

学位論文題名

ソフトウェアシステム設計構造の  
位相的解析方法に関する研究

学位論文内容の要旨

今日、インターネットの普及によりIT(Information Technology)革命やeビジネスなどというように情報システムを取り巻く環境の変化は著しい。この変化にタイムリに適応するように情報システムを進化させるべく再構築する機会は増加の一途をたどっており、今後とも情報システムのライフサイクルはより一層短縮化される傾向にある。外部環境の変化などに合わせて既存のソフトウェアシステムを再生するための一連のプロセスのことをソフトウェア・リエンジニアリングという。また、これはソフトウェアの「適応保守」であり、情報システムの再構築作業は保守に位置づけられる。このような保守では、新規開発を前提とした従来の開発プロセスに加えて、①既存システム仕様や構造の解析・理解、②ソフトウェア仕様やソースコードなどの修正や変更を検証するための変更確認テスト、という二つのプロセスを追加する必要がある。本論文では、特にこれら二つの重要な追加プロセスに着目するとともに、効率的なソフトウェアシステム増改築方法の確立を目的として具体的には次の方法を主題として論じる。

- ・ ソフトウェアシステム設計構造の骨格理解方法
- ・ 変更確認テスト範囲の形式的抽出方法
- ・ オブジェクト指向モデリングにおけるクラス図の分割方法

これらの背景には、次に述べることがある。従来、ソフトウェア構造理解方法に関する議論には、ソースコードの逐次的解析を基にソフトウェアシステムの局所的構造やインプリメント構造の解析を目的としているものが非常に多い。しかし、ソフトウェアシステム全体の設計構造やその骨格を理解するための方法に関するものは少ない。これを理解しない限り、構造的整合性を考慮した効率的なソフトウェア再利用も実現できない。また、ソフトウェアの部分的変更が構造的にシステム全体に及ぼす影響範囲を網羅するような変更確認テストを実施しなければシステム品質を保証できない。他方、オブジェクト指向技術の浸透によって、今後はオブジェクト指向によって設計・開発したソフトウェアが保守の対象となってくる。

上記の方法では、モジュールを構成単位とするソフトウェアシステム設計構造をグラフで表現したうえで、グラフ理論を応用した従来の1次元解析のみならず、グラフを平面に埋め込まれた2次元図形と見なしてトポロジ的にグラフ構造を解析するというアプローチをとる。本論文では、これを「位相的解析」と呼ぶ。これは、保守によるソフトウェアシステム再構成を支援するための形式的解析方法である。その効果としては、ソフトウェア保守プロセスにおいてコスト比率が大きいソフトウェア理解コストと変更確認テストコストの低減を期待できる。さらには、大規模システムの保守コストはライフサイクル全コストの50%以上を占めている場合が多く、保守コスト削減はライフサイクル全体コスト削減にも大きく寄与する。また、変更確認テストもれ防止により、事後対処による手戻りコスト削減を図るとともに変更後システムの信頼性も確保可能となる。

本論文の各章の要旨は以下のとおりである。

第1章の序論では、ソフトウェアシステム再構築の背景と課題について述べる。

第2章では、有向グラフと平面グラフに関する定義について述べる。特に有向グラフについては、従来の連結の型（強連結、半強連結、準強連結、弱連結）に加えて、新たな連結の型として輪半強連結、輪弱連結を定義できることと共に、これら新旧の連結の型には連結の強さに関して順序付け可能なことを明らかにする。この順序付けは、ソフトウェアシステム全体構造の解析において構成要素間の連結性が強い範囲を形式的にくくり出すための効果的基準となる。

第3章では、ソフトウェア・リエンジニアリングに向けたシステム再構造化のための一つの方法について述べる。そこでは、ソフトウェアシステム設計構造を有向グラフで表現したうえで有向グラフの連結の強さ（輪弱連結）とブロック分割を応用し、有向グラフに対して擬ブロック分割を定義する。この分割によって、ソフトウェアシステム設計構造の骨格を抽出することが可能となる。

第4章では、前章と同様にソフトウェアシステム設計構造を有向グラフで表現する。その上で、有向グラフの連結の強さという観点から従来の変更テスト範囲抽出基準を明らかにするとともに、連結の強さの順序付けを基準として従来テスト範囲を拡張できることを示す。この拡張によって、変更確認テストもれを未然に防止することができる。

第5章では、まずはソフトウェアシステム設計構造を平面グラフで表現する。次に、平面グラフの点の絡み閉歩道を応用することにより境界近傍を定義することによって、変更確認テストにおける回帰統合テスト範囲を平面グラフ上で抽出する方法を述べる。この方法により、従来は多分に当て推量であった回帰統合テスト範囲選択基準を明確化できるとともに、範囲抽出の半自動化も可能となる。

