

学位論文題名

ペトリネットによる分散処理システムのモデル化と故障診断に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、コンピュータ技術の発展に伴って、情報処理システムのアーキテクチャは集中処理システムから分散処理システムへと急速に移行している。分散処理形態を有するシステムは、社会・産業のあらゆる局面で利用されるようになり、常に正常かつ効率的に機能し、さらに、高信頼性を維持していくことが強く求められている。しかし、このような分散処理形態を有するシステムに、障害や誤りが生じた場合の社会的・経済的影響の大きさは、計り知れないものとなってきている。従って、システムの仕様変更や部分的故障にも柔軟に対応できる分散処理システムの構築・設計をどのようにするかが問題である。このような問題に対応するため、システム計画やシステム設計の初期段階からの高信頼化設計、システムの性能・品質評価、フォールトトレランス(耐故障性)などの技術の向上が要求されている。しかし、分散処理システムの開発では、モデル化、検証のいずれの工程においても開発方法が十分確立されているとはいえない状態にある。この様な状況に対して、分散処理システムの特性を明確にモデル化し、かつ体系的な開発方法が望まれている。

一方、分散処理システムのような並列同時進行の複数のプロセスからなる離散事象システムをモデル化する技法としてペトリネットがある。ペトリネットは、Carl Adam Petri の学位論文(1962)によって提案されて以来、並列同時進行の複数のプロセスからなる離散事象システムを表現するためのモデル化技法として理論的研究が重ねられ、生産システム、通信システム等の記述モデル、検証モデルとして広く用いられてきている。

本論文では、修復可能な分散処理システムをペトリネットによりモデル化し、故障にかかわる構造的特性を明らかにし、それらに関する確率的諸量を求めることを主とし、信頼性の高いシステムを設計するための基礎的研究についてまとめている。

本論文は全7章で構成されている。各章の概要は以下の通りである。

第1章は序論であり、本論文の背景とその目的について述べている。

第2章では、本研究で取り扱う分散処理形態を有するシステムのモデル化に用いるペトリネットについて概説し、その諸定義、諸記号、諸性質について述べている。更に、ペトリネットモデルの状態遷移に確率分布を導入した確率ペトリネットの諸定義、諸性質、解析方法について述べている。

第3章では、確率ペトリネットを利用したシステムの挙動解析に適用するマルコフ連鎖とその拡張であるマルコフ再生過程について概説し、諸定義、諸性質について述べている。さらに、非再生点を含み得るマルコフ再生過程について述べ、システム解析上の扱い方について説明している。

第4章では、分散処理システムの構造を反映したペトリネットによるモデル化方法

を提案し、その定義と一般形について述べている。本章で提案している方法は、分散処理システムを構成している各要素(モジュール)を対象にモデル化し、その要素間の結合によってシステム全体を表現する方法である。信頼性解析においてフォールトツリー(Fault Tree Analysis)は、最も活用される手法の一つであるが、分散処理システムなどを対象にした場合、システムを構成するユニットが相互に関連して処理あるいは動作するために、構成要素の故障に相互依存性が生じ、システムの構成要素面からだけでは故障要因を把握することは困難である。そこで、修復可能な分散処理形態を有するシステムを取り上げて、ペトリネットによりモデル化し不変集合解析によってシステムの故障系列を検出し、故障診断と復旧手順を明らかにする方法を提案している。

第5章では、確率ペトリネットを用いた分散処理システムの挙動解析について述べている。確率ペトリネットモデルの到達可能グラフをマルコフ再生過程として捕らえることによって、システム状態を再生点と非再生点とに区別して定義する。その結果、システムをより正確に把握することが可能となる。本章では、分散処理形態を有する交替処理システムに対し、非再生点を考慮したマルコフ再生過程を適用することにより、故障系列に基づいた故障状態に至る確率を求める方法を提案している。これらを基にシステムの稼働率等を評価する有用な指標を提案している。

第6章では、多くの自律的に稼働する構成要素からなり、必要に応じてこれらの構成要素の間で同期信号やメッセージ等の情報を送受する自律分散システムを対象としたペトリネットによる階層表現の構想について述べている。

