

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	リアクティブシステム仕様の検証方法とその実装に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	安藤崇央
Author(English)	Takahiro ANDO.
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9587号, 授与年月日:2014年4月30日, 学位の種別:課程博士, 審査員:米崎 直樹,徳田 雄洋,権藤 克彦,渡部 卓雄,西崎 真也
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9587号, Conferred date:2014/4/30, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		安藤 崇央	
論文審査 審査員		氏 名		職 名			
	主査	米崎 直樹		教授		西崎 真也	准教授
	審査員	徳田 雄洋		教授			
		権藤 克彦		教授			
		渡部 卓雄		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「リアクティブシステム仕様の検証方法とその実装に関する研究」と題し、主に線形時相論理により記述されたリアクティブシステム仕様の自動検証器を並列分散環境上に実現する手法について述べたもので、9 章からなる。

第 1 章「はじめに」では、リアクティブシステム仕様の性質を検証するこれまでの研究についてまとめ、その実用化の障壁となっている実行時間の短縮のため、検証アルゴリズムを改善すると共に、その手続きを並列分散環境上に実現することが必要であると述べている。

第 2 章「準備」では、本論文で用いるリアクティブシステム仕様に関する諸概念の定義を与えている。

第 3 章「タブロー法による性質判定手続き」では、線形時相論理で記述されたリアクティブシステム仕様に関する充足可能性、および段階的充足可能性のタブロー法に基づく判定手続きを紹介している。

第 4 章「二分決定グラフを利用した段階的充足可能性判定手続きの実装」では、終端ノードが特殊な二分決定グラフ BDDPs, BDDMPs_r を導入し、これらを用いて段階的充足可能性判定手続きの二つの内部手続き、グラフ決定化手続き、および行き止まり判定手続きを実現する手法について述べている。BDDPs, BDDMPs_r は、タブローグラフの各ノードの遷移先情報を表し、上記の二つの内部手続きはこれらの二分決定グラフ上の演算を利用して実現される。

第 5 章「MPI を用いたタブローグラフ構成手続きの並列化実装」では、性質判定手続きの核となるタブローグラフ構成手続きに対して、Message Passing Interface (MPI) を用いた並列化手法を与えている。この実装では、グラフの構成処理において、次ノード計算処理がノード毎に別々に行えることに注目し、複数のノードに対する次ノード計算処理を並列に処理する。具体的には、グラフ全体を一括管理するプロセスから次ノード計算が未処理のノードを、実行環境上に複数用意された次ノード計算処理を行うプロセスに分配し、複数のプロセスで並列に行う。そして、その結果をまたグラフ管理プロセスに返信するという形で実現している。グラフ管理プロセスと次ノード処理プロセス間の通信は MPI を用いて行う。次ノード計算が並列に処理されるため、逐次実行の処理系に比べ処理時間を短縮できる。本処理系と逐次実行の処理系との比較実験では、次ノード処理プロセスを 10 台の計算機で実行した場合、2.8 倍から 9.5 倍の速度向上率が見られた。

第 6 章「分散オブジェクト技術を用いたタブローグラフ構成手続きの並列分散化実装」では、タブローグラフ構成手続きの並列環境上への二つ目の実装手法として、分散オブジェクト技術を用いた並列分散化手法を与えている。この実装では、グラフ情報を一括管理するプロセスの代わりに、実行環境上全体にグラフ情報の一部を管理するプロセスを複数用意し、実行環境全体でグラフ情報を分割保持する。グラフ情報はノードを最小単位として分割され、ノードが生成されるたびに実行環境中のプロセスに分散される。各プロセスは自身の保持するノードに対する次ノード計算処理を担当する。各プロセスは独立にこの処理を行うため、グラフ構成手続きは並列化される。タブローグラフのノード間の接続は分散オブジェクト技術を用いて実現する。グラフ情報を分散できるため、プロセス数を増やすことによって、一つのプロセスが使用するメモリ量を減らすことができる。本処理系と逐次実行の処理系との比較実験では、10 台の計算機を用いて分散処理した場合、2.2 倍から 5.1 倍の速度向上率が見られ、1 プロセスあたりのメモリサイズの平均値も 37%~87% 程度に抑えられた。

第 7 章「二分決定グラフを利用した段階的充足可能性判定手続きの並列分散化実装」では、4 章で与えたグラフ決定化手続きと行き止まり判定手続きについても、分散オブジェクト技術を用いた並列分散化手法を与え、前章のタブローグラフ構成手続きの並列分散化手法とあわせることで、段階的充足可能性判定手続きを並列分散環境上に実現できることを示している。まず、実行環境上に分散化されたタブローグラフに対して適用可能なグラフ決定化手続きの実装手法を与えた。この実装手法は、6 章でタブローグラフ構成手続きに用いた手法と、ほぼ同様の手法であり、決定化処理により構成される決定化グラフも実行環境上に分散配置される。次に、分散配置された決定化グラフに適用する行き止まり判定手続きの実装手法を与えた。この実装手法は、行き止まり判定手続きが決定化グラフの各ノードについて別々に処理できることと、決定化グラフがノード単位で分散されていることに注目し、各プロセスが自身の保持するノードについての処理を独立して行うことで並列化する手法である。

第 8 章「SAT solver を用いた式の分解手続きの実装」では、グラフ構成手続き中で用いる式の分解手続きを SAT solver を利用して実装する手法を与えている。ここでは、式の分解手続きを命題論理式の充足可能性問題のすべてのモデルを列挙する問題に帰着し、その問題を SAT solver を利用して解くことで式の分解結果を得るという手法を与えた。これは高速な SAT solver を利用することにより分解手続きの処理にかかる時間の短縮化を図った実装手法である。従来の BDD を利用した実装との比較実験を行った結果、BDD 利用実装と効率化の面で遜色のない実装であることを確認した。とくに、第 6 章の並列分散化実装に適用することで最大で 43 倍もの速度向上が見られた。

第 9 章「まとめ」では、本論文で得られた成果を要約し、本論文で与えた手法が有用であることを述べ、将来の課題を示している。

以上、本論文はリアクティブシステム仕様の性質検証器について、特殊な二分決定グラフを用いた段階的充足可能性判定手続きの実装手法、MPI や分散オブジェクト技術を用いた並列分散環境上への性質判定器の実現法、SAT solver を利用する実装手法について述べ、その有効性を実験により示したものであり、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって我々は、本論文が博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認める。