第6章では、オブジェクト指向モデリングにおいてシステム設計構造を表現するための中心的な図であるクラス図を平面グラフで表現する。次に、平面グラフを2次元図形と見なすとともに、同じ絡み閉歩道をもつ点すべてを同一視するという基準のもとで平面グラフの点を分類し、平面グラフ全体を分割するための

位相的分割と呼ぶ方法を述べる。この方法では、大規模ソフトウェアシステムの構成管理を容易化するために、その全体をパッケージという単位に分割できる。

最後に、第7章では結論と今後の課題について述べる。

# 学位論文審査の要旨

主査	教授	新保	勝
副査	教授	伊達	惇
副査	教授	宮腰	政明
副査	教授	栃内	香次

学位論文題名

## ソフトウェアシステム設計構造の 位相的解析方法に関する研究

今日の情報システム開発は、外部環境の変化に適応するように既存システムを進化させるための適応保守が多い。特に、ソフトウェアシステムを対象とした適応保守の一連のプロセス（工程作業全体）をソフトウェア・リエンジニアリングといい、そこでは新規開発を前提とした従来の開発プロセスに加えて、既存システム仕様や構造を解析し理解するためのプロセス、および、ソフトウェア仕様やソースコードなどの修正や変更を検証するための変更確認テストのプロセスが必要になる。現状のソフトウェア保守では、これら二つのプロセスのコスト比率が高いものの、これらを効率化するための方法は各々のシステムや経験に依存したものが多く、必ずしも標準的で共通的な方法が確立されているとは言えない。また、今後はオブジェクト指向によって設計・開発したソフトウェアが保守の対象となってくることも予想され、効率的なソフトウェアシステム増改築方法の確立が急務となっている。

本論文は、このような背景から、ソフトウェア保守効率化と保守後システムの信頼性確保を目的に、ソフトウェアシステム設計構造の骨格理解方法および変更確認テスト範囲の形式的抽出方法、オブジェクト指向モデリングにおけるクラス図の分割方法について論じている。ここでは、ソースコード一行単位ではなく、モジュールや関数などの単位を構成要素とするソフトウェアシステム全体の設計構造をグラフで表現した上で、グラフ理論を応用した従来の一次元的解析のみならず、グラフを平面に埋め込んだ二次元的図形と見なして、位相的にグラフ構造を解析する新しい方法を取っている。これを「位相的解析方法」と名づけ、この方法により、現状ではライフサイクル全コストの50%以上を占めるという保守コストの低減が期待できることを明らかにしている。

以下に本論文の構成を示す。

第1章では、ソフトウェアシステム再構築の背景と課題について述べている。

第2章では、ソフトウェアシステム設計構造解析の準備として、有向グラフの連結性について、従来の強連結、半強連結、準強連結、弱連結に加えて、新たに輪半強連結および輪弱連結を定義するとともに、これら新旧の連結性には強さの順序付けが可能なことを明らかにしている。

第3章では、リエンジニアリングによるソフトウェアシステム再構造化の一つの方法として、ソフトウェアシステム設計構造を有向グラフで表現した上で、有向グラフの連結の

強さ（輪弱連結）とブロック分割を応用することによって、有向グラフに対して擬ブロック分割を定義している。また、この分割でソフトウェアシステム設計構造の骨格構造が抽出可能であることを適用例により確認している。

第4章では、有向グラフにおける連結の強さという観点から、従来の変更テスト範囲抽出基準を明らかにしている。それとともに、変更確認テスト漏れを未然に防止するために、連結の強さの順序付けを基準とすることにより、従来テスト範囲を形式的に拡張可能な方法を示している。

第5章では、ソフトウェアシステム設計構造を平面グラフで表現し、平面グラフの点の絡み閉歩道を応用するとともに、境界近傍を定義することによって、変更確認テストにおける回帰統合テスト範囲を平面グラフ上で抽出する方法を示している。これにより、従来は当て推量的であった回帰統合テスト範囲抽出基準を明確化している。また、この方法により回帰統合テスト範囲抽出の半自動化が可能になることを適用例により実証している。

第6章では、オブジェクト指向モデリングにおいて、システム設計構造を表現するための中心的な図であるクラス図を平面グラフで表現し、平面グラフを二次元的図形と見なすとともに、同じ絡み閉歩道を持つ点すべてを同一視するという基準で平面グラフの点を分類し、平面グラフ全体を分割するための位相的分割と呼ぶ方法を示している。また、この方法を実際のクラス図に適用することにより、クラスをパッケージという単位に統合可能であることを確認している。

第7章では、本研究で得た成果の総括を行っている。

これを要するに、著者は、保守効率化のために有効なソフトウェア・リエンジニアリング技法として、グラフ理論のみならず位相数学を応用したソフトウェアシステム設計構造の数理的解析方法を提案し、実例による検証を行ったものであり、数理情報工学ならびにソフトウェア工学の分野に寄与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。