

新しい分散処理システム構築のための基本問題

野 口 正 一

東北大学応用情報学研究センター

あらまし 分散処理システムをシステム全体の機能の上から論理的に類別し、基本的な三つのmodelを導く。ついでそれぞれのModelの上で新しい分散処理システムを構築するための基本問題について述べる。Model IIIで示す意味世界迄に立ち入った分散協調システム構築のための基本問題についても述べる。

Fundamental Problems for the Future Distributed Information System

Shoichi Noguchi

Research Center for Applied Information Science
Katahira 2-1-1, Aobaku, Sendaishi 980, JAPAN

Abstract Considering the capability of the distributed information network, we show that the system can be characterized into three basic Models, Model I, Model II and Model III. We show the fundamental design concept of each model and discuss the future design problems of Model I, II and Model III respectively. Model III is defined as the distributed information network which has the cooperative capability with other agent on the level of semantical information. Several important discussions and the future projects are described aiming to realize Model III network system.

[分散処理システムに対する基本的な考え方]

分散処理システムとは、ある地域又は領域内に存在する情報資源がそれぞれ有機的に結合して協調し、又あるときは単独に目的とする処理を自律的に行っていくシステムである。つまり分散処理システムは自律分散協調の機能をもつシステムである。

本報告ではこの立場に立って、分散処理システムの構築の問題を考えるわけであるが、実はその前に一つ大きい問題がある。それは何故に分散処理なのかという事である。もっとも端的な答えは既にシステム自体が分散システムとしてあるということもある。例えばコンピュータネットワーク構築の問題はこれに属する。このようにシステムが最初から与えられたとする立場が一つある。一方与えられた大きい問題を効率的に処理するため、例えば巨大なソフトウェアを基本的な複数のモジュールに分割し、全体として分散環境のもとでソフトウェアシステムを構成する問題がある。

この場合には与えられた問題をどのようにして基本的な処理単位に分割し、全体として効率的な分散処理システムを構築するかという、最も重要な問題を解決しなければならない。この問題はきわめて重要であるが、本報告ではこの問題には直接触れず前者の立場、つまり始めに分散処理システムがあるという前提の上で主に議論を進めることにする。以上をまとめれば分散処理システムとしてつぎの二つの型があるということである。

- I 型： Computational Model として既に分散システムが与えられている場合
- II 型： 与えられた問題を分散システムに変換し、システム構築を含めての分散システム

さらに分散処理システムにとってソフトウェアを中心とする問題は極めて重要な問題であるが、紙面の都合で割愛することにする。

本節のまとめとして、分散処理システム構築の

問題を改めて総括し、構築のための基本問題を図示すれば図1の如くなる。

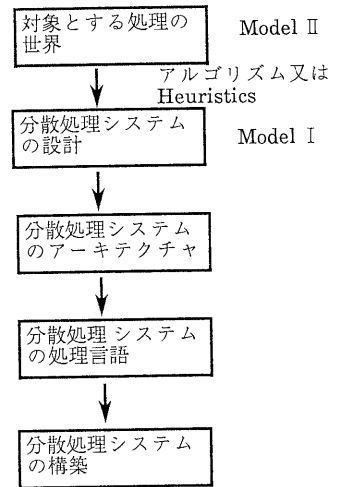


図1

[分散協調の基本モデル]

分散協調の基本モデルは図2に示すように、ある限られた有限の領域に存在するn個のagent A_1, \dots, A_n が時刻の進行とともに情報を交換しながらそれぞれが処理を行っていくモデルである。この分散協調のモデルによって得られる Computation $C(t)$ は A_i の時刻 t での、それぞれの内容 $C(t) = [A_1(t), \dots, A_n(t)]$ によって定まる。

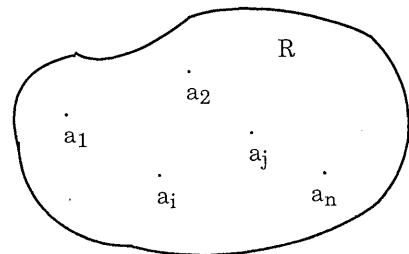


図2

以下にこのモデルの Computation のステップを同期モデルとして捉えたとすると従来のセル構造オートマトンの定式化と同様につぎの如く与えられる。

$$C(t+1) = F[C(t)] \quad (1)$$

$$A_i(t+1) = \Gamma_i(A_{1-n}(t), \dots, A_i(t), \dots, A_{i+m}(t)) \quad (2)$$

(1)式は(2)式で与えられる近傍関係処理(以下近傍という) Γ_i によって定義され、 F はシステム全体の処理の状況を示す。又は Γ_i は図3のごとく、通信機能 C_i と処理機能 P_i の二階層モデルで表現される。これを

