

シンボル処理に欠けているもの

中島秀之

電子技術総合研究所

1 はじめに

現在、シンボル処理の限界を越えようとする動きがある。例えばコネクショニズムはその一つである。ここでは何故そのような限界があり、どうすればそれを越えられるかを考察する。

シンボル処理には、物理系でいう作用・反作用のような双方向のインタラクション／通信が欠けている、というのが本論文の主旨である。様々な例からそれを検証するが、あくまで、“原理的には”という話であることをことわっておきたい。双方向インタラクションを片方向インタラクションの上を実現するのはそれ程困難ではない。しかし、その場合効率の著しい低下は避けようがない。

一応万能チューリングマシンであるから、記述可能な計算はすべてシンボルで処理することが可能である。その意味で、可能／不可能を問題にしても仕方がない。ここでは効率を問題にした。効率と言うのは、計算の複雑さ（オーダー）、メモリ使用量の他に、プログラムの記述の効率等を含む。

またここで述べる問題は数値の導入によって単純に解決されるものでもない。数値を用いることにより(1)距離位相の導入、(2)微分（あるいは差分）による方向の導入（山登り探索など）、などが可能になり、シンボルのみの処理よりは適応範囲が広がることを否定するつもりはないが、知能の処理においてシンボルが中心的な働きをしていることも事実である。従って、シンボル処理の枠内で現在のシンボルの限界を越える必要があると感じている。

2 シンボル処理の一方向性

シンボル処理の一方向性を示す例は多い。ここではそれを単純なものから複雑なものへと概観し、結局のところ双方向性はないということを見た。

- λ conversion: 変数への一方的代入。

$$\lambda x.PQ$$

において Q は不変 (P の影響は受けない)。つまり、 x 、さらに P のみが一方的に変化する。 $Q \rightarrow P$ の一方向の流れ。

ただし、Lisp の special form は例外。 λ 式に何種類もあり、それにより Q の処理 (eval かどうか) が変化する (若干の双方向性)。

- **message passing:** 一方的送信。送信が受理されたかすら不明。一方向通信を組み合わせても相互知識 (つまり、送信内容に P について $\text{know}(a, P)$, $\text{know}(b, P)$, $\text{know}(a, \text{know}(b, P))$, $\text{know}(b, \text{know}(a, P))$... という知識) の形成は不可能なことが証明されている [HM90]。

- **function call:** 呼びだし (パラメータ) と値の一方向通信の組合せ。また、値は外の関数のパラメータとして用いられるので、全体としての情報の流れは一方向。

- **unification:** ユニフィケーションを用いると、双方向になるように思えるが、細かく見ると、どちらかが変数でどちらかが値だから、結局は同じ。

変数同士のユニフィケーションは例外で、両方向のリンクが張られるのと同じ効果。ただし、情報の受理は行なわれない。

というわけで、ミクロな両方向通信は行なわれていない。

- **条件分岐:** 例えば

if condition then action1 else action2

において、*action1* や *action2* の内容が *condition* の判定に影響しない。しかし、人間の場合には、結果によって判定を変えることもある。

- **制約:** 複数要素間の制約を充足する問題は、原理的には連立方程式を解く問題と考えるとよい。¹ここでは数値解を得る問題を例にするが、一般の関係の場合と基本的には変わらない。

連立方程式を解くことを考えてみよう。例えば方程式を行列表示して解く場合、掃き出し法を用いて、三角行列に変換する。これは複雑に入り組んだ変数間の依存関係を徐々に単純なものに分解して行くことに相当する。

シンボル処理でも同じようなことをするが、このように、最終的に三角行列になる問題しか解けない。ただし、全解探索という手がある。手間をかければなんとかなる。これはシンボルが離散的であることのメリット。

¹久野巧 1989. personal communication.

