

氏 名 孫 静涛

学位(専攻分野) 博士(情報学)

学位記番号 総研大甲第 1885 号

学位授与の日付 平成28年9月28日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻  
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Dynamic Adaptation for Distributed Systems

論文審査委員 主 査 教授 佐藤 一郎  
教授 中島 震  
教授 合田 憲人  
准教授 北本 朝展  
教授 中島 達夫 早稲田大学

論文内容の要旨  
Summary of thesis contents

近年、多数のコンピュータから構成された分散システムに関する研究は大きく注目されている。しかし、現状では、コンピュータの故障ネットワークの不安定はもちろん、アプリケーションの要求の変化により、システムの構成及びそれを取り巻く環境は動的変化である。例えば、物理層の通信リンクの変化、コンピュータ台数の動的に追加・削除の要請及び利用者の需求が常変する。また、ほとんどの分散システムを構築する際に、特定のアーキテクチャや特定の環境を前提に、運用してきたが、今後の分散システムの規模や用途の拡大により、従来手法が有効ではなくなっている。

動的に変化に対応するために、適応性の導入はこれらの問題は解決できる鍵となる技術に間違いない。今まで、動的適応性に関する研究が数多く提案されてきた。例えば、コーディネーションとパラメータの変更やソフトウェアの書き換えやアーキテクチャの変更などが提案された。しかし、多くの研究は特定なシステムや特定なアプリケーションを中心に論じている。

そこで、本論文では、特定なターゲットではなく、一般性があるシステム需求に絞り、ポリシー言語と Mimoso というミドルウェア・システムを提案する。本提案は下記の三つのステップから構成されている。

- システム管理者に事前にシステムの利用状況と環境変化をポリシーとして記述させる。
- 変化が起きた際に、ソフトウェア・コンポーネントまたはそのものの複製を Mimoso ミドルウェアに介して別のコンピュータに再配置させる。
- 独自が開発している動的メソッド呼び出し機構によって、再配置されたソフトウェア・コンポーネントと目的側のソフトウェア・コンポーネントを通信する。

本研究は利用者に簡単にポリシーを記述できるように、本論文は五つのポリシーを提案するとともに、複数のポリシーが存在するときに、衝突問題と分岐問題への解決方法を紹介した。下記は提案していたポリシーである。

- 吸引ポリシー  
コンピュータ上で実行しているソフトウェア・コンポーネントをシステムの状況変化に応じて、目的コンピュータに再配置する。
- 反発ポリシー  
コンピュータ上に実行しているソフトウェア・コンポーネントは複数存在する際に、ソフトウェア・コンポーネントは状況変化に応じて、その中の一つを反発させ、目的コンピュータに再配置する。
- 拡散ポリシー  
コンピュータ上に実行しているソフトウェア・コンポーネントは状況変化に応じて、自身の複製を作り、その複製を目的コンピュータに再配置する。
- 合併ポリシー  
コンピュータ上に実行しているソフトウェア・コンポーネントが複数存在する場合には、状況変化に応じて、一つのソフトウェア・コンポーネントとして合併できる。
- 時系ポリシー  
コンピュータ上で実行しているソフトウェア・コンポーネントはタイマーを設計で

(別紙様式 2)  
(Separate Form 2)

き、設定時間になったら、指定されたソフトウェア・コンポーネントは目的コンピュータに再配置する。

また、本提案の **Mimosa** ミドルウェア・システムは二つの部分から構成されている。ランタイムシステムはソフトウェア・コンポーネントの実行と再配置・複製及び再配置後のコンピュータ上のコンポーネントを通信するための独自で開発した動的メソッド呼び出しのメカニズムとして構成されている。適応マネージャーは利用者が定義したポリシーの実行及びネットワーク & システムの監視機能を持っている。それぞれのポリシーは条件と動作から構成されていて、利用者が定義された条件とシステム監視器から捉えた変化を合致すれば、ソフトウェア・コンポーネントまたその複製を自動的に目的コンピュータに再配置することによって、アプリケーション及び分散システム自身の様々な変化を動的に適応可能にする。提案手法は四つのメリットがある。

- ソフトウェア・コンポーネントと適応プログラムを分けて記述するため、アプリケーション開発者は適応性のことを考慮しなくてもいいことに加え、ソフトウェア・コンポーネントまたはポリシーが再利用できる。□
- 本提案は既存システムの機能を増やしたり、減らしたりしないため、実行場所を変えることにより、既存システムの信頼性を損なわないままに可用性と有効性を向上できる。
- 実行している数多くのソフトウェア・コンポーネントの再配置により、既存の分散システムのアーキテクチャが動的に変えられる。
- 本提案の **Mimosa** ミドルウェア・システムは **JAVA** 仮想マシン上に実装されているため、異なるオペレーティングシステムでも実行可能である。

上記の提案方式に基づき、本論文は5つの応用事例を紹介する。例えば、適応可能な遠隔情報検索、**Primary-backup** と **Chain** レプリケーション。センサーネットワーク、分散型 **MVC** アプリケーション及び出版・購読型システムの応用について、論じていた。また、応用事例を用いて提案した **Mimosa** ミドルウェアとポリシー言語について、評価実験を行い、提案方式の可用性と有効性を確認した。最後には、本研究内容をまとめた上に、今後の展望について論じた。

