

学 位 論 文 題 名

分散ソフトウェアの構築モデルに関する研究

学位論文内容の要旨

近年、ネットワークの発達とそれに接続可能なコンピュータの普及により、単独なシステムから分散システムへ爆発的に移行してきている。そのため、分散システム上のソフトウェアの構築が社会的に重要になってきている。すでに多くのソフトウェアが現実の要求に答えているし、CSCW 等の研究が進むにつれてその度合いはさらに増すことになる。これからのソフトウェア構築を考えた場合、ほとんどのアプリケーションで少なからずこのような分散システムを指向する必要があるであろう。

しかし、従来からあるプログラミング言語による分散ソフトウェアの作成は限界になりつつあり、分散システムの性質にあった記述言語やプログラミング環境等の必要性が増加している。

このようななかで、我々は分散ソフトウェア構築支援環境 Kamui 環境の作成を通じて、幾つかの問題に取り組んできた。Kamui 環境は、並行オブジェクト指向プログラミングによって分散ソフトウェアの構築を支援するものである。並行オブジェクトモデルは独立した実行主体が非同期なメッセージ通信によって情報を交換しながら計算が進められるもので、分散ソフトウェアの構築モデルとして優れたものである。

本論文は、8 章から構成されている。2 章は分散ソフトウェアに要求されている性質について明らかにする。そのなかで、Kamui 環境で目標とした主な点は次の 2 点である。

1. 分散ソフトウェアの誤りの検出
2. 動的に分散して増加する資源の管理

1. は、特に分散ソフトウェアに固有の誤りの検出レベルが必要である。求められているソフトウェアは様々な記述言語で書かれ、様々な環境で動作している。これは非均質であると呼ばれている。そのような非均質なソフトウェアの間での誤りの検出は重要な問題である。また、通信系列の誤りも深刻な問題である。2. は特に大規模で一元管理が困難であるような場合の問題である。その際、システム全体を通じた扱いよりも、分散した管理とそれらの協調が必要である。

3 章は非均質分散ソフトウェアに適したオブジェクトの型機構について述べている。オブジェクト単体は独立性が高いため、それを実現するために様々な言語が利用できる。このように様々な記述言語によって作成されたオブジェクトがメッセージの

交換という共通のパラダイムによって協調動作する。オブジェクトが理解できるメッセージの種類によって、オブジェクトの型は定義される。従来のオブジェクト指向言語では、単一の言語で閉じた世界での型の定義しかなされていなかった。ここで考えている非均質なオブジェクト群の場合、実現に依存したクラスを型としては利用できない。そこで、メッセージの集合をメッセージプロトコルとして定義し、そのメッセージプロトコルの集合によりオブジェクトの型を定義している。メッセージプロトコルはモジュールプログラミングと同様なメッセージの名前空間の管理の役割も持っている。

また、オブジェクト自身の独立性が高まるにつれて、従来の受動的な型だけでは不十分になってきた。すなわち、オブジェクトが自ら送出するメッセージの種類についての情報も必要なのである。そこで、メッセージの送受に関する情報によりオブジェクトの型をつける。また、オブジェクト間の接続可能性が明確となるため、オブジェクトの部品としての性質がより明確となった。

4章はメッセージの系列に着目した計算モデルの提案を行なっている。オブジェクト間の通信は単独のメッセージ送信ではなく、通常は、複数のメッセージのやり取りが幾つかの重要な意味を持つ。メッセージのやり取りを記述する代数としてプロセス代数というものがある。それを基本として、メッセージの順序情報を抽象化した記述によりオブジェクトの通信相手を動的に選択できる計算モデルを提案している。これにより、メソッドの本体の中に間接的に記述されていたメッセージの順序情報や通信相手の指定の情報を別のレベルで記述できる。

5章は開放系名前付けモデルについて述べている。ほとんどの分散システムやオブジェクト指向システムでは、資源に対してユニークな名前を付けることを要求している。システムが大規模になってきた場合、その名前のユニーク性を保持する管理が負荷の大きい仕事になってしまう。そこで、大域的なユニーク性を仮定しないで、局所的なユニーク性と隣接した局所の相対的な変換によって全体の名前管理を行なう方法を提案する。ユニーク性が保証される範囲をドメインと呼び、物理的、論理的に近いドメイン同士をポートによって接続する。ポートは各ドメインで名前が付けられており、あるドメインを起点として他のドメインを呼ぶ場合、そこへの一つの経路となるポート名（これも各ドメインで局所的である）を繋げて、これを名前とする。さらに、2つの異なった経路が同じドメインを指しているものであるかを判定するアルゴリズム、ある経路を要求する経路（例えば最短経路、論理的経路から物理的な経路へなど）に変換するアルゴリズムなどが、各ドメインが持っている局所的な知識の適用とドメイン間の協調によって定義されている。

6章は以上のモデルにしたがって作成した Kamui 環境について述べる。Kamui 環境ではオブジェクトの記述言語として、C++をベースにした Kamui-C と Lisp をベースにした Kamui-Lisp の2つを用意している。これらは、オブジェクト ID の管理に5章で述べた開放的な名前付けの方法を採用しており、動的に拡張されるシステムの記述が用意にできる。また、オブジェクトの型は2つの言語にまたがって付けられてお