3 シンボル以外の枠組

- アナログコンピュータ: ナイーブなアナコンの場合は回路の双方向性によって計算を行なっている。オペアンプはそれを片方向に制限?
- コネクショニズム: コネクショニズムの場合、繰り返し計算により双方向性をシミュレートしている。つまり、forward propagation と backward propagation を、それらが定常状態に達するまで繰り返す。(これはそれなりのハード(例えばアナコン)があれば、ダイレクトに実現可能か?)
連想記憶においても、各部分が互いに影響しあって想起を行なう。

4 位相

シンボルが弱いものの一つに位相がある。特に距離位相は数値が得意なところである。位相があると、場の表現ができ、場との相互作用が実現できる可能性がある。

- ファジー: 集合と要素の間に距離を導入。この距離が0から1の数値というところに疑問を感じる(必然性がよくわからない)。
- ファジー制御: 制御は入力も出力も実数値の世界(もともと距離空間上の点)だからうまく行く。
- 確信値: これは推論のメタ制御として使えるが、表現そのものではない。つまり、確信値というのは事実の確かさではなくて、推論主体がどの程度それを信じているかの値である。その意味で確率とは分離する必要がある。[岡中大92]

5 新しい試み

シンボル処理に相互作用や位相を導入する方向性について考える。

- linear logic [Gir87]: 書き換え規則の使用回数に制限(普通1回)があるもの。より正確には sequent calculus の規則:

$$\text{exchange: } \frac{\Gamma, \phi, \psi, \Gamma' \rightarrow \Delta}{\Gamma, \psi, \phi, \Gamma' \rightarrow \Delta} \quad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, \phi, \psi, \Delta'}{\Gamma \rightarrow \Delta, \psi, \phi, \Delta'}$$

$$\text{contraction: } \frac{\Gamma, \phi, \phi, \Gamma' \rightarrow \Delta}{\Gamma, \phi, \Gamma' \rightarrow \Delta} \quad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, \phi, \phi, \Delta'}{\Gamma \rightarrow \Delta, \phi, \Delta'}$$

$$\text{weakening: } \frac{\Gamma, \Gamma' \rightarrow \Delta}{\Gamma, \phi, \Gamma' \rightarrow \Delta} \quad \frac{\Gamma \rightarrow \Delta, \Delta'}{\Gamma \rightarrow \Delta, \phi, \Delta'}$$

のうち contraction と weakening を持たない論理[小89]。これは書き換えられる側から規則へのフィードバックと考えられないか。²

linear logic では、結論を導き出すのに必要十分な規則だけが存在する時にのみ証明できる。丁度お金を使うとなくなるように、規則を使うとなくなるのである。

²Vaughan Pratt は観測によって変わる系であると述べている。

- 関係: 関係という概念はそもそも双方向。Prolog 等の処理系がそれを制限しているだけ? 制約プログラミング等では双方向に使用しているが、先に述べたように、現在のシンボル処理技術では片方向の集まりとしてしか処理できていない。

関係をくちゃんと>扱う必要がある。

- 共有メモリ: 黒板モデルなど、並列プロセッサ間での共有メモリを介した相互作用が考えられる。
逆に、相互作用があれば共有メモリを分散実現可能。こっちの方が面白い?
- topology via logic [Vic89]: 開集合として位相を導入できるが、これは役に立つか?

6 まとめ

シンボル処理には双方向のインタラクションが欠けていることを示した。双方向インタラクションの導入により様々な問題が解けることが期待されるが、本稿ではそれに言及する余裕がなかった。

位相の導入により改善される部分があるかもしれないが、今のところ本質的な解決にはなっていない。特に数値の導入がキーとはならない。

謝辞

本論文の基本概念: シンボル処理には双方向のインタラクションが欠けている、は情報処理学会の知識工学と人工知能研究会での自由討論中に、筆者と佐藤理史氏の二人によって得られたものである。氏ならびに討論に参加された方々に謝意を表する。

参考文献

- [Gir87] Jean-Yves Girard. Linear logic. *Theoretical Computer Science*, 50, 1987.
- [HM90] Joseph Y. Halpern and Yoram Moses. Knowledge and common knowledge in a distributed environment. *JACM*, 37:549-587, 1990.
- [Vic89] Steven Vickers. *Topology via Logic*. Cambridge University Press, 1989.
- [岡中大92] 岡本義則, 中島秀之, and 大澤一郎. 確信度と主観確率を持つ信念推論システム. 人工知能学会誌, 7(2):263-170, 1992.
- [小89] 小野寛晰. 非標準論理の現状とその展望. 情報処理, 30(6):617-625, 1989.