

場と一体化したプロセスの概念に基づく並列協調処理モデル

2Q-2

吉田紀彦 檜崎修二

(九州大学工学部)

1. はじめに

協調処理モデルとは、比喩的に言えば、複数の人間が互いに相談したり助け合いながら、全体で一つの処理を実行するような計算モデルのことをいう。ここで重要な点として、各人は自分に関係することを原則としてすべて自分で処理する自律的な存在であり、管理者や指揮者に類する中央集権的な存在はない。すなわち、このモデルは、全体的な組織や制御の構造が前もってあまり規定できず、実行過程が各人の判断に委ねられるような応用のためのものである。

協調処理モデルは、実行主体の自律性という点で、オブジェクト指向や並列/分散処理との親和性が高い。特に人工知能ないし知識処理の分野で、推論機構/知識の構造化や並列/分散処理との融合などについてブレークスルーをもたらすものとして期待されている。そして、協調型問題解決(cooperative problem solving)¹⁾、またはより一般的に分散人工知能(distributed artificial intelligence)²⁾という名称で、研究分野が形成されつつある。

ここで、人間の知識処理のモデルとして活用されているだけでなく、高度な知識処理システムの基盤として有望視されているモデルに、いわゆる黒板モデル(blackboard model)^{3,4)}がある。このモデルは、受信者を特定しない送信、および受信者の自律的な取捨選択を実現する点で、従来の並列処理モデルにおけるメッセージ通信機構の制約を克服するものであり、協調処理モデルの枠組の基盤としても有効である。

本論文では、以上の考察に基づき、協調型問題解決を主な対象とする協調処理モデルを提案する。本モデルの本質は次の2点にある。

- 実行主体としてのプロセスと通信媒体としての場を一体化し、これを階層的にネストさせる(他の協調処理モデルの多くにみられるような、プロセスと場を別個のオブジェクトとするアプローチはとらない)。
- 基本的な通信命令のみを用意し、通信の形式は通信命令の種別でなく、通信情報の属性で規定する(従来の並列処理モデルの多くにみられるよ

うな、通信形式ごとに個別の命令を用意するアプローチはとらない)。

これにより、次のような特長が実現する5)。

- プロセス、場(黒板)、チャネル、メールボックスなどがすべて、「プロセス+場」という唯一のオブジェクトに統合される。
- 少数の統一化された命令のみで、直接送信、間接送信、放送、自律的受信、封鎖/非封鎖通信などの多様な通信が可能になる。通信形式の拡張も、整合性を保ったまま容易に行なえる。
- プログラム内だけでなくプログラム間の通信も、モデルの枠組の中で記述できる。
- 一般の問題解決技法だけでなく、分割統治法などの再帰的な技法への柔軟な対応が可能になる。
- 場を局所化することにより、検索オーバーヘッドの低減、および情報のモジュール化が実現する。

2. 基本機構

(1) セル

実行主体としてのプロセスと通信媒体としての場を一体化したものをセルと呼ぶ。すなわち、セルは自分の内部に固有の通信情報プール(キューではない)を持ち、この中の任意の情報単位について自律的な書き出し/読み込みを行なう。

セルは、その親子関係に対応して、階層的なネスト構造を成す。すなわち、あるセルが生成した子セルは、その親セルの「内側」に置かれる。外側のセル(親セル)は内側のセル(子セル)に対して、間接通信や放送の媒体、すなわちいわゆる環境として機能する。セルは環境の中の情報単位についても、自律的な書き出し/読み込みによって授受を行なう。

セルは基本的には、自分自身、自分の親、自分の子の存在を「知る」ことができる。それらと情報を授受することにより、自身、親、子との直接通信が実現する。また、環境としての親を介して、兄弟との間接通信が実現する。さらに、セルそのものを他のセル(通常は親子など)を介して授受することもできるので、親子関係にないセルの存在を知って、それとの間で通信を行なうことも可能である。

セルを操作する命令は、次の5つである。

```
def-cell(Cell-Symbol, Cell-Code)
```

セルのプログラム・コードを定義する

```
create(Cell-Symbol, {Range})
```

子のセルを生成して、それを返す

suicide() 自殺する
 self() そのセル自身を返す
 env() 環境(親)のセルを返す

(2) タプル

セル間で通信される情報単位をタプルと呼ぶ。タプルは名前と、0個以上のデータ要素の順序付けられた組から構成される。セル間の通信は、セルへのタプルの書き出し/読み込みによってなされ、タプルの読み込みは指定したテンプレート・タプルとのマッチングによる。タプルを操作する命令は、次の2つのみである。

out(Cell, Tuple, {Attribute}, {Exception})
 タプルをセルに書き出す
 in(Cell, Template, {Attribute}, {Exception})
 テンプレートにマッチするタプルをセルから読み込んで返す

