

地球規模ネットワークコンピューティングの提案

柳川小次郎¹・荒木智行²・山本富士男²

¹ 博士前期課程 情報工学専攻

² 情報工学科

Proposal on an Earth-scale Network Computing Method

Kojiro YANAGAWA¹⁾, Tomoyuki ARAKI²⁾, Fujio YAMAMOTO²⁾

Abstract

This paper proposes a method for Earth-scale network computing.

Recently, it has been possible to connect computers mutually in Earth-scale because global networks such as the internet have been developed. And it has been easier that we can design methods to assign tasks to computers in distributed environment because multi-agent technologies such as contract net protocols have been developed.

At first, this paper aims at effective use of computers which are connected mutually in Earth-scale, and proposes an Earth-scale network computing method based on an improved contract net protocol and improved architecture of autonomous decentralized systems. Secondly, we estimate the effectiveness of the proposed method quantitatively. As a result of the estimation, it is shown that we can use computers effectively in Earth-scale by the proposed method, and that we can save cost of investment for computers.

Key Words: Autonomous Decentralized System, Contract net protocol, Internet, Earth-scale Network Computing

1. まえがき

睡眠などの人間の非活動時間に計算機が使用されていない状態を計算機資源の無駄と考えるならば、世界の半分が夜であるため世界中の計算機の約半数が無駄になっていることになる。この無駄が超並列計算機等の非常に高価な計算機資源で生じるのならば、コストの面で大きな問題となる。この問題を解決するために、あらかじめ決められたスケジュールに従って計算機に仕事を割り振っておく方法が考えられる。しかしこの方法では事前に計画不可能な仕事を処理させることができない上、計算機が何らかの理由で不稼動になった場合、あるいは別の計算機を新たに処理に参加させる場合にスケジュールを計画し直さなければならない欠点がある。これらのシステムの無停止、オンライン保守性、オンライン拡張性、及び動的なタスク割当てといったニーズを満たす技術として自律分散システム^{[1][2]}、契約ネットプロトコル^[3]が考案されている。また近年のインターネットの普及により世界規模での計算機の相互接続が容易になってきている。しかし自律分散システムと契約ネットプロトコル

は、その機能上ブロードキャストを多用するため、通信負荷の観点からインターネットのような広域的で公共性の強いネットワーク上でのシステム構築は非現実的である。契約ネットプロトコルに関しては、通信負荷の問題を解決する手段として事例推論を用いる方法^[4]が提案されている。しかし、この方法は宛先を推論するための計算コストが比較的高いという欠点と、オンライン拡張性が満たされていないという欠点がある。

本論文では、契約ネットプロトコルと自律分散システムを階層化することによって通信負荷の軽減を試み、シミュレーションによる定量的評価を行なった。その結果からインターネットを利用する地球規模ネットワークコンピューティングを実現する手法を提案する。

2. 自律分散システム

自律分散システムは分子生物学をアナロジーとして提案された新しいシステム概念である。自律分散システムは、部分的故障や構造の定常的な変化を含んだまま

での機能続行、即ち、如何なる構成部分が不稼動となっても残りの構成部分で処理を継続させることが可能とするシステム・アーキテクチャである^{[1][2]}。

自律分散システムは図1に示すような自律したシステム構成要素であるアトムがデータの流れる場であるデータフィールドに接続された構成をとる。アトムはデータフィールドに流れているデータから必要なデータを選択収集して処理を行なう。アトムで処理された結果はデータフィールドにブロードキャストされることによって他のアトムに送信される。

このような自律分散システムの概念を情報システムに反映させることによってオンライン拡張性、オンライン保守性、耐故障性といった重要情報システムに必要な不可欠な特性を得ることができる^{[1][2]}。

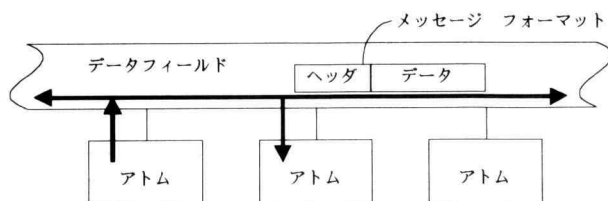


図1 自律分散システムのモデル図

3. 契約ネットプロトコル

契約ネットプロトコルはノード間の交渉によってタスクの割当てを実現し、ネットワーク全体の効率が良くなることを狙いとしている^[3]。ここで交渉とは複数のノードが情報の交換を通じて合意を得るプロセスを意味する。契約ネットプロトコルにおけるノードは以下の3点によって特徴づけられる。

