

学位論文題名

遺伝的アルゴリズムを用いた分散制御型動的負荷均衡に関する研究

学位論文内容の要旨

近年のネットワーク技術の進歩により、ワークステーションやパーソナルコンピュータなどさまざまな計算機が通信ネットワークを介して相互接続され、それらが一体となって分散処理を実現する分散システムが急速に普及しつつある。分散システムを効率的に運用するためには、それを構成する計算機間で負荷を平均化することが不可欠となる。負荷均衡アルゴリズムはシステムを構成する計算機間でタスクを分配することにより負荷の平均化をはかる。実際の分散システムにおいては、システムに投入されるタスクの実行時間などの情報を事前に得ることが一般に困難であるため、実行中に負荷状態を観測してタスクの分配を動的に行う動的負荷均衡アルゴリズムが重要となる。

分散制御型の動的負荷均衡アルゴリズムでは、それぞれの計算機がタスク転送の要求メッセージを送出することによりタスクの転送相手を発見する。分散システムでは計算機間の通信に要するコストが比較的大きいため、できる限り少ないメッセージ通信量で効果的にタスクの転送相手となる計算機を発見することがシステム全体の性能を向上させる上で重要となる。従来提案されてきた手法においては、一度に一つの計算機に対してユニキャストにより転送要求メッセージを送る方法や、分散システムを構成するすべての計算機に対してブロードキャストにより転送要求メッセージを送る方法が一般的であった。ユニキャストによる方法では、タスク転送要求が受理されない場合にそれが受理されるまで繰り返しメッセージを送出するため、転送相手が決定するまでに時間を要し、ブロードキャストによる方法では、すべての計算機へメッセージを送出するために通信ネットワークの負荷を増大させる可能性が高い。ある一定数の計算機に対して転送要求メッセージを送出するマルチキャストを採用した場合、比較的少ないメッセージ数で速やかに転送相手を発見することが可能となるが、どの計算機群に対して転送要求メッセージを送出するかにより、それが受理される確率が大きく左右される。

以上の背景から本論文においては、タスク転送の要求メッセージをマルチキャストにより複数の計算機に対して送出し、その送出先リストに対して遺伝的アルゴリズムおよび確率学習オートマトンによる強化学習を適用する GcSLA 動的負荷均衡アルゴリズムを構築した。本手法を用いることにより、タスク転送要求の受理確率を向上させ、システム全体としてタスクの平均応答時間を短縮させることができる。中規模の分散システムを対象とした数値シミュレーションと、現実に存在する分散システムであるワークステーションから構成される小規模 LAN システムおよび超並列計算機を対象とした実験を通して提案手法の有効性を検証した。学習アルゴリズムに関しては、適応度評価に確率学習オートマトンを導入した遺伝的アルゴリズム (StGA) を提案し、理論的解析によりその大域的最適解への収束性を示すとともに、数値実験によりその有効性を確認した。

本論文は、以下の6章から構成されている。

第1章では、本研究の背景となる事項について述べるとともに、本研究の目的について論じた。

第2章では、分散システムの定義およびその特徴について述べ、負荷均衡アルゴリズムの分類を示し、静的負荷均衡アルゴリズムと動的負荷均衡アルゴリズムについて概略を述べた。次に、動的負荷均衡アルゴリズムの基本的な設計基準について論じ、本研究に関連する動的負荷均衡アルゴリズムである送り手主導方式など従来の研究例を紹介した。

第3章では、学習アルゴリズムとしてStGAを提案した。はじめに、遺伝的アルゴリズムおよび確率学習オートマトンについてその概要を解説した。特に遺伝的アルゴリズムについては、その大域的最適解への収束性を、非斉次マルコフ連鎖を用いた理論的解析により示した。次に、StGAのアルゴリズムの詳細について解説した。さらに、確率学習オートマトンにおける ϵ -optimalityに基づき、非斉次マルコフ連鎖を用いたStGAの収束性に関する理論的解析を行った。その結果、StGAの学習パラメータを調整することで、確率環境における最適な行動、すなわち成功確率が最大となる行動を発見する確率を限りなく1に近づけることができることを示した。最後に、具体的な問題例について行動の成功率の推移を確率学習オートマトンと比較し、StGAが確率学習オートマトンと比較して学習速度において優れており、高い成功率を達成していることを示した。

第4章では、提案手法であるGeSLA動的負荷均衡アルゴリズムに関して述べた。本アルゴリズムは、第3章において提案したStGAをタスク転送要求メッセージの送出先の学習に用いた分散制御型の動的負荷均衡アルゴリズムである。はじめに前提となるシステムの条件について述べ、動的負荷均衡の構成要素にしたがってアルゴリズムの設計を行った。さらに、StGAにおける個体の符号化の方法について検討を加え、リスト表現による方法を採用した。そして、リスト表現における遺伝的操作の方法について述べ、確率学習オートマトンを用いた適応度の評価法を示した。最後にGeSLA動的負荷均衡アルゴリズムの概要とその構成について述べるとともに、具体的なアルゴリズムの実行手順を示した。

