

氏 名	山 本 寛
学 位 の 種 類	博 士 (情報工学)
学 位 記 番 号	情工博甲第180号
学位授与の日付	平成18年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学 位 論 文 題 目	Studies on Resource Management and Scheduling Schemes for Next Generation Distributed Applications (次世代分散アプリケーションのための 資源管理・スケジューリング手法に関する研究)
論文審査委員	主 査 教 授 尾 家 祐 二 教 授 吉 田 隆 一 助教授 鶴 正 人 助教授 川 原 憲 治

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

多数の計算機により構成されているインターネット上では、多くの利用者が多種のアプリケーションを使用して自らの目的を達成している。このようなアプリケーションの多くは、少数の高性能な計算機(サーバ)の資源を多数の計算機(クライアント)が利用するクライアント・サーバモデルにより提供されている。このモデルでは、サービスの中心となる少数のサーバが故障すると、サービス全体が停止する恐れがある。それに対して、近年の計算機・ネットワークの性能向上に伴い、P2P アプリケーションや Grid Computing などの分散アプリケーションの提供が可能となった。分散アプリケーションは、ネットワーク上の全ての計算機が自らの計算・通信・ストレージ資源を提供する分散環境を対象としている。このような分散環境にはサービスの中心となる計算機が存在しないため、少数の計算機が故障してもサービスを継続して提供できる。このような分散アプリケーションを提供するためには、目的の資源を効率的に発見できる資源管理機構と、発見された資源を最大限利用できるスケジューリング機構が必須となる。

P2P アプリケーションと Grid Computing では、それぞれ異なる資源管理機構が使用されている。まず、P2P アプリケーションでは、ネットワーク上の全ての計算機は同等の機能を持ち、資源情報は全計算機により分散管理されている。それに対して Grid Computing では、資源管理機構はミドルウェアとして実装されている。この Grid ミドルウェアは、同じ目的を共有する利用者、および利用者の所有する計算機を集めて仮想的な組織を構成し、この組織毎に資源情報は管理される。このような資源管理機構を用いることにより、利用者は目的の資源を効率的に発見できる。また Grid Computing では、アプリケーションタスクを持つ計算機(マスタ)が複数の計算機(ワーカ)に対してタスクの処理を依頼するマスタ・ワーカモデルに基づいたスケジューリング機構が提案されている。こ

のスケジューリング機構により、性能が互いに大きく異なるワーカ群の資源を、効率的に利用することが可能となる。

しかし、既存の機構には幾つかの問題点が存在する。まず、分散環境には全ての資源を一括管理しているサーバが存在せず、少数の資源に負荷が集中する傾向にある。さらに、スケジューリング機構はマスタ・ワーカ間の通信資源が不均質な環境を対象としていないため、全ての計算機の資源性能がそれぞれ異なる現実的な環境において最適な性能を発揮することはできない。そこで本研究では、高性能な分散アプリケーションの提供を目的として、既存の資源管理機構・スケジューリング機構の問題点を解決するための手法を提案する。そして、その有効性を解析的手法・シミュレーション実験により明らかにする。

まず第 1 章では、分散アプリケーションの提供に必要となる資源管理機構・スケジューリング機構の問題点を示し、本研究の必要性を明らかにした。次に第 2 章では、既存の資源管理機構・スケジューリング機構を紹介した。

第 3 章では、P2P アプリケーションにおける資源管理機構を対象として、少数の計算機が持つストレージ資源への負荷の集中を防ぐ複製配置手法を提案した。P2P アプリケーションでは、各計算機の管理する情報の量に偏りが生じるため、管理する情報量の多い少数の計算機に負荷が集中する傾向にある。提案する複製配置手法は、各計算機の利用状況を考慮した上で、情報の複製をネットワークの広い範囲に配置する。この手法を用いることにより、ストレージに生じる負荷を計算機間で効率的に分散できることをシミュレーション実験により明らかにした。

第 4 章では、Grid Computing における資源管理機構の特性を考慮した上で、アプリケーションタスクを割り当てる資源を選択する際に考慮すべき特性を明らかにした。Grid 環境上の資源管理機構は、資源情報の不正確性・資源利用率の不均質性などの問題点を持つ。このような環境を対象として、複数のタスク割り当て手法の性能を解析的手法・シミュレーション実験を通して評価した。その結果、各計算機の資源性能を考慮して使用する資源を選択するだけでなく、使用する資源はある程度のランダムに選択する必要があることを明らかにした。