(a) ノードの役割

各ノードは契約に際して2種類の役割を演じる。契約の依頼側はマネージャ、請負側は契約者と呼ばれる。この役割は固定的なものではなく契約ごとに決定される。

(b) 双方向の情報通信

契約ネットプロトコルではマネージャと契約者の間で双方向の情報通信が行われる。まずマネージャから全ての契約者へタスク告示メッセージが送信される。次に契約者からマネージャへ入札メッセージが、さらにマネージャから契約者へ落札メッセージが送信され契約が締結される。契約が締結されると両者は報告メッセージのやり取りを行なうことでタスクを処理する。

(c) 相互選択

契約ネットプロトコルの最大の特徴は入札、落札に際してマネージャと契約者が独自の価値基準を持ちうることにある。この仕組みは相互選択と呼ばれ契約ネットプロトコルの核心をなすものであり、ノード間の交渉を特徴付ける重要な要素である。

4. 階層化契約ネットプロトコル

本節では従来の自律分散システムを改良した階層化契約ネットプロトコルを提案する。(図2(b))

従来の契約ネットプロトコルでは、図2(a)のようにノードは平面状に配置され、この平面内全てにブロードキャストするモデルである。従って従来の契約ネットプロトコルを反映した情報システムをインターネット上に構築すると、この平面がインターネットに相当するため、通信パケットは世界中に拡散してしまい、通信負荷の観点から現実的ではない。

階層化した契約ネットプロトコルでは、同一ネットワークに属するノードをグループ化し、サブネットワークを形成する。基本的にノードは同グループ内でのみ交渉を行ない、必要な場合のみ他グループのノードと交渉を行なう。階層化契約ネットプロトコルのマネージャは他グループのノードと交渉を行なうための独自の価値基準を有する。

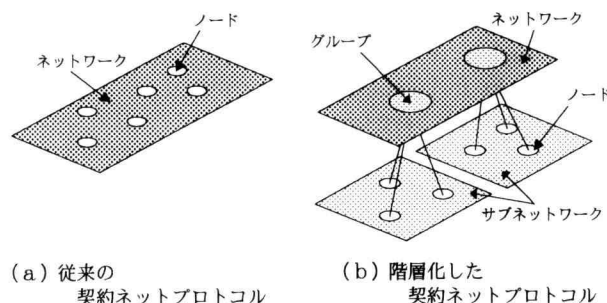


図2 契約ネットプロトコルのモデル図

5. 階層化自律分散システム

本節では従来の自律分散システムを改良した階層化自律分散システムを提案する。

従来の自律分散システムでは全てのアトムが同一のデータフィールドに接続された構成を取り、各アトムは他アトムとの情報交換を行なうためにデータフィールドにブロードキャストを行う。従って通信負荷の観点から従来の自律分散システムを広域的なインターネット上で構築するのは現実的ではない。

そこでブロードキャストを各ローカルネットワーク内に止め、通信負荷の軽減と局所化のために自律分散システムを図3のように2階層とする。ここでローカルネットワークは4.のサブネットワークに対応する。

階層化自律分散システムのアトムは基本的に自分の所属するローカルネットワーク内のアトムとのみ情報交換を行ない、必要な場合のみインターネットを経由して他ネットワークのアトムと情報交換を行なう。これは小規模の自律分散システムの集合体が大規模な自律分散システムを形成することを意味する。

従ってアトムは自分の属するローカルネットワークでのみ形成される小規模の自律分散システム用と、複数のネットワークで形成される大規模な自律分散システム用の2つのデータフィールドを有し、必要に応じて使用するデータフィールドを切替える。

このデータフィールドの切替えはクラス D の IP アドレスが割り振られているマルチキャストグループを切替えることで実現する。そのため各アトムは、それぞれが属する小規模の自律分散システム用のマルチキャストグループに所属する必要があり、各ネットワークは大規模な自律分散システム用のマルチキャストグループに所属する必要がある。

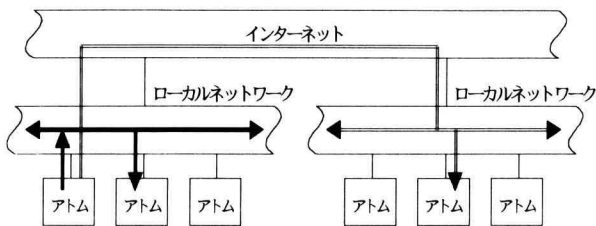


図3 階層化自律分散システムのモデル図

自律分散システムの定義は階層化自律分散システムにおいては次のように再定義される。

(a) データフィールド

階層化自律分散システムでは各アトムが接続するデータフィールドは二つ存在し、必要に応じて使用するデータフィールドを切替える。この切替えを実現するためにデータフィールドはクラス D の IP アドレスが割り振られているマルチキャストグループを用いる。