り、誤りの早期検出が可能である。

7章では Kamui 環境上で構築したシステムについて述べている。グラフィカルユーザインタフェースの構築にはオブジェクト指向プログラミングが適している。CSCW のアプリケーションは複数のユーザが同時に使用するため、そのユーザインタフェースの構築には分散オブジェクト指向プログラミングが適している。そのため、Kamui 環境上で Kamui-Toolkit の試作が行なわれている。また、CSCW アプリケーションのプラットフォームとして分散カード型データベース HyperDESK の試作も行なわれている。これは電子メールや電子掲示板に相当する極めて大規模な数のユーザがターゲットであり、その構築モデルに開放系の名前付けモデルが使われている。

8章で以上のまとめを行なっている。モデルの提案からその応用に渡って、分散ソフトウェアの開発支援を行なってきた。特に、分散ソフトウェアの誤りの軽減の問題と、開放的なシステムに対する資源への名前付けの問題に対して有効な解決法を得ることができた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 宮 本 衛 市

副 査 教 授 大 内 東

副 査 教 授 田 中 讓

学 位 論 文 題 名

分散ソフトウェアの構築モデルに関する研究

計算機ネットワークの普及により、計算機がお互いに連携した分散処理システムへと急速に移行しており、その結果、多数の計算機に分散したソフトウェアを構築する必要性が生じ、そのためのプログラミング言語や環境が必要になってきた。本論文は分散ソフトウェアを柔軟に、かつ安全に構築するためのモデルを並列オブジェクト指向に基づいて提案し、その有効性を実際に分散システム環境（Kamui 環境）を構築し、その有効性を確認したことについて論じたものである。本論文は以下の 8 章から構成されている。

第 1 章は序論で、本研究の背景と目的および論文の構成について述べている。

第 2 章では、分散ソフトウェアに要求されている性質について明らかにしている。その一つは分散ソフトウェアの誤りの検出であって、特に分散ソフトウェアに固有な非均質性に由来する誤りを検出する問題であり、他の一つは動的に分散して増加する資源の管理の問題であって、特に大規模で一元管理が困難であるような場合を問題にしている。

第 3 章では、非均質分散ソフトウェアに適したオブジェクトの型機構について述べている。すなわち、メッセージの集合をメッセージプロトコルとして定義し、そのメッセージプロトコルの集合によりオブジェクトの型を定義している。一方、オブジェクト自身の独立性が高まるにつれて、従来の受動的な型だけでは不十分で、オブジェクトが自ら送出するメッセージの種類についての情報も必要であることに着目し、メッセージの送受に関する情報によりオブジェクトの型を定義することを提案している。これにより、オブジェクト間の接続可能性が明確となるため、オブジェクトの部品としての性質がより明確になることを論じている。

第4章では、メッセージの系列に着目した計算モデルの提案を行なっている。オブジェクト間の通信は単独のメッセージ送信ではなく、通常は、複数のメッセージのやり取りが重要な意味を持つことから、メッセージのやり取りをプロセス代数で記述し、メッセージの順序情報を抽象化してオブジェクトの通信相手を動的に選択できる計算モデルを提案している。これにより、メッセージの順序情報や通信相手の指定の情報を宣言的に記述できることを明らかにしている。

第5章では、分散システムが大規模になってきた場合、資源の名前がシステム全体でユニークであるように保持する管理が負荷の大きい仕事となってしまうことに着目し、名前の大域的なユニーク性を仮定しないで、局所的なユニーク性と隣接した局所間での相対的な変換によって全体の名前管理を行なう開放系名前付けモデルについて論じている。そのモデルでは、ユニーク性が保証される局所的な範囲をドメインと呼び、物理的あるいは論理的に近いドメイン同士をポートによって接続し、対象とする資源が存在するドメインまでの経路をもって名前とすることを提案している。さらに、経路の同一性の問題や最短経路問題が、各ドメインが持っている局所的な知識の適用とドメイン間の協調によって定義されることを明らかにしている。

第6章では、以上のモデルにしたがって作成した Kamui 環境について述べている。Kamui 環境では、オブジェクトの記述言語として、C++をベースにした Kamui-C と、Lisp をベースにした Kamui-Lisp の2つを用意している。これらは、オブジェクトIDの管理に第5章で述べた開放的な名前付けの方法を採用しており、動的に拡張されるシステムの記述が容易にでき、またオブジェクトの型は二つの言語にまたがって付けられており、誤りの早期検出が可能であることを述べている。

第7章では、Kamui 環境上で構築したシステムについて述べている。その一つは分散システム上で利用できるグラフィカル・ユーザインタフェースとしての Kamui-Toolkit であり、他の一つは CSCW アプリケーションのプラットフォームとなる分散カード型データベース HyperDESK である。

第8章は結論であり、本研究で得られた成果を総括し、要約して述べている。

これを要するに、著者は分散ソフトウェアの構築にとって重要となる非均質性、開放性、柔軟性などを具現するモデルを解明し、大規模な計算機ネットワークで展開される分散処理システムを構築する上での枠組みを明らかにしたもので、情報工学に寄与するところ大である。よって、著者は博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。