は同一レベルであると呼ぶ。最後に、目標概念を示す述語を持つアトムをルールの後件、それ以外のアトムの連言を前件とすることにより、ルールを生成する。

入力例題から選択されたアトムは、②、③及び④であり、それぞれルール⑩の  $GRANDFATHER(x, z)$ 、 $FATHER(x, y)$ 、及び  $PARENT(y, z)$  と対応している。ここで、引数の対応関係は  $\{x; MARY, y; PAUL, z; PETER\}$  であるから、これに基づいて変数化することにより各アトムは、 $GRANDMOTHER(x, z)$ 、 $MOTHER(x, y)$ 、 $FATHER(y, z)$  となる。続いて、各アトムの述語が、対応するルールのアトムの述語と同一レベルであるかどうかを調べると、 $MOTHER$  は  $FATHER$  と同一レベルであるが、 $FATHER$  は  $PARENT$  と同一レベルでないため、 $FATHER$  を  $PARENT$  に一般化する。以上によりルール  $GRANDMOTHER(x, z) \Leftarrow MOTHER(x, y) \wedge PARENT(y, z)$  が生成される。

#### 5. あとがき

知識ベース内のルールを利用することにより1つの例題を一般化し、ルールを生成する手法を提案した。本手法により生成されたルールは、必ずしも適切であるとは限らないため、生成されたルールを修正する手続きについて検討する必要がある。

#### 《参考文献》

[1] T.G.Dietterich and R.S.Michalski: "A Comparative Review of Selected Methods for Learning from Examples", in Machine learning Vol.1, pp.41-81, Morgan Kaufmann (1983).

[2] M.Lebowitz: "Not the path to perdition: the utility of similarity-based learning", Proc.AAAI, pp.533-537 (1986).