データフィールドへのデータ送信は対応するマルチキャストグループへのマルチキャストで実行する。

(b) アトム

階層化自律分散システムのアトムは**計算機アトム**と**グループアトム**の2種類が存在する。

計算機アトムは自律分散管理機能を実装した一台の計算機から成るアトムのことである。計算機アトムを共通のデータフィールドに接続することによって一つの小規模の自律分散システムを形成する。

複数の計算機アトムで構成された小規模の自律分散システムはインターネットからは従来の自律分散システムのアトムと同じように捉えることができる。このようなアトムを**グループアトム**と定義する。複数のグループアトムを共通のデータフィールド、即ち、インターネット上のマルチキャストグループに接続することによって一つの大規模な自律分散システムを形成する。（図4）

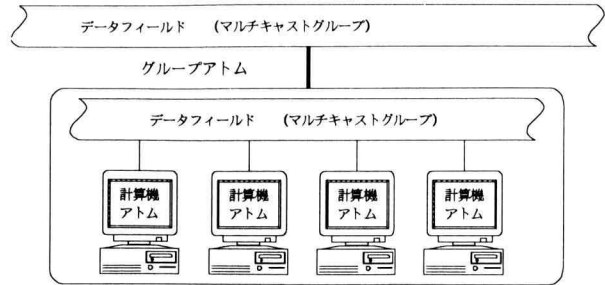


図4 階層化自律分散システムのアトム

6. シミュレーション

階層化した自律分散システムを定量的に評価するためにシミュレーションによる検証を行なった。シミュレーションは次のモデルに従って作成した。

(a) 計算機

計算機の性能は、その計算機の計算機資源を総合的に評価した値で表す。計算機が性能を最大限発揮した場合の性能を最大性能、ある時刻における計算機の性能を現在性能とする。また、ある時刻における計算機の負荷率は式(1)で表す。

$$\text{負荷率} = \frac{\text{最大性能} - \text{その時刻における現在性能}}{\text{最大性能}} \quad (1)$$

(b) タスク

計算機は発生間隔がポアソン分布、総負荷量が正規分布に従うタスクを発生させると仮定する。

総負荷量 L のタスクの実行に計算機資源 R を使用した時、タスクの処理が単位時刻 t で終了するのならば、同じタスクの実行に計算機資源 $2R$ を使用すればタスク処理は単位時間 $t/2$ で終了する。（図5）

また、計算機がタスクを処理の様子を図6に示す。

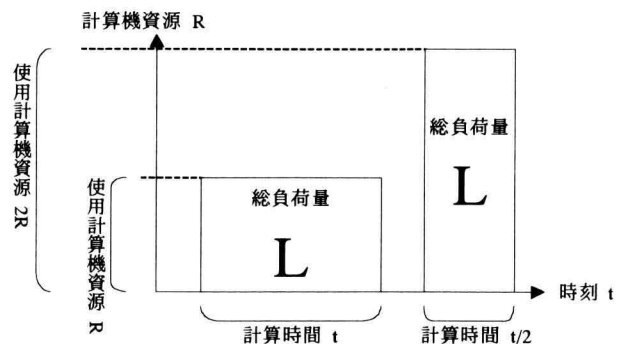


図5 タスクのモデル

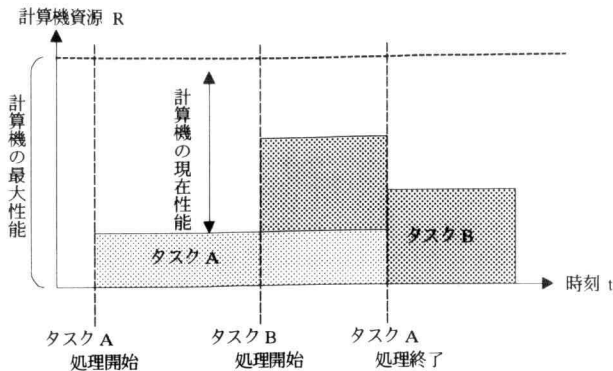


図6 計算機がタスクを処理の様子

(c) シミュレーションの構成

インターネットに接続されたパーソナル・コンピュータ（以下、PC）上で「複数の仮想的な計算機アトムが自律分散処理する様をシミュレートする」プログラムを実行する。この時 PC は仮想的なグループアトムとして捉えることができる。この仮想グループアトムである PC が、実際にインターネットを経由して情報交換を行なうことによって世界規模の自律分散システムをシミュレートする。（図7）

