

## 学位論文題名

ソフトウェアプロトタイピングにおける  
ソフトウェア構築のモデル化に関する研究

## 学位論文内容の要旨

計算機ハードウェアや計算機ネットワークの発達につれて、その上で構築されるシステムはいっそう大規模化するとともに、その複雑さを増大させてきており、これに対処したソフトウェア構築のための新たな方法論が求められている。本論文は、このような事態に鑑みて、複雑大規模なソフトウェアを構築する上での基本的なモデリングについての研究成果について述べたものであり、全6章から構成されている。

第1章は序論であり、研究の背景や目的を述べている。近年、計算機システムが大規模化するにつれ、システム全体に占めるソフトウェアシステムのコストは、ハードウェアのコストに比べて相対的に大きな比重を占めるようになってきた。これには様々な要因が考えられるが、要求分析が不十分である、不適当な仕様設計がなされている、保守性の悪いソフトウェア構造であるなどのために、ソフトウェアシステムの制作や保守に多量の人手と長い時間を要することが主たる原因である。このような事態に対処することを目的として、ソフトウェア作成工程において科学的基盤に立脚し工学的技術を導入し、かつ理論的体系化を図ろうとして様々な工学的アプローチや技法、方法論が生み出され、それらの理論が集大成されてきている。しかし、計算機ネットワークの発達により、ソフトウェアプロセスは多数のサイトで実行することが可能になり、またソフトウェア自身も並行に動作することが可能になってきたため、これまでのような逐次的な枠組から、並行に行われる枠組の解明が必要とされるようになってきた。そこで、本研究では、ソフトウェアプロセスの基本制御構造モデルの提案とそれに基づくプロセスの複雑度の評価、ソフトウェア要求仕様の策定とシステム仕様設計のための、オブジェクト指向に基づくソフトウェアプロトタイピングに関する動的な振舞いの解析、ソフトウェア開発プロセスにおけるオブジェクトの意味データモデリングの形式化、プロトタイピングのためのインタフェースモデリングの形式化などにより、複雑大規模なソフトウェアを構築するためのモデリングを提案している。

第2章ではソフトウェア開発過程であるソフトウェアプロセスを記述するためのモデルについて述べている。ソフトウェアプロセスにとって前の作業に戻って繰り返し作業を行うバックトラックが避けられないが、これまではバックトラックを繰り返し構文を用いて、プロセス記述のプログラムに意味的に組み込もうとしてきた。しかし、ソフトウェアプロセスの記述は普通のプロ

グラムの記述とは本質的に異なるというべきであり、ソフトウェアプロセスにおける基本的な制御構造の解明はまだ行われていない。そこで、ソフトウェアプロセスの基本活動からソフトウェアプロセスの正規関係を定義し、これにバックトラックやプロトタイピングの再試行を統合し、バックトラックを基本的な枠組としたソフトウェアプロセスの基本的な制御構造を定義し、この制御構造によって記述したソフトウェアプロセス手順の複雑度を評価し改善する方略を提案している。

第3章では並行オブジェクトシステムをプロトタイピングするためのオペレーショナルモデルと、並行オブジェクトの動的な振舞いの形式化について述べている。本研究では、オブジェクト指向モデルに基づき、オブジェクトの各状態をオブジェクト化し、プロトタイピングのために十分な柔軟性と記述力のあるオペレーショナルモデルを提案する。これは機能オブジェクトの状態の詳細化を横糸とし、各機能オブジェクトをより基本的な機能オブジェクトに分解していく過程を縦糸として2次元的にソフトウェアシステム仕様を展開していくために基本となるモデリングである。さらに、オブジェクトの振舞いを形式化するために、オブジェクトシステム中の並行オブジェクトの振舞いを正規表現からなるパス式で表し、さらにこのパス式を逐次遷移からなる基本状態遷移の集合に分解し、各オブジェクトの基本状態遷移間で協調動作を定義する。その上でこの協調動作で引き起こされるイベント群の順序集合をオブジェクト群の協調動作に基づく型と定義する。オブジェクト群全体を1つのシステムとして見る時、そこで展開される協調動作の構造型も定義する。この形式化は、並行オブジェクトで構成されるソフトウェアシステムの動的な振舞いに基づく仕様の設計や解析方法の基本的な枠組となる。

第4章ではオブジェクト指向に基づく意味データモデルについて述べている。意味データモデルでは概念的な要素と物理的要素の分離、レコード関連型への意味的な過負荷の低減、豊富な抽象化メカニズムの設定などを行うことができるので、設計者を低いレベルでの詳細な作業から開放し、問題レベルでの設計に専念することができる。また、動的振舞いモデルを構築し、設計するための、多くの豊富な抽象化メカニズムを提供することもできる。本研究で開発した意味データモデルは、オブジェクト指向に基づくモデルであり、ソフトウェアプロトタイピング向けにオブジェクトに4つのカテゴリの設定、静的および動的に様々な制約機能の設定、豊富な抽象と継承の設定と抽象クラスの設定、動的な振舞い仕様を記述するイベントオブジェクトの設定、ソフトウェア開発プロセスの記述のためにオブジェクト間に推移関係の設定、オペレーショナルモデルとの統合などの特長を有する。

