

マルチエージェント組織の適応変化に関する研究

長木 正宏 井内 稔 山崎 晴明

山梨大学

概要

近年では、多種多様な分野で計算機システムが導入され、その処理対象は複雑で変化に富んだものになってきた。このため、処理対象の変化に応じて適応的に自らの性質を変化させるような計算機システムが求められ始めている。本稿では、人間社会の三つの組織形態モデルに着目し、これらの組織形態を適応的に選択し性質変化を行うエージェント群から構成される処理システムを取り上げ、その振舞いについて報告する。

1 はじめに

情報処理技術の高度化やハードウェアの高速化に伴う、コンピュータの処理能力の進歩により、連続的な処理要求に対する制限時間内の処理(実時間連続処理)がより高速になった。これにより、システムとして実用に耐え得る実時間連続処理システムを実現することができるようになった。

実時間連続処理のように、処理要求が連続的に到着する場合には、処理機能を複数の処理エージェントに分散して配置し、パイプライン的に流れ作業を行うという手法が有効になる。しかし、分散し

ているということには、メリットばかりではなく、デメリットも存在する。時間とともに処理対象の性質が不都合に変化し、例えば、エージェント間の通信の頻度が増大したり、エージェント間で負荷の偏りが生じたりなどして、応答時間が制限時間を超過してしまうような状況が考えられる。

このように、処理対象が悪環境に変化する場合への対処の方法として、実時間連続問題解決システム分野では、いくつかのアプローチが研究されている。個々のエージェントの能力を高度化し、悪環境時にも制限時間内の応答を維持しよう

*Research on an Adaptive Changes of Multiagent Organization.

by Masahiro CHOKI, Minoru IUCHI and Haruaki YAMAZAKI (Yamanashi University)

とするエージェント指向アプローチ (agent-centered approach) と呼ばれるものや、システム内のエージェントの分割合併により、処理エージェントの数を増加減少させ、システムを環境の変化に適応させようとする組織指向アプローチ (organization-centered approach) と呼ばれるものがそうである [1][2]。

2 研究の概要

本研究では、組織形態を持つエージェント群により構成される処理システムを想定し、このシステムの振舞いを観測するためのシミュレータを試作し、実験を行った。

本研究で想定する処理システムは、36体の処理エージェントの集まりにより構成される。エージェントはそれぞれ組織に対する機能(役割)と要求処理に関する機能(処理機能)を持つ。システムに到着する要求の処理に必要な処理機能は複数のエージェントに分散して配置する。また、複数のエージェントの中には同じ処理機能を持つものも存在する。

エージェント群が取る組織形態は、エージェント間の通信回線の結合状態およびエージェントの役割分担の違いにより複数定義する。システムは処理対象の性質(環境)の変化に応じて組織形態を変えるので、エージェントの結合状態や役割分担はそれに伴って変化していく。

また、処理システムの処理対象としては、環境変化の豊富な実時間連続処理を想定することにした。

3 エージェントの役割

エージェントはそれぞれ組織全体に対する役割を持つ。本研究では、エージェントの役割として、要求処理、要求配分、機能管理の3つの役割を取り上げる。

要求処理の役割 まず、システムに到着する処理要求の処理を行う役割を設ける。この役割を担当するエージェントは、処理が完了していない処理要求を他のエージェントから受け取り、処理を進め、処理結果を返す。

処理機能は、組織内の複数のエージェントに、分散して配置されている。このため、単独で処理し続けることが不可能になることも、しばしばある。このような場合には、処理の中間結果を返すことになる。

要求処理の役割を担当するエージェントを要求処理エージェントと呼ぶことにする。

要求配分の役割 システムに到着する処理要求を、組織内のエージェントに配分する役割を設ける。この役割を担当するエージェントは、システム外からの処理要求を受け取り、他のエージェントに処理を委託する。

処理の委託は、処理開始に必要な処理機能を持ったエージェントに対して行われることが望ましい。このため、要求配分の役割を担当するエージェントは、自己と通信回線を結合しているエージェントの処理機能を把握している必要がある。

要求配分の役割を担当するエージェントを要求配分エージェントと呼ぶことにする。

機能管理の役割 組織内には同じ処理機能を持つエージェントが複数存在する。このような同じ処理機能を持つエージェントの仕事量を管理する役割を設ける。機能管理の役割の目的は、同じ機能を持つエージェント間の負荷の均衡を取ることである。

機能管理の役割を担当するエージェントは、自己の管理する処理機能が組織内で必要になったときに、処理の委託を中継し、その時点で最も負荷の軽いエージェントへ処理を委託する。このため、機能管理の役割を担当するエージェントは、管理している処理機能を持つエージェントの負荷を把握する手段を持っていなければならない。