本シミュレーションでは、階層化契約ネットプロトコルのマネージャが持つ「他グループとの交渉」のための独自の価値基準を「自グループ内からの入札が全て自グループ内で満足できない時に、他グループのノードにタスク告示」することとした。

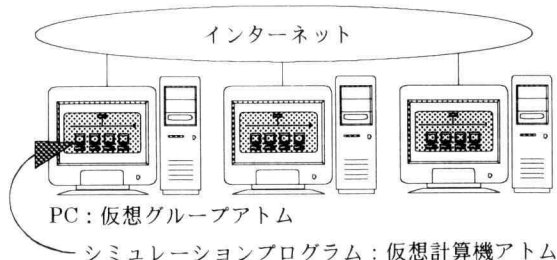


図7 シミュレーションの構成

7. 実験結果と検証

提案した階層化の有効性を確認するため、処理終了タスク数、平均処理終了時間、送信パケット数の各項目を、非自律分散システム、従来の自律分散システム、階層化自律分散システムの間で比較を行なった。なお、非自律分散システムをシステム1、従来の自律分散システムをシステム2、階層化自律分散システムをシステム3とする。各システムは性能の異なる12台の計算機で構成されており、システム3では12台の計算機を4台ずつ三つのグループに分けた。なお、実験時間は10,000単位時間で行なった。

7.1 処理終了タスク数の比較

実験時間中に発生したタスク数と処理を終了したタスク数の比較を図8に示す。

自律分散システムを導入することによって、同時間で処理できるタスク数が増えることが確認される。しかしながら、従来の自律分散システム（システム2）と階層化自律分散システム（システム3）の性能の差はほとんど無いことも確認される。

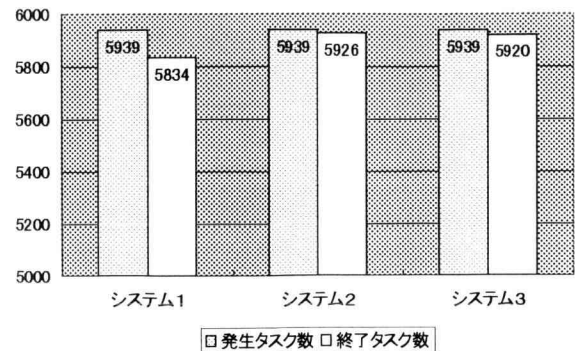


図8 処理終了タスク数の比較

7.2 平均処理終了時間数の比較

各システムにおけるタスクの平均処理終了時間を比較したものを図9に示す。

処理終了タスク数を比較しただけでは自律分散システム導入の効果が分かり難かったが、タスクの平均処理終了時間を比較することで効果の大きさが確認できる。

従来の自律分散システム（システム2）では非自律分散システム（システム1）の約25%に平均処理時間が短縮され、階層化自律分散システム（システム3）でも非自律分散システムの約33%に短縮されている。この結果より自律分散システムが負荷を分散させ、高性能な計算機資源をシステム全体で有効に利用している事が確認できる。階層化自律分散システムが従来の自律分散システムに若干劣るのは、従来の自律分散システムがグループ分けをしていないため一台の低性能な計算機に対して協調動作する高性能な計算機の台数が多いためである。

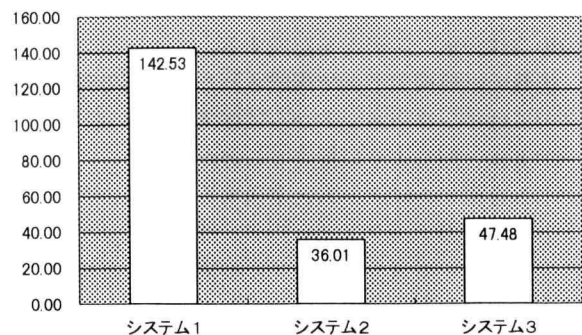


図9 平均処理終了時間の比較

7.3 送信パケット数の比較

図 10 は各システムの送信パケット数を比較したものである。送信パケット数の総数は階層化自律分散システムの方が多いが、この大部分は各グループアトム内に送信されたパケットである。インターネットに送信されたパケット数は従来の自律分散システムの約 1/6 にまで減少しており、インターネット上での通信負荷という点では階層化自律分散システム (システム 3) の方式が有利であることが分かる。