第5章ではソフトウェアシステムとユーザの間のインタフェースを設計するためのモデリングと記述法について述べている。ユーザとプロトタイピング環境との通信メカニズムとして、ユーザインタフェースの品質はその通信の効率に直接大きな影響を与える。本研究では、ソフトウェアプロトタイピングのインタフェースを設計するために、オブジェクト指向によるユーザインタフェースモデルを開発した。そこでは、インタフェース情報の特性をオブジェクトの属性として記述し、オブジェクト間のメッセージ授受によってインタフェースの振舞いや活動を記述する。さらに、可視化図形によるユーザインタフェースは人間の直観に訴え、自然に理解させる特徴があり、ソフトウェア開発における実用的なソフトウェア工学手法は殆ど図式手法を採用している

ことから、オブジェクト指向に基づく可視化図形モデルを開発し、オブジェクト指向に基づく属性文法を利用して、可視化図法を表現し、実行するための形式化手法を与えている。

第6章では本論文の内容を総括し、今後の研究あるいは開発の展望について述べている。

# 学位論文審査の要旨

主査	教授	宮本	衛市
副査	教授	佐藤	義治
副査	教授	嘉数	侑昇
副査	教授	田中	讓

## 学位論文題名

### ソフトウェアプロトタイピングにおける ソフトウェア構築のモデル化に関する研究

計算機ハードウェアや計算機ネットワークの発達につれて、その上で構築されるシステムはいっそう大規模化するとともに、その複雑さを増大させてきており、これに対処したソフトウェア構築のための新たな方法論が求められている。すなわち、近年の計算機ネットワークの発達により、ソフトウェアプロセスは多数のサイトで実行することが可能になり、またソフトウェア自身も並行に動作することが可能になってきたため、これまでのような逐次的な枠組から、並行に行われる枠組の解明が必要とされるようになってきた。本論文は、このような事態に鑑みて、複雑大規模なソフトウェアを構築する上での基本的なモデリングについての研究成果について述べたものであり、その要点は次の通りである。

第1章では本研究が行われた背景を概説し、研究の動機、工学的課題および研究成果について総括している。

第2章ではソフトウェア開発過程であるソフトウェアプロセスを記述するためのモデルについて述べている。バックトラック活動を必然とするソフトウェアプロセスを記述するため、ソフトウェアプロセスの基本活動からソフトウェアプロセスの正規関係を定義し、これにバックトラックやプロトタイピングの再試行を統合し、バックトラックを基本的な枠組としたソフトウェアプロセスの基本的な制御構造を定義した。さらに、この制御構造を用いて記述したソフトウェアプロセスの複雑度を評価し改善する方略を提案している。

第3章では並行オブジェクトシステムをプロトタイピングするためのオペレーショナルモデルと、並行オブジェクトの動的な振舞いの形式化について述べている。これは機能オブジェクトの状態の詳細化を横系とし、各機能オブジェクトをより基本的な機能オブジェクトに分解していく過程を縦系として2次元的にソフトウェアシステム仕様を展開していくために基

本となるモデリングである。さらに、オブジェクトの振舞いを形式化するために、並行オブジェクトの基本状態遷移間で協調動作を定義し、それに基づいてオブジェクトの振舞いの型を定義した。さらに、オブジェクト群全体を1つのシステムとして見るとき、そこで展開される協調動作の構造型も定義した。

第4章ではオブジェクト指向に基づく意味データモデルについて述べている。設計者を低いレベルでの詳細な作業から開放し、問題レベルでの設計に専念させるため、ソフトウェアプロトタイピング向けにオブジェクトに4つのカテゴリの設定、静的および動的な観点からの制約機能の設定、豊富な抽象と継承の設定と抽象クラスの設定、動的な振舞い仕様を記述するイベントオブジェクトの設定、ソフトウェア開発プロセスの記述のためにオブジェクト間に推移関係の設定、オペレーショナルモデルとの統合などの特長を有するデータモデルを提案している。

第5章ではソフトウェアシステムとユーザの間のインタフェースを設計するためのモデリングと記述法について述べている。本研究では、インタフェース情報の特性をオブジェクトの属性として記述し、オブジェクト間のメッセージ授受によってインタフェースの振舞いや活動を記述している。さらに、オブジェクト指向に基づく可視化図形モデルを開発し、オブジェクト指向に基づく属性文法を利用して、可視化図法を表現し、実行するための形式化手法を与えている。

第6章では本論文の内容を総括し、今後の研究および開発の展望について述べている。

これを要するに、著者は、複雑なソフトウェアシステムを構築するためのソフトウェアモデリングに関する基本的な枠組を明らかにし、ソフトウェアプロトタイピングのためのモデル化に新知見を得たものであり、ソフトウェア工学および情報工学の進歩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。