

PROLOG の情報空間モデル

北海道大学 工学部

田中 譲

1. 序論

知識ベースという概念が広まるにつれ、この種のシステムが種々の分野に果たすであろう役割の重要性が漸次認識され始めている。これに伴い、丁度、データベースに対してデータベース管理システムがあるように、知識の分野に依存しない汎用の知識ベース管理システムの研究が研究者の関心を集めつつある。

PROLOG のような論理型プログラム言語を発展させて知識ベース管理システムを実現しようと考えてみると、知識の蓄積機能は別としても、知識の表現や操作という観点に限ってみても、知識のモジュール化、データ構造の抽象化、概念構造の抽象化、推論過程のコントロールとその抽象化等の点で解決すべき問題が多く残されているように思える。

本論文では、この内の概念構造に関する問題点に焦点をあて、一つの解決法を与える。述語論理を用いた表現の1つの問題点は、述語 $P(x, y)$ は x と y の間の関係が P であること

を示しているが、 x , y がどのような概念に相当するものかを陽には示していないことがある。そのため、述語 P の例えは単に引数に相当する概念を直接的に言い表わすことができない。これらの概念は名辞と呼ばれるものや、データベースにおいては属性と呼ばれるものがある。本論文では、述語論理に先ず名辞を導入する。

名辞の導入だけでは、各々の名辞が指示する概念と概念の間は述語や関係付けられているだけである。しかし我々の頭の中では、名辞と共に形容詞等の修飾詞が用いられ、名辞を修飾詞で修飾して新しい名辞を生成したり、修飾詞を修飾詞で修飾して新しい修飾詞を生成することが出来る。この機構により、有限個の名辞と有限個の修飾詞から、無限個の名辞と修飾詞を定義し、概念構造の記述にこれらを自在に用いることが出来る。人と人とのコミュニケーションや、人における概念構造の形成と利用において、語彙の豊富さは重要な役割を果たしている。

本論文では、論理型言語の一例として PROLOG を取り上げ、これに名辞と修飾詞を導入し、語彙構築の機構を導入し、この言語の概念記述能力の向上を図る。基本的には、データベースについての著者の同様の試み⁽¹⁾⁽²⁾の拡張である。

2. 名辞の導入.

述語 $P(t_1, t_2, \dots, t_n)$ に対して, 識別子 A_1, A_2, \dots, A_n を導入して, $P(t_1, t_2, \dots, t_n)$ を $\langle A_1, A_2, \dots, A_n \rangle(t_1, t_2, \dots, t_n)$ と書くことを許すことにする. 各 A_i を名辞と呼ぶ. P を n 個のパーミュテーションとするとき, $\langle A_{p(1)}, A_{p(2)}, \dots, A_{p(n)} \rangle(t_1, t_2, \dots, t_n)$ は $\langle A_1, A_2, \dots, A_n \rangle(t_{p^{-1}(1)}, t_{p^{-1}(2)}, \dots, t_{p^{-1}(n)})$ と等しいと定義する. 集合 $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ を P の名辞集合と呼び, 異なる述語記号は互いに異なる名辞集合を持つとする.

$P(t_1, t_2, \dots, t_n)$ と $\langle A_1, A_2, \dots, A_n \rangle(t_1, t_2, \dots, t_n)$ の両方の形式を混在させて使用することを許す. ただし, 同一の述語記号に対しては一方の形式のみを用いるものとする. $\langle A_1, A_2, \dots, A_n \rangle$ を関係表現と呼ぶことにする.

データベースの関係モデルに習って, 関係表現に対する作用を以下のように定義する. X, Y , Z は名辞集合とする.