機能管理の役割を担当するエージェントを機能管理エージェントと呼ぶことにする。

4 組織形態の種類

本研究では、エージェント群が取る組織形態として、分離独立型、完全結合型、機能管理型の3つの形態を取り上げる。これらの組織形態は全て人間社会の組織をモデルにした階層構造を持つ組織形態 [3] である。したがって、通信回線を結合しているエージェントの間には、上司、部下の関係が存在する。

以下のモデルでは、処理機能は5種類、各処理機能を持つ要求処理エージェントは6体ずつ存在することにしている。したがって、組織内の要求処理エージェントの総数は30体、組織内のエージェントの総数は36体となっている。

分離独立型形態 この組織形態では、組織内に6つの部分組織が存在する。各部分組織は、要求配分エージェント1体(上司)、各処理機能を持つエージェント1体ずつ(部下)の計6体で構成されている。部分組織内では各要求処理エージェントは要求配分エージェントと通信回線を結合している。各部分組織は、他の部分組織とは独立して動作する。

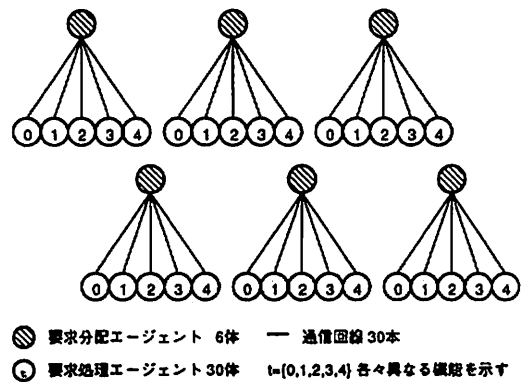


図 1: 分離独立型形態

この組織形態は、各部分組織内で処理を委託するべき要求処理エージェントをすぐに決定できるので、委託先決定のオーバーヘッドがない。そのかわり、部分組織に到着した処理要求の処理に必要な処理機能が一つの種類に偏った場合、負荷の偏りが生じると考えられる。

完全結合型形態 この組織形態では、要求配分エージェント6体(上司)、要求処理エージェント30体(部下)が存在し、各要求配分エージェントは全ての要求処理エージェントと、各要求処理エージェントは全ての

要求配分エージェントと、通信回線を結合している。また、この組織形態では、同じ処理機能を持つ複数の部下への処理の委託には、コントラクトネットプロトコル [4] を使用することにする。

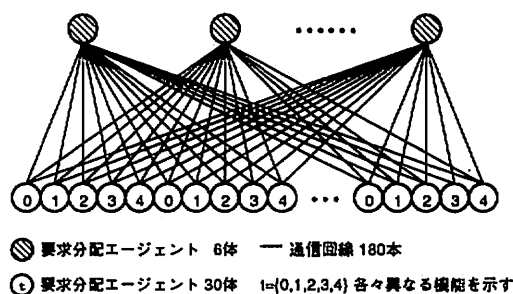


図 2: 完全結合型形態

この組織形態では、各要求配分エージェントが全ての要求処理エージェントを処理の委託対象にできるので、負荷の偏りは生じにくく、障害にも強い。そのかわり、複数存在する部下の中からどの部下を委託先として選ぶかに時間がかかるため、委託先決定のオーバーヘッドが大きいと考えられる。

機能管理型形態 この組織形態では、要求配分エージェント 1 体に対して機能管理エージェント 5 体が部下として通信回線を結合している。さらに、各機能管理エージェントに対しては、要求処理エージェント 6 体が部下として結合している。したがって、この組織形態は 3 階層の構造を持つ。

この組織形態は、負荷分散能力が高いため、負荷の偏りは生じない。しかし、階層構造が 3 階層であるため、通信遅延が大きく、

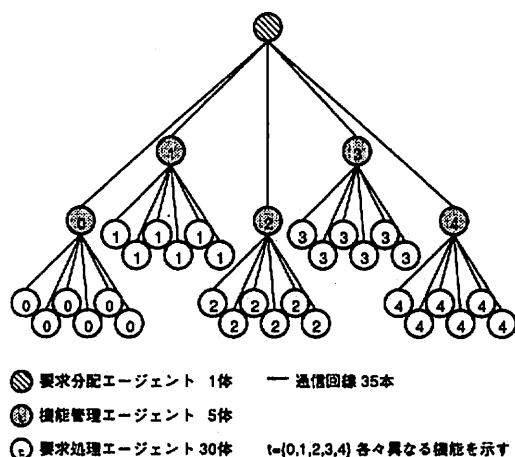


図 3: 機能管理型形態

また、上司エージェントが障害を起こした場合の被害が大きい。

5 組織形態の移行

本研究で想定するシステムは、システムを構成するエージェント群の組織形態の移行によって、変化した環境に適応しようとする。組織形態移行の実行は、エージェント群が一斉に通信回線の結合状態とエージェントの役割を切替えることで実現する。