第 5 章では、Grid Computing におけるスケジューリング機構を対象として、現実的な Grid 環境における最適なアプリケーション応答時間の達成を目的としたスケジューリングアルゴリズムを提案した。これまでに、マスタ・ワーカモデルを前提として、資源を効率的に利用できるアルゴリズム(UMR: Uniform Multi-Round)が提案されていたが、マスタが一度にデータを送信できるワーカが 1 台に限定されており、マスタ側の通信資源を最大限利用できなかった。そこで本課題では、マスタが複数のワーカに対して同時にデータを送信することにより、データ送信時間がアプリケーション応答時間に与える影響を最小化できるアルゴリズム(PTUMR: Parallel Transferable UMR)を提案し、その有効性をシミュレーション実験により明らかにした。

最後に第 6 章では、本研究を通して明らかとなった知見を示し、今後の課題を明らかにした。

以上の資源発見・資源選択・資源活用の 3 点に着目した研究を行うことにより、今後さらに普及する分散アプリケーションを提供する上で必要となる、資源管理機構・スケジューリング機構の発展に貢献した。

学位論文審査の結果の要旨

多数の計算機により構成されているインターネット上では、多くの利用者が多種のアプリケーションを使用して自らの目的を達成している。このようなアプリケーションの多くは、クライアント・サーバモデルにより提供されており、少数のサーバの故障がサービス全体の停止を招く。一方、近年の計算機・ネットワークの性能向上に伴い、P2P アプリケーションや Grid Computing などの分散アプリケーションの提供が可能となった。分散アプリケーションは、ネットワーク上の全ての計算機が資源を提供する分散環境を対象としており、少数の計算機が故障してもサービスを継続して提供できる。このような分散アプリケーションを提供するためには、目的の資源を効率的に発見できる資源管理機構と、発見された資源を最大限利用できるスケジューリング機構が必須となる。

P2P アプリケーションと Grid Computing を対象として、複数の計算機が協調してネットワーク内の資源に関する情報を管理する複製配置手法が提案されている。また Grid Computing では、アプリケーションタスクを持つ計算機(マスタ)が複数の計算機(ワーカ)にタスクの処理を依頼するマスタ・ワーカモデルに基づいたスケジューリング機構が提案されている。しかし、分散環境には全ての資源を一括管理しているサーバが存在せず、少数の資源に負荷が集中する傾向にある。さらに、スケジューリング機構はマスタ・ワーカ間の通信資源が不均質な環境を対象としていないため、計算・通信資源の性能が計算機毎に異なる現実的な環境において最適な性能を発揮することはできていない。

本研究では、高性能な分散アプリケーションの提供を目的として、既存の資源管理機構・スケジューリング機構の問題点を解決するための手法を提案し、その有効性を解析的手法・シミュレーション実験により明らかにしている。

まず、P2P アプリケーションにおける資源管理機構を対象として、少数の計算機に対するストレージ負荷の集中を防ぐ複製配置手法を提案している。提案する複製配置手法を用いて、各計算機の利用状況を考慮した上で情報の複製を配置する計算機を決定することにより、ストレージに生じる負荷を計算機間で効率的に分散できることをシミュレーション実験により明らかにしている。

次に、Grid Computing における資源管理機構の特性を考慮した上で、アプリケーションタスクを割り当てる資源を選択する際に考慮すべき特性を明らかにしている。資源情報の不正確性・資源利用率の不均質性などの問題点を持つ資源管理機構を対象として、複数のタスク割り当て手法の性能を解析的手法・シミュレーション実験を通して評価し、各計算機の資源性能を考慮して資源を選択するだけでなく、使用する資源はある程度ランダムに選択する必要があることを明らかにしている。

最後に、Grid Computing におけるスケジューリング機構を対象として、最適なアプリケーション応答時間の達成を目的としたスケジューリングアルゴリズムを提案している。本課題では、マスタが複数のワーカに対して同時にデータを送信することにより、データ送信時間がアプリケーション応答時間に与える影響を最小化できるアルゴリズム(PTUMR: Parallel Transferable UMR)を提案し、その有効性をシミュレーション実験により明らかにしている。

以上の研究成果は、高性能な分散アプリケーションの提供に必要な基盤技術の発展に、大きく

貢献するものである。論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が博士(情報工学)の学位に十分値するものであると判断した。