第5章では、第4章で提案したGeSLA動的負荷均衡アルゴリズムに関して、数値シミュレーションによりアルゴリズムの基本的な性能を評価するとともに、UNIXワークステーションから構成される実際の分散処理環境と、超並列計算機システムに対して負荷均衡アルゴリズムの実装を行い、アルゴリズムの性能を評価した。数値シミュレーションについては、数十台程度の計算機から構成される中規模の分散システムを前提とし、タスクの平均応答時間および転送要求の成功率を比較するとともに、負荷変化に対する追従性を調べた。この結果、タスク転送要求先の自己組織化により効率的にタスク転送要求メッセージが送出されていることが分かった。また、実際のUNIXワークステーションから構成される比較的小規模な分散システムについて実験を行い、タスクの平均応答時間およびタスク転送要求の成功率について比較した。この結果、提案手法により平均応答時間およびタスク転送要求の成功率が改善されていることが示された。また、超並列計算機システムにおいてもアルゴリズムの評価実験を行い、平均応答時間およびタスク転送要求の成功率の観点から、提案手法の有効性を示した。

第6章では、結論として本研究における成果を総括するとともに、分散オペレーティングシステムへの適用など、今後の課題について論じた。

学位論文審査の要旨

主査	教授	佐藤	義治
副査	教授	宮本	衛市
副査	教授	伊達	惇
副査	教授	山本	強
副査	助教授	高井	昌彰

学位論文題名

遺伝的アルゴリズムを用いた分散制御型動的負荷均衡に関する研究

分散システムを効率的に運用するためには、それを構成する計算機間で負荷を平均化することが不可欠となる。動的負荷均衡アルゴリズムは、システムの運用中にそれぞれの計算機で負荷状態を観測し、投入されたタスクを負荷の重い計算機から軽い計算機へ転送することで、システム全体として負荷の平均化をはかる。この場合、通信ネットワークを介したメッセージ通信によりタスクの転送先となる計算機を発見する。システムを構成する計算機の数が比較的少ない場合には、ブロードキャストによりすべての計算機に対してタスク転送要求のメッセージを送出しても、通信ネットワークに与える負荷は問題とならないが、システムのサイズが大きくなるにつれてタスク転送要求メッセージの送出に要する通信コストが無視できなくなる。

そこで本論文では、タスク転送要求メッセージの送出先となる計算機数を制限し、ある一定数の計算機にのみメッセージを送出するマルチキャストを採用した動的負荷均衡アルゴリズムである GoSLA 動的負荷均衡アルゴリズムを構築し、シミュレーション実験による評価、および現実の分散システムへの実装を行う。マルチキャストによりタスク転送要求メッセージを送出する場合、その送出先を適切に選択することが重要となる。そのために、メッセージの送出先となる計算機のリストに対して遺伝的アルゴリズムおよび確率学習オートマトンによる学習を適用し、転送要求が成功する確率を向上させ、無駄なメッセージ通信が行われることを防ぐ。結果として少ない通信コストにより効果的にタスク転送が行われ、システム全体として負荷の平均化がはかれる。

本論文では学習アルゴリズムとして、適応度評価に確率学習オートマトンを採用した遺伝的アルゴリズム (StGA) を提案し、非斉次マルコフ連鎖を用いた収束性に関する理論的解析を行った。その結果、学習パラメータを調整することで、成功確率を最大化する行動を発見する確率を任意に 1 に近づけることが可能であることを示した。また、代表的な問題例を設定し、確率学習オートマトンのみを用いた場合、ランダムサーチを併用した場合に対する比較実験を行い、StGA を用いることで行

動の成功確率が大きく改善されることを示した。

シミュレーション実験においては、40 台の計算機から構成される中規模の分散システムを前提とし、投入されるタスクの条件を変化させて実験を行った。その結果、GeSLA 動的負荷均衡アルゴリズムを用いることで、従来の手法に比べてタスク転送要求の成功率が向上しタスクの平均応答時間が短縮されること、負荷変化への追従性に優れていることが示され、少ないメッセージ通信量で効果的にタスク転送先の決定がなされていることが確認された。さらに、UNIX ワークステーションから構成される分散システムと専用の高速通信ネットワークを有する超並列計算機において GeSLA 動的負荷均衡アルゴリズムを実現し、タスク転送要求の成功率およびタスクの平均応答時間、負荷変化に対する追従性の観点から評価実験を行った。その結果、現実の分散システムにおける提案手法の有効性が示された。

これを要するに、著者は、分散システムの動的負荷均衡において、タスク転送のための学習手法の開発およびシステムの構築に関する新知見を得たものであり、情報工学の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。