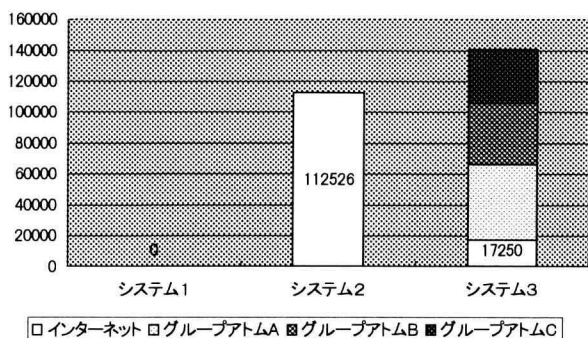


図 8 送信パケット数の比較

7.4 シミュレーション結果の検討

自律分散システムを導入することにより、高性能な計算機がシステム内で有効に活用され、低性能の計算機が過負荷状態に陥ることがなくなりシステム全体の処理能力が向上することが 7.1 と 7.2 のシミュレーション結果より確認される。

また 7.1 と 7.2 より、階層化自律分散システム (システム 3) の処理効率が従来の自律分散システム (システム 2) より若干劣ることも確認できる。これは階層化自律分散システムが計算機をグループ分けしているため、低性能の計算機に対して協調動作する高性能な計算機の台数が従来の自律分散システムより少ないためである。

階層化自律分散システムがインターネットにかかる通信負荷は従来の自律分散システムの約 1/6 であることが 7.3 のシミュレーション結果より確認できる。また階層化自律分散システムの各グループ内の送信パケット数も従来の自律分散システムより少ないため、通信負荷に着目した場合は階層化自律分散システムの方が優れている。

従って、広域的で公共性の強いインターネット上で自律分散システムを構築する場合には、本論文で提案した階層化自律分散システムが極めて有効な方式であると結論できる。

8. むすび

本論文ではインターネットを利用した地球規模ネットワークコンピューティングの提案として、インターネットを利用する上で問題となる通信負荷の軽減と局所化を

狙いとした階層化自律分散システムを提案した。シミュレーションの結果、階層化自律分散システムは従来の自律分散システムと同程度の処理効率を持ったままインターネットの通信負荷を軽減できることを確認した。

近年、JAVA 言語や CORBA 仕様のプログラムインターフェース等のハードウェア・プラットフォームやアーキテクチャに依存しないソフトウェア環境が確立しつつある。これらの技術を背景にすると、本論文で提案した地球規模のネットワークコンピューティングにより、夜の時間帯に存在するような遊休状態にある計算機資源を有効に活用することができると考えられる。

提案手法の評価結果は、一台の高性能計算機の追加が全体の能力の向上につながることを示しており、世界規模で事業を展開する企業や、複数の企業の集合体へ適用すれば、全体としての計算機資源への投資コストを軽減することが可能となる。

最近、エンタープライズモデル^{[6][7]}が注目されはじめている。本論文での研究は、エンタープライズモデルの重要な要素技術の一つとなり得る。

参考文献

- [1] 森 欣司他. “自律分散概念の提案”. 電気学会論文集. Vol.104, No.12, p.303-310, (1984)
- [2] 河野 克己. “自律分散システム”. 情報処理学会, 情報処理, Vol.36, No.11, p.1054-1061, (1995)
- [3] 石田 亨他. “6.契約ネットプロトコル”. 分散人工知能. コロナ社, p.112-132, (1996)
- [4] 大湖 卓也他. “Case-Based Reasoning を用いた複数自律移動ロボットへのタスク割当て機構”. 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J80-D-II, No.9, p.2466-2474, (1997)
- [5] 柳川 小次郎他. “インターネット環境における計算機資源の有効利用”, 日本ファジィ学会, 第 14 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, p.631-634, (1998)
- [6] 福田 好朗. “エンタープライズモデル”. 人工知能学会誌, Vol.13 No.6, p.863-869, (1998)
- [7] 垂水 浩幸. “エージェント技術とエンタープライズモデリング”. 人工知能学会誌, Vol.13 No.6, p.880-887, (1998)
- [8] Tomoyuki ARAKI and Fujio YAMAMOTO, Autonomous Decentralized Office Applications Cooperating Softly with Each Other, Proc. The Fourth International Conference on Applications of Computer Systems, ACS97, pp.16-23, Nov., 1997.