$$P_i = P_i \cdot C_i \text{ とかく} \quad (3)$$

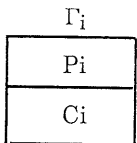


図3

上式の定式化は分散協調モデルを最も簡単にしたモデル化であるが、このモデルを用いて我々は分散協調モデルを基本的なクラスに特性化することができる。つまり分散協調モデルが幾つかの基本モデルに分けられるのでシステム構築の基本問題は各モデルの上での構築問題として考えればよいことになる。

Model I

- (1) 通信制約: 各 $\Gamma_i(t)$ の $C_i(t)$ において、通信のためのポートは固定
- (2) P_i に対する入力シンタクスは同一で処理は確定している。

Model I のシステム構築の基本問題は Γ_i がそれぞれ与えられたとき、 F を計算する最も効率的な通信ネットワーク、言い換えれば F のためのネットワーク・アーキテクチャ設計の問題となる。つぎに Model I の代表的な場合について考察する。

Model I - 1

$$\Gamma_i = \Gamma$$

Γ_i が一様な場合である。

この場合のネットワーク・アーキテクチャは境界の近傍を除けば uniform な構造となる。

特に近傍が二次元のモデルとして図4に示すようにその前後、左右で与えられる場合 agent を A_{ij} とすると関係する agent は $A_{i-1,j}, A_{i,j}, A_{i+1,j}, A_{i,j-1}, A_{i,j+1}$ である。このネットワークモデルに対応する F の Computation モデルとして代表的なものに

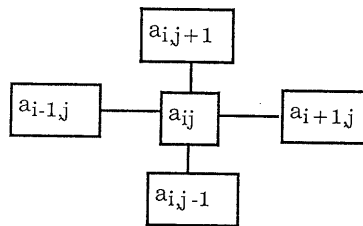
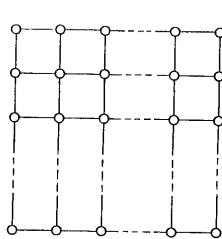


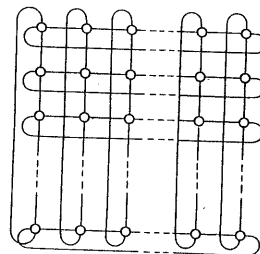
図4

画像処理システムや、偏微分方程式を解く計算モデルがある。

このシステムの分散協調処理システムは図5の如く与えられる。特に領域 R が球面で与えられる場合には図6の如くなる。このメッシュネットワークは図4の近傍として考えたが、任意の近傍 Γ_i の場合にも適用できることは明らかである。ただし問題は通信のためのオーバーヘッドである。いま $m \times n$ のメッシュネットワークを考えると二つの agent 間の一回の通信のためのオーバーヘッドは $O(m+n)$ であり、この値は各 agent のもつ処理速度と比較すると無視できない。



(a) メッシュ



(b) トーラス

図5

図6

勿論理論的に通信コストを下げる最適の方法は完全グラフネットワークを構成することになるが、一般には物理的制約の上から不可能である。このため各 agent をつなぐネットワーク問題はインターネットネットワーク構成の研究として捉えられ、多くの結果が導かれている。この中で特に重要なものとしてハイパーキューブネットワークがある。この簡単な場合の例を図7に示す。