効果的な組織形態移行を行うためには、いくつかの重要な要素が考えられる。特に、組織形態移行の時機と移行する組織形態の選択は重要である。

5.1 組織形態移行の時機

組織形態移行実行中には、処理要求に対する処理は一切行われなため、頻繁な組織形態移行は応答時間の遅延を招く。また、

組織形態移行のタイミングが遅れると、悪環境のまま未処理の処理要求が溜ってしまい、やはり応答時間の遅延を招く。

本研究では、組織形態移行のタイミングをはかる基準として、制限時間を超過した応答の数を使用する。

5.2 制限時間超過の要因

組織形態移行を実行することになった場合、どの組織形態へ移行するのが最適かを判断しなければならない。この判断のために、エージェント群は定期的に組織の活動状況に関する情報を蓄積しておく必要がある。

組織が蓄積する情報は、エージェントの負荷状況、エージェントの障害状況、通信処理遅延の割合の3つである。

エージェントの負荷状況 エージェントの負荷が高いという状況は、制限時間超過の要因になると考えられる。

エージェントの負荷が高くなると、エージェントの処理が間に合わなくなる。システム内の要求処理エージェントの総数はどの組織形態でも同じなので、全ての要求処理エージェントの負荷が高い場合には、組織形態移行を行っても無駄である。

しかし、到着する処理要求の処理に必要な処理機能が偏っており、エージェントの負荷の増大が局所的な場合は、より負荷分散能力の高い他の組織形態への移行が有効である。

エージェントは自己の負荷状況を評価し、負荷が高いと判断した場合には、上司エー

ジェントへその旨を申告する。上司エージェントはこの申告を定期的に収集しておく。

エージェントの障害状況 エージェントの障害が頻発するという状況は、制限時間超過の要因になると考えられる。

処理を委託しておいた部下エージェントが障害を起こした場合には、処理要求の再割当が行われる。この再割当の処理に費やした時間は、制限時間の超過を招く要因となる。また、再割当の対象となる部下エージェントが全て障害を起こしている場合には、再割当は不可能となり、部下エージェントの障害復旧が完了するまで、その処理要求の委託を後回しにしなければならない。このような障害復旧の待ち時間も制限時間超過を招く要因となる。さらに、上司エージェントが障害を起こした場合は、その部下であるエージェントの処理能力を使用できなくなるという事態が起こる。このような状況では、より危険分散能力の高い他の組織形態への移行が有効である。

本研究では、上司エージェントは部下エージェントの障害をすぐに感知できると仮定する。部下エージェントの障害を感知したエージェントは、その事実を記録しておく。

通信処理遅延の割合 全処理時間に対して通信処理時間の割合が大きいう状況は、制限時間超過の要因になると考えられる。

一つの処理要求の処理を行うために、多量の処理機能が必要な場合には、エージェント間の通信量が増大し、通信処理遅延が深刻になる。このような状況では、より階

層数の低い構造を持つ組織形態やエージェント間のメッセージ交換量の少ない他の組織形態への移行が有効である。

エージェントは、自己の担当した処理にかかった時間を計測し、処理要求や処理結果の送信の際にその情報をメッセージに付加する。上司エージェントは処理結果をシステム外部に応答する際にこの情報を記録しておく。

5.3 移行する組織形態の決定

各組織形態の性質から、移行する組織形態の決定方法を試作した。各組織形態ごとの移行のプランを次に示す。これらのプランが実行されるのは、組織内でいくつかの処理要求に対する応答が失敗した時である。

分離独立型形態からの移行 分離独立型形態は、エージェントの負荷状況が悪化し、かつエージェントの障害状況と通信遅延の割合が悪化していなければ、機能管理型形態へ移行する。また、障害状況が悪化し、かつ通信遅延と負荷状況が悪化していなければ、完全結合型形態へ移行する。

