記号表現と分布表現との接点

山崎 眞見

日立製作所基礎研究所

1. 概要

対象世界を記述するための知識表現の方法は、記号主義的記号表現や分布表現のどちらか一方だけでは不十分であり、両表現とも一長一短を持っている。この主張を、次のようにして検証する。両表現方法に共通の基盤に立った定義を与えることを試み、その定義から浮かび上がってくる特長を調べ、両者の接点を探る。

2. 基礎用語の定義

まず、扱う対象を図−1のように定義する。この定義において、すべての対象は < bit 列 > であり、すでに記号で表現されているように見える。しかし < bit 列 > は記号には違いないが、我々がこれから問題にする記号とは、そこに「意味」を伴った記号を特に指すこととする。この「意味」を伴ったという意味は、次のように定義する。

< 対象世界 >::=< パターン >

< パターン >::= $X_0 \cup Y_0$

X_0 ::=< 0 次言語化情報 >

Y_0 ::=< 0 次未言語化情報 >

< 0 次言語化情報 >::=< bit 列 >

< 0 次未言語化情報 >::=< bit 列 >

図−1 対象世界の定義

- 言語化情報という分類を与えられた情報を生成核として派生される情報は「意味」を伴う

また、知識表現の目的は次のように表現する。

- 対象世界の未言語化情報を言語化情報をもとに記述しつくすことである。

次に、記号主義の定義を与えることを試みてみよう。

- 記号主義とは、「言語化情報をもとにした局所情報表現とその操作」にのみ基づいた情報処理の方法論

と定義する。

一方、非記号主義とは、上記の局所情報表現を非局所情報表現に置き替えた定義とする。ただし、本論文では、非局所表現の一つである分布表現 (Distributed Representation) を非局所表現として議論する。

3. 知識表現

3.1 知識表現の定義

記号主義的知識表現と分布表現のそれぞれを図−2、図−3のように定義する。さて、このように記号主義的知識表現と非記号主義的知識表現とをともにネットワークで表現してみると、両者の特徴が明らかになってくる。

図−2は、帰納的なネットワーク定義となっている。図では、step n でのネットワークのみが描いてある。X_n, Y_n の帰納的定義を逆にたどることでネットワークの全体は、$X_0,Y_0,H_0,\dots,H_n$ の要素をノードにもつネットワークとなる。step n までのネットワークは、原子記号が X_0 の要素で、深さ n の入れ子構造を持つリストと等価な記号列と未言語化情報パターンである Y_0 の部分集合との対応を表現している。ここで、$h_i^{(n)}$ はある記号列を一つの記号化情報として扱うためにつけられたラベルとみなせる。

step n

pattern $\mathbf{x}_i^{(n)} \subset X_n$

↓ mapping

$h_i^{(n)} \in H_n$

ψ ↓ mapping

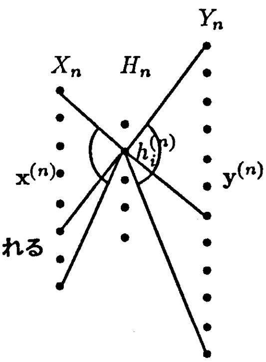
pattern $\mathbf{y}_i^{(n)} \subset Y_n$

$h_i^{(n)}$は排他的に活性化される

$H'_n = \{\{h_i^{(n)}\}\}$

$X_{n+1} = X_n \cup H_n$

$Y_{n+1} = Y_n \setminus \psi(H'_n)$



図−2 記号主義的知識表現

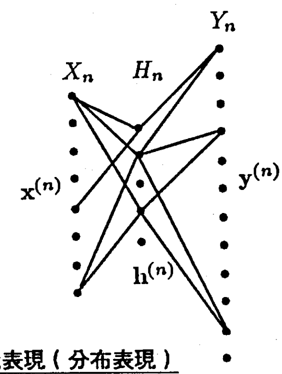
一方、図－３は分布表現による未言語化情報パターンを言語化するネットワークを表現している。そこでも、中間層のパターンを言語パターンとして取り込むという操作が基本となっている。しかし、この中間層パターンがはたして言語情報としての意味を十分に持ちうるかどうかという問題点がある。すなわち、$\mathbf{h}^{(n)}$ の意味を問われたとき、各要素 $h_i^{(n)}$ の意味がはっきりとしないという問題である。ただし、$\mathbf{h}^{(n)}$ は言語化情報とネットワークのリンクをとおしてつながっており、ある意味で言語化情報とのつながりを持った情報であることだけは確かであろう。