タプルは、通信形式の制御のために次の3つの属性を持つ。

- 排他/非排他: 1対1通信か1対多通信かを指定する。タプルとテンプレートのいずれかが排他ならば、競合する受信の内の1つのみが有効となる。
- 封鎖/非封鎖: 封鎖通信か非封鎖通信かを指定する。封鎖タプルは封鎖送信を、封鎖テンプレートは封鎖受信を実現する。
- 優先順位: 同じ名前と型を持つタプル/テンプレートの中で、マッチングの優先順位を指定する(優先順位の等しいタプルについては、古いものが優先される)。

また、タプル操作命令では、指定したセルが無かった場合の処理を、例外処理として記述することができる。その既定値は「セルの自殺(suicide)」である。

(3) 様々な通信形態の実現

上で述べたような単純かつ統一的な機構の上で、セルの階層とタプルの属性を組み合わせることにより、次のような様々な形態の通信を実現することができる。

- 直接通信: 特定のセルへの直接通信は、相手のセルにタプルを書き出すことによって実現する。そのセルがタプルを型や値の指定無しに順に読み込むならば、それはメッセージ通信に等しい。
- 間接通信: 未知のセルへの間接通信は、相手と思われるセルの環境(親)セルに排他属性のタプルを書き出すことによって実現する。この場合、その環境内のいずれか1つのセルがそのタプルを読み込む。
- 放送: 上の間接通信において非排他属性のタプルを用いるならば、マッチするすべてのセルがそれを読み込むため、放送が実現する。

● チャンネル通信: あるセルを中間に介して通信を行なうことによって、そのセルをチャンネルと見なした通信が実現する。

● 自律的受信(メールボックス): タプルを読み込む際に要素の型や値を指定することによって、それにマッチするタプルのみを自律的に選択する受信が実現する。これは、いわゆるメールボックス通信に近い機構である。

3. 処理系の実装

本協調処理モデルの実現性と有効性を検証するために、現在、Unixワークステーションのネットワーク上に処理系の実装を行なっている。これは具体的には、Sun-3上でKyoto Common Lisp (KCL)を用いている。そして、ネットワーク機能まで含めた処理系の大きさは約2000行、KCLの関数で200個ほどである。

ここでは、前章で示した本モデルの操作命令(セル操作5つ、タプル操作2つ)を、いわばシステム関数としてLispに追加する方式をとった。KCLは並行処理機能を持たないので、マルチタスキング機能を持つ簡単なインタプリタをKCL上に構築し、その上で本モデルのプログラムを解釈実行するようにした。そして、この処理系を基礎に、ネットワーク上に分散処理系を実装した。分散化にあたって、ノード間の通信にはTCP/IPのソケットを用い、システム・コール・インタフェースをCで記述して、ソケットをKCLのストリームとして扱えるようにした。

4. おわりに

本協調処理モデルの適用例として、現在のところ、①食卓の哲学者、②行列乗算、③フラクタル生成、④分枝限定法による巡回セールスマン問題、の4つがある。これらにより、本モデルの有効性や適用性を確認している。

今後は、本モデルの適用性などについて詳細な検討を続けるとともに、インスペクタなどのシステム開発/実行環境の整備、より広汎かつ実際的な問題への適用、などについて研究を進めていく予定である。

参考文献

- 1) Decker, K.S., "Distributed Problem-Solving Techniques: A Survey", IEEE Trans. SMC-17:5 (1987) 729-740.
- 2) Huhns, M.N. ed., *Distributed Artificial Intelligence*, Morgan Kaufmann (1987).
- 3) Lindsay, P.H. and Norman, D.A., *Human Information Processing*, Academic Press (1977).
- 4) Englemore, R. and Morgan, T. eds., *Blackboard Systems*, Addison-Wesley (1988).
- 5) 吉田, 榎崎, "場と一体化したプロセスの概念に基づく並列協調処理モデル", 並列処理に関する指宿ミニシンポジウム予稿集 (1989) 掲載予定.