【研究成果の概要】複数のコンピュータから構成された分散システムにおける、システム構成やアプリケーション要求が動的に変化する。その分散システム上のアプリケーションはこれらの変化に対応して、アプリケーションそのものを変化させることで、可用性を実現することが求められる。従来手法はコンピュータ上のソフトウェアの協調関係や、ソフトウェアそのものを変化させる方法が一般的であったが、分散システムは、スタンドアローンのシステムとは異なり、ソフトウェアの実行位置が重要となることから、提出された学位請求論文で示された新しい手法では(1)ソフトウェアの再配置や複製により、適応させることを提案している。ソフトウェアの再配置や複製自体は従来にもあったが、特定アプリケーションに依存する場合や、個々のソフトウェアをアドホックに再配置する段階であり、実用性に欠けていた。提案手法の優位性・新規性は、(2)分散システム上の変化に応じてソフトウェア再配置や複製の仕方に関するポリシーを定義する記述言語を導入して、その言語を通じて分散アプリケーション全体の適応性を記述でき、さらに(3)言語を理論的基盤としてプロセス計算(Process Calculus)に基づいて定式化することで、その理論を適応性やその影響を厳密に予測できることにある。従来の適応性に関する記述形式では理論的定義とその分析は前例になく、実用性だけでなく、新規性も高い。その学位請求論文では、ソフトウェアの再配置や複製を実現するためのミドルウェアに加えて、その言語の定義、特性、さらに(4)実用的な分散システムを前提に同言語の記述例を示すことで、提案手法の理論的かつ実用的にも有効であることを示した。

【論文内容の評価】本論文は分散システムにおける動的適応性手法に関して、その動向や研究成果をまとめた内容であり、第一章では分散システムにおけるシステム構成やアプリケーション要求が動的に変化などの研究会背景を説明している。第二章では計算システムにおける適応性の中でも、分散システムに適応性を導入した先行研究を、4つの方法に分類してその特徴と問題点を指摘している。第三章は提案手法について説明している。具体的にはソフトウェアの再配置や複製により、適応させる方法となる。これは従来の分散システム向け適応手法にはみられない方法であるが、適応化による可用性に関わる変化を最小限に抑えるとともに、分散システムの特性、つまり複数のコンピュータで相違な処理を行うことが、分散システムのアーキテクチャとなっていることから、アーキテクチャそのものの変化に道筋を与える方法となる。第四章はソフトウェアの再配置と複製を実現するミドルウェアが説明されている。ミドルウェアの構成自体は、従来のプロセス移動やモバイルエージェントのミドルウェアと重なる部分も多いが、従来の研究では個々のソフトウェアを個別に再配置や複製はできても、体系的に定義・実現手段には欠けているのに対して、このミドルウェアは後述する適応性ポリシー記述言語から制御できるなど、優位性を持っている。第五章ではソフトウェアの再配置と複製を定義する記述言語を、プロセス計算に基づいて導入するとともに、その簡単な記述例と、いくつかの性質について理論的に説明している。そして第六章では提案したポリシー記述言語により記述した分散システムの適応性に関する事例が示され、第七章では実装の概要と性能評価が説明されている。そして最後の第八章では結論と将来の課題がまとめられている。

本論文は分散システムにおける動的適応性とその実現方法を十分理解し、さらにソフトウェアの再配置や複製による適応性を、提案した記述言語を利用することにより、体系的

(別紙様式 3)

(Separate Form 3)

に適応性を記述できるようにしており、既存の手法に対して、可用性を失うことなく、計算リソースに応じた分散システム構成できることを記述言語の理論に加えて、実用的な分散システムにおける適応性を定義することで実際的にも有効であるなど、新規性と優位性をもっている。このことから、分散システム研究の学位として相応しい内容を持つと判断する。提案手法はその理論により、適応性に関する諸問題、例えば複数の適応性がある条件で同時に実行されてしまうケースなどを発見する手法等をしており、理論的に適応性を検証・分析することを可能にしている。また、実用的な分散システムを前提に、提案手法の有効性を評価しており、実用面でも大きな成果が期待できる内容となっている。

なお、研究内容の(1)の一部は、査読ありの国際会議 IDCS2014(7th International Conference on Internet and Distributed Computing Systems)で発表し、(2)の一部は査読ありの国際会議 DAS2015(Workshop on Distributed Adaptive Systems at IEEE International Conference on Autonomic Computing)で発表した。(3)の一部は情報処理学会の査読あり英文論文誌 Journal of Information Processing (2016年10月号掲載予定)に採録された。(4)の一部は査読あり国際会議 DEPEND 2014(7th International Conference on Dependability)で発表し、Best Paper Award を受賞した。

【審査の結果】博士論文審査会は審査委員の都合から7月12日と20日の二回に分けて実施した。一回目となる7月12日は中島達夫先生、中島震先生、合田先生、佐藤一郎が出席し、20日には北本先生と佐藤一郎が出席したし、申請された論文が、博士(情報学)の学位の授与に十分な内容を有するものと判断し、合格と判定した。