さて、$\exists N : Y_n = \phi$ for $n > N$ なる N が存在するときどちらの表現であろうと対象世界を記述しつくしたということになる。すなわち、知識表現の目的は達成されたということになる。しかし、それほど大きくない N に対してはまだ、$Y_N \neq \phi$ であろう。実際、記号主義の限界を感じるようになったのは、そもそも $Y_N = \phi$ なる N. までとうてい到達できそうにない状況にたびたび遭遇するようになったからである。そこで以下では、ネットワークの大きさが $N-1$ で $Y_N \neq \phi$ なるネットワークについて考える。

step n

$$\phi \begin{cases} \text{pattern } \mathbf{x}^{(n)} \subset X_n \\ \quad \downarrow \text{ mapping} \\ \text{pattern } \mathbf{h}^{(n)} \subset H_n \\ \quad \downarrow \text{ mapping} \\ \text{pattern } \mathbf{y}^{(n)} \subset Y_n \end{cases}$$

$$X_{n+1} = X_n \cup H_n$$
$$Y_{n+1} = Y_n \setminus \phi(X_n)$$



図－３　非記号主義的知識表現（分布表現）

このとき、図－２のネットワークにおいて、ネットワーク状態 $(\mathbf{x}_N, \mathbf{y}_N)$ を考えると、$\mathbf{y}_N \neq \phi$ ならば、$X_N = \phi$ となる。なぜなら、図－２のネットワークでは、Y_Nに属するパターンに対して、X_N のどのノードも活性化されない構成になっているからである。これは、記号表現における「記述されていることは答えられるが、記述されていないことには全く答えられない」という側面に対応している。

一方、図－３のネットワークを考えてみると、H_N の意味付けは、完全には明らかでないが、$(\mathbf{x}_N, \mathbf{y}_N)$ のパターンにおいて、パターン$(\mathbf{x}_N \neq \phi, \mathbf{y}_N)$ の状態は成立し得る。

3.2 分布表現のファジィ解釈方法

いま、図－３のネットワークの動作がエネルギー函数 $E(x,y)(\geq 0)$ を用いて、$\partial E = 0$ の解として記述できると仮定する。すると、状態 $(\mathbf{x}_N, \mathbf{y}_N)$ は、エネルギー E のある極小点であり、$E \geq 0$ なる状態に対応する。

この E を用いて $\mu = \frac{E_{\max} - E}{E_{\max}}$ を定義すると、$\mu = 1$ に対応するのが $(x_N \in X_N, y_N = \phi)$ のパターンで既に言語化を完了したパターン、すなわち $\mathbf{x} \longrightarrow \mathbf{y}$ ($\mathbf{x} \subset X_N, \mathbf{y} \subset Y_0$) という対応関係により、０次未言語化パターン $\mathbf{y}$ を言語化したパターンである。

$\mathbf{y}_N \neq \phi$ なるパターン $\mathbf{y}_N$ に対しては、$\mu(\mathbf{x}_N, \mathbf{y}_N) = \alpha$ $(0 \leq \alpha \leq 1)$ となる。すると、$S_\alpha = \{(\mathbf{x}_N, \mathbf{y}_N) | \mu(\mathbf{x}_N, \mathbf{y}_N) > \alpha\}$ を定義すると、これはファジィ集合における α-cut に対応する状態の集合と同じものとみなせる。S_αは、すでに獲得した $(\mathbf{x}_N, \mathbf{y}_N = \phi)$ のパターンを含むものである。この S_α は 全パターン $(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ にパラメター α による分類をあたえる。

パラメター α は、既に言語化されたパターンとの近さを表わすとも考えることが出来る。そして、この尺度のもとに未言語化パターンに、ある意味で意味付けを与えることが出来る可能性が示唆される。

4. まとめ

記号主義の限界を論じるために、記号主義とは何か、非記号主義（分布表現）とは何か、という点をできるだけ明確に定義する事を試みた。それらの定義において記号主義の限界は、$Y_N \neq \phi$ となる N までは経済的な大きさの N では到達出来ないことであると表現された。分布表現の問題点は、言語化情報として未言語化情報を取り込もうとしたとき、この定義で言語化情報とみなしている情報が、直感的に納得の出来る言語化情報としてはまだ不完全だという点である。

このように、互いに欠点を持ちながらも、両者それぞれの欠点を他方が補いあえる可能性は残る。そのためにも、両者をより共通の表現で記述し、利用できるものとしなくてはならない。そのための接点として、本論文で導入した分布表現のファジィ化手法と、記号表現における従来のファジィ化手法による表現とが結びつくのではないかと考えている。