・プロジェクション

$$([\ X \] \langle X, Y \rangle)(x) \leftarrow \langle X, Y \rangle(x, y).$$

・セレクション (θ は比較演算子)

$$([\ X \ \theta \ 'a' \] \langle X, Y \rangle)(x, y) \leftarrow x \theta a, \langle X, Y \rangle(x, y).$$

・リストラクション

$$([X \circ Y] \langle X, Y, Z \rangle)(x, y, z)$$

$$\leftarrow x \circ y, \langle X, Y, Z \rangle(x, y, z).$$

X を名辞の集合とするとき、述語 $\langle X \rangle$ に対し、

$$\text{set}(\langle X \rangle)(y)$$

を、

$$y = \{x \mid \langle X \rangle(x)\}$$

なる述語と定義する。これを用い、名辞集合 X, Y に対して $\langle X, Y/X \rangle$ を

$$\langle X, Y/X \rangle(x, y) \leftarrow \text{set}([Y][X='x']\langle X, Y \rangle)(y).$$

と定義する。一般に $\langle X, Y/Z \rangle$ を

$$\langle X, Y/Z \rangle(x, y) \leftarrow \langle X, Z \rangle(x, z), \langle Z, Y/Z \rangle(z, y).$$

と定義する。 Y/Z を派生的な名辞と考へる。

f を関数とするとき $\langle X, f(Y) \rangle$ を

$$\langle X, f(Y) \rangle(x, z) \leftarrow \langle X, Y \rangle(x, y), z = f(y).$$

と定義し、 $f(Y)$ を派生的な名辞と考へる。

4

派生的なない基本的な名辞の集合を N_0 で表わす。 $X \subset N_0$ に
 対し、 $\langle X \rangle(x)$ なる述語は、 $\omega(p) \supset X$ なる述語 $P_1, P_2, \dots,$
 P_n について、

$$\langle X \rangle(x) \leftarrow ([X] P_1)(x).$$

⋮

$$\langle X \rangle(x) \leftarrow ([X] P_n)(x).$$

と暗黙の内に定義されていると考える。

3. 修飾詞の導入

修飾詞は名辞を修飾する名辞修飾詞と、修飾詞を修飾する
 修飾詞修飾詞に分類される。

名辞修飾詞 σ は 3 項組 $(x/N_1(\sigma), y/N_2(\sigma), P(\sigma)(x, y))$
 で定義され、任意の名辞集合 X, Y について

$$\langle X, Y: \sigma \rangle(x, y)$$

$$\leftarrow \langle X, N_1(\sigma) \rangle(x, z_1), P(\sigma)(z_1, z_2),$$

$$\langle N_2(\sigma), Y \rangle(z_2, y).$$

と定義される。 $N_1(\sigma), N_2(\sigma)$ は名辞集合で、 $P(\sigma)$ は述語である。

修飾詞修飾詞 τ は述語 $P(\tau)(x)$ で定義され、名辞修飾詞
 σ を $\tau(\sigma)$ と修飾して新たな名辞修飾詞

$$(x/N_1(\sigma), y_1/N_2(\sigma), P(\sigma)(x, y_1) \wedge P(\tau)(y_1))$$

を生成する。さらに、別の修飾詞修飾詞 τ' に作用して、新たな修飾詞修飾詞 $\tau \wedge \tau'$, $\tau \vee \tau'$, $\tau - \tau'$ をそれぞれ $P(\tau) \wedge P(\tau')$, $P(\tau) \vee P(\tau')$, $P(\tau) \wedge \text{not } P(\tau')$ に対応する修飾詞と定義する。とする。

名辞修飾詞の合成 $\sigma_1 \circ \sigma_2$ を、任意の名辞集合 X について、

$$X : \sigma_1 \circ \sigma_2 \cong X : \sigma_2 : \sigma_1$$

と定義する。

定理 1

名辞修飾詞 σ_1, σ_2 の合成 $\sigma_1 \circ \sigma_2$ は、3項組

$$(x/N_1(\sigma_1), y_1/N_2(\sigma_2), P(\sigma_1)(x, z) \wedge \langle N_2(\sigma_1), N_1(\sigma_2) \rangle (z, w) \wedge P(\sigma_2)(w, y_1))$$

と定義される名辞修飾詞に一致する。

proof.