一般には 2^N の処理システムも同様の考え方で接続することができる。このときこのシステム内の任意の二つの agent 間の通信コストは高々 N と

なる。このネットワーク・アーキテクチャによる分散処理システムとして有名なものがコネクション・マシンである。

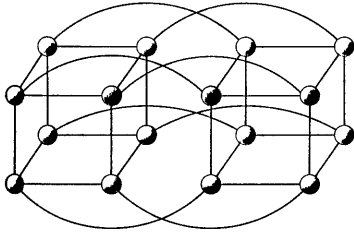


図7

Model I の問題としてシステムのための処理言語設計の問題があるが省略する。

Model I - 2

Γ_i : 各agentで任意であるか確定

$\{\Gamma_i\}$ の集合から最適なネットワーク構成、それに伴うComputationのためのアーキテクチャが研究対象となる。

Model II

(1) A_i と A_j との通信のための C_i のポートが固定されず自由

(2) P_i は複数個の処理の集まりとして、論理的に定義される。

このモデルに基づくシステムを構築する上で重要な問題はつぎの三つである。

(1) 任意の C_i と C_j の間に論理的なリンクを構成し、論理的にも物理的にも効率のよい通信を確立する問題

(2) 各 A_i と A_j 間の協調処理を可能とするプロトコルの問題

(3) (1)の論理的通信のための物理的な交換システムを構築する問題

(1), (2)の問題は論理的には情報ネットワーク・アーキテクチャ設計の基本問題であり、コンピュータ・ネットワーク構築のための基本問題が典型的な例である。現在最も重要なコンピュータ・ネットワークアーキテクチャとしてTCP/IP、OSIの七層モデルがある。この分野の研究は現在も活発な研究分野であるが、将来のIntelligent Networkの構築を考

えれば、開発すべき課題は山積している。代表的な問題をあげれば、将来Gbit orderの超高速の通信回線が提供されたとき、現在のネットワーク・アーキテクチャ、例えばTCP/IPのもとでは十分な効率的な通信を行うことは困難である。又新しいネットワークの機能として高信頼性、security等の問題はもとより、マルチメディア環境のもとでの各種サービス提供のためのTOS等多くの重要な研究・開発テーマがある。勿論これらの問題は将来のOSIの環境のもとでも同じ問題となる。

又現実の問題としてTCP/IP、OSIの共存の世界からOSIへの移行の問題、OSI環境下での多くの有用なAP、特にビジネス環境の下での開発、Conformance Test等の問題がある。

以上Model IIにおける(1),(2)の基本問題について述べたが、特に(2)における協調問題として次の二つが重要である。

(a) 各 P_i の入力について、その時間順序関係を論理的にシステム全体として保証する問題

(b) 協調を行うため各 P_i に共通のプラットフォームを構築する問題

(c) 各 P_i がその他のagentの処理に対してsemanticalなレベルで理解し、互いに協調する問題

(3)の問題については次節で述べるが、(1)の問題についてはつぎのような代表的な問題がある。

1. 各agent A_i から出力されたmessageが相手側のagentに届くとき、必ず各出力の時間関係全体がシステム全体として論理的に保証されること。

この問題はネットワークプロトコルの設計の問題として捉えられ、与えられた問題毎に解決されなければならない。

2 システム全体の場合が定義され、この仮想agentを A_0 とする。この A_0 に対して入力されるmessageは論理的に各 A_i より同一時刻に出力されること。

簡単なこの計算モデルとしてagent全体が参加して

いるゲームを考えることができる。このときゲームの公正さを保証するためには各agentの出力は論理的に同一の時刻に出力されなければならない。

この処理系を構築するための方法は A_0 と A_i の間の通信機能につきのような論理的な機能を付加することである。

(1) A_i から A_0 への通信は原則として書き込みだけの機能を持ち読み出しは特定の場合に限る。

(2) A_0 から各 A_i への一斉放送機能

以上の二つの機能をもてば条件を満足するシステムを論理的に構成することができる。

(2)の問題はきわめて大きく、かつ重要であるがここで、例えばCTRON Project やMIA (Multi-Vemder Integration) のproject が一つの例として進行していることだけを言及しておく。

つぎに(3)の問題を考える。この問題は物理レベルとその一段上にある情報伝送の問題と捉えることができる。具体的には高速度にswitchする多機能交換システムを設計する問題である。そしてその中心がATM (Asynchronous Transfer Mode) 交換機的设计ということになる。ATM方式をもちいることにより、従来の回線交換、パケット交換のもつ問題点、例えば回線交換の場合、少数の特定の回線速度しか提供できなかったものに対し、ATMでは多様なサービス回線を提供できるし、パケット交換、例えばX.25プロトコル処理にみられるようなソフトウェアの負荷をATMは解決することができる。ATMは現在は実験的段階であるが、既にB-ISDNの150M対応の実用レベルの交換機は設計されている。しかしながらATM方式のもとで総合的な通信システム的设计体系ができていないかと言え、殆ど未解決であり、これらは今後の問題として考えていかなければならない。例えばつぎのような問題がある。

(1) マルチメディア環境のもとでATMの対象として適用できる情報通信の環境の考え方

(2) 超高速回線のもとでATMによる通信サービス

の品質、そのための規定をどう考えたらよいか。

(3)新しい通信・交換システム設計のための基礎的研究、例えばトラヒック理論、シミュレーション技術の開発

(4) ATMのための新しい言語開発、処理システムとのインタフェース

今迄は各agent P_i の協調問題についてはシステムに基本的なプロトコルが設定され、特に意味世界に立ち入った協調の議論を必要としない場合を考えてきた。しかし今後の新しい分散協調システムを考える上で、最も重要、かつ基本となるテーマが意味世界での協調問題である。これに対応するシステムをModel-IIIとして特性化し、このモデルの基本となるコミュニケーションの問題について次節で考察するが、まずModel-IIIについて改めて説明を加える。