完全結合型形態からの移行 完全結合型形態は、通信遅延の割合が悪化し、かつ障害状況が悪化していなければ、分離独立型形態へ移行する。

機能管理型形態からの移行 機能管理型形態は、障害状況が悪化したときに組織形態移行を行なう。障害状況の悪化に加えて、通信遅延の割合が悪化した場合には分離独

立型形態へ移行し、そうではなくて、負荷状況が悪化していた場合には、完全結合型へ移行する。

5.4 組織形態移行の実行

組織形態移行を実行する際には、エージェント間の通信回線の遮断と結合、そして一部のエージェントの役割の変更の処理を行う。

組織形態移行が実行されると、通信回線の結合状態が変化するので、エージェント間の上司部下の対応も変化する。このため、組織内に流れている処理要求に関する責任者や処理結果の返送先が変化するので、混乱が生じる。これを回避するために、組織形態移行を実行する際には、組織内の処理要求を、要求配分エージェントへ戻さなければならない。このように、組織形態移行の実行のコストはかなり高いものになる。

6 実験

本研究では、組織形態移行の効果を観測するためにシミュレータを試作した。

シミュレータでは、一つの処理要求は、仕事単位の列(仕事列)として扱う。一つの仕事単位を処理するのにかかる時間を1サイクルとし、1回のメッセージ送信にかかる時間を約2サイクルとする。

図4は、要求の到着間隔10～300サイクル、処理要求に含まれる仕事の数100、応答の制限時間5000サイクル、エージェントの障害確率0.01回数3回で形態移行を行なうように設定した時の組織の応答の累積の失

敗率の時間的遷移を表したグラフである。なお、処理要求に含まれる仕事の種類と、要求配分エージェントへの要求の到着確率に偏りを与えた。

最初の組織形態は完全結合型形態であったが、20000 サイクル付近で応答の失敗が続いたため、分離独立型形態へ移行している。

完全結合型形態の応答失敗の要因は、要求到着の頻度の高まりに伴い、特定の要求配分エージェントへ要求到着が集中し、そのエージェントが扱う仕事の配分が遅れてしまったためと考えられる。このため、組織は通信遅延の少ない分離独立型形態へ移行した。形態移行後、30000 サイクル付近まで応答失敗が急激に増加したのは、完全結合型形態時および組織形態移行中に溜ってしまった未処理の仕事が次々に失敗を引き起こしたためと考えられる。30000 サイクルを過ぎると、分離独立型形態の現環境への適合のため、応答失敗が少なくなり、累積失敗率は下がっている。

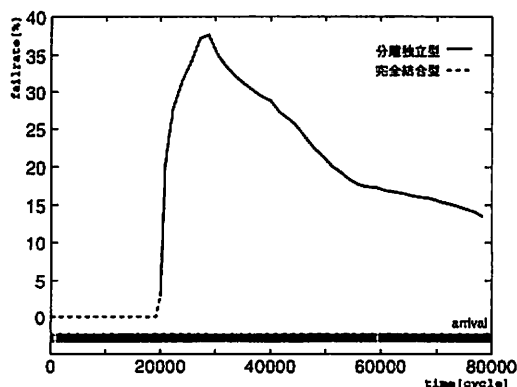


図 4: 組織形態移行

また、分離独立型形態は組織内の部分組織が独立して処理を進めるため、要求の到着が集中する部分組織を犠牲にして、他の部分組織で応答成功の数を稼ぐことによる効果が現れてしまったと考えられる。

7 まとめ

本研究では、処理対象の性質が変化するような場において処理を行なうシステムとして、組織形態を持つエージェント群により構成される処理システムを想定し、組織形態移行による組織の適応変化の効果について考察しシミュレータを用いた実験を行なった。

組織形態のモデルには様々なものがあるが、これらはどれも長所短所があり、その有利不利はその組織の活動対象の環境に左右される。それぞれの組織形態の有利な性質を環境に応じて取り分ければ、より適応能力の高い柔軟な組織を構成できると考えられる。

本研究で取り上げた3つの組織形態は、エージェントの数を固定しているため、組織形態を移行したとしても処理能力そのものの増加はない。また、組織形態には階層型のものだけではなく非階層のものも存在する。適応能力の向上のために、他の組織形態を取り入れていくことは今後の課題として残っている。

参考文献

- [1] 石田亨,Les Gasser, 横尾真, 「エージェントの組織による実時間連続問題解決」, 人工知能学会会誌, Vol.7, No.2, March 1992.
- [2] Ishida,T., Yokoo,M. and Gasser,L., "An Organizational Approach to Adaptive Production Systems", AAAI-90,pp.243-249,1990.
- [3] Thomas W. Malone, 'Modeling Coordination in Organizations and Markets', MANAGEMENT SCIENCE Vol.33, No.10, October 1987.
- [4] R.G.Smith, "The Contract Net Protocol: High-level communication and control in a distributed problem solver", IEEE Trans. Comput. vol.C-29, pp.1104-1113, Dec. 1980.