$$\langle X, Y : \sigma_2 : \sigma_1 \rangle (x, y_1)$$

$$\leftarrow \langle X, N_1(\sigma_1) \rangle (x, z), P(\sigma_1)(z, v), \langle N_2(\sigma_1), Y : \sigma_2 \rangle (v, y_1).$$

$$\leftarrow \langle X, N_1(\sigma_1) \rangle (x, z), P(\sigma_1)(z, v), \langle N_2(\sigma_1), N_1(\sigma_2) \rangle (v, w),$$

$$P(\sigma_2)(\omega, u), \langle N_2(\sigma_2), Y \rangle (u, y).$$

- 3.

$$\langle X, Y: \sigma_1 \circ \sigma_2 \rangle (x, y)$$

$$\leftarrow \langle X, N_1(\sigma_1 \circ \sigma_2) \rangle (x, z), P(\sigma_1 \circ \sigma_2)(z, \omega),$$

$$\langle N_2(\sigma_1 \circ \sigma_2), Y \rangle (\omega, y).$$

これらと比較する (2.15) 定理が証明される。

名辞集合 X, Y, Z に対して,

$$\langle X, Y \wedge Z \rangle (x, y) \leftarrow \langle X, Y \rangle (x, y), \langle X, Z \rangle (x, y).$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \langle X, Y \vee Z \rangle (x, y) \leftarrow \langle X, Y \rangle (x, y). \\ \langle X, Y \vee Z \rangle (x, y) \leftarrow \langle X, Z \rangle (x, y). \end{array} \right.$$

$$\langle X, Y - Z \rangle (x, y) \leftarrow \langle X, Y \rangle (x, y), \text{not} \langle X, Z \rangle (x, y).$$

と定義し、名辞修飾詞 σ, τ と演算 $*$ に対して

$$\langle X, Y: \sigma * \tau \rangle (x, y) \leftarrow \langle X, (Y: \sigma * Y: \tau) \rangle (x, y).$$

と定義する。

例 1.

述語 $\langle \text{Name}, \text{Birthday}, \text{Sex}, \text{Parent} \rangle$ が定義されているとき、
名辞修飾詞 parent , 修飾詞修飾詞 male を

parent : (x/Parent, y/Name, x=y),

male : ([Name][Sex='male'] <Name, Sex >)(x).

と定義すると、例えは

<Name, Birthday : male(parent) > (x, y)

は、

<Name, Parent > (x, z), z=w,

([Name][Sex='male'] <Name, Sex >)(w), <Name, Birthday > (w, y)

と似る。 Birthday : male(parent) は birthday of the father を意味する = と似る。 male(parent) と father を定義すると、 Birthday : male(parent) は Birthday : father と書ける。

4. 語彙構築

基本的名辞と基本的修飾詞を用い、名辞と修飾詞を次のように定義する。

$$\begin{aligned} \langle \text{名辞} \rangle ::= & \langle \text{基本的名辞} \rangle \mid \langle \text{名辞} \rangle \langle \text{名辞} \rangle \\ & \mid \langle \text{名辞} \rangle / \langle \text{名辞} \rangle \mid \langle \text{関数} \rangle (\langle \text{名辞} \rangle) \\ & \mid \langle \text{名辞} \rangle : \langle \text{名辞修飾詞} \rangle \end{aligned}$$

$$| \langle \text{名詞} \rangle \wedge \langle \text{名詞} \rangle | \langle \text{名詞} \rangle \vee \langle \text{名詞} \rangle$$

$$| \langle \text{名詞} \rangle - \langle \text{名詞} \rangle$$

$$\langle \text{名詞修飾詞} \rangle ::= \langle \text{基本的名詞修飾詞} \rangle$$

$$| \langle \text{修飾詞修飾詞} \rangle (\langle \text{名詞修飾詞} \rangle)$$

$$| \langle \text{名詞修飾詞} \rangle \circ \langle \text{名詞修飾詞} \rangle$$

$$| \langle \text{名詞修飾詞} \rangle \wedge \langle \text{名詞修飾詞} \rangle$$

$$| \langle \text{名詞修飾詞} \rangle \vee \langle \text{名詞修飾詞} \rangle$$

$$| \langle \text{名詞修飾詞} \rangle - \langle \text{名詞修飾詞} \rangle$$

$$| \text{not}(\langle \text{名詞修飾詞} \rangle) | \langle \text{名詞修飾詞} \rangle^{-1}$$