第7章では、本論文の結論及び今後の研究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 大 内 東
副 査 教 授 宮 本 衛 市
副 査 教 授 嘉 数 侑 昇
副 査 教 授 和 田 充 雄

学 位 論 文 題 名

ペトリネットによる分散処理システムのモデル化と故障診断に関する研究

高度情報化社会において、分散処理システムは社会的重要性を増し、いつも正常にかつ効率的に機能し、さらに高信頼性を維持していかなければならない。分散処理システムの開発では、モデル化、設計、検証のいずれの工程においても開発方法が十分確立されているとは言い難い状況にあり、システムの特性を明確にモデル化し、かつ、体系的な開発方法が望まれている。ペトリネットは、システムの動的挙動の表現に優れていることと理論に基づく解析力の高さから非同期・並行的な動作を特徴とする分散処理システムのモデル化に適している。

本論文は、修復可能な分散処理システムをペトリネットによりモデル化し、故障にかかわる構造的な特性を明らかにし、それらに関する確率的諸量を求めることを主とした基礎的研究であり、その主要な成果は、以下の点に要約される。

1. 分散処理システムの構造を反映したペトリネット表現を用いることにより、容易なモデル化を可能としている。
2. ペトリネットの不変集合を用いることにより、故障系列を検出し、故障診断と復旧手順を明らかにする方法を提案している。
3. 確率ペトリネットを用いて分散処理システムをモデル化し、非再生点を考慮したマルコフ再生過程を適用することにより、故障系列に基づいた故障状態に至る確率を求め、これらを基にシステムの稼働率等を評価する有用な指標を提案している。

本論文は全7章で構成されている。各章の概要は以下の通りである。

第1章は序論であり、本論文の背景とその目的について述べている。

第2章では、本研究で取り扱う分散処理形態を有するシステムのモデル化に用いるペトリネットについて概説し、その諸定義、諸記号、諸性質について述べている。更に、ペトリネットモデルの状態遷移に確率分布を導入した確率ペトリネットの諸定義、諸性質、解析方法について述べている。

第3章では、確率ペトリネットを利用したシステムの挙動解析に適用するマルコフ連鎖とその拡張であるマルコフ再生過程について概説し、諸定義、諸性質について述べている。さらに、非再生点を含み得るマルコフ再生過程について述べ、システム解析上の扱い方について説明している。

第4章では、分散処理システムの構造を反映したペトリネットによるモデル化方法を提

案し、その定義と一般形について述べている。本章で提案している方法は、分散処理システムを構成している各要素(モジュール)を対象にモデル化し、その要素間の結合によってシステム全体を表現する方法である。信頼性解析においてフォールトツリー(*Fault Tree Analysis*)は、最も活用される手法の一つであるが、分散処理システムなどを対象にした場合、システムを構成するユニットが相互に関連して処理あるいは動作するために、構成要素の故障に相互依存性が生じ、システムの構成要素面からだけでは故障要因を把握することは困難である。そこで、修復可能な分散処理形態を有するシステムを取り上げて、ペトリネットによりモデル化し不変集合解析によってシステムの故障系列を検出し、故障診断と復旧手順を明らかにする方法を提案している。

第5章では、確率ペトリネットを用いた分散処理システムの挙動解析について述べている。確率ペトリネットモデルの到達可能グラフをマルコフ再生過程として捕らえることによって、システム状態を再生点と非再生点とに区別して定義する。その結果、システムをより正確に把握することが可能となる。本章では、分散処理形態を有する交替処理システムに対し、非再生点を考慮したマルコフ再生過程を適用することにより、故障系列に基づいた故障状態に至る確率を求める方法を提案している。これらを基にシステムの稼働率等を評価する有用な指標を提案している。

第6章では、自律分散システムの例として、自律分散ループ伝送システムを取り上げ、ペトリネットによるモデル化を行ない、マルコフ再生過程を応用して解析し、自律単位の諸特性を求めている。

第7章では、本論文の結論及び今後の研究の展望について述べている。

これを要するに、ペトリネット理論に基づいた体系的な分散処理システムのモデル化の方法を提案し、故障にかかわる構造的特性を明らかにし、それらに関する確率的諸量を計算することにより、信頼性の高いシステムを設計するための新知見を得ており、システム情報工学の進歩に対して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。