Model-III

各 P_i は固定的ではなく、環境に対応して変化し、協調する。つまり P_i は各agent間のコミュニケーションにより適応し、意味世界での協調処理を可能とするものである。

[コミュニケーションの基本モデル]

コミュニケーションの基本モデルは図8に示すように二つのagent A,Bの関係モデルで表現される。

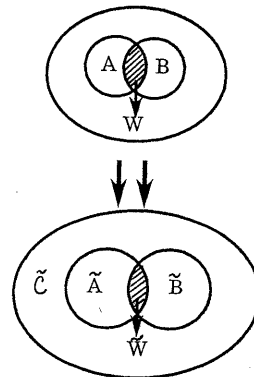


図8,9

この図でAはagentのもつ世界、つまりある論理表現のもとで記述されたAの意味世界であり、Bも同様である。この場合Aは計算機の中のプロセスであっても良いし、又人間であっても良い。このモデルの中でコミュニケーションを相互に行い得るのは図の中の共通部分Wの世界である。つまりagentが互いに理解し、コミュニケーションできるのは共通の世界Wのみである。例えば二つのソフトウェアが協調的に動作するためには相互のspec, プロトコルが完全に同一の semantics の中で定義されて、共通のWをもたなければならない。このレベルのコミュニケーションを第一段階のコミュニケーションという。第一段階のコミュニケーションは静的なコミュニケーションである。これに対し、更に進んだコミュニケーションでは二つのagent A, Bはそれぞれ相互のコミュニケーションにより新しい情報を獲得し、自分自身の内部状態を変えていく。又同時にA, B以外の外側の環境からのコミュニケーションによってもA, Bはそれぞれの内部状態を変更していく。この関係を示したものが図9である。このレベルのコミュニケーションを第二段階のコミュニケーションという。明らかのように第一段階と第二段階ではagentによって大きい機能の差が存在する。一般的に言えば自己組織化、及び学習の機能である。つまりA, Bは幾つかのコミュニケーションのプロセスを経た後それぞれが \tilde{A} 、 \tilde{B} として自己組織化する。当然両者の共通の世界である世界もWから \tilde{W} へと拡張される。このため第一段階、第二段階のコミュニケーションの間には大きい差が存在する。しかし現状の多くは第一段階のレベルのコミュニケーションが多い。具体的な例を示す。

例

システム全体としてn個のagent A_1, \dots, A_n があり、それぞれは各agent固有のイメージデータベースを保有している。このときある A_i が特定のイメージ情報をシステムに提示し、システムはこのイメージ情報に関連する情報を提供する。

このような分散協調システムを考えると、設計のとき最も重要なものが前の所で述べたコミュニケーションのための共通の世界Wをどう定めるかである。このWの定め方によりシステムのもつ効率は格段と変化する。例えばイメージ情報の表現として通常の二次元表示に基づく方法と知的符号化の情報表現、例えばワイヤフレームモデルに従う場合を比較すれば効率として優に10²以上の差がでる。

[分散協調システム構築のための基本テーマ]

ここで対象とする研究テーマは第二段階のレベルのコミュニケーションを達成するための研究・開発のテーマである。前節からの議論から分かるように大事なことは基本的には二つのagentのもつ情報相互の間で、コミュニケーションの相互作用をどのようにして定式化できるかということになる。つまり情報と情報の交互作用の解明が基本的には分散協調システム設計のための基本テーマと言えよう。そしてこの問題の解決にはつぎのことが不可欠である。

- (1) 各agentのもつ情報、又処理すべきことをどのように論理的に表現できるか
- (2) (1)で表現された表現の世界で、その内容をコミュニケーションに従って知識を獲得しどのように変更していくか、つまり自己組織化の問題
- (3) コミュニケーションに基づいて相手のもつ世界をどのように認知し、それぞれの共通の世界をつくっていくか。
- (4) 情報の交互作用に基づく新しい概念形成のメカニズム

以上述べた研究項目は、実は今後の情報処理研究が目的とする最も根本的な研究である。これ等の研究・開発の成果は今後の分散協調システム構築の上に大きいインパクトを与えることになる。