$$\langle \text{修飾詞修飾詞} \rangle ::= \langle \text{基本的修飾詞修飾詞} \rangle$$

$$| \langle \text{修飾詞修飾詞} \rangle \wedge \langle \text{修飾詞修飾詞} \rangle$$

$$| \langle \text{修飾詞修飾詞} \rangle \vee \langle \text{修飾詞修飾詞} \rangle$$

$$| \langle \text{修飾詞修飾詞} \rangle - \langle \text{修飾詞修飾詞} \rangle$$

$$| \text{not}(\langle \text{修飾詞修飾詞} \rangle)$$

上述の定義式は、名詞、名詞修飾詞、修飾詞修飾詞からなる語彙の構築機構を定義していることと読むこともできる。この機構を用い、小教の基本的な名詞と修飾詞から、無限に多くの名詞と修飾詞を定義し、こゝして得られた膨大な語彙を自由に用いることが可能になる。

名詞修飾詞 σ に対し、 σ^{-1} は $(x/N_2(\sigma), y/N_1(\sigma), P(\sigma)(y, x))$ と定義される。

例2. 述語 $\langle \text{Name}, \text{Birthday}, \text{Sex}, \text{Parent} \rangle$ が定義されているとする. 基本語彙を以下のように定義する.

基本的名辞: $\text{Name}, \text{Birthday}, \text{Sex}, \text{Parent}$

基本的名辞修飾詞

$\text{parent} : (x/\text{Parent}, y/\text{Name}, x=y)$

$\text{self} : (x/\text{Name}, y/\text{Name}, x=y)$

基本の修飾詞修飾詞

$\text{male} : ([\text{Name}][\text{Sex} = \text{'male'}] \langle \text{Name}, \text{Sex} \rangle)(x)$

これらを用いて派生的語彙を以下のように定義する.

名辞修飾詞

$\text{father} : \text{male}(\text{parent})$

$\text{mother} : \text{female}(\text{parent})$

$\text{sibling} : \text{parent} \circ \text{parent}^{-1} - \text{self}$

$\text{brother} : \text{male}(\text{sibling})$

$\text{sister} : \text{female}(\text{sibling})$

⋮

修飾詞修飾詞

$\text{female} : \text{not}(\text{male})$

⋮

名辞

Father: Name: father

Mother: Name: mother

Brother: Name: brother

Sister: Name: sister

⋮

これらを用い、プログラムや質問の中に、上述の語彙を自由に用いることができる。たとえば、

← < Name, Birthday: brother > (Y. Tanaka, 2)

なる質問は 'Y. Tanaka' の兄弟の誕生日を求める質問になる。

5. 結論

本論文で提案した方法によつて、名辞と修飾詞を導入することにより、論理型プログラム言語に豊富な語彙を導入することが出来る。プログラム言語に語彙の定義機能を設け、語彙の使用を許すことにより、論理型言語の記述力を大きく向上させることが出来る。

自然言語と対比して考えると、動詞に相当する語彙の構築が考慮やさしい方がいいことがわかる。論理型プログラムでは、

更新や side effect に相当する事柄を抽象的に記述すること
に対する。この点に関する拡張は今後に残された問題であ
る。

参考文献

- (1) Y. Tanaka, "Information Space Model," Proc. Formal Bases for Data Bases, (Toulouse, 1979).
- (2) Y. Tanaka, "Vocabulary Building for Database Queries," RIMS Symposia on Software Science and Engineering, (Kyoto, 1982), Lecture Notes in Computer Science 187.